

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

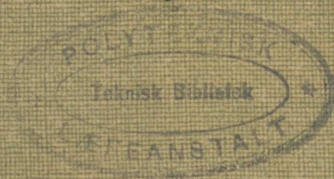
Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

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*

Grp. 53.



Dansk Inretningsforenings
bogsamling.



THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON

FROM 1630 TO 1830

Cap. 53.

ELEKTRICITET OG MAGNETISME

FOR GYMNASIET

AF

TH SUNDORPH

ADJUNKT VED METROPOLITANSKOLEN

Dansk Ingeniørforenings
Bogsamling.



KØBENHAVN
GYLDENDALSKE BOGHANDEL
NORDISK FORLAG
1915

*TB 62.
537. Sam*

J. COHENS BOGTRYKKERIER
(GEORG A. BACH)

Dansk Ingeniørforenings Bogsamling

Bogen er delt i to Afsnit. Første Afsnit indeholder særlig det Stof, der er Grundlaget for de fleste Øvelser i Elektricitet, og kan læses i første Gymnasieklasse; herved opnaas, at man kan fordele de elektriske Øvelser over et langt Tidsrum, hvad der paa Grund af Apparaternes Pris har sin Betydning, naar Klassen ikke er meget lille. Andet Afsnit tænkes læst i anden eller tredie Klasse; Bølgebevægelsen maa være gennemgaaet, før Afsnittene om elektriske Bølger læses, ligesom i hvert Fald en mundtlig Gennemgang af Energien og dens Forvandling maa gaa forud for Afsnittet om elektrisk Energi. Den mekaniske Fysik, der udkommer i Løbet af næste Skoleaar, bliver i Omfang mindre end sædvanligt; den begynder med Energilære og Bølgebevægelse, fordi man af og til har Brug for disse Afsnit i det øvrige Pensum. I den mekaniske Fysik vil der forekomme enkelte Ting, som vedrører Elektricitetslæren, men som naturligt tages sammen med Energisætningens Anvendelser, f. Eks. Beviset for, at den her i Bogen benyttede Definition paa elektrisk Spænding falder sammen med Definitionen paa Spænding som et Arbejde.

Det er rimeligt at gøre Elektricitetslæren til Hovedafsnittet i Studentereksamens Fysikpensum. Vekselstrøm, der i Praksis spiller mindst lige saa stor Rolle som Jævnstrøm, er derfor behandlet ret udførligt. Afsnittene om elektriske Straalearter, Elektronteorien, Elektronsvingninger og elektromagnetiske Bølger er ligeledes ret udførlige for at Eleverne kan faa en Forestilling om det Liv og Røre, der er i Naturen uden om os. At det derved bliver muligt tillige at give en nogenlunde udførlig Fremstilling af traadløs Telegrafi, kan vel betragtes som en Fordel. Dr. Valdemar Poulsen har gennemset Afsnittet om hans System og tegnet den Tegning til Bogen, hvorefter Klichéen til Fig. 131 er fremstillet. For at faa en Garanti for den størst mulige Nøjagtighed er i det hele taget de nye Afsnit gennemset af Specialister.

De i Bogen anførte Forsøg er som Regel ikke tænkt anvendt som Øvelser. Herfra maa dog undtages Forsøgene Side 113—115, som forbigaas, hvis de ikke anvendes som Øvelser; Forsøgene er laget fra fysisk Tidsskrift 11te Aargang, Side 182, 183 og 185, hvor Resultaterne findes. Forsøget Fig. 117 maa foretrækkes for andre Demonstrationsforsøg over staaende Bølger. Resultaterne af Demonstrationsforsøget Side 116—118 er samlet til een Sætning, Side 118; Teksten til Forsøget kan derfor forbigaas, hvis Forholdene kræver det. — Der er forskellige Steder opgivet Talværdier, f. Eks. paa en Leidnerflaskes Kapacitet (Side 46); ønskes Kapaciteten for en Flaske med andre Dimensioner, henvises til simple Tilnærmelsesformler i Kohlrausch Lehrbuch der praktischen Physik under Kapacitet.

Dr. phil. I. P. Jacobsen har gennemset Korrekturen, hvorfor jeg bringer ham min Tak.

Th. Sundorph.

Dansk Ingeniørforenings
Bogsamling.

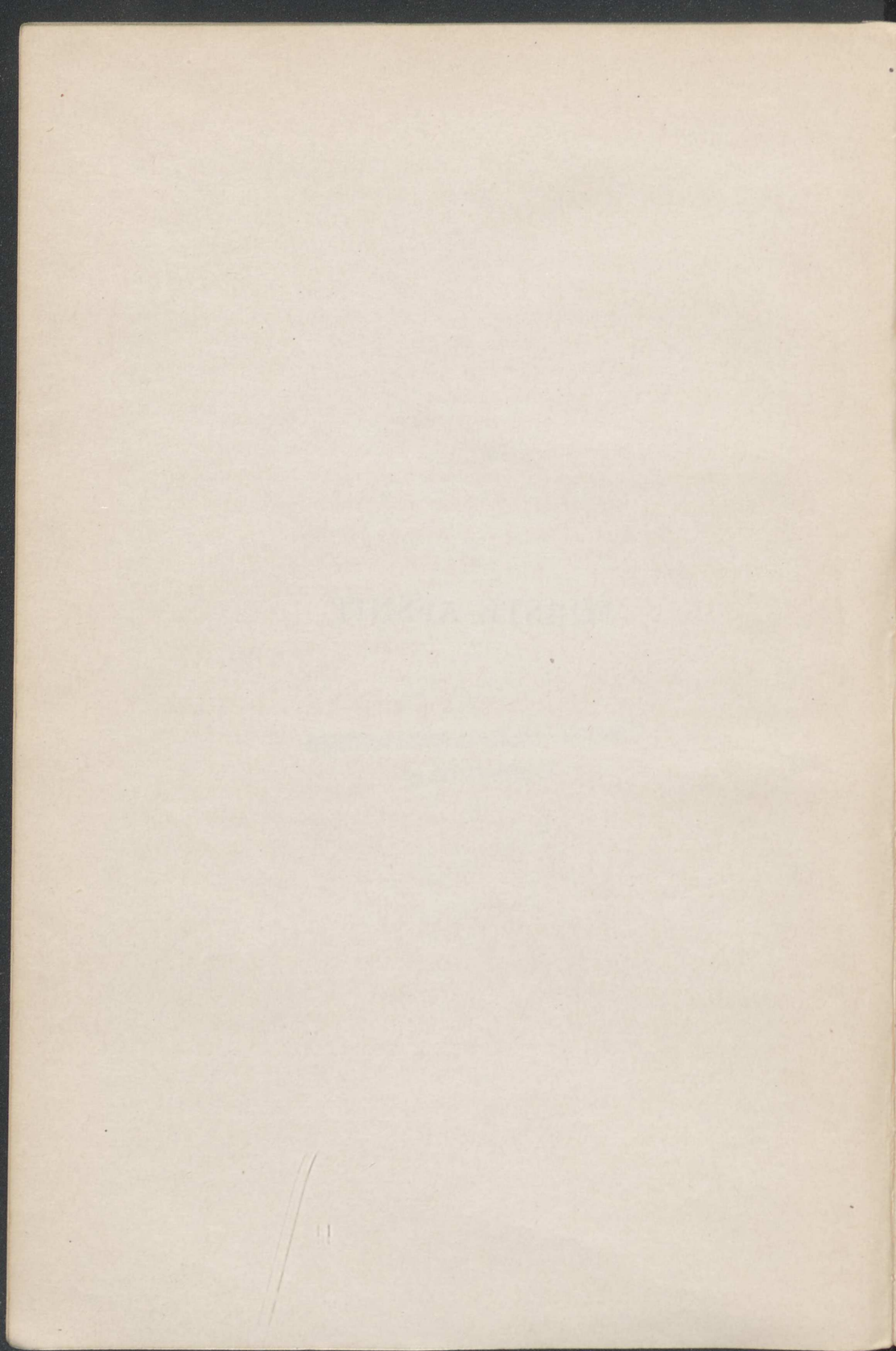
INDHOLDSFORTEGNELSE

<i>Første Afsnit.</i>	<i>Side</i>
Strømstyrke	1
Modstand	5
Elektrisk Spænding	8
Berøringselektricitet. Termoelektricitet. Herunder Polarisation, Akkumulator, Kondensatorelektroskop	12
Ohms Lov	18
Strømforgrening. Herunder shuntede Galvanometre	19
Modstandsmaaling	21
Elementers elektromotoriske Kraft og indre Modstand. Herunder Kompensationsmetoden	24
Elementers Kombination	25

<i>Andet Afsnit.</i>	
Magnetisme. Herunder Strømmes magnetiske Felt	27
Elektrostatik	40
Induktionsstrømme. Herunder Selvinduktion og Hvirvelstrømme	49
Jævnstrøm. Herunder elektrisk Belysning	54
Elektrisk Energi	64
Vekselstrøm. Enfaset Vekselstrøm, Transformation, Kraftoverføring, trifaset Vekselstrøm (Drejestrøm)	68
Elektrolyse. Herunder Elektricitetsatomer og dets Ladning, kemiske Processer i Elementer	85
Elektriske Straalearter. Katodestraaler, Kanalstraaler, Røntgenstraaler, Forsøg over Jonisering, Radium	95
Elektronteorien	106
Elektriske Svingninger i gode Ledere	115
Elektromagnetiske Bølger	124
Traadløs Telegrafi	132
Poulsens System for traadløs Telegrafi og traadløs Telefoni	139
Opgaver	142

FØRSTE AFSNIT

Dansk Ingeniørforenings
Bogsamling



Strømstyrke.

Ved Maaling af Strømstyrke kan man benytte Strømmens kemiske Virkninger, dens magnetiske Virkninger eller dens Varmevirkninger. Som Udgangspunkt vil vi benytte Strømmens kemiske Virkninger.

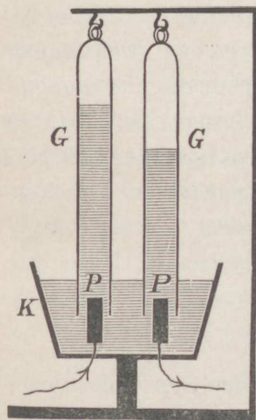


Fig. 1.

Vandadskillelsesapparatet bestaar som bekendt af et Kar *K*, gennem hvis Bund der gaar to Platintraade, som foroven ender i Platinplader *P* (Elektroderne). I Karret hældes fortyndet Svovlsyre; Glassene *G* fyldes med samme Vædske og anbringes over Platinpladerne. Sendes der en Strøm ind gennem den ene Platinplade, **Anoden**, og ud gennem den anden, **Katoden**, dannes der Ilt ved Anoden, Brint ved Katoden; der dannes dobbelt saa meget Brint som Ilt. Man siger, at *Strømstyrken er 1 Ampere*, naar der i 1 Minut udskilles 7 cm³ Brint (kun nøjagtigt, naar Brinten er 0° og dens Tryk 76 cm); dannes

der 14 cm³ Brint i 1 Minut er Strømstyrke 2 Amp. o. s. v. Man kan altsaa beregne Strømstyrken, naar Glasset er inddelt i cm³.

Der dannes lige meget Brint pr. Minut, hvad enten Vandadskillelsesapparatet indskydes ved Batteriets positive eller negative Pol eller et andet Sted i den ydre Ledning. **Strømstyrken er den samme overalt i Ledningen.** Et Vandadskillelsesapparat, der særlig er beregnet paa Maaling af Strømstyrke, kaldes et **Vand-Voltameter** (Brint-Voltameter, Knaldluft-Voltameter). (Opgave Nr. 1).

Sølv-Voltametret. Naar en Strøm ledes gennem en Vædske, der indeholder et Metal, udskilles som bekendt Metallet ved Katoden. Sølv-

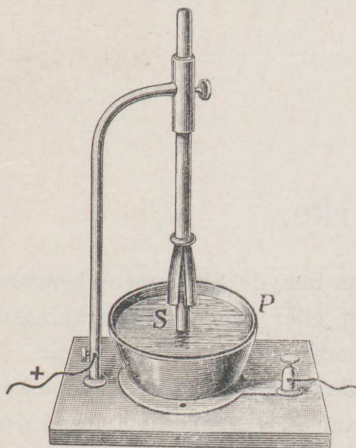


Fig. 2

Voltametret bestaar af en Platinskaal *P*, som indeholder en Sølvopløsning (Sølvnitrat); *S* er en Sølvstang, der dypper ned i Opløsningen. Ledes en Strøm gennem Sølvstangen, Sølvopløsningen og bort gennem Platinskaalen, afsætter der sig Sølv paa Skaalens Inderside, og Vægten af det udskilte Sølv kan findes ved at veje Skaalen før og efter Forsøget. Da en Vejning kan foretages nøjagtigere end Rumfangsmaalingen ved Vand-Voltametret, er Definitionen paa 1 Ampère ved international Overenskomst fastsat saaledes: **en**

Strøm har Styrken 1 Ampère, naar den i 1 Sekund udskiller 0,001118 g Sølv af en Sølvopløsning; en Strøm paa n Ampère udskiller i 1 Sekund $n \cdot 0,001118$ g Sølv. Udskiller en Strøm i t Sekunder a Gram Sølv, er Strømstyrken altsaa:

$$t \cdot \frac{a}{0,001118} \text{ Ampère.}$$

Kobber-Voltametret bestaar af to Kobberplader i en Opløsning af Kobbervitriol. Anoden vejes før og efter Forsøget; en Strøm paa 1 Amp. udskiller i 1 Sekund 0,0003294 g Kobber.

Det er ubekvemt at maale Strømstyrker med Voltametret, særlig fordi det tager lang Tid; det bruges til Justering af andre Apparater, som straks viser, hvor stærk Strømmen er, og som med et fælles Navn kaldes **Galvanometre**. Vi vil beskrive to af dem, men maa først omtale et Par Forsøg, som vi faar Anvendelse for her og senere.

1. Vikles en Kobbertraad om et Blyant og trækkes Blyantet ud, har man en spiralformet Kobbertraad, en *Solenoid*; sender man en Strøm gennem den, kan man med en Kompasnaal vise, at Solenoiden

har Poler i Enderne. Hvilken Ende der er Nordpol, findes ved Hjælp af samme Regel, som bruges ved Elektromagneter: *Tag om Solenoiden med højre Haand, saaledes at Fingerspidserne peger i Strømmens Retning; Solenoiden har da Nordpol i den Ende, som Tommelfingeren vender hen imod.*

2. Til en Vægtskaal bindes en Nøgle (eller Stang af blødt Jærn), som afbalanceres med Hagl (Fig. 3). *P* er en Papirsrulle, hvorom der foroven er viklet en tynd Kobbertraad (ca. 12 Meter, Diameter $\frac{1}{4}$ mm). Nøglens nederste Ende hænger omtrent midt i Rullen. Sendes nu Strømmen fra et Element gennem Kobbertraaden, ser man, at Nøglen trækkes lidt ned i Rullen; bruger man to Elementer, trækkes den endnu længere ned. *En Traadrulle, hvorigennem der gaar en Strøm, kan trække en Jærnstang ind i sig, dog ikke længere end til Stangens Midte er midt i Traadrullen.*

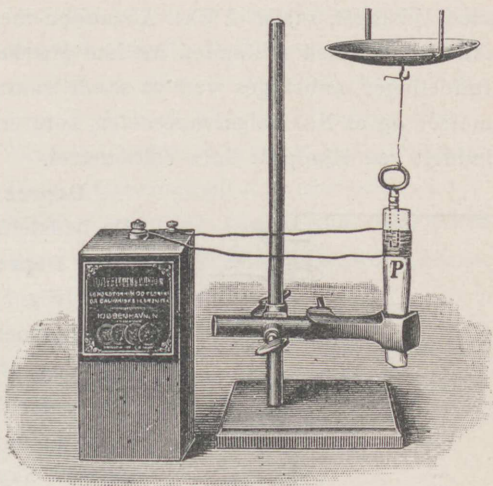


Fig. 3

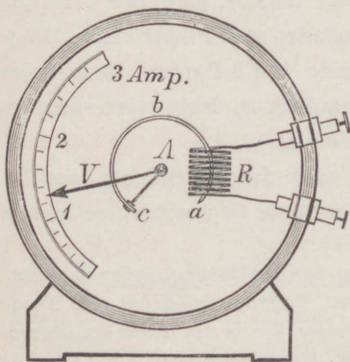


Fig. 4

Det sidste Forsøg forklarer Indretningen af Galvanometret Fig. 4. Jærnbøjlen *abc* og Viseren *V* er fast forbundne med hinanden og kan dreje sig om Aksen *A*; Tyngdepunktet for Bøjle og Viser ligger lodret under *A*, naar Viseren peger paa 0. Den Strøm, der skal maales, sendes gennem Traadrullen *R*; Jærnbøjlen trækkes ind i Rullen, hvis Virkning modarbejdes ved, at Tyngdepunktet for Bøjle og Viser skal hæves. Jo stærkere Strøm-

men er, desto mere nærmer Bøjleens Midtpunkt b sig til Traadrullens Midtpunkt, og Viseren følger med; Strømstyrken er ikke proportional med Udslaget, saa at f. Eks. Afstanden mellem Mærkerne 0 og 1 Amp. ikke er lig med Afstanden mellem Mærkerne 2 og 3 Amp. Skalaens Inddelinger anbringes ved at sende samme Strøm gennem Galvanometret og et Normalgalvanometer, som en Gang for alle er nøjagtigt inddelt ved Hjælp af Sølv-Voltametret.

Deprez d'Arsonvals Galvanometer.

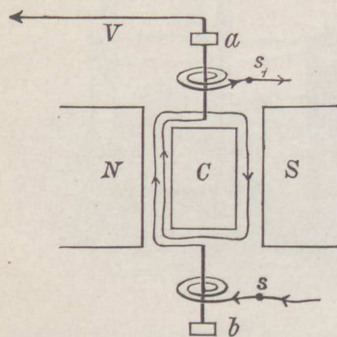


Fig. 5

De bedste Galvanometre er konstrueret efter **Deprez d'Arsonvals** Princip. N og S (Fig. 5) er Polerne paa en kraftig Staalmagnet, C er en faststaaende Jærncylinder, ab er en Rulle tynd Kobbertraad, der er viklet om en Aluminiumramme; paa Figuren er der for Oversigtens Skyld kun tegnet halvanden Vinding og Aluminiumrammen er udeladt. Rullens stive Traadender hviler i Taplejerne a og b , saa at Rullen kan

dreje sig om ab som Akse, Viseren V er fastgjort paa Enden af ab . s og s_1 er to Spiralfjedre, der staar vinkelret paa Papirets Plan; Enderne s og s_1 er fastgjort paa Apparatets Grundbræt, de andre Ender paa Aksen ab . Spiralfjedrene holder Rullen i en saadan Stilling, at Viseren peger paa Skalaens Nulpunkt, naar der ingen Strøm gaar gennem Apparatet. Den Strøm, der skal maales, gaar ind i Rullen gennem Fjedren s og bort gennem s_1 , saaledes som Pilene viser; ifølge Holtens Regel*) gaar Rullens venstre Side ind i Papiret, dens højre Side ud fra Papiret, og jo stærkere Strømmen er, desto mere spændes Fjedrene, desto større bliver Viserens Udslag.

Fig. 6 viser Apparatets Indretning, naar Jærncylinderen ses fra Enden. Traadrullens to Sider bevæger sig i de to overalt lige smalle

*) Holtens Regel om en Strøms Indvirkning paa en Nordpol lyder saaledes: Hold højre Haand tæt ved Strømmen med Haandfladen vendt mod Nordpolen og Fingerspidserne i Strømmens Retning; Nordpolen paavirkes da med en Kraft, der gaar til Tommelfingersiden. Ifølge Sætningen om Aktion og Reaktion paavirkes Strømmen i modsat Retning.

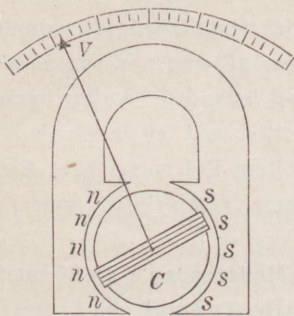


Fig. 6

Mellemrum mellem Staalmagnetens Poler og Jærncylinderen; Apparatet er indrettet saaledes, at Traadrullens Sider ikke kommer ud af dette Mellemrum. Denne Indretning bevirker, at Strømstyrken er proportional med Viserens Udslag, saa at Skalaens Inddelinger er lige store (Opgave Nr. 2). Galvanometret er *aperiodisk*, d. v. s. Viseren standser straks paa sin Plads uden at svinge frem og tilbage (Forklaring under Hvirvelstrømme).

Galvanoskopet bruges til at paavise svage Strømme. Det bestaar af en bøjet Staal magnet *n*s, som er anbragt i en Traadrulle, hvis Ender er loddet til Klemmeskruerne *K*. Staalmagneten kan dreje sig om en vandret Akse, der gaar gennem dens Midtpunkt, saa at Tyngdepunktet ligger under Omdrejningsaksen; paa Magneten sidder der en Viser, der peger paa en inddelt Skala. Gaar der Strøm gennem Rullen i Pilenes Retning, viser Holtens Regel, at *n* gaar opad; Viseren flytter sig altsaa.

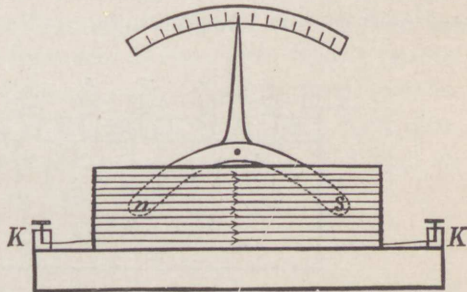


Fig. 7

Modstand.

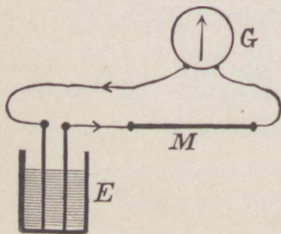


Fig. 8

Fra Element *E* (Fig. 8) gaar der en Strøm gennem Metaltraaden *M* og Galvanometret *G*. Erstatte *M* efterhaanden med andre Metaltraade, der har forskellig Længde og Tværsnit, viser Galvanometret, at Strømstyrken forandrer sig. Lange tynde Metaltraade svækker Strømmen mest; man siger, at de har

stor **Modstand**. Desuden spiller Stoffet en stor Rolle; Sølv- og Kobbertraade svækker Strømmen mindre end andre Metaltraade af samme Længde og Tykkelse. Modstanden i en Leder afhænger altsaa af tre Ting: **Længden, Tværsnittet og Stoffet**; den forandrer sig dog ogsaa lidt med Temperaturen. Det sidste kan vises ved at indskyde et Galvanometer og en Spiral af Jærntraad mellem Polerne paa et Element; opvarmes Jærntraaden med en Flamme, viser Galvanometret, at Strømstyrken forandrer sig.

Modstande maales i Ohm. En Ohm er Modstanden i en 0° varm Kvægsølv søjle, der er 106,3 cm lang, og hvis Tværsnit er 1 mm^2 ; Modstanden i en Kvægsølv søjle med samme Tværsnit og Temperatur, men dobbelt saa lang, er 2 Ohm o. s. v. At Modstanden i en Metaltraad f. Eks. er 1 Ohm, vil sige, at Galvanometret (Fig. 8) gør samme Udslag, hvad enten man paa *M's* Plads anbringer Metaltraaden eller den først nævnte Kvægsølv søjle.

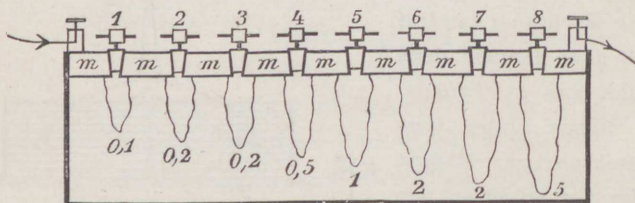


Fig. 9

Modstandskassen er en Trækasse (Fig. 9), paa hvis Laag der sidder en Række Messingstykker *m*, som kan forbindes med hinanden med Messingpropper (1—8). Hvert Messingstykke er forbundet med det følgende ved Metaltraade, hvis Modstande kan være som anført paa Figuren (0,1 Ohm, 0,2 Ohm o. s. v.). Er alle Propperne sat i, er Modstanden mellem Kassens to Klemmeskruer saa lille, at den kan sættes lig 0; tages alle Propper ud, er Modstanden 11 Ohm. Med den anførte Modstandskasse kan alle Modstande fra 0 til 11 Ohm fremstilles med een Decimal; skal Modstanden f. Eks. være 7,3 Ohm, udtages Propperne 1, 2, 7 og 8.

Ved Forsøg kan man vise, at Modstanden r i en Leder er ligefrem proportional med Lederens Længde l og omvendt proportional med dens Tværsnitsareal a . Man har altsaa

$$r = k \cdot \frac{l}{a},$$

hvor l maales i Meter, a i mm^2 . k er en Konstant, der afhænger af Stoffet og kaldes Stoffets **specifikke Modstand**. Sættes $l = 1$ m, $a = 1 \text{ mm}^2$, bliver Modstanden lig k ; *den specifikke Modstand er altsaa Modstanden i en Traad, der er 1 m lang og 1 mm^2 i Tværnit*. Den specifikke Modstand er for

Kobber ca. $\frac{1}{60}$ Ohm.

Nysølv ca. $\frac{2}{10}$ Ohm.

Jærn ca. $\frac{1}{8}$ —

Nikkelin ca. $\frac{4}{10}$ —

Kruppin ca. $\frac{5}{6}$ —

Gaskul ca. 50 —

De anførte Værdier er kun omtrentlige, da Urenheder eller en ringe Forandring i Sammensætning forandrer Modstanden; Nysølv og Nikkelin, der er Legeringer af Kobber, Zink og Nikkel, kan saaledes have specifikke Modstande, der afviger betydeligt fra de anførte Værdier. Vædske har meget stor Modstand; den specifikke Modstand for fortyndet Svovlsyre (30 %) er ca. 14000 Ohm.

For Temperaturens Indflydelse paa Modstanden i en Metaltraad gælder Ligningen

$$r_T = r_t \cdot (1 + \alpha (T - t)),$$

hvor r_T er Modstanden ved T^0 , r_t ved t^0 . α er en Konstant, der kaldes **Temperaturkoefficienten**, og som for rene Metaller er ca. $\frac{1}{273}$. Urenheder forandrer et Stofs Temperaturkoefficient; for Legeringer kan den afvige stærkt fra den nævnte Værdi. Kul leder desto bedre, jo varmere det er.

Eksempel 1. Hvor lang er en Kobbertraad, hvis Modstand er 62,5 Ohm, og hvis Tværnit er 2 mm^2 ? Hvor lang skal en Jærntraad med samme Tværnit være for at have samme Modstand?

Eksempel 2. Rullen, der er viklet om Aluminiumrammen i Deprez' Galvanometer, har Modstanden 1 Ohm ved Temperaturen 16^0 . Hvor stor er dens Modstand ved 22^0 ?

Overgangsmodstand. Naar der er daarlig Berøring mellem to Ledere, er der paa Berøringsstedet en Modstand, som dels fremkommer ved, at Berøringsstederne er angrebne af Luften, dels ved Smuds eller et tyndt Vandlag, som skyldes Luftens Fugtighed; rimeligvis har den ogsaa andre ubekendte Aarsager. Sendes en Strøm gennem Berøringsstedet, vil Viseren paa et i Ledningen anbragt Galvanometer svinge lidt frem og tilbage paa uregelmæssig Maade, idet Overgangsmodstanden er ret variabel. Særlig ved Maalinger er det nødvendigt at undgaa den; *Metaltraade maa derfor skræbes blanke paa de Steder, hvor de klemmes fast, Modstandskassers Propper og Huller skal være rene, alle Klemmeskruer skrues godt fast, og Propperne trykkes haardt ned i Hullerne.*

Elektrisk Spænding.

Elektroskopet bestaar som bekendt af en Glasbeholder med Ebonitprop, hvorigennem der gaar en Metalstang, som foroven ender i en Kugle og forneden bærer to tynde Guld- eller Aluminiumblade. For at beskytte Bladene mod uvedkommende elektriske Paavirkninger — Glasbeholderen kan f. Eks. let blive elektrisk — beklædes Beholderen indvendig med Stanniolpapir, som gennem Flaskens Bund er i ledende Forbindelse med Jorden; i Beklædningen er der saa store Aabninger, at man tydeligt kan se Bladene (Nytten af Stanniolbeklædning og Afledning forklares i Afsnittet om det elektriske Felt); til Forsøgene her i Bogen er Beklædningen ikke nødvendig.

Undertiden har man Brug for at lade Elektroskopet med en bekendt Slags Elektricitet, Dette kan ske ved ovenfra at nærme en gneden Ebonitstang til Elektroskopets Stang, som ved Fordeling bliver positiv elektrisk foroven, negativ forneden. Sættes Fingeren paa Elektroskopstangen, gaar den negative Elektricitet gennem Fingeren ned i Jorden, og fjernes nu først Fingeren, saa Ebonitstangen, fordeler den positive Elektricitet sig over hele Elektroskopstangen, og Bladene slaar ud.

Er der i Elektroskopet anbragt en inddelt Bue, hvorpaa Udslagets Størrelse kan aflæses, kaldes Apparatet et *Elektrometer*.

Elektroskopet stilles saa langt fra Elektrisermaskinens positive Konduktor, at det ikke bliver elektrisk ved Fordeling. Forbindes Elektroskop og Konduktor med et Stykke Sejlgarn, og drejes Glas-skiven *langsomt*, strømmer der mere og mere Elektricitet over i Guld-bladene, som frastøder hinanden mere og mere. *Jo større Udslaget bliver, jo større Spænding siger man, at Konduktoren har*; Udslaget bliver det samme, ligegyldigt hvilket Punkt af Konduktoren, der sættes i Forbindelse med Elektroskopet. En Spænding, der skyldes negativ Elektricitet, kaldes negativ, og man kan altsaa tale om store og smaa, negative eller positive Spændinger. I Reglen bruger man dog den Udtryksmaade, at negative Spændinger er mindre end positive, desto mindre, jo større Bladenes Udslag er; et uelektrisk Legeme har altsaa større Spænding end et negativ elektrisk. Vi maa lægge Mærke til, at vor Definition ikke siger, at Spændingen er proportional med Udslaget; Elektroskopets Udslag viser kun, om en Spænding er større eller mindre end en anden. Fremdeles maa vi lægge Mærke til, at vi gaar ud fra den Forestilling, at positiv og negativ Elektricitet er to Stoffer, saa at vi kan tale om større eller mindre Elektricitetsmængder, om Strømme af Elektricitet o. s. v.; hvorvidt og i hvilket Omfang denne Forestilling er berettiget, behandles i et senere Afsnit (Elektronteorien).

En Leders Spænding afhænger af forskellige Ting, hvorom følgende Forsøg giver Oplysninger. Et Elektroskop lades med Elektricitet, saaledes at Bladenes Udslag f. Eks. bliver ca. 60°. Berøres Elektroskopets Knop med en isoleret Messingstang



Fig. 10

(Fig. 10 A), ser man, at Guldbladene falder lidt sammen. Spændingen bliver altsaa mindre, naar samme Elektricitetsmængde udbreder sig over et større Legeme (nemlig over Elektroskop + den isolerede Metalstang). Gentages dette Forsøg med en isoleret Messingkugle (Fig 10 B), der har *samme Rumfang* (samme Vægt) som Messingstangen, formindskes Udslaget ikke saa meget som før. Lederens Form spiller altsaa en Rolle. **En god Leders Spænding afhænger af Elek-**

tricitetsmængden, af Lederens Størrelse og af Lederens Form. Desuden spiller **Omgivelserne** en Rolle; man kan se det ved at nærme en god Leder nær hen til Elektroskopet, Udslaget bliver mindre.

Paa følgende Maade kan man undersøge, hvordan det gaar med Spændingen i en Leder, 1) naar der strømmer Elektricitet gennem den, og 2) naar Elektriciteten i den ikke bevæger sig.

1. Et Stykke Sejlgarn, en Meter langt eller mer, fastgøres med den ene Ende til Elektrisermaskinens positive Konduktor, med den anden Ende til et Glasrør; dette kan stikkes gennem en Gummiprop, der klemmes fast i Forsøgsstativet. Paa Snoren er der ophængt lige store Hyldemarvskugler i lige lange Bomuldstraade; de træder i Stedet for Elektroskopets Blade. Holder man nu med Haanden om

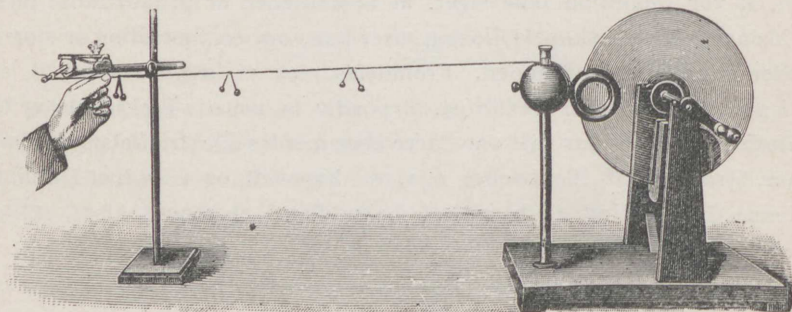


Fig. 11

Snoren, saaledes som Fig. 11 viser, og drejer paa Maskinen, strømmer der Elektricitet fra Konduktoren gennem Snor og Haand ned i Jorden; det viser sig, at de Hyldemarvskugler, der er nærmest ved Konduktoren, slaar mest ud; **Spændingen falder altsaa henad en Ledning, hvorigennem der gaar en Strøm.**

2. Haanden fjernes, Hyldemarvskuglerne tages af, og Snoren stryges med en vaad Klud. Hænger man igen Hyldemarvskuglerne paa Plads og drejer paa Maskinen, kan Elektriciteten *ikke* strømme bort gennem Snoren, da denne nu er isoleret ved Hjælp af Glasrøret, som maa være tørt. Det viser sig, at Hyldemarvskuglerne slaar lige meget ud. **I en elektrisk Leder, der ikke gennemløbes af nogen Strøm, er Spændingen overalt den samme.**

I Stedet for Hyldemarvskugler kan man benytte et Elektroskop, som ved en kort, lodret Kobbertraad er sat i Forbindelse med Snoren (Fig. 12), og som skydes frem og tilbage paa Bordet. Hverken Elektroskop eller Hyldemarvskugler maa anbringes for nær ved Konduktoren, da elektrisk Forde-
ling kan virke forstyrrende paa Udslaget.

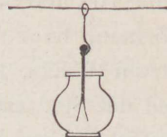


Fig. 12.

I Praksis har man kun Brug for at maale **Spændingsforskellen** mellem to Punkter; om Punkterne har positiv eller negativ Spænding er ligegyldigt. Fig. 13 forestiller et Element, hvis Poler er forbundne med en Metaltraad. Vi tænker os, at Stykket AB har Modstanden 1 Ohm; af det foregaaende ved vi, at A har større Spænding end B , hvis Strømmen gaar i den Retning, som Pilene viser. Hvis Strømstyrken er 1 Ampere, siger man, at Spændingsforskellen mellem A og B er 1 Volt; er Strømstyrken 2 Ampere, er Spændingsforskellen mellem A og B 2 Volt o. s. v. Spændingsforskelle maales altsaa i Volt;

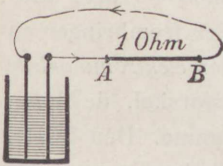


Fig. 13.

en Volt er den Spændingsforskel, der er mellem to Punkter af en Ledning, naar den mellemliggende Modstand er 1 Ohm og Strømstyrken 1 Ampere.

Spændingsforskellen mellem to Punkter af en Ledning maales med et Apparat, der kaldes et **Voltmeter** (maa ikke forveksles med Voltametret). Voltmetret er indrettet ligesom Galvanometret, men har *stor Modstand*; vi vil nu forklare, hvorledes et Apparat af samme Konstruktion som et Galvanometer kan benyttes som Voltmeter, og hvorledes Skalaen kan inddeles i Volt.

AB (Fig. 14) er et Stykke af en Ledning, hvorigennem der gaar en Strøm paa 1 Amp. i Retningen fra A til B ; AB har Modstanden 1 Ohm, Spændingsforskellen mellem A og B er altsaa 1 Volt. Klemmeskruerne paa Voltmetret V sættes nu i Forbindelse med A og B , og en Del af Strømmen løber gennem V i Stedet for at gaa gennem AB . Men denne Del er meget lille, fordi Voltmetret har meget stor Modstand, saa at Strømmen i AB næsten uforandret er 1 Amp. Den Strøm, der gaar gen-

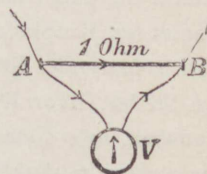


Fig. 14.

nem Voltmetret, faar Viseren til at flytte sig, og paa det Sted af Skalaen, hvor Viseren standser, skrives 1 Volt. Derpaa sendes en Strøm f. Eks. paa 2 Amp. gennem AB; Voltmetrets Viser standser ved det Sted paa Skalaen, hvor der skal staa 2 Volt o. s. v.; Voltmetret er nu inddelt. Vil man maale Spændingsforskellen mellem to Punkter af en anden Ledning, sættes Punkterne i Forbindelse med Voltmetrets Klemmeskruer, og dettes Viser angiver da Spændingsforskellen i Volt.

Ved Spændingen i et Punkt af en Leder forstaas Spændingsforskellen mellem Punktet og Jorden; Jordens Spænding er 0.

Berøringselektricitet. Termoelektricitet.

Naar to forskellige Ledere — faste eller flydende — rører hinanden, optræder der paa Berøringsstedet Kræfter, der frembringer en Spændingsforskel mellem Lederne. Kræfterne kaldes *elektromotoriske* (Elektricitet bevægende) Kræfter, og den Spændingsforskel, de frembringer mellem to bestemte Stoffer, er altid den samme. Den første, der paaviste Berøringselektriciteten, var Volta (1794); han kom til det Resultat, at der opstod størst Spændingsforskel ved Berøring mellem Metaller, men senere Maalinger har vist, at dette ikke er rigtigt. Naar to Metaller eller naar to kemisk sammensatte, ledende Vædske (f. Eks. to Saltopløsninger) rører hinanden er Spændingsforskellen meget lille, nogle faa Millivolt, og spiller ingen nævneværdig Rolle, mens Berøring mellem Metal (Kul) og Vædske er langt større.

I galvaniske Elementer optræder der paa Berøringsfladerne mellem de forskellige Stoffer elektromotoriske Kræfter, som driver Elektricitet ud paa Elementets Klemmeskruer, *Polerne*. I Kromsyre-Elementet (en Kulplade og en Zinkplade i en Opløsning af tvekromsurt Kali i fortyndet Svovlsyre) opstaar der saaledes Elektricitet paa de fire Steder, hvor Klemmeskruerne rører Pladerne og Pladerne rører Vædsken, men som nævnt er det Berøringen mellem Plader og Vædske, der næsten udelukkende er Aarsagen til Polernes Spændingsforskel.

Ved et Elements (Batteris) elektromotoriske Kraft forstaas Spændingsforskellen mellem Polerne, naar Elementet (Batteriet) ikke giver Strøm; den maales med et Voltmeter, hvis Modstand er meget stor i Sammenligning med Elementets (Batteriets). Med Voltmetret kan man vise, at et Batteris elektromotoriske Kraft er lig Summen af Elementernes elektromotoriske Kræfter, hvis Elementerne forbindes saaledes, at den positive Pol i et Element er forbundet med den negative Pol i det næste o. s. v. Et Elements elektromotoriske Kraft beror kun paa, hvilke Stoffer Elementet er sammensat af; smaa og store Elementer af samme Slags har altsaa samme elektromotoriske Kraft. Modstanden i Elementet afhænger desuden af Berøringsfladernes Størrelse og Afstand; store Berøringsflader med lille Afstand giver lille Modstand.

De mest brugte Elementer er Tørelementet og Akkumulatoren.

Tørelementet bestaar af en Kulstang *K* og en Zinkcylinder, der omslutter Kulstangen, men paa Figuren er tegnet som en Stang *Z*. Om Kulstangen er der pulveriseret Brunsten *B*, som holdes sammen af et Stykke Tøj og er gennemtrukket af en Opløsning af Salmiak i Vand. Zinkcylinder og Kulstang med Brunsten staar i en Salmiakopløsning, der er gjort stiv ved Til sætning af forskellige Stoffer (tidligere brugte man Savsmuld). Elektromotorisk Kraft 1,5 Volt, Modstand ca. 0,1 Ohm.

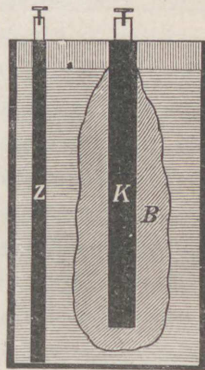


Fig. 15.

Akkumulatoren. Polarisation. I Vandadskillelsesapparatet (Fig. 1) borttages Glassene *GG*, der hældes fortyndet Svovlsyre i *A*, og Apparatets Klemmeskruer sættes i Forbindelse med et Galvanometer; dettes Viser rører sig ikke, hvis Pladerne er fuldstændig ens, da to ens Plader i en ledende Vædske ikke kan virke som galvanisk Element (forudsat, at Vædsken ogsaa er ens overalt).

Galvanometret fjernes, og Strømmen fra et Batteri sendes gennem Vædsken; som sædvanlig udvikles der Ilt og Brint. Derpaa fjernes Batteriet, og Vandadskillelsesapparatets Klemmeskruer forbindes atter med Galvanometret, hvis Viser nu gør et Udslag, som efterhaanden

hører op; Apparatet har altsaa i kort Tid virket som et galvanisk Element. Grunden er følgende: da Strømmen gennem Apparatet blev afbrudt, blev der lidt Brint siddende paa den ene Platinplade, lidt Ilt paa den anden; *Pladerne er ikke længer ens*. Forbindes Apparatets Klemmeskruer med en ydre Ledning, opstaar der derfor en saakaldt **Polarisationsstrøm**, som inde i Apparatet gaar i modsat Retning af Batteristrømmen. Ligesom denne adskiller Polarisationsstrømmen Vædsken i Ilt og Brint, men denne Gang dannes der Ilt, hvor der før blev dannet Brint og omvendt. Ved de to Platinplader forener Ilten og Brinten sig til Vand, og naar den Ilt og Brint, der sidder paa Platinpladerne, er opbrugt, hører Polarisationsstrømmen op. Dens elektromotoriske Kraft regnes til ca. 1,5 Volt.

I **Akkumulatoren** anvendes Polarisationen til Opsamling af Elektricitet. Den bestaar af et Glas med fortyndet Svovlsyre, hvori der er anbragt to Blyplader; Strømmen fra et Batteri sendes nogen Tid gennem Vædsken fra den ene Blyplade til den anden. Vædsken adskilles som sædvanlig i Ilt og Brint; Brinten bobler op ved den Blyplade, hvor Strømmen gaar bort fra Akkumulatoren, mens Ilten gaar i Forbindelse med den anden Blyplade, som overtrækkes med et Lag af mørkebrunt Blyoverilte. Pladerne er nu ikke længer ens, og man siger, at Akkumulatoren er *ladet*.

Fjernes Batteriet og forbindes Akkumulatorens Poler med en ydre Ledning, gaar Strømmen inde i Akkumulatoren i *modsat Retning af Ladningsstrømmen*. Vædsken adskilles atter i Ilt og Brint, men nu dannes Brinten ved Blyoveriltepladen og forbinder sig med Pladens Ilt til Vand, mens den anden Plade iltes, saa at Akkumulatoren efter nogen Tids Forløb maa lades igen, for at der kan dannes ny Blyoverilte.

I Stedet for Blyplader benyttes nu Blygitre, d. v. s. gennemhullede Blyplader, hvor Hullerne kun er adskilt fra hinanden ved tynde Blystrimler; Hullerne i den positive Polplade fyldes fra først af med Mønnie (Pb_3O_4); Hullerne i den negative med Blyilte (PbO). Ladningsstrømmen sendes ind gennem den positive Pol. Mønnien iltes efterhaanden til Blyoverilte (PbO_2), og den positive Polplade bliver mørkebrun; Brinten afilter Blyiltet i den negative Polplade, som kendes paa sin graa Farve. Fordelen ved denne Indretning er, at Hul-

lernes Fyldmasser efter gentagne Ladninger og Udladninger (Formring) bliver porøse, saa at Blygitrenes virksomme Overflade bliver meget stor. — Paa Fig. 16 tænkes Akkumulatoren set fra oven; to positive Polplader er forbundet med en Metalstang og svarer til een stor Plade; tre negative Polplader er forbundet paa samme Maade. Jo større Pladerne er, jo stærkere kan man gøre Ladningsstrømmen, og jo stærkere Strøm kan den ladede Akkumulator afgive uden at tage Skade. En lille Akkumulator lades f. Eks. i 4 Timer med en Strøm paa 3 Ampere (at Ladningen er færdig, ses paa, at der er stærk Luftudvikling baade ved de positive og de negative Plader); man siger, at Akkumulatorens *Kapacitet* er 12 Ampere-Timer. Paa nogle faa Procent nær kan den ved Udladningen afgive 12 Ampere-Timer, f. Eks. 1 Ampere i 12 Timer eller 2 Amp. i 6 Timer o. s. v.

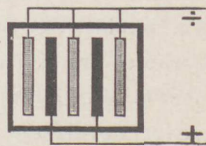


Fig. 16.

Akkumulatorens elektromotoriske Kraft er ca. 2 Volt, dens Modstand er meget lille (0,01 Ohm og derunder). Den udmærker sig fremfor Tørelementet ved at kunne give ret stærk Strøm i længere Tid. uden at dens elektromotoriske Kraft eller dens Modstand forandrer sig; Ladningsstrømmen og Udladningsstrømmen maa ikke overskride en vis Maksimumsværdi, der afhænger af Pladernes Størrelse.

Man kan paavise, at der er Elektricitet paa Polerne af et Element eller bedre et Batteri. Forbindes en af Polerne med Elektroskopet, kommer der ikke noget Udslag, da Spændingen ikke er ret stor; men Elektroskopet kan gøres meget følsomt ved at erstatte Messingknoppen med en Messingplade *B* (Fig. 17), som er ferniseret paa Oversiden, og ovenpaa stille en anden Messingplade *A*, der er ferniseret paa Undersiden; Apparatet kaldes saa et **Kondensatorelektroskop**, fordi de to Plader med det isolerende Fernislag kaldes en Kondensator.

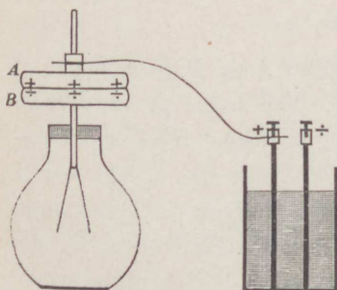


Fig. 17.

Sundorph: Fysik.

Klemmer man den ene Ende af en

Kobbertraad fast i Elementets positive Pol og den anden Ende fast til Pladen A ved Hjælp af A's Haandtag, mens den nederste Plade afledes til Jorden med Fingeren, strømmer der positiv Elektricitet over i A. B bliver elektrisk ved Fordeling, idet negativ Elektricitet trækkes op til Fernislaget og positiv gaar bort gennem Fingeren. Den negative Elektricitet i B tiltrækker nu A's positive Elektricitet, og noget af denne bindes lige over Fernislaget, saa at der kan strømme mere Elektricitet fra Elementet over paa A. Denne ny Elektricitet frembringer ny Fordeling i B, hvorved igen noget af A's Elektricitet bindes lige over Fernislaget o. s. v. Fjernes nu først Fingeren og saa den øverste Plade, bliver den i B bundne Elektricitet fri, og en Del af den gaar ned i Guldbladene, som slaar ud. Med en gneden Glas- eller Ebonitstang kan man vise, at Elektroskopet er negativ elektrisk.

Med et Voltmeter kan man vise, at Spændingsforskellen mellem Polerne paa et Batteri ikke forandrer sig, hvis man afleder en af Polerne til Jorden. Er Polernes Spændingsforskel p Volt, og afleder man den negative Pol til Jorden, har den positive Pol altsaa Spændingen p Volt. Sætter man den i Forbindelse med et Elektrometer, gør Bladene et til de p Volt svarende Udslag. Forandres Antallet af Elementer, faar man andre Udslag, og man kan paa denne Maade faa at vide, hvad Elektrometrets Inddelinger betyder i Volt. *En isoleret god Leders Spænding kan maales ved at sætte Lederen i Forbindelse med Elektrometret.* Er Midtpunktet af et Batteri — f. Eks. paa 6 Volt — afledet til Jorden, har Polerne Spændingerne 3 Volt og $\div 3$ Volt; er Batteriet ikke afledet, kan Spændingerne f. Eks. være 4 Volt og $\div 2$ Volt.

Et almindeligt Elektroskop giver først tydeligt Udslag for Spændinger paa ca. 50 Volt.

Termoelektricitet. Paa Fig. 18 forestiller A og B to Stænger af forskelligt Metal, som er loddet sammen. Ved hvert af Berøringsstederne a og b optræder der, som nævnt, en meget lille elektromotorisk Kraft, der f. Eks. gør A positiv, B negativ elektrisk, men

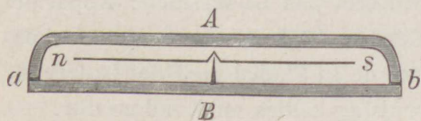


Fig. 18.

der kommer ingen Strøm i Kredsløbet, fordi de elektromotoriske Kræfter ved a og b er lige store

og søger at frembringe Strømme, der gaar i modsat Retning. Dette gælder dog kun, saalænge a og b har samme Temperatur. Er dette ikke Tilfældet, er Lodningsstedernes elektromotoriske Kræfter ikke længer lige store, og der fremkommer en **Termostrøm**, som faar Kompasnaalen ns til at gøre et Udslag.

AB kaldes et Termoelement. Benytter man Metallerne Vismut og Antimon, er den termoelektriske Kraft for en Temperaturforskel paa 1° ca. 100 Mikrovolt (Milliontedele Volt), og Strømmen gaar fra Vismut gennem det varmeste Lodningssted til Antimon; for andre af de almindelige Metaller er den termoelektriske Kraft ikke saa stor. Den er indenfor visse Grænser proportional med Temperaturforskellen, men bliver for større Temperaturforskelle igen mindre, kan endog blive 0 og skifte Retning. Som Eksempel herpaa viser Fig. 19 en grafisk Fremstilling af Forholdene ved et Termoelement af Jærn -- Kobber, hvis ene Lodningssted holdes ved 0° ; Temperaturforskellene er Abscisser, de termoelektriske Kræfter Ordinater. Maksimum faas ved 275° , ved 550° er den termoelektriske Kraft 0 og skifter derefter Fortegn.

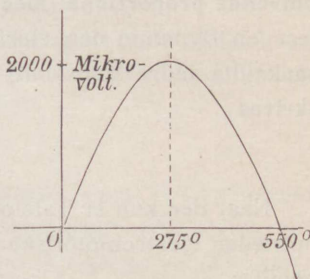


Fig. 19.

Peltier-Effekten. Leder man en Strøm gennem Lodningsstedet for to forskellige Metaller, opstaar der paa Lodningsstedet en Temperaturforandring. Denne er af en saadan Art, at den frembringer en termoelektrisk Kraft, som gaar i modsat Retning af Strømmen. Dette kan vises med Apparatet Fig. 20. Lodningsstedet mellem en Antimonstang A og en Vismuthstang V er anbragt i en Glaskugle med Trykmaaler. Sendes en Strøm gennem Lodningsstedet i Pilenes Retning, afkøles Lodningsstedet, og Termostrømmen gaar fra Antimon gennem det kolde Lodningssted til Vismut. Afkølingen viser sig ved, at Luften i Glasbeholderen ogsaa afkøles, dens Tryk bliver mindre, og Vædsken stiger lidt i Trykmaalerens venstre Gren. Sendes Strømmen gennem Apparatet i modsat Retning, viser Trykmaaleren en Opvarmning af Lodningsstedet.

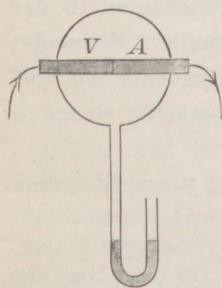


Fig. 20.

Afkølingen viser sig ved, at Luften i Glasbeholderen ogsaa afkøles, dens Tryk bliver mindre, og Vædsken stiger lidt i Trykmaalerens venstre Gren. Sendes Strømmen gennem Apparatet i modsat Retning, viser Trykmaaleren en Opvarmning af Lodningsstedet.

Ohms Lov.

Enhederne for Strømstyrke, Spændingsforskel og Modstand har faaet Navn efter de bekendte Fysikere: Ampere, Volta og Ohm, der levede omtrent samtidig med Ørsted, der som bekendt opdagede Strømmens Virkning paa en Magnetnaal i Aaret 1820.

Ohm fremsatte (1827) den Lov, at **Strømstyrken i et sluttet Kredsløb er ligefrem proportional med den elektromotoriske Kraft og omvendt proportional med hele Kredsløbets Modstand.** Har et Batteri (en Dynamo) den elektromotoriske Kraft E , Modstanden r_i (den saakaldte indre Modstand), og er den ydre Modstand r_y , kan Loven skrives

$$i = \frac{E}{r_i + r_y} \quad (\text{I})$$

Naar der kun er Tale om et Stykke af en Ledning, hvori der ikke optræder elektromotoriske Kræfter, faar Ohms Lov en anden Form, nemlig:

$$i = \frac{e}{r} \quad (\text{II})$$

hvor e er Spændingsforskellen mellem Lederstykkets Endepunkter og r dets Modstand. **Strømstyrken er lig Spændingsforskellen mellem to Punkter af en Ledning divideret med den mellemliggende Modstand.** (II) kan f. Eks. ikke benyttes paa det Stykke af et Kredsløb, der strækker sig fra Elementets ene Pol gennem Elementet til den anden Pol, fordi der optræder elektromotoriske Kræfter i Elementet.

Ved Hjælp af Galvanometer, Modstandskasse, Elementer og Voltmeter kan Rigtigheden af Ohms Lov prøves paa forskellig Maade (se f. Eks. Chr. og S. prakt. Øvelser Nr. 68).

Eksempel 1. Et Batteri bestaar af 10 Elementer à 1,5 Volt og 0,12 Ohm. Strømstyrken er 2 Amp. Hvor stor er Modstanden i den ydre Ledning?

Eksempel 2. Kultraaden i en Glødelampe kræver en Strøm paa $\frac{1}{4}$ Amp.: Spændingsforskellen mellem Kultraadens Endepunkter er 220 Volt. Hvor stor er Modstanden i Kultraaden?

Eksempel 3. 3 Elementer à 2 Volt og 0,1 Ohm sammensættes til et Batteri: det ene Element er vendt forkert (den pos. og neg. Pol er forvekslede). Find Strømstyrken, naar den ydre Modstand er 3,7 Ohm.

Naar et Batteri giver Strøm er Polernes Spændingsforskel, Klemmespændingen, mindre end Batteriets elektromotoriske Kraft. Kaldes Klemmespændingen K , har man nemlig

$$i = \frac{E}{r_i + r_y} = \frac{K}{r_y} \quad \text{eller}$$

$$K = \frac{r_y}{r_i + r_y} \cdot E.$$

K er altsaa en ægte Brøk Gange E , d. v. s. $K < E$. Jo større r_y bliver, desto mere nærmer Brøken sig til 1.

Eksempel. Et Batteri paa 5 Elementer à 2 Volt og 0,1 Ohm sender Strøm gennem en ydre Ledning. Hvor stor er Klemmespændingen, naar den ydre Modstand er 1,5 Ohm, 9,5 Ohm, 49,5 Ohm og 99,5 Ohm?

Et Elements Maksimalstrøm. Lad Elementet være et Tørelement paa 1,5 Volt og 0,1 Ohm; tænkes Polerne forbundne med en kort, tyk Kobbertraad, hvis Modstand kan sættes lig 0 (Elementet er *kortsluttet*), faar man

$$i = \frac{1,5}{0,1} = 15 \text{ Amp.}$$

Lod man Elementet give saa stærk Strøm, blev det ødelagt i Løbet af ganske kort Tid.

Strømforgrening.

Er to eller flere Ledere anbragt i hinandens Forlængelse, bliver hele Ledningens Modstand lig Summen af de enkelte Lederes Modstande; man siger, at Lederne er anbragt *i Række (i Serie)*. Tænker man sig f. Eks. tre Ledere med Modstandene r_1 , r_2 og r_3 anbragt som paa Fig. 21, siger man, at de er anbragt *parallel*; naar Strømmen kommer til A,

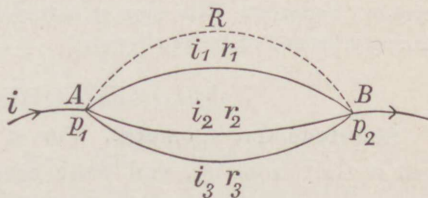


Fig. 21.

deler den sig i tre Dele i_1 , i_2 og i_3 , som igen forener sig ved B . De tre Grene kan erstattes med en enkelt Ledning, der har Modstanden R , saaledes at Strømstyrken (i) udenfor Forgreningen ikke forandres; R kaldes *Erstatningsmodstanden*. For en saadan Strømforgrening gælder de nedenfor anførte tre Love: (I), (II) og (III).

Ved Hjælp af fire Galvanometre, hvoraf det ene anbringes før eller efter Forgreningen, de andre i Grenene, kan man vise, at

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad (\text{I})$$

Man har ifølge Ohms Lov, idet Spændingerne i A og B kaldes p_1 og p_2 :

$$i_1 = \frac{p_1 - p_2}{r_1}, \quad i_2 = \frac{p_1 - p_2}{r_2}, \quad i_3 = \frac{p_1 - p_2}{r_3} \quad \text{og} \quad i = \frac{p_1 - p_2}{R}.$$

De tre første Ligninger giver:

$$i_1 r_1 = i_2 r_2 = i_3 r_3 \quad (= p_1 - p_2). \quad (\text{II})$$

Indsættes de anførte Udtryk for Strømstyrkerne i (I), faas efter Division med $p_1 - p_2$:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}. \quad (\text{III})$$

Ligninger af samme Form gælder, naar der er mere end tre Grene. Er der to Grene, faas

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2};$$

er f. Eks. $r_1 > r_2$, ses, at Erstatningsmodstanden er en ægte Brøk multipliceret med den mindste Modstand r_2 . *Erstatningsmodstanden er mindre end Modstanden i den Gren, der har mindst Modstand.*

Eksempel. Polerne paa et Batteri, der bestaar af 4 Elementer à 1,5 Volt og 0,2 Ohm, er forbundne med to parallelt indskudte Metaltraade paa 2 Ohm og 3 Ohm. Hvor stor er Metaltraadenes Erstatningsmodstand? Hvor stor er Strømstyrken i Batteriet? Hvor stor er Batteriets Klemmespænding? Hvor store er Strømstyrkerne i de to Metaltraade?

Shuntede Galvanometre. For at kunne maale større Strømstyrker med et Galvanometer, end dette egentlig er beregnet til, anbringes Galvanometret som den ene Gren i en Strømforgrening med to Grene

(Fig. 22). Modstanden i Grenen fra A gennem Galvanometret til B kaldes r_1 , Modstanden i den anden Gren (Shunten) r_2 . En bestemt Brøkdelen af Strømmen (i) i den Ledning, hvis Strømstyrke skal maales, gaar uden om Galvanometret gennem Shunten; hvor stor denne Brøkdelen er, beror paa Størrelsen af r_1 og r_2 .

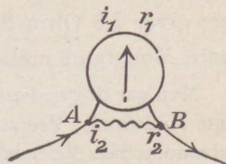


Fig. 22.

Et Taleksempel vil bedst oplyse Forholdene. Et Galvanometer efter Deprez d'Arsonvals System har Modstanden 1 Ohm, og hver Inddeling paa Skalaen betyder 0,001 Amp., naar Galvanometret bruges uden Shunt; vi vil beregne, hvor stor Modstanden (r_2) i Shunten skal være, for at et Udslag paa 1 Inddeling skal betyde en Strømstyrke i Ledningen paa 0,1 Amp. Med de sædvanlige Betegnelser (se Fig. 22) har vi da

$$i = i_1 + i_2 \quad \text{og} \quad i_1 r_1 = i_2 r_2.$$

Tænker vi os nu, at Strømstyrken i Ledningen er 0,1 Amp., er Strømstyrken i Galvanometret 0,001 Amp., og den første Ligning giver $i_2 = 0,099$ Amp.

Den anden Ligning giver

$$0,001 \cdot 1 = 0,099 \cdot r_2$$

hvoraf $r_2 = \frac{1}{99}$ Ohm.

Betragter vi det shuntede Galvanometer som eet Galvanometer, kan vi beregne dets Modstand af Ligning (III), Side 20, og faar

$$\frac{1}{R} = 1 + 99 \quad \text{d. v. s.} \quad R = \frac{1}{100} \text{ Ohm.}$$

Eksempel. Et Galvanometer har Modstanden 0,5 Ohm, og hver Inddeling betyder $\frac{1}{20}$ Amp. Hvor stor skal Modstanden i Shunten være, naar hver Inddeling skal betyde 1 Amp., og hvor stor er Modstanden i det shuntede Galvanometer?

Modstandsmaaling.

1. **Substitutionsmetoden.** Princippet i denne Metode er, at man danner et Kredsløb af et Element (Batteri), et Galvanometer og den

søgte Modstand; Galvanometrets Udslag aflæses. Derpaa erstattes den søgte Modstand med en Modstandskasse og i denne indskydes der Modstand, til Galvanometret saa vidt muligt gør samme Udslag som før; giver 5,3 Ohm for stort Udslag, 5,4 Ohm for lille Udslag, er den søgte Modstand mellem 5,3 og 5,4 Ohm.

Man gør dog bedst i straks at indskyde Modstandskassen sammen med den søgte Modstand. Ved at indskyde Modstand i Kassen kan man da sørge for, at Galvanometrets Viser ikke slaar saa stærkt ud, at den bliver bøjet; bruger man Tørelementer, maa man sørge for, at disse ikke giver saa stærk Strøm, at deres elektromotoriske Kraft forandrer sig under Forsøget (under 1 Amp.). Paa den anden Side maa Modstanden i Kredsløbet, den søgte Modstand fraregnet, ikke være større end nødvendigt, da Viseren ved store Modstande næsten ikke flytter sig, naar man ind- eller udskyder lille Modstand i Kassen.

2. **Wheatstones Bro.** Fig. 23 viser en Strømforgrening med Broen BD ; B er et fast Punkt, mens D kan forskydes langs ADC . Forskydes

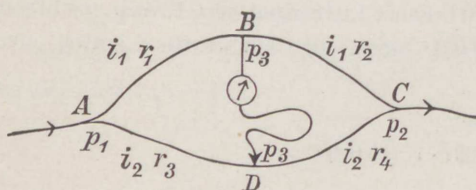


Fig. 23.

D , indtil det fintmærkede Galvanometer i Broen ikke gør Udslag, har B og D samme Spænding (p_3); Strømstyrken er nu ens i hele ABC (i_1) og i hele ADC (i_2). Man har da

$$i_1 = \frac{p_1 - p_3}{r_1} = \frac{p_3 - p_2}{r_2} \quad \text{og}$$

$$i_2 = \frac{p_1 - p_3}{r_3} = \frac{p_3 - p_2}{r_4}; \quad \text{ved Division faas}$$

$$\frac{r_1}{r_3} = \frac{r_2}{r_4}.$$

Fig. 24 viser, hvordan Apparatet ser ud; Bogstaverne svarer til Bogstaverne paa Fig. 23. Som Strømkilde benyttes et Par Tørelementer eller en Akkumulator. Den ene Gren AC

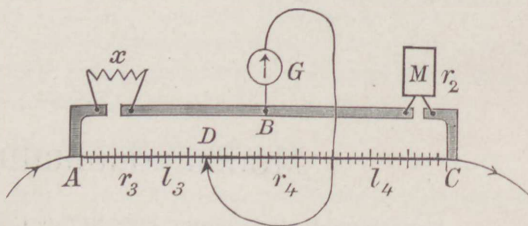


Fig. 24.

bestaar af en overalt lige tyk Traad med ikke for lille Modstand (ikke Kobber). Den søgte Modstand x svarer til r_1 , idet Resten af AB er saa tyk, at Modstanden kan sættes lig 0; i Modstandskassen M indskydes Modstanden r_2 , og i den øvrige Del af BC kan Modstanden sættes lig 0. Skyderen D forskydes, indtil Broen er strømløs. Kaldes Længderne af AD og DC henholdsvis l_3 og l_4 , har man

$$x = \frac{r_3}{r_4} \cdot r_2 = \frac{l_3}{l_4} \cdot r_2;$$

l_3 og l_4 aflæses paa en Maalestok, der er anbragt under AC , og da r_2 er bekendt, kan x beregnes; hvormange Decimaler man kan stole paa, beror paa Apparatets Finhed. Selv om Modstandskassen ikke indeholder Brøkdele af Ohm, faas den søgte Modstand altsaa med flere eller færre Decimaler; en Maaling med Wheatstones Bro giver nøjagtigere Resultater end Substitutionsmetoden. Modstanden r_2 vælges saaledes, at D saa vidt muligt er midt paa AC , naar Broen er strømløs; herved opnaas, at Aflæsningsfejlen saa vidt muligt faar samme Indflydelse (i Procent) paa l_3 og l_4 .

Vil man finde Modstanden i en Vædske, maa man passe paa, at Polarisationen ikke bevirker et galt Resultat. Benyttes f. Eks. Substitutionsmetoden, ses det let, at Polarisationsstrømmen svækker Batteristrømmen, saa at den fundne Værdi af Modstanden er for stor, med mindre der stadig er indskudt Vædske. Er saaledes de Plader, der dypper ned i Vædsken, ved første Aflæsning af Galvanometret anbragt i Stillingerne a og b (Fig. 25), ved anden Aflæsning i a og c , har Polarisationen hele Tiden virket, og man finder Modstanden i Vædsken mellem b og c . Bedre anvendes en Wheatstones Bro, som gennembløbes af Vekselstrømme fra et lille Induktionsapparat, hvorved Polarisationen undgaas. Galvanometret, som ikke gør Udslag for Vekselstrøm, maa erstattes med en Telefon; Skyderen forskydes, indtil Telefonen tier (giver svagest Lyd).

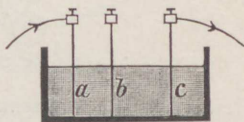


Fig. 25.

Bestemmelse af Elementers elektromotoriske Kraft og indre Modstand.

Et Elements elektromotoriske Kraft kan — som ofte omtalt — maales med Voltmeter. En anden Metode, **Kompensationsmetoden**, gaar ud paa at ophæve den søgte Spændingsforskel ved Hjælp af en lige saa stor, bekendt Spændingsforskel. Som Eksempel vil vi forklare, hvorledes man paa denne Maade kan finde den elektromotoriske Kraft E for et Element Kul — Vand — Zink, hvis Modstand er saa stor, at Voltmeter ikke kan bruges.

Paa Fig. 26 er BC en Metaltraad (f. Eks. paa 10 Ohm), *Maaletraaden*, hvorigennem der gaar Strøm fra en Akkumulator (A). Spændingsfor-

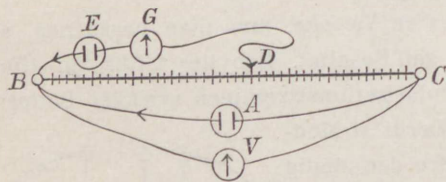


Fig. 26

skellen mellem B og C maales med Voltmetret V ; er den e Volt ($e < 2$), og er Maaletraaden 1000 mm lang, er Spændingsfaldet pr. mm $\frac{e}{1000}$ Volt. I Ledningen $BEGD$ er E Vand-elementet, der ligesom A sender Strøm mod B , G er et fintmærkende Galvanometer og D en Skyder, der kan forskydes langs Maaletraaden. D forskydes indtil G ikke længer gør Udslag, og den elektromotoriske Kraft i $BEGD$ maa nu være lig Spændingsfaldet langs Maaletraaden fra B til D . BD aflæses i mm, og man har

$$E = BD \cdot \frac{e}{1000} \text{ Volt.}$$

(En lidt ændret Fremgangsmaade, se Chr. og S. praktiske Øvelser Side 70).

Modstanden (x) i et Element (E) kan findes ved at sætte Elementet i Forbindelse med en Modstandskasse (M) og et Voltmeter (V), saa-

ledes som Fig. 27 viser. Forbindelsen mellem Element og Modstandskasse er fra først af afbrudt, og Elementets elektromotoriske Kraft E aflæses paa Voltmetret. Derpaa sluttes Forbindelsen mellem Element og Modstandskasse, efter at man i Modstandskassen har indskudt en Modstand r , og Elementets Klemmespænding (K) aflæses paa Voltmetret. Man har da, idet Modstandene i Traadene a og b kaldes a og b :

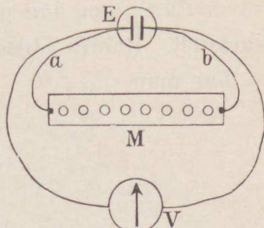


Fig. 27.

$$i = \frac{E}{x + a + b + r} = \frac{K}{a + b + r}$$

hvoraf

$$\frac{E - K}{x} = \frac{K}{a + b + r};$$

heraf beregnes x , idet Modstandene a og b kan beregnes af Traadenes Længde, Tykkelse og specifikke Modstand eller findes med Wheatstones Bro. — Den søgte Modstand kan ogsaa findes med Wheatstones Telefonbro.

Elementers Kombination.

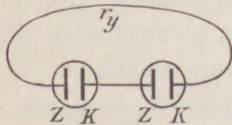


Fig. 28.

$2 E$ og dets Modstand $2r_i$ (Fig. 28). Sammensættes de parallelt — de positive Poler forbindes, ligeledes de negative, saaledes som paa Fig. 29 — svarer Batteriet til eet Element med dobbelt saa store Plader som et enkelt Element og har altsaa den elektromotoriske Kraft E og Modstanden $\frac{1}{2} r_i$.

To Elementer har begge den elektromotoriske Kraft E og den indre Modstand r_i ; sammensættes de i Række — den positive Pol i det ene forbindes med den negative Pol i det andet — er Batteriets elektromotoriske Kraft

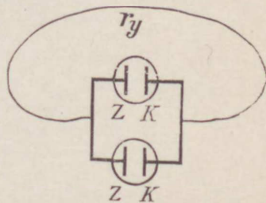


Fig. 29.

n Elementer kan paa samme Maade sammensættes i Række eller parallelt. Kaldes Strømstyrken i første Tilfælde i_1 , i andet Tilfælde i_2 , har man

$$i_1 = \frac{nE}{nr_i + r_y} \quad (1)$$

$$i_2 = \frac{E}{\frac{r_i}{n} + r_y} = \frac{nE}{r_i + nr_y} \quad (2)$$

Vi vil nu undersøge, hvilken Kombination der giver stærkest Strøm i en given ydre Ledning med Modstand r_y , d. v. s. om

$$\frac{nE}{nr_i + r_y} \geq \frac{nE}{r_i + nr_y},$$

men dette er det samme som at undersøge, om:

$$nr_i + r_y \leq r_i + nr_y$$

eller om

$$(n-1)r_i \leq (n-1)r_y$$

men dette beror paa, om

$$r_i \leq r_y.$$

Heraf ses, at de to Kombinationer giver *samme Strømstyrke*, naar den ydre Modstand er lige saa stor som Modstanden i eet Element. Naar $r_i < r_y$ — og dette er det almindelige — er det fordelagtigst at sætte Elementerne i Række; kun naar $r_i > r_y$, er det fordelagtigst at sammensætte dem parallelt. — Af (1) ses, at n Elementer giver omtrent n Gange saa stærk Strøm som eet Element, hvis Batteriets Modstand ($n \cdot r_i$) er lille i Sammenligning med den ydre Modstand.

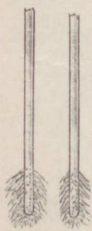
Eksempel. 10 Elementer à 1,5 Volt og 0,1 Ohm sender Strøm gennem en ydre Ledning paa 0,5 Ohm. Beregn Strømstyrken, naar Elementerne anbringes i Række, og naar de anbringes parallelt.

ANDET AFSNIT

Magnetisme.

Magneter laves som bekendt af Staal: i den ene Ende er der Nordmagnetisme, i den anden Sydmagnetisme, og det forudsættes bekendt, at ensartede Magnetismer frastøder hinanden. uensartede tiltrækker hinanden. En *Kompasnaal* eller *Deklinationsnaal* er en Magnet, der er anbragt paa en Spids, saa at den kan dreje sig i et vandret Plan. En *Hældningsnaal* eller *Inklinationsnaal* er en Magnet, der kan dreje sig om en vandret Akse gennem Tyngdepunktet.

Magnetismemængde. Dypper man en Magnet i Jærnsaaen, hænger der flest Saaen ved Enderne af Magneten, færre og færre hen mod Midten; paa de Steder, hvor der hænger flest ved, siger man, at der er mest Magnetisme; man kan altsaa tale om større eller mindre Mængder af Magnetisme.



A B

Fig. 30.

Paa en godt magnetiseret Strikkepind hænger der kun Jærnsaaen ved Enderne, og lad os tænke os, at to Strikkepinde (Fig 30), hvor A og B f. Eks. begge er Nordender, er magnetiseret saaledes, at der saa vidt muligt hænger Jærnsaaen ved paa lige lange Strækninger, men flere paa A end paa B; A har altsaa mest Magnetisme. Anbringer man nu A og B — først den ene, saa den anden — paa samme Sted et Stykke fra en Kompasnaals Nordende, viser det sig,

at denne paavirkes stærkest af A ; den fra den største Magnetismemængde udgaaende Kraft er altsaa den største. Paavirker A og B Kompasnaalen lige stærkt, siger man, at de har lige store Magnetismemængder; at to uensartede Magnetismemængder er lige store, vil sige, at de anbragt paa samme Sted paavirker — og selv paavirkes af — en tredje Magnetismemængde med samme Kraft. Holder man A eller B i forskellige Afstande fra Kompasnaalen, er dennes Udslag mindst, naar Afstanden er størst; Virkningen afhænger altsaa ogsaa af Afstanden.

Heraf fremgaar, at man kan maale Størrelsen af en Magnetismemængde ved dens Virkning paa en bestemt Magnetismemængde i en bestemt Afstand. Man har vedtaget følgende Definition: **Magnetismemængden 1 er den Mængde, som paavirker en anden lige saa stor Mængde i 1 cm's Afstand med Kraften 1 Dyn.** Enheden kaldes den absolutte Enhed, fordi den er maalt i det absolutte Maalesystem (C. G. S. Systemet). Magnetismemængden m er den Mængde, som paavirker Enheden med Kraften m Dyn, naar Afstanden er 1 cm. De to Magnetismemængder tænkes samlet i to Punkter (meget smaa Rum).

En Magnets Poler er de to Punkter, hvori Nord- og Sydmagnetisme skulde koncentrerer, for at Magnetens Virkninger udadtil skulde blive uforandret. NS (Fig. 31)

forestiller en tynd Staal-magnet; n er et Punkt med Nordmagnetisme. Tænk vi os den Del af NS , som har Nordmagnetisme, delt i en Mængde smaa Flader, frastødes n af hver af disse Flader, mens Fladerne selv frastødes af n med lige saa store og modsat rettede Kræfter, hvis Resultant R_1 har Angrebepunkt P . Resultanten R af de paa n virkende Kræfter maa være lig R_1 og gaa i modsat Ret-

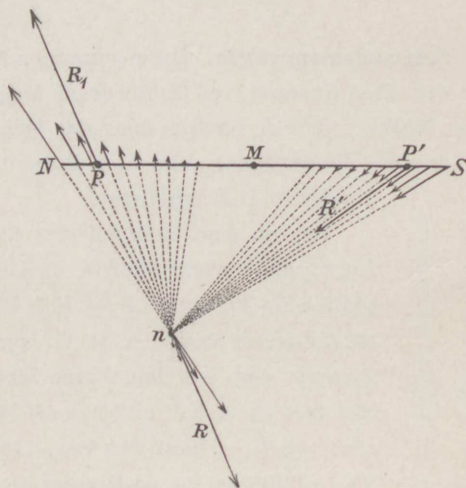


Fig. 31.

ning, saa at P bliver det Punkt, hvor Staalmagnetens Nordmagnetisme maatte være koncentreret, naar Virkningen paa n skulde være uforandret; paa samme Maade bestemmes Magnetens Sydpol P' . Hvis n forandrer Plads, flytter P og P' sig lidt, saa at der bliver noget ubestemt ved Begrebet Poler; kun naar n er saa langt borte, at de paa n virkende Kræfter omtrent er parallelle, kan P og P' betragtes som fastliggende Punkter.

Linien fra P til P' kaldes *Magnetens Akse*. Et lodret Plan gennem Kompasnaalens Akse kaldes *det magnetiske Meridianplan*.

En Magnets to Poler indeholder lige meget Magnetisme. Anbringes nemlig en Magnet paa et Stykke Kork, der svømmer paa Vand, indstiller den sig i samme Retning som en Kompasnaal, men bevæger sig ellers ikke under Paavirkning af Jordmagnetismen; da Magnetens Størrelse er forsvindende i Sammenligning med Jorden, kan man betragte dens Poler som sammenfaldende, og indeholdt de tilsammen f. Eks. et Overskud af Nordmagnetisme, maatte Magneten bevæge sig mod Nord.

Ved en Magnets **magnetiske Moment** forstaas Produktet af Magnetismemængden m i en af Polerne og Polernes Afstand l ; Momentet er altsaa ml . Som Eksempel anføres, at m for en godt magnetiseret Strikkepind, der er 1 mm tyk og 20 cm lang, er ca. 20; da Polerne ligger nær ved Enderne, er dens Moment henved 400.

Brækkes en Magnet over paa Midten, faar man to Magneter, hver med sin Nordpol og Sydpol; midt paa den oprindelige Magnet har der altsaa været en Sydpol og en Nordpol, der ophævede hinanden. Fortsætter man Delingen af Magneten, har de fremkomne Stykker stadig Nordpol og Sydpol, og man kom derfor tidligt paa den Tanke, at Stoffer, der som Jærn, Staal og Nikkel kan blive magnetiske, er

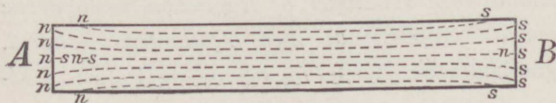


Fig. 32.

opbygget af Smaadele, der *altid* er magnetiske; naar et af Stofferne er umagnetiske,

ligger Smaamagneterne (Molekylarmagneterne) i Uorden og ophæver hinandens Virkninger udadtil. Stryges en Staalstang (Fig. 32) gentagne Gange med en Nordpol fra A mod B , drejer Smaamagneterne sig mere

og mere, saa at deres Sydpoler — som antydte paa Figuren — tilsidst omtrent vender samme Vej (mod B), og Staalstangen faar Poler i Enderne. Jærn magnetiseres let, Smaamagneterne drejes let, men det mister næsten hele Magnetismen, naar den magnetiserende Kraft fjernes, mens Staal beholder Magnetismen. — Elektromagnet bestaar som bekendt af blødt Jærn, beviklet med isoleret Kobbertraad; de kan blive langt kraftigere end Staalmagneter. Beviklingen kan enten bestaa af faa Vindinger af tyk Traad eller mange Vindinger af tynd Traad; det sidste foretrækkes f. Eks., naar Strømkilden er Tørelementer, fordi disse kun taaler at give svag Strøm, hvis ringe Virkning dog for største Delen opvejes ved, at der er mange Vindinger.

Alle Stoffer paavirkes af Magnetisme, men ofte paa en helt anden Maade end man skulde vente efter det foregaaende. Dette kan lettest vises med en lille Vismutstang. Paa Polerne af en Elektromagnet er der anbragt to Polsko, i hvis Spidser der opstaar kraftige Poler, n og s , naar der sendes Strøm gennem Elektromagneten; Vismutstangen er ophængt i et Silkespind, saaledes som Fig. 33 viser. Var Stangen af Jærn, vilde den, naar Strømmen sluttes, faa Sydpol nærmest n , Nordpol nærmest s , og blive staaende i den Stilling, den har; men Vismutstangen slaar ud og stiller sig vinkelret paa Forbindelseslinien mellem n og s . Stoffer, der forholder sig som Vismut, kaldes *diamagnetiske*.

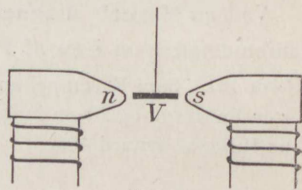


Fig. 33.

Coulombs Lov. To Magnetpoler paavirker hinanden med en Kraft, der er ligefrem proportional med Produktet af Magnetismemængderne i de to Poler og omvendt proportional med Afstandens Kvadrat. Kaldes Kraften K , Magnetismemængderne m_1 og m_2 og Polernes Afstand a , har man:

$$K = k \cdot \frac{m_1 m_2}{a^2},$$

hvor k er en Konstant, der afhænger af, hvilke Enheder man maaler i. Maales K i Dyn, a i cm, m_1 og m_2 i den før nævnte Enhed for

Magnetismemængde, ved vi, at for $m_1 = m_2 = 1$ og $a = 1$ cm skal K blive 1 Dyn, og man maa altsaa have $k = 1$. Man har da

$$K = \frac{m_1 m_2}{a^2} \text{ Dyn.}$$

Første Del af Loven følger af Definitionen paa Magnetismemængde. Thi hver af Enhederne i m_1 paavirker i Afstanden a hver af m_2 's Enheder med en Kraft, som vi kan kalde p , hver Enhed i m_2 paavirkes altsaa af en Kraft $m_1 p^*$), tilsammen paavirkes de af en Kraft $m_1 m_2 p$, d. v. s. *hele Kraften er proportional med Magnetismemængdernes Produkt.*

Anden Del af Loven — om Afstanden — maa bevises ved Forsøg. Dette sker paa den Maade, at man benytter to Magneter — enkelte Poler kan vi jo ikke skaffe til Veje —, gaar ud fra, at Loven er rigtig, beregner de to Magneters Virkning paa hinanden og derpaa prøver, om de beregnede Virkninger stemmer med Forsøg. I det følgende Afsnit (Gauss' Hovedstilling) foretages Beregningerne, og Forsøgets Udførelse forklares.

Gauss' Hovedstilling. En kort Kompasnaal ns staar i det magnetiske Meridianplan, Magneten NS anbringes i ikke for lille Afstand, saaledes at Forlængelsen af dens Akse træffer vinkelret paa Midten af ns . Magnetismemængderne i N og S kaldes m , i n og s m_1 , Afstanden mellem Polerne N og S kaldes $2l$, Afstanden mellem Magneternes Midtpunkter

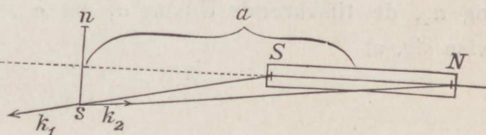


Fig. 34.

a og den store Magnets magnetiske Moment M . s paavirkes af S og N med Kræfterne k_1 og k_2 , og da ns er lille, kan vi regne med, at k_1 og k_2 gaar i hinandens Forlængelse og staar vinkelret paa ns ; for deres Resultant k faar vi da følgende Udtryk

$$k = k_1 - k_2 = \frac{m m_1}{(a-l)^2} - \frac{m m_1}{(a+l)^2} = m m_1 \cdot \frac{4al}{(a^2 - l^2)^2} = \frac{2M m_1 a}{(a^2 - l^2)^2}.$$

n paavirkes af en lige saa stor Kraft i modsat Retning, og Naalen gør et Udslag α , som kan maales med en Viser, der er anbragt vinkel-

*) Egentlig et Aksiom, fordi Afstanden ikke er 1 cm.

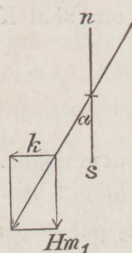


Fig. 35.

ret paa Midten af ns og peger paa en inddelt Skala. Da ns er kort, ser vi bort fra den Forandring i k 's Størrelse, der fremkommer ved, at s flytter sig. I den ny Stilling (Fig. 35) paavirkes s af Kræfterne k og Hm_1 , hvor H er Jordmagnetismens Horisontalintensitet, d. v. s. den Kraft, hvormed Jordmagnetismen paavirker Enhed af Magnetisme i vandret Retning. Resultanten af k og Hm_1 maa gaa i Kompassnaalens Forlængelse, og man har da

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k}{Hm_1} = \frac{2Ma}{H \cdot (a^2 - l^2)^2} = \frac{2M}{Ha^3};$$

det sidste Udtryk for $\operatorname{tg} \alpha$ forudsætter, at l^2 er lille i Sammenligning med a^2 .

Eksempel. I Beviset for Formlen er det forudsat, at k_1 og k_2 gaar i hindandens Forlængelse og er vinkelrette paa ns , samt at Ss = Afstanden fra S til Midten af ns . For at faa et Skøn over Fejlens Størrelse, beregnes $\angle SsN$ (Fig. 34), Vinklen mellem k_1 og sn samt Længden af Ss for $a = 40$ cm, $2l = 10$ cm og $ns = 1$ cm.

Coulombs Afstandslov. Lovens Rigtighed prøves ved at gøre Forsøg med Kompassnaal og Magnet i Gauss' Hovedstilling. Kaldes Afstandene mellem Magneternes Midtpunkter i to Forsøg a_1 og a_2 , de tilsvarende Udslag α_1 og α_2 , skal det med Tilnærmelse vise sig, at

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{a_1 \cdot (a_2^2 - l^2)^2}{a_2 \cdot (a_1^2 - l^2)^2}.$$

Gauss' Hovedstilling kan benyttes til at bestemme en Magnets magnetiske Moment M , naar H forudsættes bekendt (0,174 Dyn), eller til at finde Forholdet mellem to Magneters Momenter.

Magnetisk Felt. Ved en Magnets Felt forstaas det Rum, indenfor hvilket Magnetens Virkninger kan paavises; Feltet strækker sig teoretisk set i det uendelige, men i Praksis kan Virkningerne selv med fine Maaleapparater ikke paavises i ret lang Afstand.

Ved Intensiteten i et Punkt af Feltet forstaas den Kraft, maalt i Dyn, hvormed en Nordpol med Enhed af Magnetisme vilde paavirkes, hvis den blev anbragt i Punktet. Kaldes Intensiteten I og anbragte man i Punktet en Pol med Magnetismen m , vilde Polen paavirkes af en Kraft Im , idet hver af Enhederne paavirkes af en Kraft I .

Kraftlinier. Paa Fig. 36 forestiller NS en Staalmagnet, hvorover der er lagt et Stykke Papir; paa dette ligger der en meget kort Jærns-paen ns , hvis Poler n og s er frembragt af Magneten. s paavirkes af Magnetens Poler med to Kræfter, hvis Resultant er K , og Spaanens anden Ende paavirkes ligeledes af en Resultant K_1 , der er lig og parallel med K . Banker man paa Papiret, hopper Spaanen lidt op, Gnidningsmodstanden mellem Spaan og Papir formindskes, og Spaanen indstiller sig i Kraftretningen.

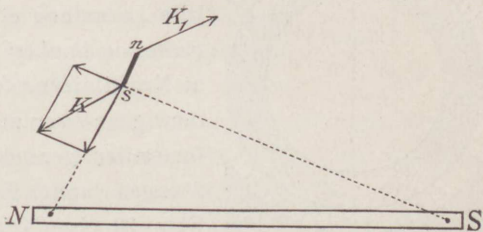


Fig. 36.

Drysser man Jærnfils-paaner paa Papiret og banker svagt paa det, indstiller Spaanerne sig overalt i Kraftretningen, og man ser, at der dannes Kurver, de saakaldte Kraftlinier; Kraften i et Punkt af Feltet

er Tangent til den Kraftlinie, der gaar gennem Punktet.

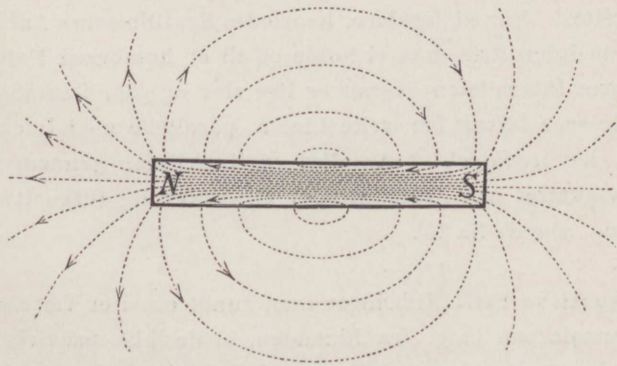


Fig. 37.

Paa Fig. 37 er der tegnet nogle Kraftlinier, de fortsættes gennem Staalmagneten, hvor man kan

tænke sig Smaamagneterne trædende i Jærnspeenernes Sted; *Kraftlinierne er lukkede Kurver.*

Ved en *Kraftlinies Retning forstaas den Retning, hvori en i Kraftlinien anbragt Nordpol paavirkes.* Kraftlinierne gaar altsaa fra Magnetens Nordpol gennem Luften til Sydpolen, i Magneten gaar de fra Sydpol gennem Staalet til Nordpol; samme Regel gælder for magnetisk Jærn.

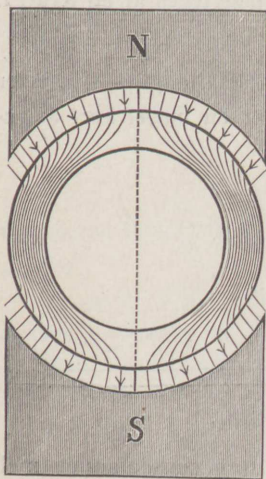


Fig. 38.

Lægger man ved Forsøget, Fig. 37, en lille Jærnstang et Stykke fra Magnetens ene Ende, og banker man paa Papiret, ser man at Kraftlinierne forandrer Form. En Del af dem gaar over mod Jærnstangens ene Ende, fortsættes gennem Jærnet og træder ud af Stangens anden Ende; de *indsuges* af Jærnet. Figur 38 viser Kraftliniernes Gang mellem to Magnetpoler, N og S, mellem hvilke der ligger en Jærnring.

Ifølge det foregaaende kan man sige, at **Kraftlinier er Kurver med den Egenskab, at Tangenten til et vilkaarligt Punkt angiver Kraftretningen i Punktet, regnet i den Retning, hvori en Nordpol vilde paavirkes, hvis den blev anbragt i Punktet.** Men Kraftlinierne i et Felt angiver mere end Kraftretningen, idet Feltets Intensitet er størst dér, hvor Kraftlinierne ligger tættest. For at forklare, hvorledes Kraftliniernes Antal kan angive Feltets Intensitet, maa vi holde os til et **homogent Felt**, d. v. s. et Felt, hvor Intensiteten overalt er lige stor og gaar i samme Retning. Kraftlinierne bliver her rette Linier, parallelle med Intensiteten, og man har *vedtaget*, at **Antallet af Kraftlinier gennem 1 cm², der staar vinkelret paa Kraftlinierne, skal være lig Intensiteten, maalt i Dyn.** (Opgave Nr. 10).

Jordens magnetiske Felt. Anbringer man rundt om i et Værelse nogle Hældningsnaale saa langt fra hinanden, at de ikke paavirker hinanden, og saaledes, at enhver af Naalene kan dreje sig i sit magnetiske Meridianplan, stiller de sig indbyrdes parallelle og danner en

Vinkel paa $68\frac{1}{2}^{\circ}$ med det vandrette Plan; Nordpolerne vender nedad. Hældningsnaalene svarer til Jærnsnaalerne i Forsøget over en Magnets Kraftlinier og viser Retningen af Kraftlinierne i Værelset. I et Rum med ikke for stor Udstrækning kan Jordens magnetiske Felt betragtes som homogent; dets Intensitet I er 0,47 Dyn.

Opløses I (Fig. 39) i en vandret Komposant H og en lodret Komposant V , kaldes H *Horisontalintensiteten*, V *Vertikalintensiteten*, og Vinklen mellem H og I er $68\frac{1}{2}^{\circ}$; denne Vinkel kaldes som bekendt *Hældningen* eller *Inklinationen* og defineres som Vinklen mellem Hældningsnaalens Akse og det vandrette Plan, naar Hældningsnaalen er indstillet saaledes, at den kan dreje sig i det magnetiske Meridianplan. *Misvisningen* eller *Deklinationen* er Vinklen mellem Kompasnaalens Akse og Retningen geografisk Nord—Syd. (Opgave Nr. 11 og Nr. 12.)

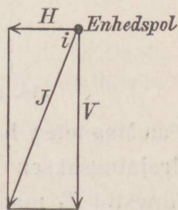


Fig. 39.

I et særlig stærkt magnetisk Felt er Intensiteten ca. 50000 Dyn; det frembringes mellem Polskoene paa en kraftig Elektromagnet, naar Polskoenes Endeflader har en Afstand paa et Par Millimeter og en Diameter paa f. Eks. 5 mm. I store Jævnstrømsdynamoer er Feltets Intensitet 10000—20000 Dyn.

Bestemmelse af Horisontalintensiteten H . En Deklinationsnaal og en større Magnet anbringes i Gauss' Hovedstilling; man har da med de sædvanlige Betegnelser

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 Ma}{H \cdot (a^2 - l^2)^2}, \quad (1)$$

α , a og l maales.

Den store Magnet ophænges i et Bundt Silkespind saaledes, at den kan dreje sig i et vandret Plan, og dens Svingningstid T maales. I den mekaniske Fysik bevises, at der for et Penduls Svingningstid gælder Formlen

$$T = \pi \sqrt{\frac{A}{D}},$$

hvor A er Inertimomentet med Hensyn til Omdrejningsaksen og D Drejningsmomentet, naar Pendulet drejes 90° ud fra Hvilestillingen. Paa

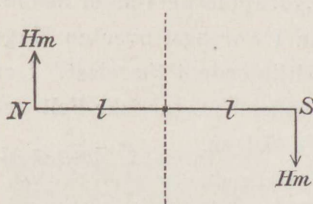


Fig. 40.

Fig. 40 angiver den punkterede Linie Retningen magnetisk Nord—Syd og af Figuren ses, at

$$D = Hm \cdot 2l = HM,$$

saa at man har

$$T = \pi \sqrt{\frac{A}{HM}}. \quad (2)$$

Paa Magneten hænges nu to Messingvægte p hver paa sin Side af Omdrejningsaksen i Afstanden b fra denne, og den ny (større) Svingningstid T_1 maales. Man har da

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{A + 2pb^2}{HM}}. \quad (3)$$

Af (1), (2) og (3) beregnes H , som er knap $\frac{1}{3}$ Dyn, nøjagtigere 0,174 Dyn (ved Division af (3) med (2) findes A , (1) og (2) giver da $M:H$ og HM). Ved Hjælp af Hældningen findes let I og V , se Fig. 39. (Opgave Nr. 13).

Forandringer i Misvisning og Hældning. Linier gennem Steder med samme Misvisning kaldes *Isogoner*; deres Hovedretning er Nord—Syd, men deres Form er uregelmæssig. Isogonen med Misvisning 0, *Agonen*, gaar mod Øst omtrent gennem Petrograd, mod Vest gennem Amerika. Paa de magnetiske Poler (Boothia Felix og et Sted Syd for Australien) er Misvisningen ubestemt, fordi Retningen magnetisk Nord—Syd er ubestemt, paa de geografiske Poler er den ligeledes ubestemt, fordi Retningen geografisk Nord—Syd er ubestemt.

Linier gennem Steder med samme Hældning kaldes *Isokliner*, deres Hovedretning er Øst—Vest. I *Aklinen* er Hældningen 0, den ligger i Nærheden af Ækvator. Paa de magnetiske Poler er Hældningen 90° og bliver mindre, efterhaanden som man nærmer sig til Aklinen; Nord for denne vender Nordpolen nedad, Syd for denne vender Sydpolen nedad.

Misvisningen forandrer sig i Tidernes Løb. Hos os var den en Gang østlig, i 1660 blev den 0; derefter blev den vestlig, naaede sin største Værdi i 1807 ($18\frac{1}{2}^\circ$) og er siden den Tid stadig bleven mindre. Nu er den i København knap 9° . Hældning og Intensitet forandrer sig ogsaa i Tidernes Løb.

I Dagens Løb finder der smaa Svingninger Sted i Misvisning og Hældning. De kan være ret betydelige, særlig i Polaregnene, samtidig med at der er stærke Nordlys.

Linier gennem Steder med samme Intensitet kaldes *Isodynamer*, deres Hovedretning er Øst—Vest.

Som Eksempel paa de aarlige Forandringer anføres følgende Værdier fra det magnetiske Observatorium i Rude Skov ved Holte; Tallene gælder for Midten af det paagældende Aar:

	Deklination	H	Inklination
1909.	9° 35,9'	0,17386	68° 43,9'
1910.	9° 28,7'	0,17375	68° 44,2'
1911.	9° 20,4'	0,17359	68° 44,8'
1912.	9° 12,2'	0,17342	68° 45,4'

Den elektriske Strøms magnetiske Felt.

Ørsteds bekendte Forsøg viser, at der er et magnetisk Felt uden om en Leder, hvorigennem der gaar Strøm; Kraftretningen bestemmes som før omtalt ved Holtens Regel: Hold højre Haand tæt ved Strømmen med Haandfladen mod Nordpolen og Fingerspidserne i Strømmens Retning; Nordpolen paavirkes da til Tommelfingersiden.

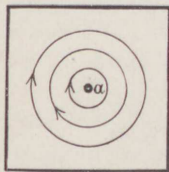


Fig. 41.

Kraftlinierne kan paavises ved at stikke en lodret Kobbertraad gennem et lille Hul a i en vandret Papplade med Jærnsplaner og sende en stærk Strøm gennem Traaden. Banker man paa Papiret, ser man, at Kraftlinierne er Cirkler; deres Retning findes ved at tænke sig en Nordpol anbragt et Sted i en Kraftlinie og anvende Holtens Regel. Gaar Strømmen fra Læseren

ned gennem a , viser Pilene Kraftliniernes Retning. De bliver dog selv med stærk Strøm ret utydelige og ses bedst ved at lægge Kobbertraaden vandret paa et Bord og Papiret med Jærnsplaner ovenpaa (Fig. 42).

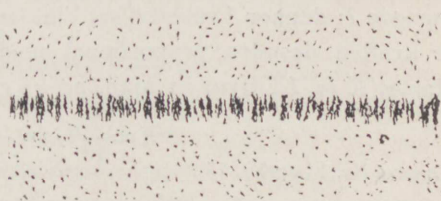


Fig. 42.

Naar en Strøm paavirker en Pol, maa Polen ifølge Sætningen om Aktion og Reaktion ogsaa paavirke Strømmen; ved Forsøg kan dette vises saaledes. Vinkelret paa Midten af Magneten NS (Fig. 43) er der

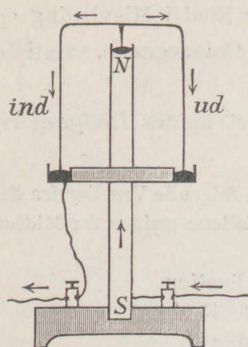


Fig. 43.

anbragt en cirkelformet Rende med Kvægsølv; den er isoleret fra Magneten. En Bøjle af Kobbertraad har foroven en Spids, der hviler i en Fordybning i Staal magnetens øverste Ende; en Draabe Kvægsølv i Fordybningen frembringer god ledende Forbindelse mellem Magnet og Spids. Bøjle's fri Ender dypper lidt ned i Kvægsølvet i Renden. Sendes der Strøm gennem Apparatet i Pilenes Retning, drejer Bøjlen sig i den Retning, som Holtens Regel og Sætningen om Aktion og Reaktion forlanger.

Lillefinger-Reglen. Reglen om en Magnets Virkning paa en Strøm kan udtrykkes ved Hjælp af Kraftlinier. Paa Fig. 44 forestiller *ab* et Stykke af en Ledning anbragt i et magnetisk Felt. Paa samme Maade som i foregaaende Forsøg ses let, at en Strøm fra *a* mod *b* paavirkes af Polerne med en Kraft, der gaar ind mod Papiret. Reglen lyder da: **Hold højre Haand med Haandfladen mod Kraftlinierne og Fingerspidserne i Strømretningen; Strømmen paavirkes da af en Kraft, der gaar til Lillefingersiden.** Er det Lederstykket, man taler om, retlinet og vinkelret paa Kraftlinierne i et *homogent* Felt, er Kraften *K* ligefrem proportional med Strømstyrken *i*, Feltets Intensitet *I* og Lederstykkets Længde *l*; danner Lederstykket Vinklen *v* med Kraftliniernes Retning, er Kraften desuden proportional med $\sin v$ og altsaa 0 for $v=0$. Maales *K* og *I* i Dyn, *i* i Amp. og *l* i cm, er Formlen for *K*:

$$K = \frac{1}{10} I \cdot i \cdot l \cdot \sin v.$$

(Opgave Nr. 14 og Nr. 15).

Biot og Savarts Lov. Bruges samme Betegnelser som ovenfor, men betyder *l* et meget kort Lederstykke, et *Strømelement*, paavirker dette en Pol med Magnetismen *m* i Afstanden *a* cm med en Kraft

$$K = \frac{1}{10} \cdot \frac{i \cdot l \cdot m \cdot \sin v}{a^2}.$$

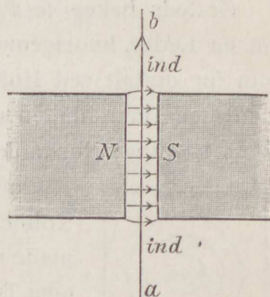


Fig. 44.

Strømelementet paavirkes med en lige saa stor Kraft i modsat Retning, og Kræfterne er vinkelret paa Forbindelseslinien mellem Pol og Strømelement. Formlen stemmer med den foregaaende; thi m har et Felt, hvis Intensitet I paa det Sted, hvor Strømelementet er, findes ved at anbringe en Enheds-pol paa I 's Plads, og I bliver $\frac{m \cdot 1}{a^2}$. Erstattes denne Stør-

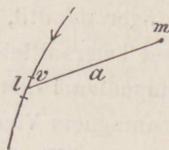


Fig. 45.

relse i sidste Ligning med I , faas den foregaaende Ligning. (Opgave Nr. 16.)

Strømmes Virkning paa hinanden. Paa Fig. 46 forestiller $abcdef$ en Strømpolygon, hvis Ender ved a og f dypper ned i to smaa Jærnskaale med Kvægsølv, dens Tyngdepunkt ligger i den punkterede Omdrejningsakse. Polygonen er en Solenoide med een Vinding; ledes der Strøm gennem den i den Retning, som Figuren viser, forholder den sig som en tynd magnetisk Plade med Nordpol paa den ene Flade, Sydpol paa den anden, og indstiller sig saaledes, at dens Plan staar vinkelret paa det magnetiske Meridianplan. Holdes en Strøm ud for og parallel med bc , og holdes den derefter vandret mellem dc og Apparatets Grundbræt, saaledes at den danner en Vinkel med dc , ser man, at **parallelle Strømme i samme Retning tiltrækker hinanden, parallelle Strømme i modsat Retning frastøder hinanden; krydser Strømmene hinanden, søger de at stille sig parallelle gaaende i samme Retning.**

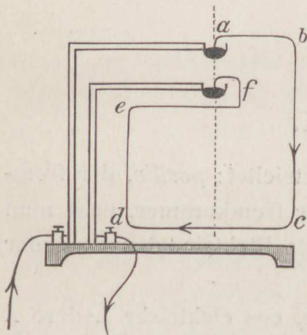


Fig. 46.

Ampères Teori. De tidligere omtalte Molekylarmagneters Magnetisme skyldes elektriske Strømme, som altid kredser omkring Molekylerne. I magnetiske Stoffer er disse Strømme drejet saaledes, at de omtrent er parallelle og løber samme Vej. Fig. 47 forestiller et Tværsnit af en Magnet; inde i denne gaar nærliggende Strømme i modsat Retning og ophæver hinandens Virk-

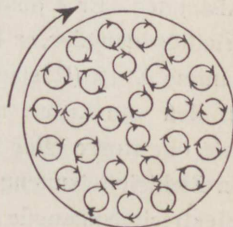


Fig. 47.

ninger udadtil, mens de ydre Dele af Molekylarstrømmene, der ligger ved Tværnittets Rand, tilsammen danner en Strøm, der gaar rundt om Magneten i den store Pils Retning. Sendes der Strøm gennem en Elektromagnets Vindinger, indstiller Molekylarstrømmene sig omtrent i Plan med Vindingernes Planer og med samme Strømretning som i Vindingerne, overensstemmende med ovenstaaende Regel om Strømme, der krydser hinanden; afbrydes Strømmen, frastøder nærliggende Stykker af Molekylarstrømmene hinanden, og disse kommer i Uorden (Molekylarstrømmenes Art omtales under magnetiske Bølger).

Elektrostatik.

Man taler som bekendt om to Slags Elektricitet: *positiv*, der fremkommer, naar man gnider Glas, *negativ*, der fremkommer, naar man gnider Ebonit med en ulden Klud; ensartede Elektriciteter frastøder hinanden, uensartede tiltrækker hinanden.

Anbringer man to kongruente, isolerede, ens elektriske Ledere *A* og *B* — først den ene, saa den anden — paa samme Plads, et Stykke fra en lille elektrisk Kugle, der hænger i en Silketraad, siger man, at *A* og *B* indeholder samme Elektricitetsmængde, hvis den lille Kugle i begge Tilfælde paavirkes af samme Kraft og gør samme Udslag. Frembringer *A* størst Udslag, siger man, at *A* har mest Elektricitet. Stiller man *A* og *B* i forskellige Afstande fra Kuglen, er dennes Udslag mindst, naar Afstanden er størst, d. v. s. Kraften afhænger af Afstanden. Er *A* positiv, *B* negativ elektrisk, siger man, at de to Elektricitetsmængder er lige store, hvis de paavirker den lille Kugle med samme Kraft (Udslaget bliver her ikke ens, fordi Kuglen nærmer sig til den ene Leder, men fjerner sig fra den anden). Man kan altsaa tale om større eller mindre Mængder af Elektricitet, og Størrelsen af en Elektricitetsmængde kan maales ved dens Virkning paa en bestemt Elektricitetsmængde i en bestemt Afstand. Man har vedtaget følgende Definition: **Elektricitetsmængden 1 er den Mængde, som paavirker**

en anden lige saa stor Mængde i 1 cm's Afstand med Kraften 1 Dyn; Enheden kaldes den absolutte elektrostatiske Enhed. Elektricitetsmængden q er den Mængde, som paavirker Enheden med Kraften q Dyn i Afstanden 1 cm. Elektricitetsmængderne tænkes samlet i to Punkter (meget smaa Rum).

Coulombs Lov. *To Elektricitetsmængder paavirker hinanden med en Kraft, der er ligefrem proportional med Elektricitetsmængdernes Produkt og omvendt proportional med Afstandens Kvadrat. Kaldes Kraften K , Elektricitetsmængderne q_1 og q_2 , deres Afstand a , har man*

$$K = k \cdot \frac{q_1 q_2}{a^2},$$

hvor k er en Konstant, der afhænger af de valgte Enheder. Maaler man i C. G. S. Systemet, skal Ligningen være tilfredsstillet for $K=1$ Dyn, $q_1=q_2=1$ absolut Enhed og $a=1$ cm, og man maa altsaa have $k=1$. Man har da

$$K = \frac{q_1 q_2}{a^2} \text{ Dyn.}$$

Første Del af Loven følger af Definitionen paa Elektricitetsmængde. Thi hver af Enhederne i q_1 paavirker i Afstanden a hver af q_2 's Enheder med en Kraft, som vi kan kalde p ; hver Enhed i q_2 paavirkes altsaa af Kraften $q_1 \cdot p$ *, tilsammen paavirkes de af Kraften $q_2 \cdot q_1 \cdot p$, d. v. s. *hele Kraften er proportional med Elektricitetsmængdernes Produkt.*

Anden Del af Loven — om Afstanden — maa bevises ved Forsøg, som dog ikke er lette at udføre. Coulomb brugte Snøvægten (Fig. 48). Den bestaar af en stor Glaskasse med det cylinderformede Rør R , som foroven er lukket med Messingpladen M . Proppen P , Torsionshovedet, bærer Viseren v , der peger paa en Gradinddeling langs M 's Rand; m er en tynd Metaltraad, som bærer en vandret Stang af et isolerende Stof, paa hvis Ender der er anbragt en lille Kugle K af et ledende Stof og en Kontravægt k . Den punkterede Stang s kan stikkes ned gennem et Hul i Glaskassens Laag og har forneden en

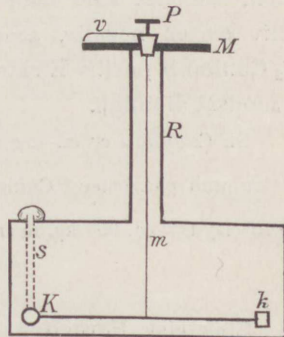


Fig. 48.

*) Egentlig et Aksiom, fordi Afstanden ikke er 1 cm.

Kugle K_1 , som ikke ses paa Figuren, fordi den er lige bag K . Paa Glaskassens Bund er der en Gradinddeling med Centrum lige under m , saa at en Drejning af Kk kan maales.

K_1 lades med Elektricitet, anbringes paa sin Plads bag K , og noget af dens Elektricitet gaar over paa K , som frastødes. Lad os antage, at Kk gør et temmelig stort Udslag α . Metaltraaden m snos Vinklen α ; i den mekaniske Fysik læres, at det Drejningsmoment, hvormed Traaden stræber at føre Kk tilbage til sin oprindelige Stilling, er proportional med α . Da der er Ligevægt, maa K_1 paavirke K med en Kraft, der er proportional med α , d. v. s. Kraften kan sættes lig $c\alpha$, hvor c er en ubekendt Konstant; Afstanden a mellem K_1 og K kan let beregnes af α og Kk 's halve Længde $l \left(2l \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$. Drejer man nu Torsionshovedet Vinklen β (med Viseren i et Ur), nærmer K sig til K_1 , og Kk danner Vinklen α_1 med sin oprindelige Stilling; Traadens Snoning er $\alpha_1 + \beta$, Kraften $c \cdot (\alpha_1 + \beta)$, og den ny Afstand a_1 mellem K_1 og K beregnes som før. Det viste sig da, at

$$\frac{\alpha}{\alpha_1 + \beta} = \frac{a_1^2}{a^2},$$

d. v. s. Kraften omvendt proportional med Afstandens Kvadrat. — Coulomb brugte ligeledes Snøvægten til at bevise Afstandsloven for to Polers Vedkommende, idet han erstattede Kk og s med to Magneter.

Elektricitetsmængder maales tit i *Coulomb* eller *Mikrocoulomb*; 1 Coulomb = $3 \cdot 10^9$ absolutte Enheder, en Mikrocoulomb = en Milliontedel Coulomb = 3000 absolutte Enheder.

Det kan ved Forsøg, som vi ikke kan gaa nærmere ind paa, vises, at der gennem hvert Tværsnit af en Ledning strømmer 1 Coulomb Elektricitet pr. Sekund, naar Strømstyrken er 1 Amp. Bestaar Strømmen, saaledes som man i Reglen tænker sig, af to Strømme, en positiv og en negativ, gaar der pr. Sekund gennem hvert Tværsnit $\frac{1}{2}$ Coulomb positiv Elektricitet i den ene Retning, $\frac{1}{2}$ Coulomb negativ i modsat Retning.

En Coulomb er en meget stor Elektricitetsmængde. Den Kraft, hvormed 1 Coulomb paavirker 1 Coulomb i Afstanden 1 km, bliver $K = \frac{9 \cdot 10^{18}}{10^{10}}$ Dyn = $9 \cdot 10^8$ Dyn = ca. 900 kg, naar 1 Dyn med et rundt Tal sættes lig 1 mg.

Elektrisk Fordeling. Nærmer man et positiv elektrisk Legeme A til en isoleret god Leder B , bliver B som bekendt elektrisk ved Fordeling; nærmest ved A bindes der negativ Elektricitet, mens positiv

— den fri Elektricitet — stødes hen i den anden Ende af *B*; berører man *B* med Fingeren, ligegyldigt hvor, gaar den fri Elektricitet ned i Jorden, idet vi opfatter positiv og negativ Elektricitet som Stoffer, der kan bevæge sig gennem gode Ledere, en Forudsætning, hvis Berettigelse som før nævnt omtales under Elektronteorien. Berører man *B* med den ene Ende af en isoleret Kobbertraad, hvis anden Ende er gjort fast til et Elektroskop, faar man intet Udslag, hvilket Punkt af *B*, man end berører; et til Jorden afledet Legemes Spænding er 0. Heraf ses, at *bunden Elektricitet frembringer ikke Spænding*.

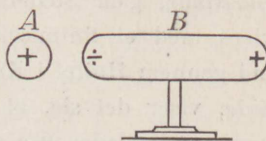


Fig. 49.

Har man *ikke* afledet *B* til Jorden, og fjerner man *A*, viser det sig, at *B* bliver uelektrisk; de to Elektricitetsmængder gaar sammen og ophæver hinandens Virkninger udadtil. Ved Fordelingen maa der

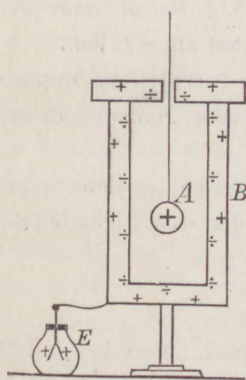


Fig. 50.

altsaa være opstaaet lige meget positiv og negativ Elektricitet. — Hver af de to Elektricitetsmængder, der frembringes ved Fordelingen, er mindre end den Mængde, der frembringer Fordelingen, undtagen i det Tilfælde, hvor det fordelende Legeme er helt omsluttet af det, hvori Fordelingen fremkommer (*fuldstændig Fordeling*). Dette er vist af Faraday ved følgende Forsøg (Fig. 50). *B* er et isoleret Metalkar med Laag, der er delt i to Stykker. Den positiv elektriske Metalkugle *A*, der hænger i en Silkesnor, frembringer Fordeling, som vist paa Figuren; Bladene paa Elektrometret slaar ud. Sænkes *A* til den rører Karrets Bund, gaar dens positive Elektricitet over paa Karret, og det viser sig, at Elektrometrets Udslag ikke forandres; Mængderne af positiv Elektricitet paa *A* og negativ paa *B* har altsaa været lige store.

Elektricitetens Sæde. Paa en elektrisk god Leder sidder Elektriciteten paa Overfladen; det kan vises med en isoleret hul Metalkugle, hvori der er et Hul. Berører man et Sted af Overfladen med en Prøveskive, d. v. s. et lille Stykke Metalblik, der sidder paa en

Glasstang, gaar Stedets Ladning over paa Prøveskiven og kan paa-vises med et fintmærkende Elektroskop. Stikker man Prøveskiven ind gennem Hullet i Kuglen og lader den berøre Kuglens indvendige Side, viser det sig, at Prøveskiven er uelektrisk. Med Prøveskiven kan man ligeledes vise, at Elektricitetens *Tæthed* er størst ved Enderne, naar Lederen er aflang. I Spidser og ved skarpe Kanter er Tætheden stor, og Elektriciteten har her Tilbøjelighed til at gaa ud i Luften (Lynaflæderen, Elektrisermaskinens Indsugere).

Kapacitet. Kapacitet betyder Evnen til at rumme; naar der kan tilføres en isoleret god Leder meget Elektricitet, uden at Spændingen bliver synderlig høj, siger man, at Lederen har stor Kapacitet. **Ved en isoleret Leders Kapacitet forstaas det Antal Coulomb, der skal tilføres Lederen, for at Spændingen skal stige 1 Volt.** Kapaciteten maales i Farad; *en Leder har Kapaciteten 1 Farad, naar der skal tilføres den 1 Coulomb, for at Spændingen skal stige 1 Volt.*

En Leder skal være langt større end Jorden for at have Kapaciteten 1 Farad; man maaler derfor i mindre Enheder, *Mikrofarad*, der er en Milliontedel Farad.

Indeholder Lederen Elektricitetsmængden q , og kaldes dens Spænding (Potential) p og dens Kapacitet c , indeholder den Elektricitetsmængden pc , og man har da

$$q = pc,$$

hvor q maales i Coulomb, p i Volt og c i Farad. Man kan ogsaa maale q i Mikrocoulomb og c i Mikrofarad. hvad man ser ved at multiplicere med 10^6 paa begge Sider af Lighedstegnet; $10^6 \cdot q$ betyder Antallet af Mikrocoulomb, $10^6 \cdot c$ Antallet af Mikrofarad.

Kapaciteten afhænger af Lederens Størrelse og Form. Dette fremgaar af et tidligere (nederst Side 9) omtalt Forsøg. Et Elektroskop blev ladet med Elektricitet, saa at Udslaget blev ca. 60°; Elektroskopstangen er her Lederen. Berørte vi Elektroskopets Knop med en isoleret Messingstang, blev Lederen (Elektroskopstang + Messingstang) større, Udslaget — d. v. s. Spændingen — mindre, Kapaciteten altsaa større; *større Rumfang giver større Kapacitet.* Derpaa frem-

bragte vi igen omtrent samme Udslag af Bladene og berørte Knoppen med en isoleret Messingkugle med samme Vægt — altsaa samme Rumfang — som Messingstangen. Udslaget blev nu nok formindsket, men ikke nær saa meget som før, d. v. s. Kapaciteten voksede ikke saa meget som før, skønt Rumfangsforøgelsen var den samme; *Lederens Form spiller altsaa en Rolle.*

Kapaciteten afhænger i høj Grad af Omgivelserne.

Paa Fig. 51 er A en isoleret Leder, der er ladet med positiv Elektricitet og sat i Forbindelse med et Elektro-

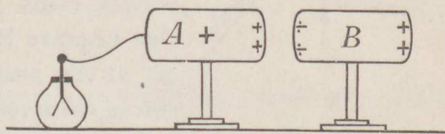


Fig. 51.

meter. En isoleret uelektrisk Leder B nærmes til A. B bliver elektrisk ved Fordeling, dens negative Elektricitet binder noget af A's positive Elektricitet, og Bladenes Udslag bliver mindre, d. v. s. A's Kapacitet bliver større. — Afledes B til Jorden, gaar dens positive Elektricitet bort og modarbejder ikke længer den negative, saa at der i A trækkes mere positiv Elektricitet over mod B; Bladenes Udslag bliver mindre, A's Kapacitet større. — Anbringes der mellem A og B Plader af daarlige Ledere, f. Eks. Glas eller Ebonit, viser det sig, at Bladenes Udslag atter bliver mindre, A's Kapacitet bliver større.

Elektriciteterne i A og B virker aabenbart ikke lige stærkt paa hinanden, eftersom det isolerende Mellemlag er Glas, Ebonit eller Luft. Man siger, at Isolatorerne har forskellig **Dielektricitetskonstant**; ved en Isolators Dielektricitetskonstant forstaas det Tal, der angiver, hvormange Gange en Kondensators Kapacitet bliver større, naar Isolatoren er Mellemlag, end naar Mellemlaget er Luft. Dielektricitetskonstanten for Glas er 6 à 10 (forskellig for forskellige Glassorter) for Svovl ca. 4, for Ebonit knap 3, for Luft maa den ifølge Definitionen være 1.

De to Ledere med det isolerende Mellemlag kaldes en elektrisk **Kondensator**. Kondensatorer er Apparater med stor Kapacitet, i Almindelighed dog højst nogle faa Mikrofarad.

Franklinstavlen (Fig. 52) er en Kondensator, der bestaar af en Glasplade med Stanniolbeklædninger paa begge Sider; Kapaciteten er størst, naar Belægningerne er store og Glaspladen tynd. Den lades ved at

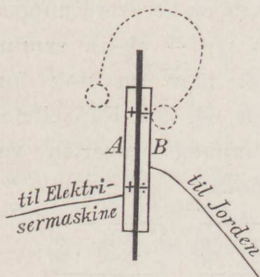


Fig. 52.

sætte den ene Belægning A i Forbindelse med Elektriseringsmaskinens positive Konduktor og aflede den anden Belægning B til Jorden. Drejer man nu stadig paa Maskinen, strømmer der positiv Elektricitet over paa A; ved Fordeling frembringes der i B negativ Elektricitet, mens positiv stødes ned i Jorden. Den negative Elektricitet paa B trækker noget, af A's positive Elektricitet ind til Glas-skiven, hvorved A's Spænding falder, saa at der kan strømme mere Elektricitet fra Maskinen over paa A; herved frembringes der ny Fordeling i B o. s. v. Da de Elektricitetsmængder, der efterhaanden bindes paa B, kun binder en Del af den Elektricitetsmængde, der efterhaanden fra Maskinen strømmer over paa A, bliver der mere og mere fri Elektricitet paa A, og naar A har samme Spænding som Maskinens Konduktor, er Apparatet ladet saa stærkt som muligt; B's Spænding er stadig 0. — Apparatet kan udlades med en Udlader, d. v. s. en Metalbøjle med Kugler paa Enderne (punkteret paa Figuren); den ene Kugle berører B, den anden nærmes til A, indtil der springer en Gnist over mellem A og Kuglen. Gnisten er kraftig, fordi der udlades meget Elektricitet; det ladede Apparat indeholder stor elektrisk Energi.

En anden Form af Kondensatoren er **Leidnerflasken**, en Glasflaske, der indvendig og udvendig er beklædt med Stanniol (Fig. 53). En Messingstang med Knop foroven er fastgjort ved Stivere inde i Flasken og er i ledende Forbindelse med den indre Belægning. Et Batteri af Leidnerflasker, hvor alle de indvendige Belægnings er indbyrdes forbundne og ligeledes de ydre, svarer til een stor Leidnerflaske. Belægningerne maa ikke naa ud til Glassets Rand, for at der ikke skal finde Udladning Sted mellem dem.

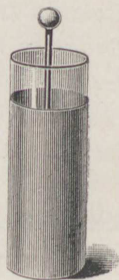


Fig. 53.

En Leidnerflaske med Diameter 10 cm, Belægningens Højde 20 cm og Glastykkelse 2 mm har en Kapacitet paa ca. 0,002 Mikrofara. En Metalkugle med samme Kapacitet har en Diameter paa over 30 m. Jordens Kapacitet er ca. 700 Mikrofara.

Pladekondensatoren bestaar af mange Kondensatorer af paraffineret Papir (eller Glimmerplader) med Staniol paa begge Sider; de er isoleret fra hinanden med paraffineret Papir og Belægningerne forbundne, som



Fig. 54.

Fig. 54 viser. Pladekondensatoren kan have stor Kapacitet uden at fylde ret meget (f. Eks. et Par Mikrofarad). Opgave Nr. 17 og Nr. 18.

Elektrisk Felt. Elektriske Legemer har uden om sig et elektrisk Felt. *Ved Intensiteten i et Punkt af Feltet forstaas den Kraft, maalt i Dyn, hvormed en absolut positiv Enhed vilde paavirkes, hvis den blev anbragt i Punktet.* Feltet kan fremstilles ved elektriske Kraftlinier paa lignende Maade, som Magnetfeltet fremstilles ved magnetiske Kraftlinier.

Stiller man et Elektroskop ikke for langt fra Elektrisermaskinen, og drejer man paa den, har den uden om sig et Felt, hvor de elektriske Kræfter giver sig til Kende ved, at Elektroskopets Blade slaar ud paa Grund af Fordeling i Elektroskopstangen. Men anbringer man Elektroskopet i et Bur, der f. Eks. er lavet af et cylinderformet

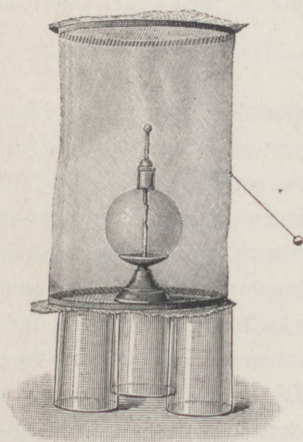


Fig. 55.

Jærntraadsnet med to Skiver af Jærntraadsnet til Laag og Bund (Fig. 55), slaar Bladene *ikke* ud. Isolerer man Buret ved at anbringe det paa tre Glas, og forbinder man Buret og Elektrisermaskinen med en Metaltraad, slaar Elektroskopets Blade heller ikke ud, ikke en Gang, naar man forbinder Elektroskopstang og Net med en Kobbertraad. Op-hænges Hyldemarvskugler indvendig og udvendig paa Nettet, slaar kun de udvendige ud. I Maskinens elektriske Felt er der altsaa frembragt et Rum, hvor Intensiteten er 0. *Et Rum, der er omgivet af Metal eller et Metaltraadsnet, er*

beskyttet mod elektriske Kræfter udefra. Føres en isoleret Kobbertraad

fra Konduktoren gennem Nettet til Elektroskopet, gør Bladene Udslag. — Forsøget er først udført af *Faraday*.

Elektroskopets Beklædning med Stanniol. Det er tidligere omtalt (Side 8), at Elektroskopets Inderside undertiden beklædes med Stanniol, der afledes til Jorden; ved nøjagtige Maalinger af Udslaget er det absolut nødvendigt. Vi kan nu forklare dette. 1. Stanniolbeklædningen virker som et Faradays Bur og beskytter Bladene mod Paa-virkning af uvedkommende elektriske Kræfter. 2. Hvad Nytte Afledningen til Jorden gør, ses af følgende Forsøg med Buret. Ved Hjælp af en Ebonitstang frembringes et blivende Udslag paa Elektroskopet, som derpaa sættes ned i det isolerede Bur, men dettes Laag lægges *ikke* paa. Sættes Buret i Forbindelse med Elektrisermaskinen, og drejer man stadig paa denne, forandrer Udslaget sig tydeligt, naar man skiftevis afleder Buret med en Finger og fjerner Fingeren; Spændingen paa Buret er skiftevis 0 og ikke 0. Burets Spænding indvirker altsaa paa Udslaget. Derfor bliver det nødvendigt at *vedtage* en bestemt Spænding for Elektroskopets Beklædning, og hertil har man naturligvis valgt Spændingen 0, da den er saa let at frembringe. Ved Forsøgene med Buret benyttes et Elektroskop uden Stanniolbeklædning.

Lægges i Forsøg 2 Laaget paa Buret, bliver Udslaget ens, hvad enten Buret afledes eller ikke, da der i et lukket Bur jo ikke virker elektriske Kræfter.

Jordens elektriske Felt. Jorden har et elektrisk Felt uden om sig, i Reglen stiger Spændingen opefter. Forholdene er meget uregelmæssige; i klart og roligt Vejr kan Spændingsforandringen pr. Meter i de nedre Luftlag være 100 Volt eller mere over fri Mark. Spændingen bestemmes saaledes; paa Enden af en isolerende Stang anbringes en lille Metalskaal, som indeholder et radioaktivt Stof, hvis Straaler gør Luften ledende, saa at Skaalen faar samme Spænding som Luften paa det Sted, hvor Skaalen holdes. Til Skaalen er der fastgjort en Metaltraad, som fører ned til et Elektrometer, der staar paa Jorden. Der strømmer nu Elektricitet ned i Elektrometret, indtil det har samme Spænding som Skaalen, og Bladenes Udslag aflæses. Elektrometrets Skala er inddelt i Volt. Inddelingen kan ske ved at sætte Elektrometret i Forbindelse med den positive Pol paa et stort Batteri, hvis elektromotoriske Kraft

er bestemt med Voltmeter, og hvis anden Pol afledes til Jorden; varierer man Antallet af Elementer i Batteriet, faas Værdien af de enkelte Inddelinger.

For at beskytte et Hus mod Virkninger, der skyldes Jordens elektriske Felt (Lynnedslag), kan man omgive det med et Faradays Bur. Dette er Princippet i Lynafledere efter Netsystemet (Fig. 56), hvor Huset omgives med et Bur, der har *meget* store Masker. Buret er her godt afledet til Jorden, og fremspringende Punkter (Gavlspidser, Skorstene), beskyttes af Opfangere, d. v. s. $1\frac{1}{2}$ m høje Metalstænger, som ikke gøres spidse foroven.

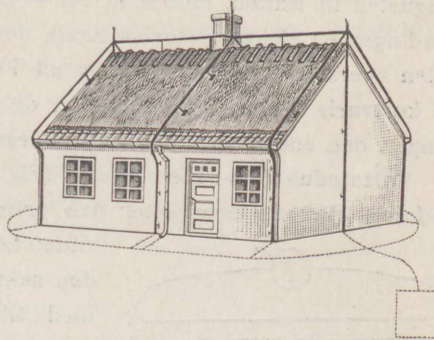


Fig. 56.

Induktionsstrømme.

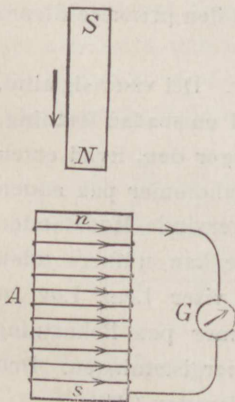


Fig. 57.

Magnetoinduktion. A (Fig. 57) er en Rulle Kobbertraad, en Solenoide, hvis Ender er forbundet med Galvanoskopet G. Nærmes Magneten NS til Rullens øverste Ende, slaar Galvanoskopets Viser ud som Tegn paa, at der i Rullens Vindinger er opstaaet en Strøm, en **Induktionsstrøm**, der gaar i en saadan Retning, at Rullen foroven faar Nordpol; denne Pol gør Modstand mod, at Magneten nærmes. Fjernes Magneten, slaar Viseren ud til modsat Side; i A opstaar der altsaa en Strøm, der danner Sydpol foroven, d. v. s. en Pol, der modsætter sig, at Magneten fjernes. *Induktionsstrømmene varer*

kun, saalænge Magneten bevæges. — Er Rullens Traadender ikke forbundet med hinanden (Ledningen ikke sluttet), og nærmer man f. Eks. Magneten til Rullen, induceres der — ligesom før — i hver af Rullens Vindinger en elektromotorisk Kraft, der driver positiv Elektricitet ud i den øverste Traadende, negativ ud i den nederste; der gaar altsaa en kortvarig Strøm i Vindingerne, og de to Traadender faar Spændinger, den ene positiv den anden negativ.

Voltainduktion. Elementet E (Fig. 58) sender Strøm gennem en Ledning, **Hovedlederen** jeller **den primære Ledning**; Enderne af en

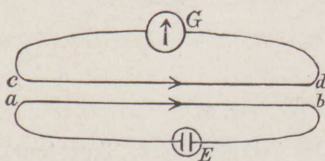


Fig. 58.

anden Ledning, **Induktionslederen** eller **den sekundære Ledning**, er forbundet med Klemmeskruerne paa Galvanoskopet G . Fjernes Ledningerne fra hinanden, viser Galvanoskopet, at der i cd opstaar en Induktionsstrøm, der

gaar i samme Retning, som Strømmen i ab og altsaa tiltrækker den; nærmes de til hinanden, gaar Induktionsstrømmen i modsat Retning og frastøder Hovedlederen. I Stedet for at forandre Ledningernes Afstand, kan man slutte og afbryde Hovedstrømmen; at slutte den svarer til at nærme, at afbryde den svarer til at fjerne Ledningerne fra hinanden. — Bestaar den sekundære Ledning kun af en Traad cd (Ledningen ikke sluttet), frembringer den i cd inducerede elektromotoriske Kraft paa samme Maade Strøm i cd , som faar skiftende positive og negative Spændinger i Enderne, hvis den primære Strøm skiftevis slutes og afbrydes.

Disse Forsøg kan varieres paa mange Maader. Det viser sig altid, at den inducerede elektromotoriske Kraft gaar i en saadan Retning, at den søger at modsætte sig det, der frembringer den, hvad enten Induktionen skyldes en Bevægelse eller den fremkommer paa anden Maade. Denne Lov kaldes **Lenz' Lov**. Til at overvinde Modstanden kræves der et Arbejde; men da et Arbejde ikke kan udføres uden Energitab i det Legeme, der udfører Arbejdet, viser Lenz' Lov, at Induktionsstrømmes elektriske Energi fremkommer paa Bekostning af anden Energi, hvad vi kunde vente ifølge Energisætningen. Den første, der frembragte Induktionsstrømme, var Faraday (1831).

Regler om Induktion udtrykt ved Hjælp af Kraftlinier.

Regel I. Naar Magneten NS i Forsøget over Magnetoiduktion nærmes til Traadrullen, føres Magnetens *nedadgaende* Kraftlinier ind i Rullen (Fig. 59 I). Induktionsstrømmen frembringer Nordpol foroven og Sydpol forneden i Rullen, d. v. s. den frembringer *opadgaende* Kraftlinier; det magnetiske Felt i Rullen svækkes altsaa af Induktionsstrømmen, Antallet af Kraftlinier bliver mindre. Fjernes Magneten, frembringer Induktionsstrømmen nedadgaende Kraftlinier i Rullen og forstærker Magnetens forsvindende Felt. Naar Antallet af Kraftlinier, der omslutes af en Solenoides Vindinger, forandres, induceres der i Solenoidens Vindinger elektromotoriske Kræfter, der modsætter sig Forandringen. Jo større Forandringen er, og jo hurtigere den foregaar, desto større bliver den inducerede elektromotoriske Kraft. (Opgave Nr. 19 og 20).

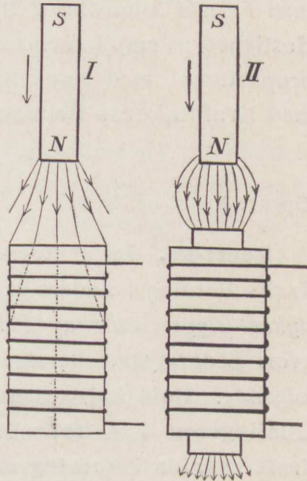


Fig. 59.

Indeholder Solenoiden en Jærnkærne, indsuger denne Magnetens Kraftlinier (Fig. 59 II); det magnetiske Felt, der opstaar og forsvinder i Solenoiden paa Grund af Magnetens Nærmen og Fjernen, bliver meget kraftigere, den inducerede elektromotoriske Kraft ligeledes.

Regel II. ABC er en Metaltraad, der er anbragt i et magnetisk Felt, hvis Kraftlinier staar vinkelret paa Papiret og gaar ind mod dette. *ab* er en retlinet Metaltraad, et Lederstykke, og *aBb* betragtes som en Solenoide med een Vinding. Skydes *ab* hen til Stillingen a_1b_1 , omslutter Solenoiden færre Kraftlinier, og der induceres ifølge Regel I i *ab* en elektromotorisk Kraft, der

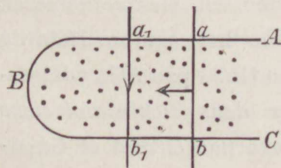


Fig. 60.

gaar i den Retning, som Pilen paa a_1b_1 viser. Flyttes Lederstykket fra Stillingen a_1b_1 til *ab*, gaar den elektromotoriske Kraft i modsat Retning. Om Retningen gælder der altsaa følgende Regel. **Hold**

højre Haand saaledes, at **Kraftlinierne** gaar vinkelret ind mod **Haandfladen** og **Tommelfingeren** i den **Retning**, hvori **Lederstykket** bevæges; den **inducerede elektromotoriske Kraft** gaar da i **Retning** mod **Fingerspidserne**.

Den **inducerede elektromotoriske Kraft** (E Volt) er proportional med **Feltets Intensitet** (I Dyn), **Lederstykkets Længde** (l cm) og den **Hastighed** (v cm), hvormed **Lederstykket** bevæger sig; den er desuden proportional med **sinus** til den **Vinkel** (α), som **Lederstykket** danner med **Kraftliniernes Retning**. Det kan bevises, at

$$E = 10^{-8} \cdot I \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

(Opgave Nr. 21 og Nr. 22).

Regel III. Da al **Bevægelse** er relativ, bliver den **elektromotoriske Krafts Retning** i **Lederstykket** den samme som ovenfor, hvis *Lederstykket ligger stille og Feltet bevæger sig* i modsat **Retning** af den, hvori **Lederstykket** bevægede sig. Reglen bliver altsaa i dette Tilfælde følgende. **Hold højre Haand med Haandfladen mod Kraftlinierne og Lillefingeren i Feltets Bevægelsesretning, den elektromotoriske Kraft gaar da i Retning mod Fingerspidserne.**

Selvinduktion. Sendes en **Strøm** fra et **Batteri** (Dynamo) gennem en **Metaltraad**, opstaar der omkring **Traaden** et **magnetisk Felt**. Her ved **induceres** der i samme **Øjeblik** i selve **Traaden** en **Strøm**, **Ekstrastrømmen**, som søger at **tilintetgøre Feltet** og altsaa maa gaa i modsat **Retning** af **Batteristrømmen**; den *bevirker, at det varer lidt, inden Batteristrømmen opnaar sin fulde Styrke*. **Afbrydes Batteristrømmen**, forsynder **Feltet**, og der **induceres** i **Traaden** en **elektromotorisk Kraft**, der søger at **opretholde Feltet** og altsaa har samme **Retning** som **Strømmen**; den giver sig til Kende ved en **Gnist** paa **Afbrydelsesstedet**. *I det Øjeblik en Strøm afbrydes, er dens elektromotoriske Kraft altsaa stor*. **Strømmen** bliver dog **svagere** paa **Grund** af **Gniststedets store Modstand**.

Selvinduktionens Virkninger bliver større, naar **Metaltraaden** er viklet op til en **Solenoid**, fordi det **magnetiske Felt** i saa **Fald** er stærkere, og størst, naar **Solenoiden** indeholder en **Jærnkærne**.

Ekstrastrømmen kan paavises ved følgende Forsøg. Strømmen fra Elementet E grener sig ved a og gaar gennem en Solenoide med Jærnkærne og Galvanoskopet G , hvis Viser slaar ud f. Eks. til højre. Med en Pind føres Viseren tilbage til Nulstillingen og støttes stadig af Pinden. Afbrydes Elementets

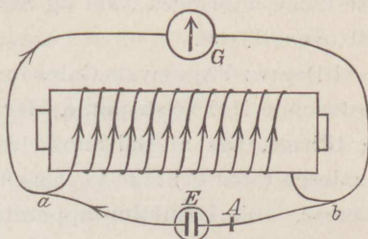


Fig. 61.



Strøm, f. Eks. ved A , opstaar der i Solenoiden en Ekstrastrøm, der gaar i samme Retning som Elementets Strøm. Ekstrastrømmen forgrener sig ved b ; i Ledningen bGa gaar den fra b mod a , og Viseren slaar ud til venstre, d. v. s. bort fra Pinden.

Fig. 62 viser en *induktionsfri Traad*. Den nedadgaende og den opadgaende Strøm har lige stærke magnetiske Felter, Fig. 62. hvis Kraftlinier gaar i modsat Retning. Hele Feltets Intensitet bliver omtrent 0, og Strømforandringer frembringer næsten ingen Selvinduktion; dette benyttes f. Eks. i Modstandskasser.

Hvirvelstrømme (Foucault'ske Strømme). Induktionsstrømme kan ikke alene opstaa i Metaltraade, men ogsaa i andre Metallegemer. Fig. 63 forestiller en vandret Kobberskive, ns en Kompasnaal, der er anbragt over Kobberskiven paa et lavt Stativ. Svinger n til højre, opstaar der Strømhvirvler i Skiven; paa Figuren er der tegnet to Hvirvler, der hver forholder sig som en Solenoide med een Vinding, og som med de angivne Strømretninger faar de angivne Poler, der let ses at modarbejde Naalens Svingning i Overensstemmelse med Lenz Lov. De samme Hvirvler maa fremkomme, naar Naalen staar stille, men Kobberskiven drejes rundt i modsat Retning. De paavirker da n og s saaledes, at Naalen gaar rundt i samme Retning som Skiven; vil man

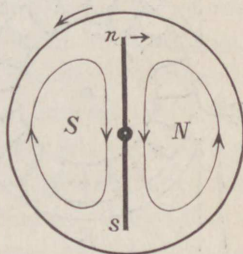


Fig. 63.

visе dette, anbringes Naal og Stativ paa en Glasplade, der er anbragt lidt over Skiven.

I Deprez d'Arsonvals Galvanometer er det de i Aluminiumrammen opstaaende Hvirvelstrømme, der forhindrer Viseren i at svinge frem og tilbage, saa at Galvanometret bliver aperiodisk. I Elektricitetsmaaleren (Side 68) faar vi ligeledes at se, hvordan de kan virke som Bremse. — I Induktionsapparaters og Dynamoers Jærnkærner opstaar der Hvirvelstrømme, der omsættes til unyttig Varme paa Bekostning af den fra Hovedstrømmen eller Dampmaskinen tilførte Energi; de svækkes stærkt, naar Jærnkærnerne sammensættes af Jærnpinde eller tynde Jærnplader, der er isolerede fra hinanden ved et Overtræk af Fernis eller Asfalt.

Jævnstrøm.

Jævnstrømdynamoen Fig. 64 bestaar af en kraftig Elektromagnet, mellem hvis Poler (N og S) en Jærnring, Ankeret, drejes rundt i den store Pils Retning. Elektromagnetens Kraftlinier indsuges af Jærnringen og gaar omtrent, som Figuren

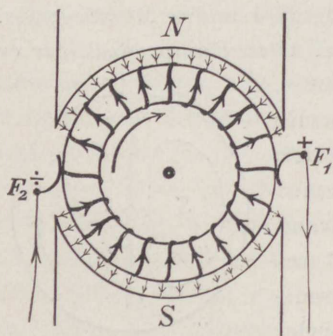


Fig. 64.

viser, fra N til S ; i de smaa Mellemrum mellem N og Ringens øverste Flade og mellem S og Ringens nederste Flade er der altsaa et kraftigt magnetisk Felt. Jærnringen er omviklet med en i sig selv tilbageløbende Kobbertraad, hvis Vindinger ligger tæt op ad hinanden og er isolerede fra hinanden indbyrdes og fra Ringen, men blanke paa de Sider, der vender udad. F_1 og

F_2 er to Fjedre, der trykker mod Kobbertraadens blanke Yderside, og hvorfra den ydre Ledning udgaar. Strømretningen i Ankerbeviklingen findes nemmest ved Hjælp af Regel II, Side 51. I Beviklingen om

Ringens øverste Halvdel findes den ved at stikke højre Haand ind i det lille Mellemrum mellem N og Ringens øverste Flade, Haandfladen skal vende opad og Tommelfingeren i Ringens Bevægelsesretning; i Ringens nederste Halvdel findes Strømretningen ved at stikke Haanden ind bagfra. Det ses, at Regel II giver de af Pilene angivne Strømretninger i Ringens to Halvdele; fra dem begge strømmer der positiv Elektricitet til F_1 , negativ til F_2 . Ankerstrømmen forandrer Kraftlinierne lidt, saa at F_1 , og F_2 i Virkeligheden maa forskydes lidt i Ringens Omdrejningsretning. (Opgave Nr. 24).

Elektromagneten magnetiseres af den Strøm, som Dynamoens selv frembringer. I **Seriedynamoen** er Magnetbeviklingen og den ydre Ledning anbragt i Række (Fig. 65), saa at Strømstyrken er den samme i Magnetbeviklingen og den ydre Ledning. Forøges dennes Modstand, bliver Strømmen svagere, det magnetiske Felt ligeledes og Maskinens elektromotoriske Kraft formindskes. Seriedynamoen benyttes, naar den ydre Modstand er konstant, f. Eks. til Galvanisation eller i meget smaa Lysanlæg, hvor alle Lamper brænder samtidig. Ved Lysanlæg kræves, at Klemmespændingen (Spændingsforskellen mellem Polerne P_1 og P_2) er konstant, f. Eks. 220 Volt, selv om Lamper slukkes og tændes, men det kan Seriemaskinen ikke præstere. (Opgave Nr. 25).

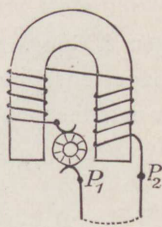


Fig. 65.

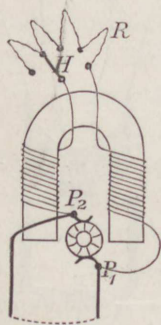


Fig. 66.

Shunt-dynamo (Fig. 66) har Polerne P_1 og P_2 , hvorfra den ydre Ledning udgaar. Fra P_1 og P_2 udgaar Magnetbeviklingen som Shunt; den er lang og tynd, saa at kun en lille Del af Strømmen gaar gennem den. Reguleringsmodstanden R bestaar af en Række Metalknapper, der er anbragt i en Cirkelbue, hvis Centrum er Haandtaget H 's Omdrejningsakse; Knapperne er forbundne med hinanden med Metaltraade, saaledes som Figuren viser. Ved at dreje paa Haandtaget, kan man forandre Magnetbeviklingens Modstand, altsaa ogsaa Strømstyrken i Magnetbeviklingen, saa at Klemmespændingen kan

holdes konstant; Shunt-dynamoen kan derfor benyttes ved elektriske Lysanlæg.

Ved større Lysanlæg benyttes **Compounddynamo**en, der samtidig er Serie- og Shunt-dynamo. Magnetens Bevikling forstaas let af Fig. 67.

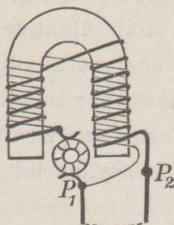


Fig. 67.

Bliver Modstanden i den ydre Ledning f. Eks. mindre, gaar en større Del af Strømmen gennem den ydre Ledning, altsaa ogsaa gennem Seriebeviklingen, mens Strømstyrken i Shuntbeviklingen bliver mindre. Serie- og Shuntbeviklingen kan afpasses efter hinanden, saa at Klemmespændingen bliver konstant, selv om den ydre Modstand varierer stærkt.

Naar en Dynamo standses, forsvinder ikke al Magnetisme i Elektromagnetens Poler. Sættes den igen i Gang, giver den først svag Strøm, som forstærker Elektromagnetens Poler, herved forstærkes Strømmen o. s. v., indtil Jærnet er mættet med Magnetisme.

Elektrisk Belysning.

I **Glødelampen** (Fig. 68) er der en Kultraad med stor Modstand. Dens Ender er gjort fast til to Platintraade, som gaar gennem Væggen paa den Glasbeholder, der omslutter Kultraaden; den ene Platintraad fører til Messingstykket *m*, den anden til Skruegangen *S*, der ligeledes er af Messing. *S* og *m* er adskilt fra hinanden ved et isolerende Stof, f. Eks. Gips (skraveret paa Figuren). I Lampefoden *L* er Skruegangen og Pladen *n* af Messing og isolerede fra hinanden. Skrues Lampen i Lampefoden, rører *m* og *n* hinanden; Pilene angiver, hvilken Vej Strømmen føres gennem Lampen.

Glasbeholderen er pumpet lufttom, dels for at Kultraaden ikke skal brænde, dels for at Varmen ikke skal ledes gennem Luften ud til Glasset, hvorved Kultraaden vilde afkøles og lyse svagt. Paa en Glødelampe staar der i Reglen et Par Tal, f. Eks. 16 og 220; Tallet 16 betyder, at Lampen lyser lige saa godt

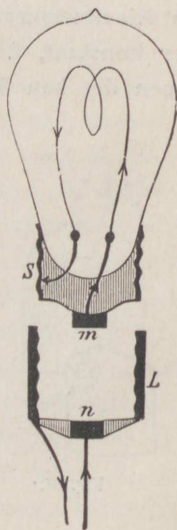


Fig. 68.

som 16 Normallys. Tallet 220 betyder, at Spændingsforskellen mellem Kultraadens Endepunkter skal være meget nær 220 Volt, hvis Strømmen gennem Kultraaden skal have en passende Styrke. Af den Varmemængde, som Strømmen frembringer i Kultraaden, omdannes knap 5 pCt. til Lys (lyse Varmestraaler), mens ca. 95 pCt. omdannes til mørke Varmestraaler; største Delen af den udviklede Varmemængde gaar altsaa praktisk set tabt.

Metaltraadslampen er indrettet ligesom den almindelige Glødelampe, blot er Kultraaden erstattet af en lang Traad af Metal (f. Eks. Tantal eller en Legering: Wolfram, Osram); Traaden maa paa Grund af sin Længde bæres af et Stativ, saaledes som Figuren viser, og udsender forholdsvis mange lyse Varmestraaler. Belysning med Metaltraadslamper koster mindre end en lige saa stærk Belysning med Kultraadslamper, fordi Metaltraade taaler stærkere Opvarmning; de kan taale at blive mere hvidglødende. Den Procentdel af den i Lampen udviklede Varmemængde, der udsendes som Lys, bliver større.

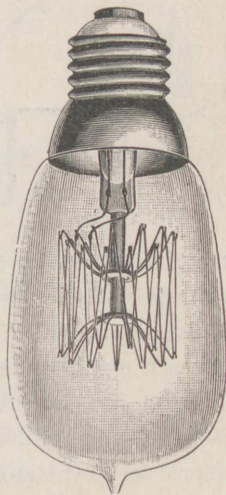


Fig. 69.

I **Buelampen** er der to Kulstænger, hvis Ender fra først af berører hinanden. En Strøm, der sendes gennem Kulstængerne, vedbliver at gaa, selv om de fjernes lidt fra hinanden, dog kun, hvis Spændingsforskellen mellem Stængerne er over 40 Volt; i saa Fald fyldes nemlig Mellemrummet med en Blanding af Luft og hede Kuldampe, der leder Elektriciteten. Kulstængerne Ender gløder og lyser stærkt, mens Blandingen af Luft og Kuldampe, den saakaldte **Lysbue**, lyser svagt. Den positive Kulstang lyser stærkest; den anbringes øverst og i dens nederste, glødende, Ende dannes der en Fordybning, *Krateret*, der udsender mest Lys. Den nederste Kulstang, den negative, gøres tyndere for ikke at skygge for meget for Lyset fra den øverste. Er Kulstængerne Spændingsforskell mere end 40 Volt, kan Lysbuen blive længere, men Lampen lyser ikke stærkere og brænder tilmed uroligt; i Praksis nøjes

man derfor med en Spændingsforskel paa ca. 45 Volt og en Lysbue paa nogle faa Millimeter.

Efterhaanden som Lampen brænder, fortæres Kulstængerne, og naar Mellemrummet er blevet for stort, gaar Lampen ud. Den maa derfor indrettes saaledes, at Kulstængerne stadig har en passende Afstand fra hinanden; dette kan ske paa følgende Maade. Den nederste

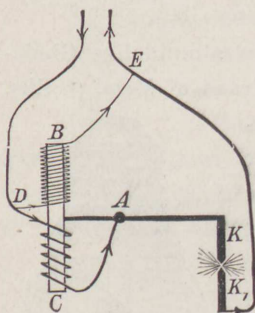


Fig. 70.

Kulstang K_1 sidder fast, den øverste K er anbragt paa Enden af en Stang, som kan dreje sig om Aksen A ; paa Stangens anden Ende er der anbragt en Jærnstang BC . Naar Strømmen kommer til D , deler den sig i to Dele; den ene løber gennem en Rulle med faa Vindinger af tyk Kobbertraad, der omslutter BC 's nederste Halvdel, derpaa til A , gennem Stangen og Kulstængerne og forlader derpaa Lampen. Den anden Del af Strømmen løber fra D gennem en Rulle med mange Vindinger af tynd Kobbertraad (stor Modstand), som omslutter BC 's øverste Ende, derfra uden om Kulstængerne til E o. s. v. Rullen ved B stræber at trække Jærnstangen opad, Rullen ved C stræber at trække den nedad (se Forsøget Fig. 3). Hvis nu Afstanden mellem Kulstængerne vokser, bliver Strømmen gennem Kulstængerne svagere, Strømmen gennem DBE bliver stærkere, Jærnstangen BC trækkes opad, og K nærmer sig til K_1 ; omvendt, hvis Afstanden mellem K og K_1 bliver for lille. — Buelampen er mere økonomisk at bruge end Glødelampen, men egner sig kun til store Lokaler paa Grund af sin store Lysstyrke.

I et Anlæg paa 220 Volt kræver en Osramlampe paa 25 Lys en Strømstyrke paa 0,15 Amp., en Kultraadslampe med samme Lysstyrke kræver ca. 3 Gange saa stærk Strøm. I Buelamper er Strømstyrken fra nogle faa Amp. til 30 Amp. og mere.

Lampernes Anbringelse i Ledningen. I et elektrisk Anlæg udgaar der fra Dynamoens Poler to tykke Kobberledninger (Fig. 71), mellem hvilke Lamperne er anbragt som Broer. Vi antager, at Anlægget er paa 110 Volt (*d. v. s. at Dynamoen er i Stand til at vedligeholde en*

Spændingsforskel paa 110 Volt mellem de to Ledninger), og at der er tændt 6 Glødelamper, som hver kræver en Strømstyrke paa $\frac{1}{2}$ Ampère. Ved Dynamoen er Strømstyrken 3 Amp.; ved *a* drejer $\frac{1}{2}$ Amp. af gennem den første Lampe, mens $2\frac{1}{2}$ Amp. gaar videre; ved *b* drejer $\frac{1}{2}$ Amp. af gennem den anden Lampe, 2 Amp. gaar videre og saa fremdeles, som angivet paa Figuren. Gennem den negative Ledning

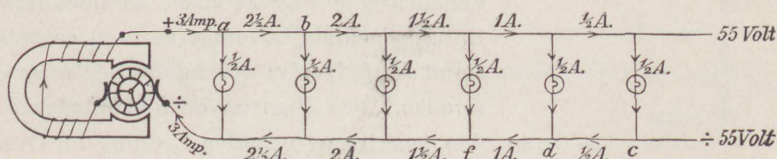


Fig. 71.

gaar Strømmen tilbage til Dynamoen; ved *c* træder $\frac{1}{2}$ Amp. fra den sidste Lampe ind i Ledningen, saa at Strømmen paa Strækningen *cd* er $\frac{1}{2}$ Amp.; ved *d* forener denne sig med Strømmen fra den næstsidste Lampe, saa at Strømmen paa Strækningen *df* er 1 Amp. og saa fremdeles. I den negative Ledning er Strømstyrkerne i de forskellige Stykker altsaa lig Strømstyrkerne i de tilsvarende Stykker af den positive Ledning.

Vi antog, at Spændingsforskellen mellem den positive og den negative Ledning var 110 Volt. Spændingen i den positive Ledning er saa 55 Volt, i den negative ÷ 55 Volt; dette betyder, at Spændingsforskellen mellem den positive Ledning og Jorden er 55 Volt, idet Jordens Spænding sættes lig 0. Spændingsforskellen mellem den negative Ledning og Jorden er lige saa stor, men skyldes negativ Elektricitet. — Naar man siger, at Spændingen f. Eks i den positive Ledning overalt er 55 Volt, er dette ikke ganske rigtigt. Der gaar jo Strøm gennem Ledningen, og vi ved, at der saa maa finde et Spændingsfald Sted hen ad den; men Spændingsfaldet er ringe, naar Ledningerne er tykke.

Medens den almindelige Glødelampe og Metaltraadslampen anbringes i Ledningen, saaledes som det er forklaret ovenfor, er Forholdet lidt anderledes med Buelampen. I denne maa Spændings-

forskellen mellem Kulstængerne, som omtalt, ikke være mere end ca. 45 Volt, eller — som man ogsaa kan sige — Spændingsfaldet

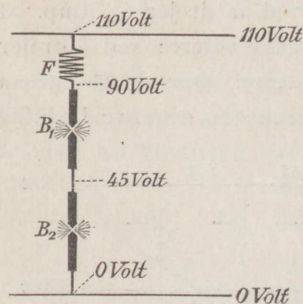


Fig. 72.

gennem Lampen skal være ca. 45 Volt; blev Buelampen anbragt som de andre Lamper, vilde Spændingsfaldet gennem den være 110 Volt, altsaa for stor. Man anbringer derfor, saaledes som Fig. 72 viser, to Buelamper B_1 og B_2 mellem Ledningerne samt en Modstand F af Nysølv; den kaldes *Forlagsmodstanden*. Paa Figuren er Spændingerne i den positive og negative Ledning for Oversigtens Skyld angivet til 110 Volt og 0 Volt

(ikke 55 og $\div$ 55); dette er tilladeligt, da det kun kommer an paa Spændingsforskellen. Gennem Forlagsmodstanden falder Spændingen fra 110 Volt til 90 Volt, gennem B_1 fra 90 Volt til 45 Volt og gennem B_2 fra 45 Volt til 0 Volt; Spændingsfaldet gennem hver af Buelamperne bliver saaledes kun 45 Volt. Hvis Anlægget var paa 90 Volt, behøvede der ikke at være Forlagsmodstand; dette vilde dog ikke være heldigt, da Lamperne brænder roligere med Forlagsmodstand. Desuden er Modstanden i Lamperne meget lille, naar de tændes, fordi Kulspidserne i det Øjeblik rører hinanden, og uden Forlagsmodstand vilde Strømstyrken blive saa stor, at den kunde ødelægge Lamperne.

Det nu omtalte Anlæg var paa 110 Volt; som vi senere faar at se, er det fordelagtigt at benytte højere Spændinger, hvis Elektriciteten skal benyttes ret langt fra Elektricitetsværket. Ofte benyttes Spændinger paa 220 Volt; Lamperne anbringes paa samme Maade som før, kun maa der mellem den positive og den negative Ledning anbringes ikke to men fire Buelamper (i Række) med Forlagsmodstande. Tallene 110 og 220 Volt er netop valgt i Praksis paa Grund af Buelampernes Forlagsmodstand; Glødelamper kan konstrueres til enhver Spændingsforskel.

Kommer den positive og den negative Ledning paa en eller anden Maade til at røre hinanden, eller forbindes de med hinanden med en lille Modstand, bliver Strømmen saa stærk, at Ledningen kan smelte; man siger, at der er sket en **Kortslutning**. For at undgaa

dette indskydes der forskellige Steder i Ledningerne en **Smeltesikring** (Fig. 73), som bestaar af en lille Porcelænsbeholder *PP*, der udvendig har en Skruegang af Messing, som er skruet fast i Møtrikken *MM*. Strømmen gaar ind gennem Møtrikken, gennem Sølvtraaden *S* til Messingstykket *m*, derfra over til Messingstykket *n* og videre. Bliver Strømmen for stærk, smelter Sølvtraaden, og Ledningen er afbrudt.

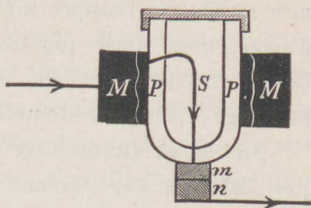


Fig. 73.

I nogenlunde store Anlæg bruges **Trelederssystemet**. Der er to Dynamoer D_1 og D_2 , der hver er paa 220 Volt, og som er anbragt i Række; D_1 's negative Pol er altsaa sat i Forbindelse med D_2 's positive Pol, og i Forbindelsestraaden er Spændingen 0. Fra Forbindelsestraaden udgaar den saakaldte **Nul-Ledning**; fra D_1 's positive Pol udgaar en Ledning med Spænding 220 Volt, fra D_2 's negative Pol en Ledning med Spændingen $\div 220$ Volt. I alle Huse med elektrisk Indlæg er den ene af Ledningerne altid Nul-Ledningen, den anden er enten Led-

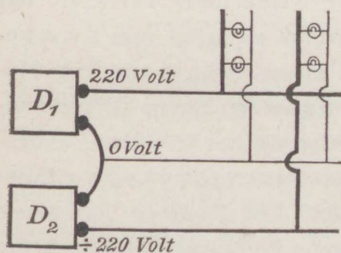


Fig. 74.

ningen paa 220 Volt eller Ledningen paa $\div 220$ Volt, og alle Anlæggets Lamper er saavidt muligt ligeligt fordelt mellem de to Sæt Ledninger. Nul-Ledningen fører Strømmen tilbage til Dynamoen D_1 , mens den fører Strømmen fra D_2 ud til Lamperne; Strømmene i Nul-Ledningen ophæver altsaa hinanden, hvis der bruges lige meget Strøm i de to Lampegrupper.

Fordelen ved Trelederssystemet indses saaledes. Hvis hver af de to Dynamoer forsynede sin Lampegruppe med Strøm, var der fire Ledninger. I Trelederssystemet er den ene Dynamos negative og den andens positive Ledning slaaet sammen til een, saa at der kun er tre Ledninger, af hvilke Nul-Ledningen ingen eller næsten ingen Strøm fører og derfor kan gøres tynd. Forsynede een Dynamo paa 220 Volt

alle Anlæggets Lamper med Strøm, var der ganske vist kun to Ledninger, men disse maatte føre dobbelt saa stærk Strøm, som naar der er to Dynamoer; de maatte være saa tykke, at det kan betale sig at bruge Trelederssystemets tre Ledninger.

Sættes et almindeligt Elektroskop i Forbindelse med Ledningen paa 220 Volt, gør Bladene Udslag, og med en gneden Ebonitstang kan man undersøge, om det er den positive eller den negative Ledning, man har med at gøre. Ved Hjælp af Kondensatorelektroskopet kan man undersøge Nulledningens Spænding; Resultatet afhænger her af, hvor mange Lamper der er tændt i de to Grupper (samt af mulige Isolationsfejl).

Elektromotorer.

Elektromotoren er en Maskine, der frembringer Drivkraft ved Hjælp af en elektrisk Strøm; den er indrettet nøjagtigt som Dynamomaskinen (Fig. 64); samme Maskine kan altsaa virke baade som Motor og Dynamo. Lad os antage, at der træder en Strøm (Drivstrømmen) ind ved Fjederen F_2 ; Strømmen deler sig her i to Dele, hvoraf den ene løber gennem Kobbertraaden om Jærnrings øverste Halvdel, den anden om den nederste Halvdel. Ved Fjederen F_1 forener de to Dele sig igen og forlader Jærnrings Bevikling. Stikkes højre Haand ind i Mellemrummene mellem Magnetens Poler og Ringen, viser Lillefingerreglen Side 38, at Jærnringen drives rundt i en Retning, der er modsat den, som den store Pil inde i Ringen angiver. Skal Motoren f. Eks. drive en Sporvogn, er der paa Jærnrings Akse anbragt Tandhjul, som griber ind i Tandhjul, der er fastgjort paa Vognhjulenes Akse.

*Da Drivstrømmen faar Motorens Jærnring til at løbe rundt, virker Motoren samtidig som Dynamo og frembringer en Strøm, **Modstrømmen**, der gaar i modsat Retning af Drivstrømmen og svækker denne; gaar Jærnringen langsomt rundt, er Modstrømmen svag; gaar den hurtigt, er Modstrømmen stærk. Dette Forhold er en heldig Egenskab ved Motoren; skal en Sporvogn f. Eks. køre op ad en Bakke, bevæger den og Motoren sig langsommere, Modstrømmen bliver svagere, Drivkraften altsaa større; omvendt, naar Sporvognen kører ned ad Bakke.*

Elektromotoren anbringes i Ledningen paa samme Maade som elektriske Lamber. Fig. 75 viser, hvorledes Drivstrømmen i en Seriemotor gaar fra Anlæggets positive Ledning gennem Elektromagnetens og Jærnringens Kobbertraad; gennem en Reguleringsmodstand *G*, der kaldes „Gangsætningsmodstanden“, og videre til den negative Ledning. Gangsætningsmodstanden bestaar af nogle Messingknopper (1, 2, 3, 4, 5), der er forbundne med hinanden med Metaltraade, som Fig. 75 viser; *H* er et Haandtag af Messing, der kan drejes om Aksen *A*.

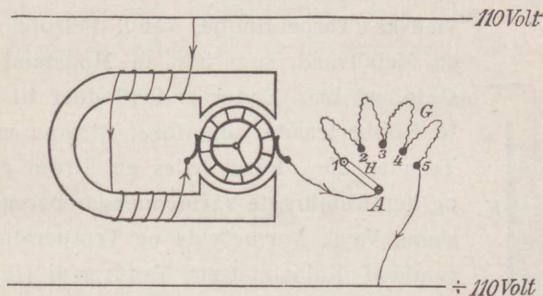


Fig. 75.

Staar Haandtaget som paa Figuren, gaar Strømmen gennem hele Gangsætningsmodstanden; drejes Haandtaget efterhaanden hen paa Knopperne 2, 3 og 4, gennemløber Strømmen en mindre Del af Modstanden, og drejes det hen paa Knop 5, er hele Gangsætningsmodstanden udskudt.

Gangsætningsmodstanden er kun indskudt, naar Motoren sættes i Gang. I dette Øjeblik er der ingen Modstrøm, fordi Jærnringen staar stille, og hvis Modstanden *G* ikke var indskudt, vilde Strømmen blive saa stærk, at Motoren blev ødelagt; er Motorens Modstand f. Eks. 0,5 Ohm og Anlægget paa 220 Volt, vilde Strømmen ifølge Ohms Lov (Ligning II) blive $\frac{220}{0,5}$ Amp d. v. s. 440 Amp. Kommer Motoren først i Gang, frembringer den en kraftig Modstrøm og kan taale hele Anlæggets Spænding; Motoren skal altsaa kun beskyttes, naar den sættes i Gang, og dette sker ved at dreje Haandtaget langsomt fra Knop 1 hen paa Knop 5 (Vognstyreren paa den elektriske Sporvogn).

Elektrisk Energi.

Joules Lov. En elektrisk Strøm opvarmer den Ledning, den gennemløber; den Lov, der angiver, hvad den frembragte Varmemængde afhænger af, er først fremsat af Englænderen Joule. Til Undersøgelsen anvendes et Kalorimeter K med en daarligt ledende

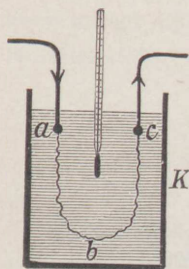


Fig. 76.

Vædske (Terpentinolie, Vand, Petroleum). abc er en Metaltraad, som har en Modstand paa nogle Ohm, og hvis Ender er fastlodet til Enderne af to Kobbertraade, som fører Strømmen til og fra Traaden abc . Først ledes en Strøm gennem abc , og den frembragte Varmemængde beregnes af Vædskens Vægt, Varmefylde og Temperaturstigningen samt af Kalorimetrets Vandværdi (Produktet af dets Vægt og Varmefylde). Forsøget gøres nu om med en n Gange saa stærk Strøm i samme Tid, og

det viser sig, at Varmeudviklingen er n^2 Gange saa stor som før; *Varmeudviklingen er ligefrem proportional med Strømstyrkens Kvadrat.*

Paa lignende Maade viser man ved at erstatte abc med Traade, der har forskellig Modstand men gennemløbes af lige stærke Strømme i samme Tid, at *Varmeudviklingen er proportional med Modstanden.*

Jo længere Tid Strømmen gaar, jo større er Varmeudviklingen. Er Strømstyrken i et Stykke af en Ledning i Amp, Modstanden r Ohm, frembringes der i t **Sekunder** en Varmemængde V Gramkalorier, og man har altsaa:

$$V = k \cdot i^2 \cdot r \cdot t, \quad (1)$$

hvor k er en Konstant, som findes ved at indsætte Værdierne af V , i , r og t fra et af Forsøgene; den er 0,24 (nøjagtigere 0,238). Da man ifølge Ohms Lov (II) har, at $i = \frac{e}{r}$, hvor e er Spændingsforskellen mellem Endepunkterne af Lederstykket, faar man

$$V = k \cdot i \cdot e \cdot t. \quad (2)$$

Naar et Batteri med tilhørende ydre Ledning gennemløbes af en Strøm, fortæres Zinken i Batteriet; der forsvinder kemisk Energi. Denne omdannes til elektrisk Energi (Strøm-Energi), som atter omdannes til Varmeenergi eller Bevægelsesenergi (Motorer). Man bruger i Flæng de to Udtryk, at der *forbruges* Energi (d. v. s. Strøm-Energi), eller at der *opstaar* Energi (d. v. s. Varme, Bevægelse). Batteriet opvarmes noget, dels af lidt af den kemiske Energi, dels af Strøm-Energi, da Strømmen jo ogsaa gaar gennem Batteriet.

Med Joules Lov som Udgangspunkt faas følgende Formler for det elektriske Energiforbrug E i et Lederstykke i t Sekunder.

$$\begin{cases} E = 0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t \text{ Gramkalorier} \\ E = 0,24 \cdot i \cdot e \cdot t \quad \text{—} \end{cases}$$

$$\begin{cases} E = \frac{0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t \cdot 427}{1000} \text{ kgm} \\ E = \frac{0,24 \cdot i \cdot e \cdot t \cdot 427}{1000} \text{ kgm,} \end{cases}$$

idet Varmeenhedens mekaniske Ækvivalent er 427 kgm.

I Praksis bruges en anden Energi-Enhed, **en Watt-Time**. AB (Fig. 77) er et Stykke af en Ledning, hvorigennem der gaar en Strøm paa 1 Ampere; Spændingsforskellen mellem A og B er 1 Volt (Modstanden i AB altsaa 1 Ohm). Hvis Strømmen gaar i 1 Time, er der i denne

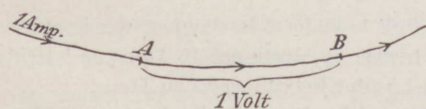


Fig. 77.

Tid i AB opstaaet en vis Varmemængde, som efter Dampmaskinens Opfinder James Watt har faaet Navnet en Watt-Time.

Det elektriske Energiforbrug

i et Stykke af en Ledning er 1 Watt-Time, naar Stykket i 1 Time gennemløbes af en Strøm paa 1 Ampere, og Spændingsforskellen mellem Stykkets Endepunkter er 1 Volt. Ifølge Joules Lov er den elektriske Energi E proportional med Strømstyrke, Spændingsforskel og Tid; hvis altsaa Strømstyrken ikke er 1 Amp., men i Amp. og Spændingsforskellen mellem A og B ikke 1 Volt men e Volt, er Energiforbruget pr. Time $i \cdot e$ Watt-Timer. Hvis Strømmen gaar i t Timer, har man altsaa:

$$E = i \cdot e \cdot t \text{ Watt-Timer}$$

1 Hektowatt-Time = 100 Watt-Timer. 1 Kilowatt-Time = 1000 Watt-Timer.

Forbrugeren af Elektricitet fra Elektricitetsværket betaler for den elektriske Energi, han har brugt, og Regningen lyder derfor paa et vist Antal Hektowatt- eller Kilowatt-Timer. *Forbrugeren skal altsaa betale for Spændingsforskel, Strømstyrke og Tid.* Man kunde tro, at Forbrugeren kun skulde betale for den Strømstyrke, han bruger (og for Tiden). At dette ikke vilde være rimeligt, ses dog let af et Eksempel. To Glødelamper indeholder lige tykke Kultraade, hvoraf den ene *A* er tre Gange saa lang som den anden *B*. De lyser begge ved *samme Strømstyrke*, fordi Kultraadene er lige tykke; men da *A* er tre Gange saa lang som *B*, udsender den tre Gange saa meget Lys som *B*, men kræver samtidig tre Gange saa stor Spændingsforskel mellem sine Endepunkter. Lampen *A* lyser altsaa tre Gange saa stærkt som Lampen *B*, men den koster ogsaa tre Gange saa meget at bruge, fordi den kræver tre Gange saa stor Spændingsforskel.

Eksempel 1. Hvor meget Varme udvikles der i 10 Minutter i en Kultraadslampe paa 220 Volt, som lyser ved en Strøm paa $\frac{1}{4}$ Amp. (Lampe paa 16 Lys)? Hvor meget koster Lampen i Timen, naar 1 Hektowatt-Time koster $3\frac{1}{2}$ Øre?

Eksempel 2. Hvor meget koster en Kultraadslampe i Timen, naar Anlægget er paa 110 Volt og Strømstyrken i Lampen er $\frac{1}{2}$ Amp. (Lampe paa 16 Lys)? 1 Hektowatt-Time koster $3\frac{1}{2}$ Øre.

Eksempel 3. I et Anlæg paa 110 Volt brænder 2 Buelamper, der er anbragt i Række som paa Fig. 72. Lamperne kræver en Strøm paa 15 Amp., og 1 Hektowatt-Time koster $3\frac{1}{2}$ Øre. Hvor meget koster Belysningen i en Time?

I den Bro, som dannes af Forlagsmodstand og de to Buelamper, er Strømmen 15 Amp. Energiforbruget i Forlagsmodstand og begge Buelamper er altsaa i en Time: $15 \cdot 110 \cdot 1$ Watt-Timer = 1650 Watt-Timer. Belysningen koster altsaa $1650 \cdot \frac{3\frac{1}{2}}{100}$ Øre = $57\frac{3}{4}$ Øre.

Eksempel 4. I en Forretning brænder 4 i Række indskudte Buelamper og 100 Metaltraadslamper; Byens Anlæg er paa 220 Volt. En Buelampe kræver 15 Amp., en Metaltraadslampe (50 Lys) 0,3 Amp. Hvor meget koster Belysningen i 4 Timer, naar 1 Hektowatt-Time koster $3\frac{1}{2}$ Øre?

Eksempel 5. I et elektrisk Kogekar har Glødetraaden (der ligger i en i Kogekarret anbragt isolerende Masse) Modstanden 110 Ohm og sættes ved Hjælp af en Stikkontakt i Forbindelse med det elektriske Anlæg, der er paa 220 Volt. I

Karret er der 1 Liter Vand à 10^0 . Hvorlænge varer det, inden Vandet er 100^0 , og hvor meget koster Opvarmningen? Der tages ikke Hensyn til Varmetab til Omgivelserne.

Den Varmemængde, der kræves til at opvarme 1 l Vand fra 10^0 — 100^0 , sættes lig $0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t$, hvor i og r kendes. 1 Hektowatt-Time $3\frac{1}{2}$ Øre.

Eksempel 6. Hvis i foregaaende Opgave Glødetraaden er delt i to Stykker à 55 Ohm, der er indskudt parallelt i Apparatet, bliver Strømstyrken i hver Traad $\frac{220}{55}$ Amp., d. v. s. 4 Amp. Hvorlænge vil det nu vare, før Vandet er opvarmet til 100^0 , og hvormeget koster Opvarmningen?

Eksempel 7. En Dynamo skal forsyne 100 Glødelamper à 60 Volt og $\frac{1}{2}$ Amp. med Strøm. Hvormange Hestes Kraft skal den Dampmaskine, der driver Dynamoen, mindst være paa, naar der ses bort fra alle Energitab? 1 HK er 75 kgm pr. Sekund.

En **Watt** (Volt-Ampere) er den i et Lederstykke i 1 Sekund forbrugte Energi, naar Strømstyrken er 1 Amp. og Spændingsforskellen mellem Lederstykkets Endepunkter er 1 Volt. Er Strømstyrken i Amp. og Spændingsforskellen e Volt, maa Energiforbruget (pr. Sekund) — som ifølge Joules Lov er proportional med i og e — være $i \cdot e$ Watt. En Watt kunde altsaa i Analogi med Ordet en Watt-Time kaldes et Watt-Sekund (1 Watt-Time = 3600 Watt). En Lampes Brugbarhed beror — foruden paa dens Holdbarhed og Pris — paa Energiforbruget i 1 Sekund pr. Normallys; en Kultraadslampe paa 16 Lys i et 220 Volts Anlæg forbruger, idet Strømstyrken er ca. $\frac{1}{4}$ Amp., $\frac{1}{4} \cdot 220 : 16$ eller 3,44 Watt pr. Normallys. Til Sammenligning tjener:

Kultraadslampen	forbruger	3 à 4	Watt pr. Normallys
Tantallampen	—	ca. 1,6	— — —
Osram- eller Wolframlampen	—	ca. 1	— — —
Nyere Metaltraadslamper	—	$\frac{1}{2}$	— — —
Buelampen	—	0,5 à 0,8	— — —

Elektricitetsmaaleren maaler den Energi, som Forbrugeren skal betale for. I elektriske Anlæg er Ledningernes Spændingsforskel

konstant, f. Eks. 220 Volt. Den brugte Energi bliver derfor proportional med Strømstyrken og Tiden og kan maales ved at sende en bekendt Brøkdelen af Strømmen gennem en lille Motor. For at forhindre denne i at løbe for stærkt, er der paa dens Akse anbragt en

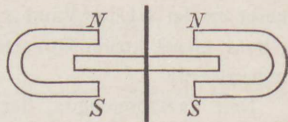


Fig. 78.

er der paa dens Akse anbragt en Kobberskive (Fig. 78), som roterer mellem Polerne paa tre Hesteskomagneter; de i Kobberskiven opstaaende Hvirvelstrømme hæmmer Rotationen og virker som en konstant Bremse, der ikke kan slides. Jo stærkere Strøm, man bruger, og jo længere Tid den bruges i, jo flere Gange gaar Aksens rundt; ved Tandhjulsforbindelser overføres Aksens Rotation paa Maalerens Visere.

Vekselstrøm.

Paa Fig. 79 forestiller A en Jærnkærne, der er omviklet med isoleret Kobbertraad. I, II og III er tre forskellige Stillinger af en Staal-magnet *ns*, der føres forbi Jærnkærnen. Føres Staal-magneten fra I til II, opstaar der en Sydpol forneden i A, og ifølge Lenz' Lov opstaar der i A's Bevikling en elektromotorisk Kraft i Pilenes Retning. Føres *ns* fra II til III, forsvinder Sydpolen i A, og der induceres en modsat rettet elektromotorisk Kraft i Vindingerne. Den elektromotoriske Kraft skifter altsaa Retning, naar Magneten staar lige uden for Jærnkærnen.

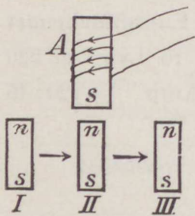


Fig. 79.

Fremdeles maa vi lægge Mærke til, at hvis der i den ene Ende af en beviklet Jærnkærne først forsvinder f. Eks. en Nordpol og derpaa opstaar en Sydpol, gaar den elektromotoriske Kraft stadig i samme Retning. Ifølge Lenz' Lov skal den inducerede elektromotoriske Kraft nemlig hele Tiden søge at frembringe Nordpol.

For at lette Forstaaelsen af det følgende begynder vi med en *Vekselstrømmaskine* af ældre Konstruktion (Fig. 80). NS er en faststaaende Staal-magnet. En Jærnkærne E , der er beviklet som en Elektromagnet, kan drejes om en Akse. Paa Aksen er der anbragt to Metal-skiver, m_1 og m_2 , af hvilke den ene (m_1) er

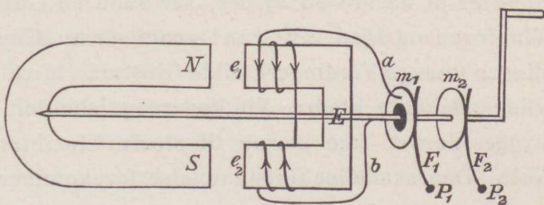


Fig. 80.

isoleret fra Aksen; Beviklingens ene Ende a er i Forbindelse med m_1 , den anden Ende b er fastgjort til Aksen og staar saaledes i ledende Forbindelse med m_2 . Gennem Fjedrene F_1 og F_2 , der rører Skivernes Rande, skal Vekselstrømmen føres ud i den ydre Ledning. Drejes Aksen 180° , forsvinder der først en Sydpol i e_1 , og derpaa opstaar der en Nordpol, mens der i e_2 først forsvinder en Nordpol og derpaa opstaar en Sydpol; den elektromotoriske Kraft har — som ovenfor forklaret — hele Tiden samme Retning; den er angivet ved Pile paa Figuren. Naar e_1 og e_2 nu passerer henholdsvis S og N, skifter den elektromotoriske Kraft — som ovenfor forklaret — Retning og beholder den ny Retning under en Drejning paa 180° o. s. v. Den ydre Ledning, der forbinder Maskinens Poler, P_1 og P_2 , gennemløbes altsaa af en Vekselstrøm. I en Vekselstrømmaskine kaldes den faststaaende Del *Stator* (her Staal-magneten), den roterende Del *Rotor*; den elektromotoriske Kraft skifter altsaa kun Retning, naar Rotors Jærnkærner staar lige ud for Stators Poler. Da der induceres en elektromotorisk Kraft i hver af Rotors Vindinger, giver mange Vindinger stor elektromotorisk Kraft; Vindingerne gøres tynde for ikke at fylde for meget.

Man har bygget store Maskiner af lignende Konstruktion med mange beviklede Jærnkærner og Poler; de kaldes af Grunde, der vil fremgaa af det følgende, *enfasede* Maskiner. Magneterne er dog ikke Staal-magneter, men Elektromagneter, der forsynes med Strøm fra en lille Jævnstrømdynamo; da de store enfasede Maskiner ikke spiller nogen Rolle i Praksis, skal vi ikke gaa nærmere ind paa deres Ind-

retning. — Naar Jævnstrømdynamoens Anker drejes rundt, glider dens Kobbevindinger stadig forbi Kobberfjedrene, og hver Gang en Vinding ophører at berøre en Fjeder, ser man en Gnist springe over mellem Vindingen og Fjederen; var Dynamoen nu konstrueret til høje Spændinger (mange Vindinger), vilde Gnisterne blive saa store, at de hurtigt vilde ødelægge Fjedre, Vindinger og Isolation. Jævnstrømdynamoer bygges derfor ikke gjerne til større Klemmespændinger end ca. 500 Volt. Den skadelige Gnistdannelse forekommer ikke ved Vekselstrømmaskinen Fig. 80 — og det samme gælder for alle Vekselstrømmaskiner — fordi Fjedrene hele Tiden glider mod Metalringene; hvis Jærnkærnerne er faststaaende — hvad der er det almindelige — mens de Poler, der frembringer Induktionsstrømmen, drejer rundt, skal Vekselstrømmen slet ikke gennem nogen Fjeder for at komme ud i den ydre Ledning. *Vekselstrømmaskiner kan derfor bygges til meget høje Spændinger.*

Enfaset Motor. Den enfasede Vekselstrømmotor, der drives med Strøm fra en enfaset Vekselstrømmaskine, kan indrettes omtrent som Jævnstrømmotoren, da Strømmen skifter Retning samtidig i Elektromagnet og Ring. Naar Strømmen skifter Retning i Elektromagneten, kommer Kraftlinierne ganske vist til at gaa modsat Vej, men da Strømmen i Ringens Bevikling samtidig skifter Retning, drives Ringen stadig samme Vej rundt. Smaa enfasede Motorer benyttes, som det senere forklares, en Del i trefasede Vekselstrømanlæg, som altid bruges i Praksis.

Maskinen Fig. 80 kan indrettes saaledes, at den giver ensrettet Strøm i den ydre Ledning. De to Metalskiver m_1 og m_2 erstattes af een Metalskive (Fig. 81), der virker som *Kommulator* (Strømvender). Skiven er isoleret fra Aksen og delt i to fra hinanden isolerede Halvdele, s_1 og s_2 , ved Hjælp af det isolerende Lag pq . Traadene a og b (Fig. 80) er sat i Forbindelse med hver sin af Skivens to Halvdele, og Skiven er anbragt saaledes, at pq berører Fjedrene F_1 og F_2 ,

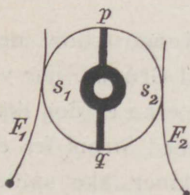


Fig. 81.

naar Strømmen skifter Retning. F_1 berører altsaa Stykket s_1 , saalænge dette modtager positiv Elektricitet fra Maskinen, men berører s_2 , naar dette Stykke modtager positiv Elektricitet o. s. v.

En saadan Maskine med Kommutator benyttes f. Eks. til at drive de store Klokker ved Ledvogterhusene langs Banelinien, idet Maskinen drives ved Haandkraft paa Stationen. Berører man Ledningen til Klokken samtidig med, at den ringer, faar man et Stød.

Forbindes en Vekselstrømmaskines Poler med en ydre Ledning, gennembløbes denne af en Vekselstrøm, som forandrer Styrke og Retning. Fig. 82 viser en grafisk Fremstilling af Strømstyrkens Forandring, idet Tiden er Abscisse, Strømstyrken Ordinat; fra Værdien 0 naar Strømstyrken sit Maksimum i a , aftager igen til 0,

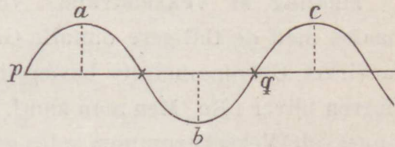


Fig. 82.

naar sit Maksimum i modsat Retning i b , bliver igen 0 o. s. v. Maskinens elektromotoriske Kraft til forskellige Tidspunkter fremstilles ved en Kurve af samme Form; er der stor Selvinduktion, falder

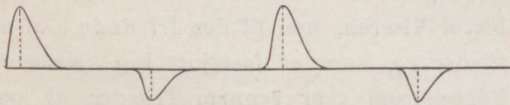


Fig. 83.

Maksimum af Strømstyrke lidt senere end Maksimum af elektromotorisk Kraft. Kurverne ved Vekselstrøm

har ikke altid ovenstaaende Form. Fig. 83 viser f. Eks., hvorledes den elektromotoriske Kraft kan variere ved Induktionsapparatet, der jo ogsaa giver Vekselstrøm; den elektromotoriske Kraft er 0 i forholdsvis lang Tid, nemlig indtil Hovedstrømmens næste Slutning eller Afbrydelse finder Sted.

Ved **Vekseltallet** forstaas det Antal Gange, Strømmen skifter Retning pr. Sekund. Ved **Frekvensen** forstaas det Antal Gange, som Strømmen i et Sekund svinger frem og tilbage; Frekvensen er altsaa det halve af Vekseltallet. Gaar Rotor i Maskinen Fig. 80 f. Eks. 10 Gange rundt pr. Sekund, bliver Vekseltallet 20, fordi Strømmen skifter Retning to Gange under hver Omdrejning; Frekvensen bliver 10.

Lad os antage, at vi har to ens Vekselstrømmaskiner som Fig. 80; de drejes lige hurtigt rundt, og Polerne er forbundne med to ens ydre Ledninger. Fra først af staar begges Rotor som paa Fig. 80 (Begyndelsesstillingen); den ene Rotor sættes nu i Gang, og naar den har drejet sig f. Eks. 90° , sættes den andens Rotor i Gang. I et bestemt Øjeblik er Strømstyrkerne i de to ydre Ledninger *ikke* lige store, fordi den ene Maskine er bag efter den anden; man siger, at de to Vekselstrømme har en **Faseforskel** paa 90° . En Vekselstrøms Fase maales ved den Vinkel, som Rotor har drejet sig, regnet fra Begyndelsesstillingen, der f. Eks. kan være den Stilling, hvor Rotors og Stators Poler og Beviklinger staar lige ud for hinanden.

Maaling af Vekselstrøm. Vekselstrømmens Styrke kan ikke maales med de tidligere omtalte Galvanometre, fordi Vekselstrømmen paavirker Galvanometrets bevægelige Del til modsatte Sider, saa at Viseren bliver i Ro. Men man kan f. Eks. benytte Strømmens Varmevirkninger, idet Vekselstrømmen ledes gennem en tynd Traad *ab* (Fig. 84), der

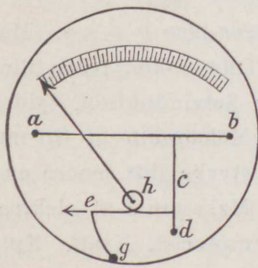


Fig. 84.

er lavet af en Legering af Platin og Sølv; Traaden er fastgjort i *a* og *b*, hvor Strømmen ledes til og fra. En tynd Metaltraad *c* er fastgjort til *ab* og til den lille Opstander *d*; fra *c* gaar en Silketraad om Trissen *h*, der bærer Viseren, hen til den fri Ende *e* af en Fjeder *eg*, som er fastgjort i *g*. Naar en Vekselstrøm gaar gennem Traaden *ab*, opvarmes denne og bliver længere; *c* bliver slap, men strammes af Fjederen, der trækker i Silketraaden; herved drejes *h*, og Viseren følger med. Apparatet kaldes *Varmetraad-Galvanometret*; det inddeles ved, at man sender Jævnstrøm af bekendt Styrke gennem *ab*, og kan altsaa ogsaa bruges til Maaling af Jævnstrøm. Vekselstrøm maales altsaa i Ampere, og den med Apparatet maalte Strømstyrke kaldes den **effektive Strømstyrke**; den er naturligvis mindre end Vekselstrømmens maksimale Styrke (ca. 0,7 Gange saa stor*). Da Traaden *ab* er tynd og ikke taaler

i Silketraaden; herved drejes *h*, og Viseren følger med. Apparatet kaldes *Varmetraad-Galvanometret*; det inddeles ved, at man sender Jævnstrøm af bekendt Styrke gennem *ab*, og kan altsaa ogsaa bruges til Maaling af Jævnstrøm. Vekselstrøm maales altsaa i Ampere, og den med Apparatet maalte Strømstyrke kaldes den **effektive Strømstyrke**; den er naturligvis mindre end Vekselstrømmens maksimale Styrke (ca. 0,7 Gange saa stor*). Da Traaden *ab* er tynd og ikke taaler

*) Den effektive Strømstyrke er ikke et aritmetisk Middeltal mellem Vekselstrømmens forskellige Strømstyrker, men Kvadratroden af Middeltallet af Kvadraterne paa de forskellige Strømstyrker.

stærk Strøm, bruges Varmetraad-Galvanometret med Shunt paa sædvanlig Maade.

Som Voltmeter kan ved Vekselstrøm bruges et Apparat af samme Konstruktion, men som sædvanlig med stor Modstand, idet der anbringes en Forlagsmodstand i Række med *ab*. Inddelingen sker ved Jævnstrøm paa samme Maade som ved andre Voltmetre, og det, man maaler med Apparatet, er den **effektive Spændingsforskel**.

I Vekselstrøm-Ledninger med ringe Selvinduktion, f. Eks. Lysledninger, gælder Ohms Lov og de af den udledede Love (om Strømfor-greninger, Joules Lov), naar man regner med effektiv Strømstyrke og Spændingsforskel. Er der større Selvinduktion — f. Eks. i Ledninger, hvori der findes Motorer — svækkes Vekselstrømmen af Selvinduk-tionen, saa at der fremkommer en tilsyneladende Modstand, der gør Strømstyrken mindre, end den skulde være efter Ohms Lov.

Sender man en Vekselstrøm med stor Frekvens gennem en Rulle, kan den tilsyneladende Modstand blive saa stor, at der næsten ingen Strøm gaar igennem; Rullen virker som en Laas for Vekselstrømmen og kaldes en **Stoppespole** (Drosselspole).

Strømmes Transformation.

Naar man siger, at en Strøm transformeres (omdannes), mener man enten, at en stærk Strøm med ringe elektromotorisk Kraft omdannes til en svag Strøm med stor elektromotorisk Kraft, eller omvendt.

1. **Induktionsapparatet** bestaar af en Elektromagnet *NS* med faa, tykke Vindinger, som ikke er synlige paa Figuren; uden om Elektromagneten er Induktions-lederen viklet i mange tynde Vindinger, som ender i de to Klemme-skruer *P₁* og *P₂*. Jærn-ankeret *A*, der sidder paa Fjederen *F*, rører ved en Skrue, som er anbragt paa Opstanderen

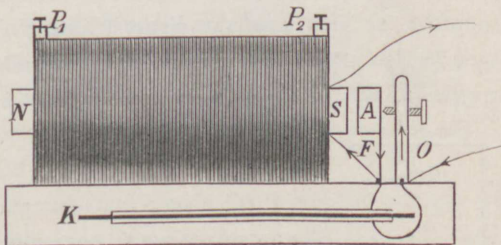


Fig. 85.

O. Strømmen fra et Batteri, *Hovedstrømmen eller den primære Strøm*, gaar fra *O* gennem Skruen til *F* og gennem Elektromagnetens Vindinger tilbage til Batteriet. Indretningen er altsaa ligesom ved Ringeapparatet, og Strømmen er stærk, fordi Modstanden er lille. I Elektromagneten dannes der f. Eks. en Nordpol ved *N*, Sydpol ved *S*. A tiltrækkes af *S*, og Strømmen afbrydes paa det Sted, hvor Skruens Spids rører A. Polerne *N* og *S* forsvinder, Fjederen *F* springer tilbage og *A* berører Skruens Spids o. s. v. Ved Strømafbrydelsen springer der paa Grund af Selvinduktionen en Gnist over paa Afbrydelsesstedet; Skruens Spids og det Sted paa *A*, som Spidsen berører, er af Platin, der ikke ødelægges saa let af Gnister som andre Metaller. Afbryderen kaldes derfor *Platinafbryderen*.

Ved den primære Strøms Slutning og Afbrydelse, opstaar og forsvinder Polerne *N* og *S*, og Kraftlinierne, der gennem Jærnstangen gaar fra *S* mod *N*, kommer og forsvinder; ved at benytte Lenz' Lov eller Regel I (Side 51), kan man let bestemme Retningen af den elektromotoriske Kraft i Induktionslederen (*den sekundære Ledning*). Der induceres en elektromotorisk Kraft i hver af de mange Vindinger, saa at Spændingsforskellen mellem P_1 og P_2 bliver meget stor. Forbindes P_1 og P_2 , gennemløbes den sekundære og den ydre Ledning af Vekselstrøm: en *Aabningsstrøm*, naar Hovedlederen afbrydes, en *Slutningsstrøm*, naar Hovedlederen sluttes; Strømstyrken er lille, fordi Induktionslederen og den ydre Ledning har meget stor Modstand. **Induktionsapparatet er altsaa en Transformator, der omdanner stærk Strøm med lille elektromotorisk Kraft til svag Strøm med stor elektromotorisk Kraft.** Se Tabellen Side 95 om Gnistlængdens Afhængighed af Polernes Spændingsforskel.

Aabningsstrømmen har større elektromotorisk Kraft end Slutningsstrømmen (se den grafiske Fremstilling Fig. 83); Grunden hertil er følgende. Induktionslederens elektromotoriske Kraft afhænger af dens Længde, af det magnetiske Felts Intensitet i *NS* og af den Hastighed, hvormed Feltet opstaar og forsvinder. Men Afmagnetiseringen af *NS* foregaar hurtigere end Magnetiseringen, fordi *N* og *S* ved Afmagnetiseringen er stærke, naar Afmagnetiseringen begynder, og understøtter Smaamagneternes Drejning (Fig. 86), saa at de lettere kom-

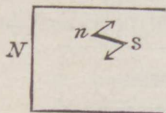


Fig. 86.

mer i Uorden; ved Magnetiseringen, hvor *N* og *S* er i Færd med at opstaa, modsætter de sig, at Smaamagneterne drejes ind i den rigtige Retning.

Fremdeles spiller Selvinduktionen en Rolle; Magnetiseringen frembringer i Hovedlederen en Ekstrastrøm, der har modsat Retning af Hovedstrømmen, saa at det varer lidt, inden denne opnaar sin fulde Styrke, hvorved Magnetiseringen yderligere forsinkes. Afmagnetiseringen fremkalder i Hovedlederen en Ekstrastrøm, der gaar samme Vej som Hovedstrømmen; paa Grund af Ekstrastrømmens store elektromotoriske Kraft opstaa der en Gnist paa det Sted, hvor Hovedstrømmen afbrydes, og i den — ganske vist korte — Tid Gnisten varer, gaar Hovedstrømmen. Men Varigheden af denne Gnist formindskes stærkt ved i Apparatets hule Fodstykke at anbringe en Pladekondensator *K* (Fig. 85), hvis to Belægninger er sat i Forbindelse med to Punkter af Hovedlederen, hvert paa sin Side af Afbrydelsesstedet. Mens Afbrydelsen varer, søger største Delen af de Elektricitetsmængder, der fra begge Sider er paa Vej hen mod Afbrydelsesstedet, ned i Kondensatorens Belægninger, saa at Gnisten kun bliver lille; næste Gang Hovedstrømmen sluttes, udlades Kondensatoren ad Vejen *OAF*. Smaa Induktionsapparater har ikke Kondensator.

Ved Røntgenrør og de fleste Gejslerske Rør har kun Aabningsstrømmen tilstrækkelig stor elektromotorisk Kraft til at sende en Udladning gennem Rørene, saa at Strømmen gennem dem bliver ensrettet.

Bedre end Platinafbryderen er Kvægsølvafbryderen Fig. 87. Paa Ankeret er der anbragt en Kobberbøjle, som ender i en tilspidset Sølvstang, der omtrent rører Kvægsølvet i Glasset *G*; oven over Kvægsølvet er der Petroleum. Naar Ankeret gaar frem og tilbage, sluttes den primære Strøm, hver Gang Spidsen gaar ned i Kvægsølvet; Gnisten, der dannes, naar Spidsen gaar op, bliver lille i Petroleum. Da Fjederen *F* her kan gøres temmelig kort, og da korte Fjedre svinger hurtigt, bliver tillige Antallet af Afbrydninger — Antallet af Vekselstrømme — større, d. v. s. der frembringes mere elektrisk Energi.

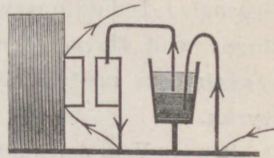


Fig. 87.

Ved meget store Induktionsapparater (Gnistinduktorer, Ruhmkorfer) benyttes en endnu bedre Afbryder, Motorafbryderen, der er en Kvægsølvafbryder, hvor den primære Strøms Afbrydning og Slutning sker derved, at en hurtigt roterende Motor faar en Metalstift til at gaa op og ned paa lignende Maade som Naalen paa en Symaskine.

2. **Vekselstrømmens Transformation.** I Induktionsapparatet er det Batteristrømmen, der transformeres til højspændt Vekselstrøm; det er altsaa en *ensrettet* Strøm, der transformeres. Er det Strømmen fra en Vekselstrømmaskine, der skal transformeres, bliver Transformatoren noget simplere; den er i Princippet indrettet akkurat som Induktionsapparatet, men Afbryderen (Anker, Fjeder og Skrue) bort-

falder. Paa Fig. 88 forestiller *AB* Jærnkærnen, om hvilken den primære Ledning er viklet (de tykt optrukne Linier paa Fig.); uden

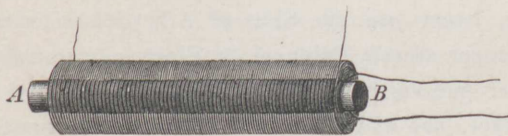


Fig. 88.

om denne ses den sekundære Ledning (de tynde Linier paa Figuren). Vekselstrømmaskinen sender Strøm gennem den primære Ledning, og den primære Strøm bestaar altsaa af en Række kortvarige Strømme, som stadig skifter Retning. Herved induceres der Vekselstrøm med samme Frekvens i den sekundære Ledning, hvis ydre Ledning altsaa ogsaa gennemløbes af Vekselstrømme. **Hvis nu Induktionslederen har flere Vindinger end Hovedlederen, transformeres Hovedstrømmen til en Vekselstrøm med højere Spænding og mindre Strømstyrke** (ligesom i Induktionsapparatet); **har Induktionslederen færre Vindinger end Hovedlederen, transformeres Hovedstrømmen til en Vekselstrøm med mindre elektromotorisk Kraft og større Strømstyrke.**

Sendes Vekselstrømmen fra et Induktionsapparat med Gnistlængde ca. 3 cm gennem en Glødelampe paa ca. 5 Volt, gløder Kultraaden ikke, men sendes den gennem den lange Ledning paa en Transformator, der har Form som Fig. 88, mens Glødelampen forbindes med Enderne af den korte Ledning, lyser Lampen godt.

Anmærkning. Den sekundære Strøm har samme Vekseltal, samme Frekvens, som den primære; thi saalænge den primære Strøm er aftagende, aftager Antallet af Kraftlinier f. Eks. i Retningen AB (Fig. 88); saalænge den paafølgende, modsat rettede, primære Strøm er voksende, vokser Antallet af Kraftlinier i Retningen BA , og begge Dele giver — som det let ses ved Hjælp af Regel I (Side 51) — samme Strømretning i den sekundære Ledning. Mens altsaa den primære Strøm undergaar Forandringen ab (Fig. 82), gaar den sekundære Strøm i een Retning; mens den primære Strøm undergaar Forandringen bc , ses paa samme Maade, at den sekundære Strøm gaar i modsat Retning.

Transformatoren Fig. 88 har ingen heldig Konstruktion, fordi Kraftlinierne spredes, naar de i Nærheden af Stangen AB 's Ender gaar ud i Luften. Giver man f. Eks. Jærnkærnen Form som en Ring, Fig. 89, gaar de Kraftlinier, der dannes af

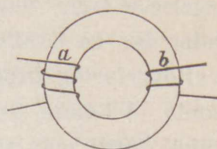


Fig. 89.

den primære Vekselstrøm i a , for største Delen rundt i Ringen og gennem Vindingerne i den sekundære Ledning b .

Ved trefasede Vekselstrømme, som senere omtales, benyttes en Transformator, der er sammensat af tre Transformatorer af Formen Fig. 88. De tre Jærnstænger anbringes lodret; deres øverste Ender er forbundne med hinanden med en Jærnplade, ligeledes de nederste, saa at Kraftlinierne overalt gaar inde i Jærnet. Fig. 90 viser en trefaset Transformator med tre primære og tre sekundære Beviklinger.

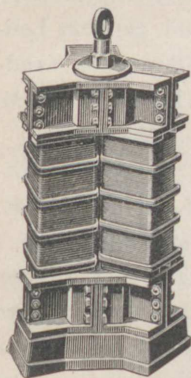


Fig. 90

Elektrisk Kraftoverføring.

Naar Energi, der frembringes paa eet Sted, paa en eller anden Maade overføres til et andet Sted, siger man, at der er sket en Kraftoverføring (d. v. s. *Energioverføring*). Et Eksempel paa en saadan Overføring har vi i den elektriske Sporvogn; paa Elektricitetsværket

frembringes der elektrisk Energi, der gennem Ledningstraadene føres til Sporvognens Elektromotor, som kommer i Bevægelse og drejer Vognens Hjul rundt. Der har her efterhaanden fundet en Række Energiomdannelser Sted. Paa Elektricitetsværket omdannes — ved Forbrænding af Kul i Dampkedlens Fyrsted — Kullet's kemiske Energi til Varme, der ved Hjælp af Dampmaskinen omdannes til Bevægelse. Bevægelsesenergien omdannes ved Hjælp af Dynamoen til elektrisk Energi, som ved Hjælp af Sporvognens Motor atter omsættes til Bevægelsesenergi. Naar et Element faar en lille Glødelampe til at lyse, finder der en Kraftoverføring Sted fra Element til Lampe. — Ordet Kraftoverføring bruges i Reglen kun om Overføring paa store Afstande. I Lande, hvor der er rigelig Vandkraft, faas Energien særlig billigt, fordi man sparer Kullene til den Dampmaskine, der driver Dynamoen. Vandfaldet driver Møller (Turbiner), som sætter Dynamoer i Bevægelse. Disse frembringer elektrisk Energi, som gennem Ledninger føres til Byer, der kan være adskillige Mil fjernet fra Vandfaldet. Paa Forbrugsstedet omdannes den elektriske Energi til Varme og Lys (i elektriske Lamper) og til Bevægelsesenergi (i Motorer).

De Kobberledninger, der fører Strømmen fra det Sted, hvor Elektriciteten frembringes, den saakaldte Kraftstation, til Forbrugsstedet, opvarmes af Strømmen; er denne meget stærk, maa Modstanden i Kobberledningerne være lille, for at den Varmemængde, der opstaar i dem, og som praktisk set gaar fuldstændig til Spilde, ikke skal blive for stor. Man maa altsaa anvende tykke Kobberledninger, men de er kostbare, og Anlægskapitalen bliver saa stor, at Kraftoverføringen ikke kan betale sig. Elektriciteten frembringes derfor paa Kraftstationen med Vekselstrømmaskiner, der giver meget høj Spænding, f. Eks. 10000 Volt eller mere, men lille Strømstyrke, og denne Strøm maa saa, naar den kommer til Forbrugsstedet, omdannes til Strøm af stor Styrke og ringe Spænding ved Hjælp af en Vekselstrøm-Transformator, idet elektriske Lamper og Elektromotorer kræver en betydelig Strømstyrke. At Kraftoverføringen med høj Spænding og svag Strøm er fordelagtig, ses af Joules Lov (Side 64 (1)), idet man ved at benytte en 100 Gange saa lille Strømstyrke faar en 10000 Gange mindre Varm udvikling for en given Modstand r i Kobberledningen, d. v. s. man kan benytte tynde Ledninger. Til Kraftoverføringen benyttes de i

det følgende omtalte trefasede Vekselstrømmaskiner (Vekselstrømdynamoer).

Mærk altsaa:

1. For at undgaa at bruge svære Ledninger, benyttes svage Strømme (med høj Spænding).
2. Disse Strømme kan kun frembringes med Vekselstrømmaskiner, fordi en Jævnstrømdynamo med høj Spænding vilde give store Gnistre ved Fjedrene.
3. Naar den højspændte, svage Strøm kommer til Forbrugsstedet, maa den transformeres til stærk Strøm (med ringe Spænding), fordi Lamper og Motorer i Praksis kræver stor Strømstyrke.

Her i Landet blev den første Kraftstation med højspændt Vekselstrøm og Transformation aabnet 1907 i Nærheden af København, og senere er der udført mange Anlæg af den Art.

Trefaset Vekselstrøm (Drejestrøm).

Ifølge det foregaaende maa Strømmen ved Kraftoverføring paa store Afstande frembringes af Vekselstrømdynamoer; man bruger altid den trefasede Vekselstrømdynamo, bl. a. fordi den dertil svarende trefasede Motor, som senere beskrives, i Brugbarhed langt overgaar den enfasede.

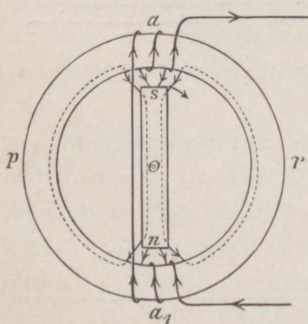


Fig. 91.

For at lette Forstaaelsen af den trefasede Maskine gennemgaas først en enfaset Vekselstrømmaskine, der ser lidt anderledes ud end den tidligere omtalte. Den bestaar af en faststaaende Jærning (Stator, Fig. 91) med to Beviklinger a og a_1 af lang isoleret Kobbertraad. Rotor er en Magnet sn , der kan drejes rundt i Pilens Retning om Aksen o (i Virkeligheden

en Elektromagnet, hvis Vindinger gennemløbes af Jævnstrøm fra en lille Jævnstrømdynamo, hvorfra vi kan tænke os Strømmen ført til

Elektromagneten gennem to Metalskiver, der er anbragt paa Aksen o paa samme Maade som Skiverne m_1 og m_2 , Fig. 80). De fra Magnetens Nordpol udgaaende Kraftlinier gaar gennem Jærnringen til Magnetens Sydpol og derpaa tilbage gennem Magneten, idet Kraftlinierne — som tidligere omtalt — danner lukkede Kurver; et Par af Kraftlinierne er antydnet paa Figuren. Drejes Magneten om Aksen o , drejer hele Kraftlinesystemet sig med, og — mens s bevæger sig fra p over a mod r — opstaar der i de Dele af a og a_1 , som ligger paa Ringens Inderside, elektromotoriske Kræfter, som ifølge Regel III, Side 52, gaar i den Retning, som Pilene paa a og a_1 viser (for oven stikkes højre Haand — med Haandfladen opad — bagfra ind i Mellemrummet mellem s og Ringen; Lillefingeren vender da i den Retning, hvori Feltet bevæger sig, og Fingerspidserne giver Strømretningen). Mens s gaar fra p mod a , vokser den elektromotoriske Kraft; den aftager, mens s gaar fra a mod r . I r skifter den Retning og faar Maksimum i modsat Retning, naar s staar ud for a_1 , o. s. v. Maksimum af elektromotorisk Kraft faas altsaa, naar Rotors Poler staar lige ud for a og a_1 , d. v. s. naar Fasen er $0, 180^\circ, 360^\circ$ o. s. v. Nul- og Maksimums Værdien af Strømstyrke falder lidt senere ved stor Selvinduktion (Motorer) i den ydre Ledning.

Den **trefasede Dynamo** bestaar af 3 saadanne enfasede Dynamoer, der — saaledes som Fig. 92 viser — er kombineret til een Dynamo

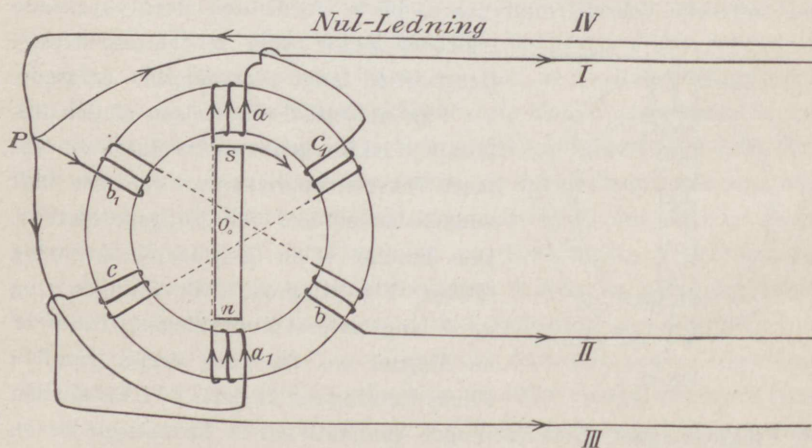


Fig. 92.

med en fælles Rotor, saaledes at hvert Sæt Beviklinger er forskudt 120° for hinanden; de tre enfasede Dynamoer, der er kombineret til een trefaset, er aa_1 , bb_1 og cc_1 . Fra a , b og c udgaar de tre **Faseledninger I, II og III**; de tre Traadender, der udgaar fra a_1 , b_1 og c_1 , forenes i et Punkt P , hvorfra der udgaar en fjerde Ledning IV. De samme Strømforhold, som i et givet Øjeblik findes i Ledning I, fremkommer senere i Ledning II, nemlig naar Rotor har drejet sig 120° , og i Ledning III, naar Rotor har drejet sig 240° . Mellem Vekselstrømmen i I og II er der altsaa en Faseforskel paa 120° , mellem Strømmene i II og III er der ligeledes en Faseforskel paa 120° . Ledning IV gennemløbes aabenbart af tre ens Vekselstrømme, der har en Faseforskydning paa 120° for hinanden. Det kan vises, at tre Vekselstrømme i samme Ledning og med nævnte Faseforskydning ophæver hinanden, og Ledning IV bliver derfor en *Nul-Ledning*.

Ved Nordsjællands Elektricitetsværk (i Skovshoved) er den effektive Spændingsforskel mellem I og II 10000 Volt, ligeledes mellem II og III og mellem I og III; men disse højspændte Strømme maa ved Forbrugsstederne transformeres til lav Spænding og stor Styrke. Fra 1915 skal Nordsjælland forsynes med Elektricitet fra en Kraftstation ved det svenske Vandfald Lagan. Fra Lagan fører et Kabel, der paa en Strækning ligger paa Bunden af Øresund, til en stor Transformatorstation ved Helsingør. Spændingsforskellen mellem to og to af Kablets tre Ledninger er 25000 Volt; paa Transformatorstationen ved Helsingør nedsættes Spændingsforskellen til 10000 Volt. Kraftstationen i Skovshoved nedlægges ikke, for at den i paakommende Tilfælde kan overtage Elektricitetsforsyningen.

Transformationen. Vekselstrømmen i hver af de tre Faseledninger (I, II og III, Fig. 92) skal transformeres til stor Styrke og ringe Spænding; dette sker ved Hjælp af tre Transformatorer, som i Virkeligheden kombineres til een, se Fig. 90. Paa Fig. 93 forestiller I, II og III de tre Faseledninger fra Dynamoen (Nul-Ledningen er punkteret). Ved et af Forbrugsstederne gaar tre Stikledninger (I), (II) og (III) hen til Transformatorerne og vikles om Jærnkærnerne i tre Ruller x , y og z , hvis fri Ender forenes i Punktet P_1 ; da Faseforskellen mellem Vekselstrømmene i (I), (II) og (III) er 120° , spiller P_1

her samme Rolle som P ved Dynamoøen. P_1 sættes i Forbindelse med Nul-Ledningen og derved med P , som vist paa Figuren. Ved Jævnstrømsanlæg saa vi, at Nul-Ledningen ikke kunde undværes, fordi den ikke er helt strømfri. Paa lignende Maade kan Nul-Ledningen heller ikke udelades her, med mindre Transformatorbeviklingerne forandres. Dette gør man i Virkeligheden i Praksis, saa at Nul-Ledningen mellem Dynamo og Transformator udelades; Dynamo og Transformator er altsaa kun forbundet med de tre Faseledninger. P bliver altsaa et Punkt i Dynamoøen, P_1 et Punkt i Transformatorøen. Den forandrede Transformatorbevikling giver Strømforskel, der er for indviklede til, at de kan forklæres her.

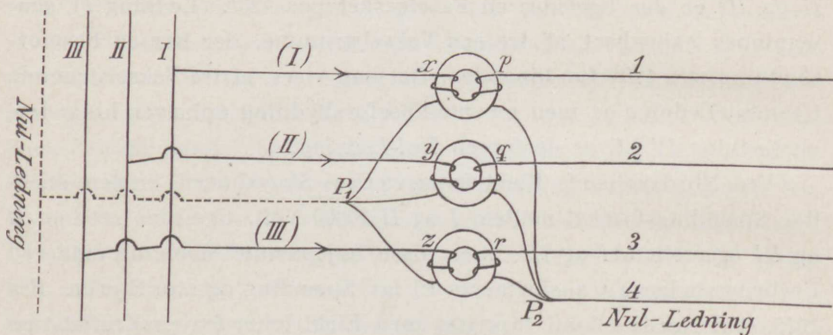


Fig. 93.

I de tre Ruller p , q og r , der har færre Vindinger end x , y og z , induceres der nu stærke Vekselstrømme med lav Spænding, og disse Strømme har samme Faseforskel som Dynamoøens. Fra Transformatorøen udgaar der tre Faseledninger (1, 2 og 3). De andre Ender af Rullerne p , q og r forenes i Punktet P_2 , der svarer til P og P_1 , og Ledning 4 gennemløbes af 3 Vekselstrømme med Faseforskellen 120° ; disse ophæver jo hinanden, og Ledning 4 er en Nul-Ledning, der ikke udelades. I Omegnen af en Transformatorstation ser man derfor, at Opstanderne langs Vejene bærer 4 Ledninger, tre Faseledninger og en Nul-Ledning. Nul-Ledningen er altid øverst; man kan derfor let se, hvilke af Ledningerne, der fører ind til et Hus eller en Gaard nær Vejen. De tre Faseledninger fra Dynamoøen til Transformatorøen er hyppigt anbragt i et underjordisk Kabel; i Byer maa ogsaa de fra Transformatorøen udgaende fire Ledninger ligge i Jorden.

Efter Transformationen er den effektive Spændingsforskel mellem 1 og 2 380 Volt, ligeledes mellem 1 og 3 og mellem 2 og 3. Den effek-

tive Spændingsforskel mellem Nul-Ledningen og 1 er 220 Volt, ligeledes mellem 2 og Nul-Ledningen og mellem 3 og Nul-Ledningen.

Lamper og Motorer. Gløde- og Buelamper kan godt lyse med Vekselstrøm; er Vekseltallet f. Eks. 100 (Frekvensen 50), mærker man ikke nogen Flimren.

Lamperne anbringes parallelt mellem Nul-Ledningen og en af Faseledningerne, ligegyldigt hvilken; som vi faar at se, skal en trefaset Motor forbindes med de tre Faseledninger. Gaar der saaledes fire Ledninger ind til en Gaard, bruges der elektrisk Lys (fordi Nul-Ledningen er med), og der er Motordrift, fordi alle tre Faseledninger fører derind. For at faa Lamperne ligeligt fordelt mellem Nul- og Faseledningerne, føres tit Nul-Ledningen og to Faseledninger ind til en Gruppe Huse.

En Hovedfordel ved trefasede Anlæg er, at **den trefasede Motor** er bedre end den enfasede. Den ligner den trefasede Dynamo, og vi kan bruge en lignende Tegning, men Rotor er anderledes. Paa Fig. 94 er (1), (2) og (3) Stikledninger fra Faseledningerne 1, 2 og 3 paa Fig. 93, og Beviklingen er ganske den samme som paa Fig. 92. P_3 svarer til P , P_1 og P_2 paa de to foregaaende Figurer. Vekselstrømmene, der kommer gennem (1), (2) og (3), forenes i P_3 , hvor de ophæver hinanden, uden at P_3 behøver at være sat i Forbindelse med Nul-Ledningen, fordi de har Faseforskellen 120° .

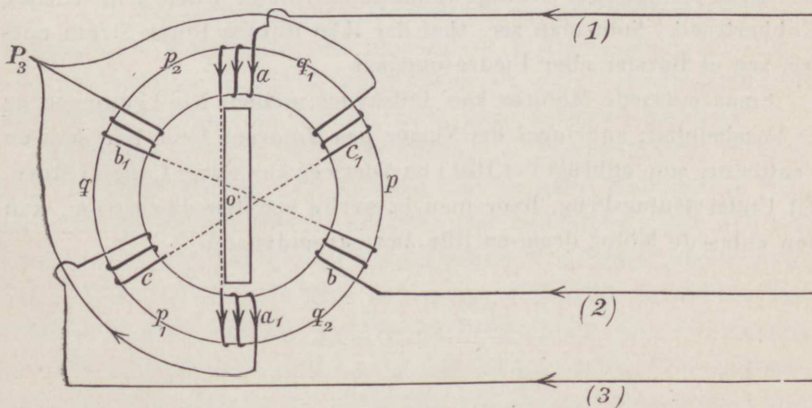


Fig. 94.

Til et vist Tidspunkt (hvor vi kalder Rotors Fase i Vekselstrømdynamoen 0) gennemløbes aa_1 af en Strøm i den Retning, som Pilen viser; ved Anvendelse af Holtens Regel ses, at denne Strøm frembringer i Stator Nordpol ved p , Sydpol ved q , d. v. s. Polerne ligger i en Linie vinkelret paa Midten af den Linie, som forbinder a og a_1 . Noget senere — Fase 120° — er Strømforholdene i bb_1 de samme; der er Nordpol ved p_1 , Sydpol ved q_1 . Noget senere — Fase 240° — bliver Strømforholdene i cc_1 de samme; der er Nordpol i p_2 , Sydpol i q_2 . Noget senere — Fase 360° — er Strømforholdene de samme som fra først af. Vi ser, at der løber en Nordpol rundt i Stator i Retning pp_1p_2p og diametralt modsat en Sydpol; heraf kommer Navnet **Drejestrøm**. (I Mellemtiden, f. Eks. ved Fasen 180° , har Strømmen i aa_1 en Retning modsat Pilenes; der er Nordpol i q . Denne Nordpol fremkommer mellem Faserne 120° og 240° , hvor der henholdsvis er Nordpol i p_1 og p_2 , altsaa i det rigtige Øjeblik).

Motorens Rotor kan blot bestaa af en Jærnstang, der kan dreje sig om Aksen o . De i Stator omløbende Poler frembringer i Jærnstangen Hvirvelstrømme, som ifølge Lenz' Lov vil søge at standse de omløbende Poler. Men ifølge Sætningen om Aktion og Reaktion maa Jærnstangen paavirkes i modsat Retning, d. v. s. af Kræfter, som faar Jærnstangen til at dreje samme Vej rundt, som Polerne i Stator løber. Omvikles Jærnstangen med Kobbertraad, hvis Ender direkte forbindes med hinanden — Rotor er altsaa en kortsluttet Elektromagnet — forstærkes Virkningerne, idet Stators omløbende Poler ogsaa frembringer kraftige Induktionsstrømme i den godt ledende Kobbertraad. Som man ser, skal der ikke tilføres Rotor Strøm udefra, saa at Børster eller Fjedre undgaas.

Smaa enfasede Motorer kan indskydes mellem Nul-Ledningen og en Faseledning; anbringes der Vinger paa Motorens Akse, har man en Ventilator, som anbragt i et Hul i en Ydervæg kan forny Luften i Stuen. Til Undervisningsbrug, hvor man jo særlig benytter Jævnstrøm, kan den enfasede Motor dreje en lille Jævnstrømdynamo.

Elektrolyse.

Nogle Vædsker som Petroleum og Vinaand er daarlige Ledere; der kan ikke gaa Strøm gennem dem. De flydende (eller smeltede) Stoffer, der — ligesom fortyndet Svovlsyre — leder Strømmen og dekomponeres af den, kaldes **Elektrolyter**; Kvægsølv er nok en god Leder men ikke en Elektrolyt, fordi det er et Grundstof. De Stoffer, der udskilles ved Anode og Katode kaldes henholdsvis Anioner og Kationer; **Brint og Metaller er altid Kationer.**

Der er mange Stoffer, der adskilles af den elektriske Strøm; vi maa nøjes med at tage nogle Eksempler.

Fortyndet Svovlsyre (H_2SO_4). 1. *Platinelektroder.* I Forsøget Fig. 1 fremkommer der efter Rumfang dobbelt saa meget Brint som Ilt; Forholdet er det samme, som om Vandet selv blev adskilt. I Virkeligheden er det Svovlsyrens Bestanddele, der paavirkes af Strømmen, saa at der for hvert Brintmolekyl (H_2), der udskilles ved Katoden, udskilles een Atomgruppe SO_4 ved Anoden. Ved denne foregaar der en saakaldt sekundær Proces mellem SO_4 og Vandet, idet $SO_4 + H_2O$ danner $H_2SO_4 + O$; der udskilles altsaa dobbelt saa mange Brintmolekyler ved Katoden som Iltmolekyler ved Anoden. — 2. *Kobberelektroder.* Ligesom før udskilles H_2 ved Katoden, mens SO_4 gaar i Forbindelse med Kobber fra Anoden; der dannes $CuSO_4$, som opløses i Vædsken.

En Opløsning af Kobbersulfat ($CuSO_4$). 1. *Platinelektroder.* Strømmen udskiller Kobber paa Katoden, og for hvert Kobberatom (Cu), der afsætter sig paa denne, udskilles der een Atomgruppe SO_4 ved Anoden. Her foregaar der nu samme sekundære Proces som ovenfor ($SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$); Ilten bobler op. — 2. *Kobberelektroder.* Paa Katoden afsætter der sig som før et Kobberatom (Cu); ved Anoden gaar SO_4 i Forbindelse med Cu , og der dannes $CuSO_4$, som opløses i Vædsken. Der afsætter sig altsaa lige saa mange Kobberatomer paa

Katoden, som der tages fra Anoden; den første vinder lige saa meget i Vægt, som den anden taber, og Vædsken vedbliver at være lige kobberholdig.

En Opløsning af Sølvnitrat (AgNO_3). Sølvelektroder. For hvert Sølvatom (Ag), der afsætter sig paa Katoden, udskilles der een Atomgruppe NO_3 ved Anoden, hvor NO_3 gaar i Forbindelse med et af dens Sølvatomer og danner AgNO_3 , der opløses i Vædsken. Katodens Vægt forøges altsaa lige saa meget som Anodens formindskes. Sølv-Voltametret.

Saltsyre (en Opløsning af HCl i Vand). Kulelektroder. For hvert Brintmolekyl (H_2), som Strømmen udskiller ved Katoden, udskiller den et Klormolekyl (Cl_2) ved Anoden. Lader man de to Luftarter boble op i to Glas med Saltsyre paa lignende Maade som paa Fig. 1, skal der dannes lige store Rumfang; dette kan dog først vise sig, naar Saltsyren i Glasset over Anoden er mættet med Klor, idet Klor indsuges i høj Grad. Metalelektroder angribes af Klor.

En Opløsning af Natriumsulfat (Na_2SO_4). Platinelektroder. Der foregaar sekundære Processer ved begge Elektroder. For hvert Natriummolekyl (Na_2), der udskilles ved Katoden, udskilles der een Atomgruppe SO_4 ved Anoden. Ved Anoden foregaar den sædvanlige sekundære Proces: $\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}$; ved Katoden er den sekundære Proces: $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$. Ved Elektroderne bobler Ilt og Brint op i samme Forhold, hvori de danner Vand. Anbringes der et Stykke rødt Lakmuspapir paa Katoden, farves det blaat af Basen, mens et Stykke blaat Lakmuspapir paa Anoden farves rødt af Syren.

Faradays elektrolytiske Love. Ved Stoffernes kemiske Ækvivalenter forstaas saadanne Vægtmængder, som to og to kan danne en kemisk Forbindelse eller erstatte hinanden i kemiske Forbindelser. Som Eksempel anføres

<i>Atomvægte:</i>	<i>H</i>	<i>Cl</i>	<i>Cu</i>	<i>O</i>	<i>Ag</i>
	1,008	35,45	63,6	16	108
<i>Kemiske Ækvivalenter:</i>	<i>2H</i>	<i>2Cl</i>	<i>Cu</i>	<i>O</i>	<i>2Ag</i>
	2,016	70,9	63,6	16	216

(I)

Vægtenheden er her — som i Reglen i Kemien — $\frac{1}{16}$ af Iltatomets Vægt (omtrent lig Brintatomets Vægt); Tallene i Række (I) bliver

naturligvis de samme, hvis man bruger en anden Vægtenhed, f. Eks. mg eller g.

Ved at bestemme Vægtmængder, Strømstyrker og Tider kan man vise følgende to Love, som først er paavist af Faraday (1833).

Første Lov. Den ved en Elektrode udskilte Vægtmængde er proportional med Strømstyrken og med Tiden. Er Strømstyrken i Amp., Tiden t Sekunder og den udskilte Vægtmængde V Gram, har man altsaa

$$V = k \cdot i \cdot t,$$

hvor k er konstant, Stoffets *elektrokemiske Ækvivalent*, forskellig for forskellige Stoffer. Sættes $i = 1$ Amp., $t = 1$ Sek., ses, at **et Stofs elektrokemiske Ækvivalent er den Vægtmængde, som udskilles af 1 Amp. i 1 Sek.** For Sølv er k — ifølge vor Definition paa 1 Amp. — lig 0,001118 g, og for Sølvnitrats Vedkommende følger Loven af vor Definition paa Strømstyrke.

Anden Lov. Naar samme Strøm i samme Tid sendes gennem forskellige Elektrolyter, er de ved Elektroderne udskilte Vægtmængder kemisk ækvivalente. Vægtmængderne er altsaa proportionale med de i Række (I) anførte Tal. Sendes f. Eks. samme Strøm i samme Tid gennem Saltsyre, Kobbersulfat og Sølvnitrat, og udskilles der ved en Elektrode 160 mg Ilt, udskilles følgende Vægtmængder (se Række (I))

Brint	Klor	Kobber	Ilt	Sølv
20,16 mg	709 mg	636 mg	160 mg	2160 mg

Sølv og Ilt udskilles altsaa i Vægtmængder, der tilsammen danner Ag_2O o. s. v.

Da Stoffernes elektrokemiske Ækvivalenter udskilles af samme Strøm i samme Tid (nemlig 1 Amp. i 1 Sek.), er de ifølge Faradays anden Lov ogsaa kemiske Ækvivalenter og maa derfor være proportionale med de i Række (I) anførte kemiske Ækvivalenter, maalt f. Eks. i Gram. Kaldes saaledes Brints og Kobbers elektrokemiske Ækvivalenter k_1 og k_2 , idet Sølvets er 0,001118 g,

$$\frac{k_1}{2,016} = \frac{k_2}{63,6} = \frac{0,001118}{216},$$

hvoraf k_1 og k_2 beregnes. De elektrokemiske Ækvivalenter bliver for

Brint	Kobber	Sølv
0,00001044 g	0,0003294 g	0,001118 g

De elektrokemiske Ækvivalenter kan ogsaa findes af Ligningen $V = k \cdot i \cdot t$, idet man ved Forsøg bestemmer V , i og t .

Den elektrolytiske Dissociationsteori. Vi vil nu forklare, hvorfor Strømmens Virkninger kun bliver synlige ved Elektroderne og give en Oversigt over de elektriske Forhold under Elektrolysen; som Eksempel tager vi Saltsyrens Sønderdeling. Vand og Klorbrinte er begge daarlige Ledere, mens Klorbrinte indsuget i Vand, Saltsyre, er en ret god Leder. Man antager, at en Del af Klorbrintemolekylerne ved Indsugning i Vandet spaltes i **Joner**, Brintjoner H og Klorjoner Cl . Hver Brintjon H er forbundet med en bestemt positiv elektrisk Ladning og hver Klorjon med en negativ Ladning; jo mere fortyndet Opløsningen er, jo flere dissocierede Molekyler er der, og i en stærkt fortyndet Opløsning er alle Klorbrintemolekylerne dissocierede. Hældes Saltsyren i et elektrolytisk Kar (Kuleelektroder), og sættes Elektroderne i Forbindelse med Polerne paa et Batteri, bliver Anoden ladet med positiv Elektricitet fra Batteriet, Katoden med negativ. Elektrodernes Elektricitet sætter de positive Brintjoner i Bevægelse over mod Katoden, og efterhaanden som de naar over, afgiver de deres Ladninger til Katoden; dennes negative Elektricitet ophæves altsaa, men erstattes straks med ny Elektricitet fra Batteriet. Nøjagtigt paa samme Maade gaar det ved Anoden, hvor de negative Klorjoner afgiver deres Ladninger. Kloret og Brinten, der bobler op ved Elektroderne, er uelektrisk. Det er altsaa ikke Elektricitet fra Batteriet, der gaar gennem Elektrolyten, men Jonerne alene besørger Transporten af positiv og negativ Elektricitet.

Vi vil kalde Brintjonens Ladning $+\epsilon$. Gennem et Tværsnit af Elektrolyten skal der pr. Sekund gaa lige saa meget positiv Elektricitet i den ene Retning som negativ i modsat Retning, og da der udskilles lige mange Klor- og Brintjoner ved Elektroderne, maa Klorjonens Ladning være $\div \epsilon$.

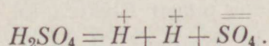
Elektricitetsatomet og elektrisk Valens. Brintjonens Ladning ϵ kaldes det elektriske **Elementarkvantum** og er den mindste Elektricitetsmængde, der kan eksistere. Den er altsaa udelelig ligesom Grundstoffernes Atomer, og enhver Elektricitetsmængde maa være et Multiplum af ϵ (ϵ , 2ϵ o. s. v. eller $\div \epsilon$, $\div 2\epsilon$ o. s. v.). Det elektriske Elementarkvantum indtager et meget lille Rum, mange Gange mindre end Atomers Rumfang, og dette meget lille Rums Indhold, Elementarkvantummet, kaldes **Elektricitetsatomet**. Det negative Elektricitetsatom træffer vi senere under helt andre Forhold, hvor det ikke er forbundet med Atomer, men vandrer af Sted paa egen Haand.

Opløses Na Cl i Vand spaltes nogle af Molekylerne i positive Natrium- og negative Klorjoner, og sendes der en Strøm gennem Opløsningen, besørger disse Joner Transporten af Elektricitet til Elektroderne paa samme Maade som ved Saltsyrens Sønderdeling. Klorjonens Ladning er ligesom $\div \epsilon$, Natriumjonens maa altsaa være $+\epsilon$. *Naar et kemisk engyldigt Atom optræder som Jon, er det forbundet med eet Elektricitetsatom og har altsaa Ladningen $+\epsilon$; det samme gælder for engyldige Atomgrupper.* For at skelne Jonen fra det kemiske Atom (eller Atomgruppen), tilføjes ofte $+$ eller $\div$, f. Eks.

$\overset{+}{\text{H}}, \overset{\div}{\text{Cl}}, \overset{+}{\text{Na}}, \overset{+}{\text{NH}_4}, \overset{\div}{\text{NO}_3}$. Den store Forskel paa Na og Na ses f. Eks. deraf, at

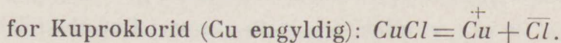
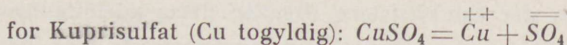
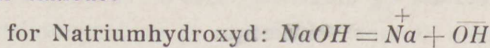
$\overset{+}{\text{Na}}$ Jonen Na under sin Bevægelse i Elektrolyten ikke angriber Vandet, mens den efter at have mistet sit Elektricitetsatom ved Berøring med Katoden angriber Vandet, idet $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{H}$.

Opløses H_2SO_4 i Vand, spaltes Molekylet i tre Joner $\overset{+}{\text{H}}, \overset{+}{\text{H}}$ og $\overset{-}{\text{SO}_4}$, hvor de to Minustegn over SO_4 angiver, at den kemisk divalente Atomgruppe SO_4 som Jon er forbundet med to negative Elektricitetsatomer. Sendes der Strøm gennem Svovlsyren, maa der altsaa gennem et Tværsnit pr. Sekund gaa dobbelt saa mange Brintjoner mod Katoden, som der gaar SO_4 -Joner modsat Vej. Resultatet af Svovlsyrens Oplosning kan skrives saaledes:



En saadan Ligning giver paa nem Maade en Oversigt over Elektrolytens Joner, hvor store Ladninger disse fører, og hvad der vil foregaa ved Elektrolyse af Stoffet.

Man har saaledes



De to sidste Ligninger viser, at naar samme Strøm i samme Tid gaar gennem Opløsninger af $CuSO_4$ og $CuCl$, maa der paa Katoden i Opløsningen af $CuCl$ udskilles dobbelt saa meget Kobber som paa Katoden i Kuprisulfatopløsningen, da begge Katoder skal modtage lige meget positiv Elektricitet.

Som vi ser, er enhver kemisk divalent Jon forbundet med $+2\varepsilon$ eller $\div 2\varepsilon$. **I en Elektrolyt er enhver n -gyldig Jon forbundet med n Elektricitetsatomer, positive eller negative, eftersom Jonen er Kation eller Anion.**

Størrelsen af Elektricitetsatomets Ladning ε . Som tidligere omtalt strømmer der 1 Coulomb gennem hvert Tværsnit af Ledningen i Løbet af 1 Sekund, naar Strømmen er 1 Amp., d. v. s. gennem Tværsnittet strømmer der $\frac{1}{2}$ Coulomb positiv Elektricitet i Strømmens Retning, $\frac{1}{2}$ Coulomb negativ Elektricitet i modsat Retning pr. Sek. 1 Amp. udskiller i 1 Sek. ved Katoden 0,0001044 g Brint (= Brintens elektrokemiske Ækvivalent); denne Brintmængde maa afgive 1 Coulomb positiv Elektricitet til Katoden, *dels* fordi der skal ophæves $\frac{1}{2}$ Coulomb negativ Elektricitet, som fra den fra Batteriets negative Pol kommende Traad strømmer ind paa Katoden i Løbet af Sekundet, *dels* fordi der maa afgives $\frac{1}{2}$ Coulomb positiv Elektricitet, som i Løbet af samme Tid skal strømme fra Katoden ud i Traaden. Paa samme Maade indses, at 0,001118 g Sølv maa afgive 1 Coulomb o. s. v. **Det udskilte Stofs elektrokemiske Ækvivalent maa altsaa medføre 1 Coulomb.**

Vi vil nu beregne, hvor meget Elektricitet et Gramatom af et engyldigt Stof medfører. Vi kommer til samme Resultat, hvilket Stof vi end benytter ved Beregningen; vi kan f. Eks. tage Brint. Et Gramatom Brint er 1,008 g Brint, og man faar, idet Brintens elektrokemiske Ækvivalent jo er 0,0001044 g:

0,00001044 g Brint medfører 1 Coulomb

1,008 g Brint — F Coulomb

hvoraf $F = 96550$ Coulomb.

Et Gramatom af ethvert engyldigt Stof medfører Ladningen F , der kaldes Faradays Tal. (Et Gramatom af et divalent Stof, f. Eks. divalent Cu , medfører Ladningen $2F$).

Kender man nu Antallet, N , af Atomer i et Gramatom, kan man ved Division af F med N finde den Ladning ε , som en engyldig Jon (H^+ , Ag^+ o. s. v.) bærer.

N er bekendt. Avogadros Lov lyder*): *Alle Grammolekyler indeholder lige mange Molekyler (N); N kaldes Avogadros Konstant.* Ad forskellige Veje, som vi her ikke kan gaa ind paa, har man fundet Værdier af N , som afviger noget fra hinanden; som den rigtigste Værdi angives

$$N = 68,5 \cdot 10^{22}.$$

Hvor stort Tallet N er, faar man en Forestilling om, ved at sammenligne det med Afstanden fra Jorden til Solen, maalt i mm; denne Afstand er $15 \cdot 10^{18}$ mm. En Stjerne, der er $68,5 \cdot 10^{22}$ mm fra os, er adskillige Tusinde Lysaar borte og kan vel næppe ses selv gennem de bedste Kikkerter.

Da nu f. Eks. et Grammolekyl HCl indeholder N Molekyler, maa det indeholde N Brintatomer (og N Kloratomer); da et Grammolekyl HCl indeholder et Gramatom H (og et Gramatom Cl), maa et Gramatom H indeholde N Atomer, og man har

$$\text{Elektricitetsatomets Ladning } \varepsilon = \frac{F}{N} = \frac{14 \cdot 10^{20}}{N} \text{ Coulomb.}$$

*) Avogadros Lov udtrykkes ofte saaledes: *Lige store Rumfang af Stoffer paa Luftform indeholder ved samme Tryk og Temperatur lige mange Molekyler.* Som bekendt fra Kemien indtager alle Grammolekyler af luftformige Stoffer ved 0^0 og 76 cm Rumfanget 22,4 Liter; da nu disse lige store Rumfang indeholder lige mange Molekyler, kan Avogadros Lov ogsaa udtrykkes saaledes: *Alle Grammolekyler indeholder lige mange Molekyler.*

Ved Hjælp af Avogadros Konstant N kan man beregne Molekylers og Atomers Vægt. Et Grammolekyl Kulsyre (CO_2) vejer 44 g, et Molekyl Kulsyre vejer altsaa $\frac{44}{N}$ g; et Molekyl Brint vejer $\frac{2,016}{N}$ g, Brintatomet det halve o. s. v.

Eksempler paa praktiske Anvendelser af Elektrolysen. Genstande, der er lavet af billigt Metal, overtrækkes med Sølv ved at anbringe dem som Katode i en Sølvopløsning af en bestemt Sammensætning, hvor Anoden er af Sølv (Elektropletvarer); paa lignende Maade kan man forgylde, fornikle, forzinke o. s. v. — Et Aftryk af en Mønt kan faas ved at tage et negativt Aftryk af Mønten i Voks eller Guttaperka, indgnide Aftrykket med et meget tyndt Lag Grafitpulver og anbringe det som Katode i en Metalopløsning; Strømmen danner et positivt Aftryk af Møntens ene Side. Paa samme Maade faas et Aftryk af den anden Side, og de to Aftryk loddess sammen.

Nogle Metaller fremstilles i ren Tilstand ved Elektrolyse, f. Eks. rent (elektrolytisk) Kobber. Det urene Kobber er Anode, en tynd Plade af rent Kobber er Katode, Vædsken en Opløsning af Kobbersulfat; Urenhederne opløses i Vædsken eller synker til Bunds. — Nogle Metaller kan kun fremstilles billigt ved Elektrolyse, f. Eks. Aluminium. Fremstillingen sker i store *elektriske Ovne*; en mindre

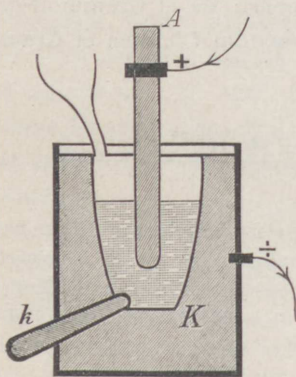


Fig. 95.

Ovn ses paa Fig. 95. En Kuldigel K , der er omsluttet af en Jærnbeholder, tjener som Katode; Anoden A er en Kulstang. Diglen er fyldt med Lerjord (Aluminiumilte, Al_2O_3), blandet med Kryolit (Fluoraluminiumnatrium). Kulstangen sænkes, til den berører Diglens Bund og hæves saa lidt. Der dannes nu en Lysbue mellem Kulstang og Digel, og dennes Indhold smelter paa Grund af Varmen. Derpaa hæves Anoden yderligere, Lysbuen slukkes og Elektrolysen begynder. Da Strømstyrken er flere Tusinde Am-

pere, er Diglens Indhold stadig smeltet, og ved Katoden udskilles der Aluminium, som flyder ud, naar Kulstangen *k* fjernes.

Eksempel 1. Hvor stor er Zinkens elektrokemiske Ækivalent? Zinkens Atomvægt er 65,4.

Eksempel 2. Vis, at Faradays Tal faar samme Størrelse, naar vi foretager Beregningen med Sølv i Stedet for Brint.

Kemiske Processer i Elementer.

Voltas Element bestaar af en Kobberplade og en amalgameret Zinkplade i fortyndet Svovlsyre; amalgameret Zink angribes ikke af Syren, naar Elementet ikke giver Strøm. Sluttes Strømmen, angribes Zinken; der dannes $ZnSO_4$, som dels opløses i Vædsken, dels sætter sig paa Zinkstangen. Svovlsyrens Brint sætter sig paa Kobberstangen, hvor den dels frembringer en Polarisationsstrøm, der svækker den egentlige Strøm, dels forøger Elementets Modstand ved at afbryde Berøringen Vædske—Kobber.

For at faa gode Elementer maa man forhindre, at Brinten sætter sig paa den positive Polstang. Dette sker i de saakaldte **konstante Elementer**, der giver nogenlunde konstant Strøm, særlig naar den ydre Modstand er stor.

Bunsens Element bestaar af en Kulstang *K*, der er anbragt i en porøs Lerkrukke, *L*, med koncentreret Salpetersyre; en amalgameret Zinkplade *Z* staar i fortyndet Svovlsyre. Naar Strømmen er sluttet, dannes der Zinksulfat ved Zinkpladen, mens Svovlsyrens Brint afilter Salpetersyren og danner Vand. Elektromotorisk Kraft ca. 1,9 Volt, Modstanden i mellemstore Elementer ca. 0,1 Ohm.

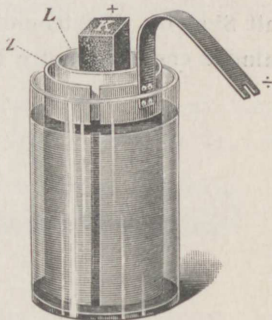
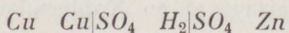


Fig. 96.

Tørellementet (Fig. 15) bestaar som tidligere omtalt af en Kulstang, der er omgivet af Brunsten (MnO_2), som holdes sammen af en Pose, og en Zinkcylinder i en Salmiakopløsning ($CINH_4$), der er gjort stiv ved Tilsætning af Gelatine (en gennemsigtig Masse, der laves af

limholdige, dyriske Stoffer). Sluttes Strømmen, dannes der Klorzink ved Zinkpladen; NH_4 spalter sig i H , der afilter Brunstenen til Manganoxyd (MnO) under Dannelse af Vand, og NH_3 , der indtages af Salmiakopløsningen. Elektromotorisk Kraft ca. 1,5 Volt, Modstanden i mellemstore Elementer ca. 0,1 Ohm. — *Leclanchés Element* er sammensat ligesom Tørelementet; men der er ikke sat Gelatine til Salmiakopløsningen, og Brunstenen er stoppet ned om Kulstangen, der staar i en porøs Lerkrukke (Fig. 96).

Daniells Element. *K* (Fig. 96) er her en Kobberstang, der staar i Lerkrukken *L* i en Opløsning af Kobbersulfat, *Z* er en amalgameret Zinkplade i fortyndet Svovlsyre. Processen ses let af Skemaet



Kobber afsætter sig paa Kobberstangen, Kobbersulfatets SO_4 danner Svovlsyre med Svovlsyrens Brint, ved Zinkpladen dannes Zinksulfat. Elektromotorisk Kraft lidt over 1 Volt, Modstanden en Del større end i andre Elementer. Elementet bliver mere konstant, naar Svovlsyren erstattes af en Opløsning af Zinksulfat. (Opgave Nr. 27).

Kromsyreelementet er omtalt Side 12. Brinten iltes af den tve-kromsure Kali ($K_2Cr_2O_7$). Elektromotorisk Kraft ca. 2 Volt, Modstanden i et mellemstort Element ca. 0,1 Ohm.

Akkumulatoren. Hovedtrækkene i de kemiske Processer er omtalt Side 13. Elektromotorisk Kraft ca. 2 Volt, Modstanden betydelig mindre end i de andre Elementer.

Elektriske Straalearter.

Naar der springer en synlig Gnist over mellem to Legemer, maa Spændingsforskellen mellem dem være temmelig stor; er Spændingsforskellen nogle faa hundrede Volt, er Gnisten kun synlig i Mikroskop. Paa det Sted, hvor Gnisten viser sig, gaar der en elektrisk Strøm gennem Luften; det, der lyser, er dels Metaldampe — hvis Legemerne er af Metal — dels Luften. Den største Gnistlængde, man i atmosfærisk Luft kan faa mellem to Legemer, afhænger af Spændingsforskellen og af Legemernes Form og Størrelse.

Mellem to Messingkugler med Diameter $\frac{1}{2}$ cm er den største Gnistlængde

5 mm for Spændingsforskellen 15100 Volt		
10 mm —	—	19500 —
20 mm —	—	24600 —
50 mm —	—	30700 —

De anførte Spændingsforskelle er Tilnærmelsesværdier. For mindre Kugler er Gnistlængden større for samme Spændingsforskel.

Katodestraaler. En elektrisk Strøm gennem fortyndet Luft viser sig ikke som en Gnist, men hele Luftmassen lyser. Man ser det i et Gejslersk Rør (Fig. 97), hvor noget af Luften er pumpet ud, saa at Trykket f. Eks. er $\frac{1}{500}$ Atmosfære. I Rø-

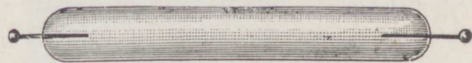


Fig. 97.

rets Ender er der indsmeltet Platintraade, som ender i Øskener, der sættes i Forbindelse med Induktionsapparatets Poler. Er der almindelig Luft i Røret, bliver den rødlig paa det Sted, hvor Strømmen træder ind (ved Anoden), blaalig i den anden Ende (ved Katoden). Skønt Induktionsapparatet giver Vekselstrømme, er Strømmen gennem Røret dog ensrettet, fordi kun Aabningsstrømmen har tilstrækkelig

stor elektromotorisk Kraft til at sende Strøm gennem Røret. Den Del af Katode og Anode, som gaar gennem Glasset, er af Platin, fordi dette omtrent har samme Udvidelseskoefficient som Glas og derfor ikke løsner sig ved Temperaturforandringer. Delene inde i Røret er i Reglen af Aluminium, da andre Metaller ved Strømmens Gennemgang udsender Metalstøv, som sætter sig paa Glassets Inderside.

I stærkt fortyndet Luft skifter Udladningen Karakter; man plejer at vise det med et Rør som Fig. 98. Paa Enden af Katoden *K* sidder der en Plade af Aluminium, paa Enden af Anoden *A* et Kors.

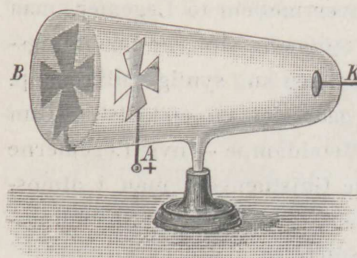


Fig. 98.

Naar Strømmen gaar, lyser Luften i Røret næsten ikke, derimod lyser Glasset stærkt med grønlig Farve, særlig ved *B*. Ved *B* ser man en skarp Skygge af Korset. Heraf slutter man, at der fra Aluminiumpladen udgaar Straaler, **Katodestraaler**; de er retlinede, og deres Retning er vinkelret paa Katoden.

Nærmer man en Magnet til Røret, flytter Korsets Skygge sig; Katodestraaler paavirkes af Magnetisme paa samme Maade, som en Strøm fra *B* mod *K* vilde paavirkes. Da man regner en Strøms Retning efter den Retning, hvori den positive Elektricitet bevæger sig, maa Katodestraalerne være en Strøm af negativ Elektricitet fra *K* mod *B*; dette bekræftes ved at anbringe positiv eller negativ elektriske Legemer nær ved Straalerne, de tiltrækkes af positiv og frastødes af negativ Elektricitet. Disse og mangfoldige andre Forsøg har vist, at Katodestraalerne er en Strøm af smaa negativ elektriske Partikler, **negative Elektroner**, som gaar fra *K* mod *B* med en Hastighed, som kan nærme sig til det halve af Lysets. En negativ Elektrons Masse er omtrent $\frac{1}{2000}$ af Brintatomets, og de negative Elektroner er identiske med selve den negative Elektricitet. Af Forsøgene har man yderligere draget den Slutning, at **den negative Elektron er identisk med det under Elektrolyse omtalte negative Elektricitetsatom**.

I et almindeligt Gejslersk Rør, hvis Elektroder er tynde Aluminiumstænger, d. v. s. tynde Cylindre, udgaar der ogsaa Katodestraaler vinkelret paa Katodens Cylinderflade, men da Luften her er tættere

end i Røret med Korset, indsuges de af Luften og naar i Reglen ikke ud til Glasset; undertiden sker dette dog, og man ser da Glasset omkring Katoden lyse med gulgrøn Farve.

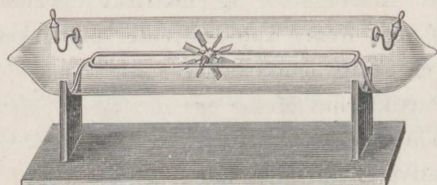


Fig. 99.

I Røret Fig. 99 kan en lille Mølle med Vinger af Glimmer rulle henad to Glas-skiner. Sendes der Strøm fra Induktionsapparatet gennem Røret, træffer Katodestraalerne de øverste Møllervinger og Møllen ruller hen

mod Anoden. Det er Katodestraalernes Stød mod Vingerne, der frembringer Bevægelsen.

Erstattes et lille Stykke af Glasset ved *B* i Fig. 98 (Korset borttaget) med en meget tynd Aluminiumplade, gaar Katodestraalerne gennem Pladen ud i Luften og faar denne til at lyse paa en kort Strækning. I det Nordlysbælte, der strækker sig rundt om Nordpolen, mener man, at der i de øvre Luftlag er ophobet store Mængder af negativ Elektricitet; herfra gaar der Katodestraaler ned mod Jorden, de standses efterhaanden af de tættere Luftlag, faar disse til at lyse, og herved er det, at Nordlys dannes. I Nordlysbeltet ligner det hyppigst et farvet, folderigt Tæppe, der er i stadig Bevægelse (Fig. 100); hos os ses Nordlyset sjældent og viser sig i Reglen kun ved, at Himlen er stærkt rød i Nord.



Fig. 100.

Kanalstraaler (Anodestraaler). I Røret Fig. 98 bevæger der sig en Strøm af positiv elektriske Partikler i modsat Retning af de nega-

tive Elektroner. Er der Huller (Kanaler) i Katodepladen, gaar disse Partikler gennem Hullerne ud i Rummet bag Katoden, hvor de kan undersøges; de danner de saakaldte Kanalstraaler, der har mindre Hastighed end Katodestraalerne. Af Magneter og elektriske Legemer paavirkes de til modsat Side af den, hvori Katodestraaler paavirkes, hvoraf man ser, at de virkelig er positiv elektriske. Paavirkningen er ringe, fordi Partiklernes Masse er af samme Størrelsesorden som Atomere eller Molekyler. Ligesom der findes negative Elektroner, har man tænkt sig, at der ogsaa findes positive Elektroner med Masser, der er langt mindre end Atomers Masser. Kanalstraalerne kan paa Grund af Partiklernes forholdsvis store Masse ikke bestaa af positive Elektroner; de er en Strøm af positive Partikler (Atomere eller Molekyler), *positive Joner*; i Røret Fig. 101 gaar de gennem den gennemhullede Katodeplade op i Rørets øverste Rum.

Trods de mange Forsøg, der er gjort over de nævnte Straalearter, har man aldrig kunnet isolere de positive Elektroner. Det er muligt, at de ikke eksisterer, men for at vi kan danne os et bestemt Billede af det, der omtales i det følgende, vil vi tænke os, at de positive Elektroner af en eller anden Grund er fast forbundne med Stoffernes Atomere, og at vi heri maa søge Aarsagen til, at de ikke er bleven isolerede.

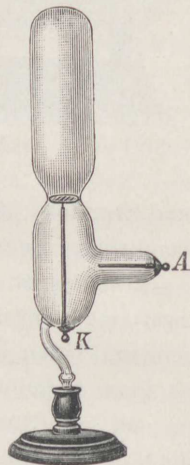


Fig. 101.

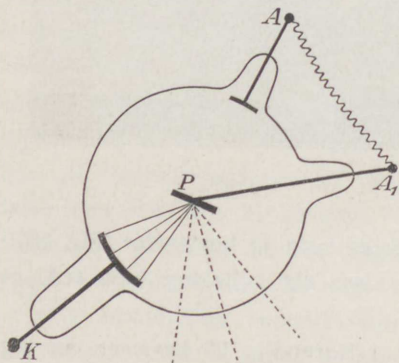


Fig. 102.

Røntgenstraaler. Naar Katodestraaler rammer et Legeme og derved faar en Bevægelsesforandring, d. v. s. Forandring i Hastighed eller Retning, opstaar der ved Elektronernes Stød mod Legemet en ny Straaleart, der kaldes **Røntgenstraaler** (opdaget 1895). Fra den fluorescerende Del af Glasset i Røret Fig. 98 udgaar der i Luften Røntgenstraaler til alle Sider (ogsaa ind

i Røret); i større Mængde frembringes de med Røntgenrøret Fig. 102. Katodepladen er her erstattet af et lille Hulspejl af Aluminium, Katodestraalerne gaar vinkelret ud fra Hulspejlet (rettet mod dettes Centrum) og rammer Platinpladen *P* (Antikatoden), der er anbragt omtrent i Hulspejlets Centrum; fra *P* finder der en *diffus* Tilbagekastning Sted af Katodestraalerne, saa at Glaskuglen fluorescerer med gulgrøn Farve paa den Halvdel, som Katoden sidder paa, og som afskæres af det Plan, der indeholder Platinpladen *P*. Anoden *A* er ved en Metaltraad AA_1 sat i Forbindelse med Antikatoden. Røntgenstraa-lerne opstaar paa to Steder, de fleste paa det Sted, hvor Katodestraa-lerne rammer *P*, hvorfra de gaar ud i Luften gennem Glaskuglens nederste Del (noget svækkede ved Gennemgang gennem Glasset); nogle udgaar fra den fluorescerende Del af Glasset, hvor de fra *P* diffust tilbagekastede Katodestraaler ogsaa undergaar en Bevægelsesforandring. Hvilken Rolle Anoden *A* spiller, ved man ikke, men Erfaringen viser, at Røret bliver mindre godt, hvis *A* udelades og A_1 benyttes som Anode.

Naar Røntgenstraa-lerne træffer en Papskærm, der er oversmurt med Bariumplatinacyanür, fluorescerer Skærmen med grønlig Farve. Holder man en Haand mellem Skærmen og Røret, tæt ved Skærmen, ser man et

Skygebillede af Haandens Knogler, idet Straalerne gaar bedre gennem Kød end gennem Ben.

Røntgenstraa-lerne gaar let gennem Papir, Træ, Kød og Læder, i ringere Mængde gennem Ben og Glas;

de kan gaa gennem meget tynde Metalplader. — Er Luften i Røret meget stærkt fortyndet, faar man haarde Røntgenstraa-ler, d. v. s. Straa-ler med stor Gennemtrængningsevne.

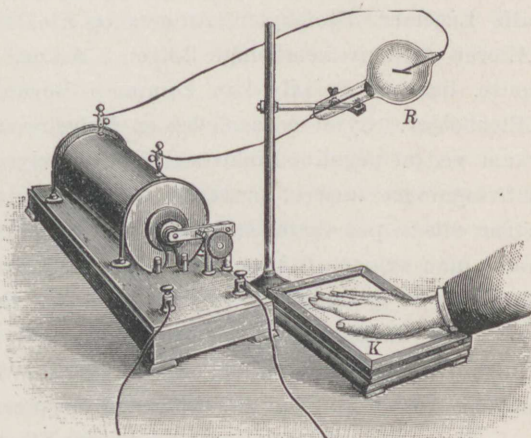


Fig. 103.

Røntgenstraaler paavirker en fotografisk Plade, saa at man kan faa Røntgenfotografier af Skygebillederne. Fig. 103 viser Opstillingen; den fotografiske Plade lægges i Kassetten *K*, eller ogsaa pakker man den blot ind i sort Papir. Pladen fremkaldes paa sædvanlig Maade.

Inden vi gaar over til at omtale nogle simple Forsøg over Elektroner og Joner i den atmosfæriske Luft, maa vi give en foreløbig Oversigt over Atomets Bygning og den saakaldte Æterteori.

Som før nævnt vil vi gaa ud fra, at Stoffernes Atomer er fast forbundne med positive Elektroner; tillige antager vi, at der uden om »den positive Atomkerne« er negative Elektroner, der er mindre fast forbundet med Atomet.

I det neutrale Atom eller Molekyl er der lige mange positive og negative Elektroner; de har lige store Ladninger og ophæver hinandens Virkninger udadtil. I det følgende Afsnit om Elektronteorien gøres der nærmere Rede for disse Forhold.

Æteren er et overordentlig tyndt elastisk Stof, som ikke alene findes i det tomme Rum men ogsaa i Luften, og som gennemtrænger alle Legemer. Molekyler, Atomer og Elektroner er tæt omgivet af Æteren og kan frembringe Bølger i denne, hvis de sættes i Bevægelse, ligesom de selv kan komme i Bevægelse, hvis de træffes af Æterbølger. Lyset er saaledes en Bølgebevægelse i Æteren, der opstaar ved at negative Elektroner i det selvlysende Legeme er kommet i Svingninger med et passende højt Svingningstal. Lysbølgerne opstaar altsaa paa lignende Maade som Snorbølgerne opstaar i et Reb, naar man svinger Rebets ene Ende stærkt op og ned; ligesom Snorbølgerne er Lysbølgerne Tværsvingninger. Ogsaa Røntgenstraaler og elektriske Bølger, der f. Eks. opstaar, naar der dannes en elektrisk Gnist (traadløs Telegraf) er Æterbølger. I Afsnittet om elektromagnetiske Bølger omtales Æterbølgerne nærmere.

Oversigt over de nævnte Straalearter:

Æter- bølger	{	Elektriske Straaler.	Bølgebredde fra faa mm til mange km.
		Lysstraaler	{ røde, 1300 Bølgebredder paa 1 mm. violette, 2600 Bølgebredder paa 1 mm.
		Røntgenstraaler	ca. 100 Millioner Bølgebredder paa 1 mm.

Par- { Katodestraaler, bestaar af negative Elektroner.
 tikler. { Kanalstraaler, bestaar af positive Joner.

Alle Bølgebevægelser i Æteren skrider frem med samme Hastighed, 30000 Metermil pr. Sekund.

Naar der gaar Æterbølger gennem Luften, kan Luftmolekylernes negative Elektroner komme i saa stærk Bevægelse, at en eller flere af dem river sig løs fra Molekylet og vandrer af Sted paa egen Haand, mens Molekylet faar et Overskud af positive Elektroner og er blevet til en positiv Jon. Naar en Del af Luftmolekylerne saaledes er adskilt i negative Elektroner og positive Joner, siger man, at Luften er *joniseret*.

Forsøg med Jonisering, Elektroner og Joner. 1. Sender man Røntgenstraaler hen mod et Elektroskop, der f. Eks. er ladet med positiv Elektricitet, falder Bladene sammen; Elektroskopet kan staa i en betydelig Afstand fra Røntgenrøret, særlig naar det sættes i ledende Forbindelse med en lodret, isoleret Metalplade. Naar Røntgenstraalerne gaar gennem Æteren, river Æterbølgerne negative Elektroner løs fra Luftmolekylerne, saa at Luften bliver joniseret. De negative Elektroner, der er i Nærheden af Elektroskopet, tiltrækkes af dets positive Elektricitet, gaar ind i Metalpladen og ophæver Elektroskopets Elektricitet. Er Elektroskopet negativ elektrisk, udlades det, fordi dets negative Elektroner trækkes ud i Luften; dennes positive Joner kan ikke gaa ind i Elektroskopet.

2. Molekylerne i Flammer og disses Forbrændingsprodukter er altid joniserede. Stiller man en Spritflamme, der er farvet gul med Klornatrium, mellem to isolerede Metalplader (f. Eks. 30×30 cm), og sætter man Pladerne i Forbindelse med Fordelings-Elektriskermaskinens Poler, slaar Flammen over mod den negative Plade. De smaa negative Elektroner gaar ud af Flammen og hen til den positive Plade uden at forandre Flammens Form, mens de positive Joners Bevægelse mod den negative Plade trækker Flammen med. Det samme kan vises med en Stearinlysflamme og Flammen fra en brændende Tændstik; Forsøget kan gøres med een Plade.

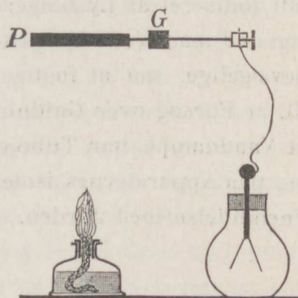


Fig. 104.

3. En vandret Messingplade *P* (Fig. 104) er anbragt paa et Messingskaft, hvorpaa der er en Klemmeskrue. Skaftet stikkes gennem en ren Gummiprop *G*, der fastklemmes i Forsøgsstativets Klo, og Klemmeskruen forbindes med Elektroskopet. Dette lades, og en Spritflamme stilles hen under Messingpladen. Elektroskopets Plade falder nu sammen, fordi de lodret opstigende Forbrændingsprodukter er joniserede.

4. Et Glasrør (f. Eks. Røret til Boyles Ventil) anbringes i en anden Klo (Fig. 105) og et tændt Stearinlys stilles saaledes, at Flammen er inde i Røret; det ladede Elektroskops Blade falder sammen. Anbringer man, før Lyset tændes, noget Glasuld i Rørets øverste Ende, udlades Elektroskopet ikke, naar Lyset tændes. *Forbrændingsprodukternes Elektroner og Joner bliver hængende paa Glasulden.*

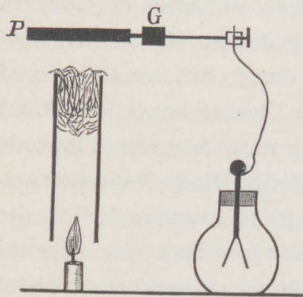


Fig. 105.

5. Pladen *P* anbringes lodret et Stykke til Siden for en Spritflamme, noget højere oppe end Flammen; Elektroskopet udlades ikke. Blæser man nu Luft fra en Blæsebælg gennem et vandret Rør (Diam. ca. 1 cm), kan man blæse Forbrændingsprodukterne hen mod Messingpladen, og man ser, at Elektroskopet udlades. *Elektroner og Joner følger altsaa med Luftstrømmen.*

Forsøgene viser, at *Elektroner og Joner er Smaadele, der kan svæve omkring i Luften, føres med af Luftstrømme, og at de har den Egenkab let at kunne blive hængende ved andre Legemer.* — Luften er altid lidt joniseret af Lysbølgerne, i fugtig Luft slaar Elektroner og Joner sig ned paa Vanddampenes Molekyler og bliver derved mindre let bevægelige, saa at fugtig Luft isolerer bedre end tør Luft. Grunden til, at Forsøg over Gnidningselektricitet gaar bedst i tør Luft, er den, at Vanddampe har Tilbøjelighed til at sætte sig som et tyndt Vandlag paa Apparaternes isolerende Dele, saa at der fremkommer ledende Forbindelse med Jorden.

Radium.

Aaret efter Røntgenstraalernes Opdagelse (1895) viste Franskmanden Becquerel, at Uran og Uranforbindelser udsender Straalearter, som paavirker den fotografiske Plade og kan jonisere Luften. Senere er der fundet enkelte andre Stoffer, der har samme Egenskab, og blandt disse er Radiumforbindelser særlig stærkt virkende. Naar man taler om Radium, mener man i Reglen kemiske Forbindelser af Radium med andre Stoffer, f. Eks. Bromradium. Metallet Radium er et sølvglinsende Metal, som for et Par Aar siden er fremstillet ved Elektrolyse af Klorradium.

Radium udsender 3 Slags Straaler, der kaldes α -, β - og γ -Straaler. Paa Figuren forestiller K en Blyklods, hvor der i Fordybningen foroven er anbragt lidt Radium, som sender Straaler opad. Anbringes et positivt elektrisk Legeme til højre for Straalerne, et negativt til venstre, bøjes α - og β -Straalerne som angivet paa Figuren, de maa altsaa henholdsvis være positiv og negativ elektriske, mens γ -Straalerne ikke paavirkes; paa samme Maade adskilles Straalerne af et magnetisk Felt, hvis Kraftlinier staar vinkelret paa Papirets Plan og gaar ned mod Papiret. α -Straalerne bestaar — ligesom Kanalstraaler — af positive Joner, der udslynges fra Radiummet, β -Straalerne af negative Elektroner ligesom Katodestraaler; γ -Straalerne er Røntgenstraaler med stor Gennemtrængningsevne; de kan gaa gennem tykke Metalplader. α -Straalerne (d. v. s. Partiklerne) har en Hastighed fra 1500—2000 Metermil, de standses let og kan ikke engang gaa gennem Papir. β -Straalernes Hastighed kan omtrent blive lige saa stor som Lysets; de standses helt af en Aluminiumsplade paa 1 cm's Tykkelse.

Foruden disse tre Straalearter udgaar der fra Radium en lysende Luftart, *Emanationen*, som kan fortættes i en Beholder, der er omgivet af flydende Luft; dens Kogepunkt ved 1 Atmosfæres Tryk er

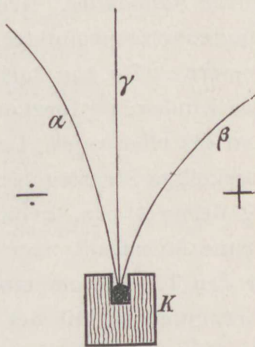


Fig. 106.

÷ 65°, dens Atomtal 222, og den er den tungeste af alle luftformige Grundstoffer. Den flydende Emanation er fem Gange tungere end Vand. Indespærres Emanationen i et Gejslersk Rør, kan man med Spektroskopet iagttage dens Liniespektrum; der viser sig her den Mærkelighed, at Spektret efterhaanden forandrer sig, og efter nogle Dages Forløb viser det Gejslerske Rør Heliums Liniespektrum. Ved dette Forsøg blev det første Gang godtgjort, at et Grundstof kan omdannes til et andet, et Forhold, som man tidligere ikke havde tænkt sig Muligheden af.

Emanationen omdannes ikke alene til Helium, men ogsaa til et andet Stof, som kaldes Radium A, dette omdannes igen til et nyt Stof, Radium B, og ved fortsat Omdannelse opstaar efterhaanden Stofferne Radium C, D, E, F og G. Legemer som Træ, Papir og lignende, der anbringes i Nærheden af Radium, faar selv Radiums Egenskaber; de bliver *radioaktive*. Grunden er, at de nævnte Stoffer, Emanationens Omdannelsesprodukter, er faste Stoffer, der slaar sig ned paa Legemerne. De kan tørres af Legemerne med en Klud og sidder nu paa Kluden; de forekommer kun i saa smaa Mængder, at de hverken kan ses eller vejes. De kan kendes fra hverandre paa, at de udsender forskellige Straalearter, nogle α -Straaler, andre α - og β -Straaler o. s. v., og dernæst paa, hvor langt α -Straalerne fra et Stof, der udsender denne Straaleart, naar ud i Luften (højest 7 cm). Et andet Kendetegn er den Tid T , som medgaar, inden Halvdelen af et saadant Stof har forvandlet sig til det i Rækken nærmest følgende; til fuldstændig Omdannelse vil der medgaa uendelig lang Tid. Endvidere forholder de forskellige Stoffer sig ikke ens overfor kemiske Opløsningsmidler.

Det Mineral (Begblende), hvorefter Radium udvindes, findes særlig i stor Mængde i Joachimsthal i Bøhmen, og i det findes ogsaa Uran samt en Del Bly. Ligesom Radium forvandler Uran sig efterhaanden til andre Stoffer, og man anser Radium for et af Uranets Omdannelsesprodukter, ligesom Radium efter en Række Omdannelser muligvis ender som Bly.

I følgende Tabel anføres Resultaterne af de Undersøgelser, der er anstillet over de radioaktive Forvandlinger, idet det dog maa bemærkes, at en saadan Tabel ved ny Undersøgelser kan forandres i forskellig Henseende. I første Række er Stofferne anført i den Orden,

hvori de forvandler sig, i anden Række de Stralearter, som Stoffet udsender, i tredje Række den Tid T , som medgaar, inden Halvdelen af et Stof har forvandlet sig til det i Rækken følgende Stof. Blandt Forvandlingsprodukterne er Helium ikke anført, idet det har vist sig, at α -Straaler er positivt ladede Heliumatomer; et Stof, der udsender α -Straaler, forvandler sig altsaa til det i Rækken følgende Stof samt til Helium.

	Stralearter	T
Uran	α	6 Milliarder Aar.
Uran X	β, γ	25 Dage
Jonium	α	100000 Aar (?)
Radium	α, β	2000 Aar
Emanation	α	3,85 Dage
Radium A	α	3 Minutter
Radium B	β, γ	27 Minutter
Radium C	α, β, γ	20 Minutter
Radium D	β, γ	15 Aar
Radium E	β, γ	6 Dage
Radium F	α	5 Maaneder
Radium G (Bly?)	ingen	

Radioaktive Stoffer lyser i Mørke; i Apparatet Fig. 107 (et Spintariskop) kan man se Lyset. Under Spidsen af Stangen S er der anbragt lidt Radium; dets lysende Virkninger fremkommer her væsentlig ved α -Partiklernes Stød mod Pladen P , der er smurt over med Svovlzink. Spidsen med Omgivelser betragtes gennem Lupen L . Man maa opholde sig ca. 5 Min. i Mørke, før man ser Fænomenet i sin fulde Glans.

Radiums Temperatur er altid ca. 1° højere end Omgivelserne; ogsaa dette beror vel paa Sammenstød f. Eks. mellem Radiumatomer og α -Partikler (Bevægelsesenergi omsættes til Varme).

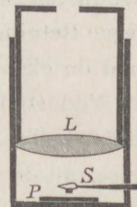


Fig. 107.

Foruden den ovennævnte Uran-Radium-Familie findes der en Thorium- og en Aktinium-Familie; Thoriums mest bekendte Omdannelsesprodukt er Mesothorium.

Elektronteorien.

Naar der gaar Strøm gennem en Elektrolyt, besørger Elektricitets-transporten altid af Joner, som bærer positive og negative Ladninger. Ved en Strøm gennem metallisk ledende Stoffer — Metaller og enkelte andre Stoffer, f. Eks. Kul — deltager Joner *ikke* i Bevægelsen. Man har vist det ved i lang Tid at sende Strøm gennem en Zinktraad og en Kobbertraad, der var anbragt i hinandens Forlængelse; hvis Metaljoner deltog i Bevægelsen, maatte der komme Zink i Kobberet og omvendt, men dette var ikke Tilfældet.

En Strøm gennem metallisk ledende Stoffer maa altsaa være en Bevægelse af Elektroner. Vil man være i Overensstemmelse med de Udtryksmaader, man plejer at bruge i Elektricitetslæren, maa man tænke sig, at der eksisterer positive Elektroner, som i metallisk ledende Stoffer er frit bevægelige i samme Grad som de negative. Ved en konstant Strøm skulde Lederen gennemløbes af positive Elektroner i én Retning, negative i modsat Retning, og gennem hvert Tværsnit af Ledningen skulde der pr. Sekund strømme lige mange Elektroner i begge Retninger. Men Betragtningssmaader af denne Art stemmer ikke med de eksperimentelle Undersøgelser om Elektroner og Joner.

Ved Omtalen af Elektroner i Luft har vi nævnt, at de positive Elektroners Eksistens ikke er paavist, og at Aarsagen hertil kunde være, at de af en eller anden Grund er fast knyttet til Atomerne, eller at de slet ikke eksisterer.

Det følgende indeholder en Fremstilling af de Anskuelser, som ligger til Grund for den saakaldte **Elektronteori**.

Ethvert neutralt Atom bestaar af en **positiv Kærne** omgivet af

negative Elektroner, hvis Antal vi vil kalde n ; om den positive Kærne skyldes positive Elektroner, der hænger fast ved Atomerne, eller om Kærnen har en anden Bygning, er et uafgjort Spørgsmaal. n er ens for alle Atomere af samme Stof, men forskellig for forskellige Stoffer. Det neutralt Atom negative Elektroner ophæver den positive Kærnes Virkninger udadtil, men mister Atomet en eller flere negative Elektroner, faar den positive Kærnes Virkninger Overtaget, og Atomet optræder som *positiv Jon*; kommer Atomet til at indeholde mere end n negative Elektroner, optræder det som *negativ Jon*. En divalent Kobberjon bestaar af Kærnen og $n-2$ negative Elektroner; i Afsnittet om Elektrolyse sagde vi, at den indeholdt to positive Elektricitetsatomer, men dette svarer altsaa i Virkeligheden til et *Underskud* paa to negative Elektroner. Natriumatomet bestaar som Jon af Kærnen og $n-1$ negative Elektroner; Klorjonen er negativ og indeholder foruden sin Kærne $n+1$ neg. Elektroner; Iltjonen indeholder foruden sin Kærne $n+2$ neg. Elektroner o. s. v.

Tallet n er i Almindelighed ukendt og vel i Reglen ret stort. Om Heliumatomet véd man, at $n=2$; Heliumjonen, som er positiv, indeholder ingen negative Elektroner og er identisk med selve Kærnen. Vi har tidligere sagt, at Partiklerne i α -Straalerne er positivt ladede Heliumatomer; *Partiklerne i α -Straalerne er altsaa Heliumkærner*. For Brints Vedkommende antages $n=1$; *Brintjonen, der jo er positiv, er altsaa identisk med Brintatomets Kærne*.

Hvad der ovenfor er sagt om Atomernes Bygning, om Kærner og om Joner, gælder baade for Atomere i Elektrolyster, i metallisk ledende Stoffer og i daarlige Ledere. Dog véd man ikke, hvor stort Underskud eller Overskud af negative Elektroner der er i en Jon i et metallisk ledende Stof eller i en daarlig Leder; naar f. Eks. en Zinkjon forlader en Zinkstang og gaar ud i en Vædske (f. Eks. ved Elektrolyse), har den sikkert et Underskud paa to negative Elektroner, men hvor stort Underskud en Zinkjon har i en positiv elektrisk Zinkstang, véd man ikke. *Om metallisk ledende Stoffer og daarlige Ledere, der er elektriske, kan man altsaa kun sige, at de bestaar af positive Kærner og negative Elektroner*, men om Elektronernes Fordeling kan der være forskellige Meninger. — Fjernes en Del af de negative Elektroner fra et eller andet Legeme, faar de positive Kærners Virkninger Overtaget

og Legemet er positiv elektrisk; tilføres der det uelektriske Legeme negative Elektroner, er det negativ elektrisk. Eller — som man ogsaa kan sige — et *Underskud* af negative Elektroner under det normale gør Legemet *positiv* elektrisk, et *Overskud* af negative Elektroner gør det *negativ* elektrisk.

Ofte spiller det kun ringe Rolle, om man bruger de gamle Udtryksmaader eller Elektronteoriens; »positiv Elektricitet« betyder det samme som »Underskud af negative Elektroner«; i Stedet for en Dobbeltstrøm af positiv og negativ Elektricitet er det let at tænke sig en enkelt Strøm af negative Elektroner. For at gøre Fremstillingen overskuelig maa vi i det følgende i Reglen bruge de gamle Udtryksmaader.

Eksempel 1. Gnides en Ebonitstang med en Klud, gaar der negative Elektroner fra Kluden over paa Ebonitstangen. Kluden faar Underskud af negative Elektroner, den kaldes positiv elektrisk. Nærmes den gnedne Ebonitstang til Elektroskopets Knop, stødes negative Elektroner ned i Bladene, mens Elektroskopstangens øverste Ende faar Underskud af negative Elektroner; den er positiv elektrisk.

Eksempel 2. Lad os antage, at en isoleret god Leder har positiv Spænding, er positiv elektrisk; den har altsaa Underskud af negative Elektroner. Afledes Lederen til Jorden, gaar der negative Elektroner fra Jorden op i Lederen, indtil denne har samme Spænding som Jorden, d. v. s. har opnaaet sin nevtrale Tilstand. Er en Leder negativ elektrisk, gaar der ved Afledning negative Elektroner fra Lederen ned i Jorden, indtil Lederen har opnaaet sin nevtrale Tilstand.

I Lederen *B* (Fig. 49) er der til højre Underskud af negative Elektroner; berøres *B* med en Finger, strømmer der negative Elektroner op i *B*, til Underskuddet er dækket. Fjernes først Fingeren, saa Legemet *A*, er *B* negativ elektrisk, og berøres det atter med Fingeren, strømmer der negative Elektroner ned i Jorden. Holder man Regnskab med Afgang og Tilgang, ses, at *B* altid indeholder *lige meget Elektricitet*, naar det er neutralt. Efter den gamle Udtryksmaade maatte man — ved at fortsætte med Fordeling og Afledning — kunne tømme Legemet for Elektricitet, eller det maatte indeholde ubegrænsede Mængder.

Eksempel 3. Den konstante Strøm. Vi tænker os, at et galvanisk

Element sender Strøm gennem en Metaltraad. Undersøgelsen deler sig i to Dele: hvad der foregaar i Elementet, og hvad der foregaar i Metaltraaden. Vi vil her forklare, hvad der foregaar i Metaltraaden; om Elementet vil vi foreløbig nøjes med den Bemærkning, at dets elektromotoriske Kræfter frembringer Overskud af negative Elektroner (negativ Spænding) paa den negative Pol, Underskud af negative Elektroner (positiv Spænding) paa den positive Pol. Fra den negative Pol strømmer der negative Elektroner ud i Metaltraaden, ved den positive suges der negative Elektroner ind i Elementet; *Strømmen i Metaltraaden er altsaa en Bevægelse alene af negative Elektroner i en Retning, der er modsat den, der kaldes Strømmens Retning.* (Forholdet kan sammenlignes med en lang, smal Rende med Vand, hvor der pumpes Vand ind i den ene Ende og suges Vand ud af den anden; Vandoverfladen stiller sig skraat med en Vandstand over den oprindelige paa én Strækning, under den oprindelige i Resten af Renden). Paa Strækningen fra den negative Pol til det Punkt af Metaltraaden, hvor Spændingen er 0, er der pr. mm et Overskud af negative Elektroner, som bliver mindre og mindre, jo nærmere man kommer til Nulspændingen; herfra og hen til den positive Pol er der pr. mm et voksende Underskud af negative Elektroner. Sætter man et fintmærkende Elektrometer i Forbindelse med et Punkt i Ledningen, hvor der er Overskud af negative Elektroner, lades Elektrometret med en til dette Overskud svarende negativ Elektricitetsmængde og giver et Udslag, der er et Maal for Punktets negative Spænding. Forbindes Elektrometret med et Punkt i Ledningen, hvor der er Underskud, gaar der negative Elektroner fra Elektrometret til Ledningen, indtil Elektrometret giver et Udslag, som svarer til Underskuddets Størrelse og er et Maal for Punktets positive Spænding; da Størrelsen af Overskud (eller Underskud) falder langs Ledningen, falder ogsaa Spændingen langs Ledningen.

Er Strømmen konstant, skal Over- eller Underskud stadig være det samme paa et bestemt Sted af Ledningen (Længde 1 mm), og dette kan kun ske, hvis der gennem hvert Tværsnit af Ledningen strømmer lige mange negative Elektroner pr. Sekund. — En Elektron i Ledningen paavirkes af en elektrisk Kraft, som skyldes *Forskellen* mellem Overskud (eller Underskud) af negative Elektroner pr. mm paa begge Sider af Elektronen, eller — som man ogsaa kan sige — Kraften skyl-

des Spændingsfaldet; Elektronen møder en Modstand (formodentlig Ætermodstand), som bevirker, at dens Hastighed bliver konstant.

Eksempel 4. Elektrolyse. Som Eksempel paa, hvad der efter Elektronteorien foregaar ved Elektroderne, vil vi tage Elektrolyse af Saltsyre, HCl , med Kulelektroder. Naar der ved Katoden udskiller sig et positivt Brintatom, er dette jo positivt, fordi det mangler en negativ Elektron; fra Katoden gaar der en negativ Elektron over paa Brintatomet, som derved bliver neutralt, og den Brint, der bobler op, er uelektrisk. Kloratomet afgiver en negativ Elektron til Anoden og bliver derved neutralt. Opfanges Klor og Brint paa sædvanlig Maade i en Glasklokke, har Brinten altsaa optaget lige saa mange negative Elektroner, som Kloret har afgivet, og Klorets og Brintens samlede Elektricitetsindhold er den samme som før Elektrolysen. — Tænker man sig derimod, at begge Joner afgiver Elektricitet til Elektroderne, modtager disse stadig Elektroner baade fra Jonerne og fra Batteriet, og der vilde paa Elektroderne stadig foregaa en lidet sandsynlig Ophobning af Elektroner. Den i Klokken opsamlede Klor- og Brintmængde vilde tilsammen indeholde mindre Elektricitet end før Elektrolysen.

En elektrisk Spænding bruger Tid til at forplante sig gennem en god Leder; dette er først paavist af *Wheatstone* (1835). Han anbragte 6 isolerede Kugler paa et Bræt (Fig. 108) og forbandt *b* og *c*

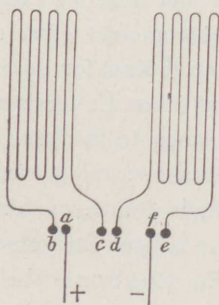


Fig. 108.

med en lang Traad (400 m), og ligeledes *d* og *e*. *a* og *f* blev sat i Forbindelse med den ydre og indre Belægning paa en ladet Leidnerflaske, og der viste sig tre Gnister, ved *ab*, *cd* og *ef*. Disse Gnister iagttog han i et roterende Spejl, hvis Omdrejningsakse var parallel med Kuglernes Centerlinie. Stod Spejlet stille, saa han Spejlbilleder af Gnisterne som tre Prikker ved Siden af hinanden, men naar Spejlet blev drejet ca. 1000 Gange rundt pr. Sekund, blev Gnisterne trukket ud til Streger, fordi de varer nogen Tid, og den midterste Streg var forskudt et Stykke i Forhold til de andre

(Fig. 109). Dette viser, at den midterste Gnist dannes senere end de to andre; a og f har ved Fordeling i b og e frembragt Forskydninger af Elektronerne, og Forsøget viser, at de Spændinger, som skyldes disse Forskydninger, bruger meget kort, men endelig Tid til at gaa 400 m. Denne Tid beregnede Wheatstone ved at maale Forskydningen af den midterste Gnist samt Spejlets Afstand og Omdrejningshastighed. Han fandt Hastigheder, der afveg stærkt fra hinanden og dels var større, dels mindre end Lysets Hastighed. Andre Forsøg (Fig. 117) har vist, at Hastigheden meget nær er lig Lysets Hastighed, d. v. s. 30000 Metermil pr. Sekund.

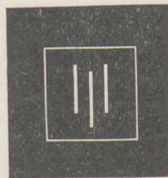


Fig. 109.

Spørgsmaalet er nu, om Elektronerne bevæger sig gennem Ledningerne med samme Hastighed som Spændingerne. For det følgende Skyld maa vi antage, at dette *ikke* finder Sted; et Eksempel vil forklare, hvorledes vi maa opfatte Forholdet. Den ene Ende af en lang, fra Jorden isoleret Metaltraad tænkes fastgjort til Elektroskopets Knop, i den anden Ende er der anbragt en Metalplade a ; en gneden Ebonitstang anbringes ved E . Ved Fordeling i Pladen a fremkommer der positiv Elektricitet (Underskud af negative Elektroner) paa den Side, der vender mod E , mens negative Elektroner, den fri Elektricitet,

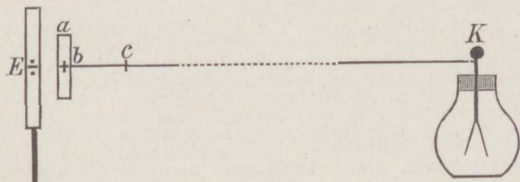


Fig. 110.

stødes ud af Pladen, saa at der f. Eks. paa Strækningen bc finder en Ophobning Sted af negative Elektroner; der bliver negativ Spænding ved bc .

I Analogi med Beteg-

nelser fra Lydlæren kan vi kalde Ophobningen en negativ Fortætning. Elektronerne ved bc frastøder de negative Elektroner til højre for bc , mens Fortætningen ved bc taber sig; den ny Fortætning danner atter en Fortætning længere til højre o. s. v. Henad Traaden, i Retning mod Elektroskopet, bevæger der sig altsaa en negativ Fortætning, en negativ Spænding; det er denne Fortætning, der skrider frem med Lysets Hastighed, mens de negative Elektroner selv ikke fjerner

sig ret langt fra deres Hvilestillinger. Saa snart Fortætningen naar Elektroskopets Blade, bliver den synlig ved Bladenes Udslag, og dette sker altsaa ikke — som det synes — i samme Øjeblik, som Ebonitstangen anbringes paa sin Plads. — Havde vi i Stedet for Ebonitstangen anbragt en gneden Glasstang ved *E*, var der løbet en positiv Spænding, en positiv Fortætning, hen ad Traaden, idet vi med en positiv Fortætning mener et Underskud af negative Elektroner, svarende til en Fortynding i Lydlæren. — Vi har her haft med en *Bølgebevægelse* at gøre, mens den konstante Strøm (Eksempel 3, Side 108) ikke er en Bølgebevægelse.

Elektronteorien og galvaniske Elementer.

Som tidligere omtalt frembringer Berøringen Metal-Metal og Elektrolyt-Elektrolyt kun ringe Spændingsforskel; et Elements elektromotoriske Kraft skyldes næsten udelukkende Berøringerne Metal-Elektrolyt. Det følgende handler om Teori og Forsøg, der vedrører Spændingsforskellen Metal-Elektrolyt; som Eksempel paa Teorien gennemgaas *Daniells Element*.

Ifølge Elektronteorien indeholder en Metalstang positive Kærner og negative Elektroner. Anbringes en Metalstang i en Opløsning af et Salt af **samme** Metal (f. Eks. *Cu* i *CuSO₄* eller *Zn* i *ZnSO₄*), opstaar der mellem Metallet og Opløsningen en Spændingsforskel, hvis Fremkomst **Nernst** forklarer saaledes: *Naar en Metalstang anbringes i en Opløsning af et Salt af samme Metal, har Metalstangens positive Joner Tilbøjelighed til at gaa ud i Vædsken, mens Vædskens positive Metaljoner har Tilbøjelighed til at afsætte sig paa Metalstangen.* Er denne Tilbøjelighed til at afgive Metaljoner ens for Metalstang og Vædske, opstaar der ingen Spændingsforskel mellem dem, men er Metalstangens Tilbøjelighed den største, mister den positive Joner og faar derved Overskud af negative Elektroner, mens Vædsken bliver positiv elektrisk (*Zn* i *ZnSO₄*). Har Vædsken størst Tilbøjelighed til at afgive sine positive Metaljoner, bliver Metallet positivt, Vædsken negativ (*Cu* i *CuSO₄*). — At Spændingsforskellen ikke stiger uden Grænse, f. Eks. for *Cu* i *CuSO₄*, kommer af, at Kobberet, efterhaanden som

det bliver mere positiv elektrisk, frastøder Vædskenes Kobberjoner stærkere og modarbejder deres Tilbøjelighed til at afsætte sig.

Mængden af de Metaljoner, der gaar bort fra Metallet eller udskiller sig paa det, er saa lille, at den hverken kan paavises ved Vejning eller paa andre Maader; dette er let forstaaeligt, naar man erindrer, at et Gramatom af et Stof indeholder 96550 Coulomb.

Anbringer man en amalgameret Zinkstang i fortyndet Svovlsyre, opstaar der ogsaa Spændingsforskelle mellem Zink og Syre. Straks ved Neddypningen opstaar der en lille Smule $ZnSO_4$, hvorved Vædsken faar det fornødne Indhold af Zinkjoner.

Nernst's Teori giver os altsaa Forklaring paa, at der er Spændingsforskelle mellem Polerne paa et Element, som bestaar af Cu i $CuSO_4$ og Zn i $ZnSO_4$ eller i H_2SO_4 , naar Elementet ikke giver Strøm. Giver Elementet Strøm, foregaar der det samme, Zinkjoner gaar ud i Vædsken og Kobberjoner afsætter sig paa Kobberet, saaledes som angivet Side 94. Jonernes Vandring i de to Elektrolyter er nu i Stand til at frembringe en tilstrækkelig Mængde Kobberjoner ved Kobberstangen og bortføre en tilstrækkelig Mængde Zinkjoner fra Zinkstangen, idet Strømafgivelsen kræver Frigørelse af store Mængder af negative Elektroner paa Zinkstangen og et stort Underskud af negative Elektroner paa Kobberstangen; fra den negative Pol strømmer der negative Elektroner ud i den ydre Ledning og fra denne ind paa den positive Pol. — Elementets elektromotoriske Kræfter er de Kræfter, som er Aarsag til Metaljonernes Tilbøjelighed til Udfældning paa Metallet og til at gaa i Opløsning. Strømen energien fremkommer paa Bekostning af kemisk Energi, idet de Stoffer, der dannes i Elementet, naar Strømmen gaar, har mindre kemisk Energi end de oprindelige Stoffer.

For andre Elementers Vedkommende er Forklaringen mere indviklet, hvorfor vi nøjes med Daniells Element som Eksempel.

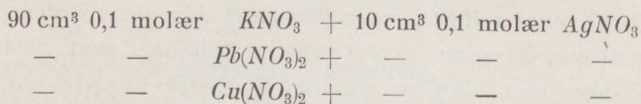
Forsøg over Lovene om Spændingsforskellens Afhængighed af Elektrolytens Sammensætning.

1. Nernst's Teori siger, at Spændingsforskellen mellem et Metal og en Opløsning, der indeholder flere Elektrolyter, kun afhænger af Metallets egne Joner i Opløsningen.

Til Forsøget benyttes et Element, der bestaar af et U-formet Rør, 10 cm højt og 12 mm vidt; i Bøjningen anbringes der en faststoppet Prop af affedt Vat, som dog ikke maa stoppes fastere, end at det bliver gennemblødt af Vædskerne. Den positive Elektrode er en Sølvtraad, den negative en Kobbertraad; de er fastgjort i to i Rørets Mundingen løst anbragte Propper. Af Vædske benyttes f. Eks.

- A. 0,1 molær $Cu(NO_3)_2$.*) B. 0,1 molær $AgNO_3$.
 C. 0,1 molær KNO_3 . D. 0,1 molær $Pb(NO_3)_2$.

Kobbertraaden er stadig omgivet af Vædske A. Sølvtraaden omgives efterhaanden med Vædske, der indeholder lige store Mængder Sølvnitrat, f. Eks. Vædske, der er blandet saaledes:



Den elektromotoriske Kraft for hvert af disse 3 Elementer maales ved Kompensationsmetoden (Side 24). Voltmeter kan ikke bruges, fordi det ikke er tilstrækkelig fintmærkende, og fordi Elementerne har meget stor Modstand. Ved Forsøg af denne Art maa man huske, at Elektrolyten ikke maa indeholde Joner, der udfældes metallisk af det neddyppede Metal, da derved baade Elektrode og Elektrolyt forandres, saa at man ikke ved, hvad man i Virkeligheden maaler.

2. Af Nernst' Teori følger, at *Metallets Spænding altid forandres i positiv Retning, naar Mængden af dets Joner i Elektrolyten (Koncentrationen) forøges*; thi jo flere Joner der er i Elektrolyten, desto mere frastødes Elektrodens Joner, desto mindre bliver deres Tilbøjelighed til at gaa ud i Vædsken, og Elektroden mister mindre positiv Elektricitet. Lovens Rigtighed prøves ved følgende Forsøg.

Samme Element som ovenfor benyttes; af Vædske bruges A og B. Kobbertraaden er ligesom før stadig omgivet af Vædske A, Sølvtraaden omgives efterhaanden af Sølvnitratopløsninger med forskellig Koncentration. Først benyttes Vædske B, derpaa Opløsninger, der er 10 og 100 Gange svagere (de tillaves med Maaleglas; Fortyndingen sker med Vædske C, for at Elementet ikke skal faa for stor Modstand). De tre Elementers elektromotoriske Kræfter maales ved Kompensa-

*) En 0,1 molær Opløsning indeholder 0,1 Grammmolekyl i 1 Liter.

tionsmetoden. Da den negative Elektrode og den omgivende Vædske hele Tiden har været ens, kan det afgøres, hvilken Indflydelse Koncentrationsforandringen har paa Søvelektrodens Spænding.

3. *Spændingsrækken.* Metallerne *Pb*, *Cu*, *Zn* og *Ag* skal ordnes i en Række efter deres Tilbøjelighed til at udsende Joner. Det Metal, der har den største Tilbøjelighed til at udsende Joner, bliver ifølge det foregaaende mest negativ elektrisk.

Foruden Vædskerne *A*, *B* og *D* benyttes en Vædske (*E*) 0,1 molær $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. I Elementets ene Gren er der stadig en Sølvtraad i Vædske *B*. I den anden Gren anbringes efterhaanden en Blytraad i Vædske *D*, en Kobbertraad i Vædske *A* og en Zinktraad i Vædske *E*. De tre Elementers elektromotoriske Kræfter maales ved Kompensationsmetoden, og Metallernes Rækkefølge bestemmes ved den elektromotoriske Krafts Størrelse.

Elektriske Svingninger i gode Ledere.

En elektrisk Gnist varer meget kort, en meget lillé Brøkdél af et Sekund; man kan se det ved i et nogenlunde mørkt Værelse at lade Gnisten fra en Leidnerflaske belyse et roterende Hjul. Egerne synes at staa stille, fordi de ikke flytter sig kendeligt i den Tid, Gnisten varer.

Naar en Kondensator — f. Eks. en Leidnerflaske — udlades, ser det ud som om Udladningen bestaar af en enkelt Gnist. At det ikke forholder sig saaledes, er vist af den tyske Fysiker *Feddersen* (1859). Han anbragte et hurtigt roterende Spejl et Stykke fra Gnisten, saaledes at Gnistbanen var parallel med Spejlets Omdrejningsakse. I Spejlet saa han ikke een Gnist men flere, der blev svagere og svagere (Fig. 111); *den tilsyneladende enkelte Gnist, Hovedgnisten, bestaar allsaa af en Række Gnister, Enkeltgnister, af overordentlig kort*



Fig. 111.

Varighed. De bliver synlige, fordi deres Spejlbilleder dannes paa lidt forskellige Steder i Spejlet, som drejer sig et lille Stykke i den Tid, der forløber mellem to Enkeltgnister.

Resultatet af Feddersens Forsøg forklares saaledes. Er Leidnerflaskens indre Belægning (*a*) positiv elektrisk, den ydre (*b*) negativ, dannes den første Gnist derved, at positiv Elektricitet svinger fra *a*

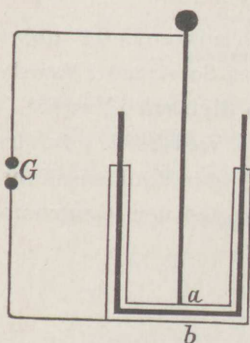


Fig. 112.

over Gniststedet *G* til *b*, mens samtidig negativ Elektricitet svinger fra *b* over *G* til *a*; Strømmen gaar altsaa fra *a* til *b*. Positiv og negativ Elektricitet binder nu hinanden ved Tiltrækning gennem Leidnerflaskens Glas, og Flasken er igen ladet, men *a* har negativ Elektricitet, *b* positiv. Derpaa finder næste Udladning Sted paa samme Maade, idet Strømmen gaar i modsat Retning, fra *b* til *a*, o. s. v. *aGb* gennemløbes altsaa af Vekselstrømme med stort Vekseltal, stor Frekvens. Disse hurtigt paa hinanden følgende Vekselstrømme

kaldes **elektriske Svingninger**. Svingningstallet pr. Sek. er nogle Millioner for en Leidnerflaske af Mellemstørrelse; der vilde altsaa dannes nogle Millioner Enkeltgnister pr. Sek., hvis Hovedgnisten varede saa længe.

Leidnerflasken indeholdt før Udladningen elektrisk Energi, der — under Udladningen — delvis omsættes til Varme i Ledningen *aGb* ifølge Joules Lov; som det ses i næste Afsnit, udstraales Energien delvis under Form af elektromagnetiske Bølger. Svingningerne kommer derfor til at indeholde mindre og mindre Energi og dør tilsidst hen; man kalder dem **dæmpede Svingninger**.

Forsøg over elektriske Svingninger.

Hovedgnistens Deling i Enkeltgnister og Svingningernes Afhængighed af Kapacitet og Selvinduktion kan vises saaledes:

Paa Fig. 113 er *I* en Gnistinduktor, *K* en Kondensator (Leidnerflaske), hvis Belægninger forbindes med Induktorens Poler; Kuglerne *k*, mellem hvilke Gnisterne skal springe over, forbindes ligeledes med

Kondensatorens Belægninger; Kondensatoren er altsaa indskudt parallelt med Gniststedet. S er en Selvinduktion (f. Eks. den sekundære Leder i et mindre Induktionsapparat). Induktoren giver jo Vekselstrøm, og i et vist Øjeblik sender den positiv Elektricitet til a , negativ til b ; Kondensatoren lades altsaa, men udlades straks gennem $akkb$. Kort efter gaar Strømmen i Induktorens sekundære Vindinger modsat Vej; b lades nu med positiv Elektricitet, a med negativ, og Kondensatoren udlades igen gennem $akkb$ o. s. v.

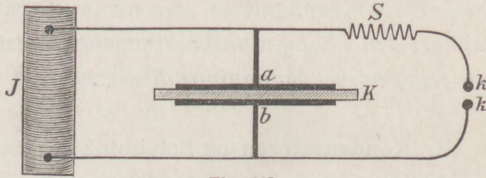


Fig. 113.

Kondensatorens Udladning kan ikke foregaa gennem Induktorens Induktionsleder paa Grund af dennes store Selvinduktion; den virker som Stoppespole (se Side 73).

1. **Selvinduktionen S udeladt.** Gnisterne er dels kortere end de Gnister, som Induktoren alene kan frembringe mellem de to Kugler, dels lyser de kraftigere.

a. Gnisten er kortere, fordi den fra Induktoren kommende Elektricitet for største Delen bindes paa Kondensatorens Belægninger, saa at disse og Kuglerne faar en forholdsvis lille Spændingsforskel.

b. Gnisten er kraftigere, d. v. s. den lyser stærkt, giver stærke Smeld. Da Gnistens Lys udsendes af Metaldampe fra Kuglerne, maa Varmeudviklingen altsaa være stor, d. v. s. *Gnisten har stor Energi*, og dette maa igen ligge i, at den indeholder færre Enkeltgnister, end der er i den Gnist, som Induktoren vilde frembringe, hvis K var udeladt. Hver Enkeltgnist — hver Svingning — kommer derved til at indeholde mere Energi, idet den fra Induktoren tilførte Energimængde fordeles paa færre Svingninger (Antallet af Hovedgnister er ens, hvad enten Kondensatoren er indskudt eller ej, nemlig en Hovedgnist for hver Strøm i Induktorens sekundære Ledning). *Naar en Induktor frembringer Gnister, vil en med Gniststedet parallelt indskudt Kondensator forøge Svingningernes Energi paa Bekostning af Svingningstallet.*

Anbringes et kubisk Spejl paa Centrifugalmaskinen og stilles Spejlet et Stykke fra Gnistbanen, saaledes at denne og Spejlets Akse er

parallelle, ses Hovedgnisten ikke delt i Enkeltgnister, selv om Spejlet drejes hurtigt rundt; Rotationen kan ikke gøres hurtig nok.

2. **Selvinduktionen S indskudt.** Ved ret langsom Rotation af Spejlet, ses Hovedgnisten, der nu er stærkt svækket, delt i faa Enkeltgnister; *den i Svingningskredsen akkb indskudte Selvinduktion har altsaa formindsket Svingningstallet stærkt.*

Er Kondensatoren og Selvinduktionen (K og S) udeladt, og sættes Induktoren i Gang, foregaar Svingningerne fra den ene Kugle k gennem Gnisten til den anden Kugle, og naar ikke i nævneværdig Grad ind i Tilledningstraadene til Induktoren; *Svingningsstrækningen har meget lille Kapacitet.* Men indskydes Kondensatoren K (S stadig udeladt) er *akkb* Svingningstrækningen, og paa Grund af Kondensatoren har den *stor Kapacitet.* I sidste Tilfælde er, som nævnt paa forrige Side, Antallet af Enkeltgnister — d. v. s. Antallet af Svingninger — færre end i første Tilfælde, d. v. s. *større Kapacitet giver mindre Svingningstal.*

Samler vi Resultaterne af Forsøgene, har vi altsaa følgende Regler:

Indskydes en Kondensator parallelt med Gniststedet, forøges Svingningernes Energi paa Bekostning af Svingningstallet.

Svingningstallet afhænger af Svingningsstrækningens Kapacitet og Selvinduktion; jo større Kapaciteten og Selvinduktionen er, jo mindre er Svingningstallet.

Enhver Gnist er sammensat af Enkeltgnister, d. v. s. ledsaget af elektriske Svingninger (dog ikke, hvis Modstanden er meget stor).

Den Strækning, paa hvilken Svingningerne foregaar, kaldes ofte *Svingningskredsen.* Er en Svingningskreds helt sluttet, eller er der kun et lille Gniststed (f. Eks. *akkb*), kaldes den en *lukket Svingningskreds*, ellers kaldes den *aaben* (f. Eks. en Antenne).

Staaende elektriske Svingninger i Metaltraade.

Fra Læren om Bølgebevægelse ved vi, at der kan opstaa staaende Luftbølger i et Rør, der er lukket i begge Ender (Fig. 114, I). Naar

Luftdelene svinger opad, dannes der Fortætning ved A_1 , Fortynding ved B_1 ; omvendt naar Luftdelene svinger nedad. Lige ved A_1 og B_1 kan Luftdelene ikke bevæge sig; der er altsaa Knudepunkter (Knuder) ved A_1 og B_1 , men variabelt Lufttryk. Ved C_1 svinger Luftdelene hurtigst; der er Svingningssted (Bug) men normalt Lufttryk, idet Stedet ligger midt mellem den største Fortætning og Fortynding. $A_1 B_1$ er en halv Bølgelængde.

I en fra Jorden isoleret Metaltraad (Fig. 114, II) kan Elektronerne svinge paa lignende Maade. [Efter Elektroteorien svarer de negative Elektroner til Luftdelene; til Fortætning svarer negativ Fortætning (negativ Spænding), til Fortynding svarer Underskud af negative Elektroner, d. v. s. positiv Spænding]. Med den almindelige Udtryksmaade maa man tænke sig, at der paa et vist Tidspunkt svinger positiv Elektricitet fra A mod B , negativ fra B mod A , indtil Elek-

triciteterne har ophobet sig saa meget som muligt i Nærheden af B og A ; der er nu Spændingsmaksimum ved B , Spændingsminimum ved A . Derpaa svinger Elektriciteten modsat Vej, saa at der efter meget kort Tids Forløb bliver Maksimum af Spænding ved A , Minimum ved B o. s. v. Punktet C har stadig Spændingen 0, nemlig Midelværdien af A 's og B 's Spændinger. De tynde Linier paa Fig. 114, II fremstiller grafisk Maksimumsspændingerne i AB 's Punkter, positive Spændinger f. Eks. afsat til højre, negative til venstre.

I det Øjeblik Spændingerne i A og B har naaet Maksimum og Minimum, standser Elektronerne, og Strømstyrken i AB er overalt 0. Elektronerne begynder nu at svinge modsat Vej; Strømstyrken vokser og naar sit Maksimum, naar Spændingerne i A og B er 0, hvorpaa den atter aftager til Spændingerne i A og B er Minimum og Maksimum, d. v. s. til Elektronerne igen standser. Ved C er Strømmen altid stærkere, end den samtidig er i AB 's andre Punkter, fordi Elektronerne i Nærheden af C — ligesom Luftdelene ved C_1 i Røret $A_1 B_1$ — har størst Hastighed. Den punkterede Linie (Fig. 114, II) fremstiller Strømstyrkens Maksimumsværdier i AB 's Punkter

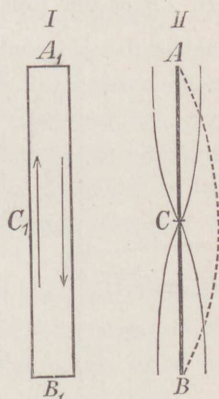


Fig. 114.

afsat vinkelret paa AB . Ved C er der Spændingsknode, ved A og B Spændingsbuge; ved A og B er der Strømknuder, ved C Strømbug. AB er en halv Bølgelængde.

Svingninger af nævnte Art kan frembringes saaledes. Midt i Traaden AB er der indskudt en kort Gniststrækning kk , som ikke foran-

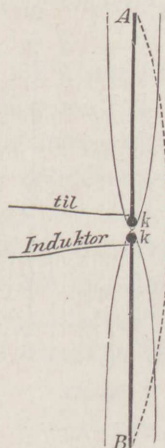


Fig. 115.

drer Forholdene i nævneværdig Grad (Fig. 115). De to Dele af Traaden — Antennerne Ak og Bk — lades fra en Induktor, den ene med positiv, den anden med negativ Elektricitet. Naar Spændingsforskellen har naaet den nødvendige Størrelse, springer der en Gnist (Hovedgnist) over mellem de smaa Kugler k , og de til Enkeltgnisterne svarende Svingninger finder Sted paa Strækningen $AkkB$. Svingningstallet i $AkkB$ kan beregnes af den fra Bølgebevægelsen kendte Formel

$$v = nb$$

hvor v er den Hastighed, hvormed elektriske Bølger skrider frem i en Metaltraad (30000 Metermil), b Bølgelængden ($2AB$) og n Svingningstallet. Er AB f. Eks. 1 m, har man

$$3 \cdot 10^8 = n \cdot 2 \quad \text{d. v. s. } n = 150 \text{ Millioner.}$$

Da $n \cdot b = \text{konstant}$ (= Lysets Hastighed), er Svingningstal og Bølgelængde omvendt proportionale. Længere Antenner giver altsaa større Bølgelængde, mindre Svingningstal.

Fig. 116 viser en til Jorden afledet Antenne med Gniststed, der som sædvanlig er anbragt, hvor Strømmen er stærkest. Elektronernes Svingninger svarer til Luftdelenes Svingninger i et Rør, der er lukket foroven, aabent forneden. De tynde Linier og den punkterede Linie fremstiller som før Spændingernes og Strømstyrkernes Variation; ved Jorden er der Spændingsknode. Antennens Længde er en Fjerdedel af en Bølgelængde.

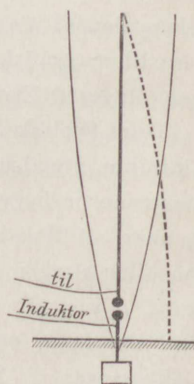


Fig. 116.

Bestemmelse af elektriske Bølgers Hastighed i Metaltraade.

Naar Svingningerne foregaar i Traade (Fig. 114 II, Fig. 115, Fig. 116), faas Bølgelængden af Traadlængden med stor Nøjagtighed, blot maa Kuglerne være smaa; store Kugler vilde give større Kapacitet, mindre Svingningstal, ifølge den Regel, at Kapacitet (og Selvinduktion) formindsker Svingningstallet (Side 118). Erstattede man Metaltraadene med tykke Metalstænger af samme Længde, blev Kapaciteten ogsaa noget større, Svingningstallet noget mindre; kun naar man har med Traade (d. v. s. tynde Stænger) at gøre, er Bølgelængden det dobbelte eller firdobbelte af Traadlængden, ligegyldigt om Traaden er lidt tykkere eller tyndere (fordi Kapaciteten her væsentlig afhænger af Traadlængden).

Det Lecherske Traadsystem. Som Eksempel paa Bestemmelse af Svingningernes Bølgelængde i et mere sammensat Svingningssystem, vil vi tage det Lecherske Traadsystem, som tillige viser *en af de*

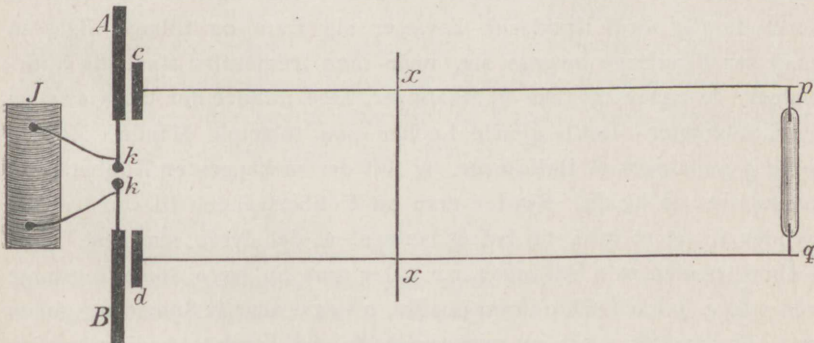


Fig. 117.

Maader, hvorpaa man har fundet den Hastighed, hvormed elektriske Bølger forplanter sig gennem en Metaltraad; Wheatstones Forsøg kunde jo kun vise os, at der medgaar Tid til Forplantningen.

Paa Fig. 117 er *I* en Gnistinduktor, *kk* Gniststedet, *A* og *B* to isolerede Metalplader (vinkelrette paa Papirets Plan, ca. 30×30 cm), *c* og *d* to mindre isolerede Metalplader. *cp* og *dq* er to vandrette Metaltraade, som vi foreløbig tænker os uendelig lange. Sættes Indukturen i Gang, opstaar der Svingninger mellem *A* og *B*, som skiftevis faar positive og negative Spændinger. *c* og *d* bliver elektriske ved

Fordeling, og mens der foregaar en Svingning fra B til A , stødes der positiv Elektricitet (en positiv Fortætning) ud i cp , og denne positive Fortætning med positiv Spænding forplanter sig som tidligere omtalt med stor Hastighed mod p , mens Elektronerne selv ikke fjerner sig særlig langt fra deres Ligevægtsstillinger. Naar Svingningerne et Øjeblik efter gaar fra A mod B , opstaar der ligeledes paa Grund af Fordeling en negativ Fortætning, som bevæger sig mod p o. s. v. Gennem Metaltraaden cp løber der altsaa elektriske Bølger, som bestaar af en Række positive og negative Fortætninger, den ene efter den anden. Det samme foregaar i Traaden dq ; to lige overfor hinanden liggende Punkter i de to Traade har Spændinger med modsat Fortegn, fordi A og B samtidig har forskellig Elektricitet.

I Forsøget har Traadene endelig Længde (6 m), og Enderne p og q isoleres, f. Eks. ved at fastgøre dem med Silkesnore til en Stoleryg. Bølgerne standses (tilbagekastes) nu ved p og q . Spændingsknuder og Buge i de ved Tilbagekastningen dannede Svingninger er ikke skarpe, formodentlig fordi Knuderne bevæger sig frem og tilbage, ligesom man ser Knuderne bevæge sig, naar man fremstiller staaende Snorbølger; de egner sig ikke til Maalinger, med mindre der tages særlige Forholdsregler. Dette gjorde Lecher paa følgende Maade. Mellem p og q anbringes et Heliumrør, og lidt derfra lægges en Kobbertraad tværs over cp og dq . Skyder man nu Kobbertraaden til venstre, begynder Røret at lyse, og lad os antage, at det lyser stærkest, naar Kobbertraaden er i Stillingen xx . Der maa nu være Spændingsbuge ved p og q (p har f. Eks. størst positiv, q størst negativ Spænding), mens der i de Punkter, hvor xx rører cp og dq , maa være Spændingsknuder (Spændingen er 0, idet xx holdes i Haanden og derved er afledet til Jorden). Afstanden fra xx til Heliumrøret er altsaa $\frac{1}{4}$ Bølgelængde.

Da c og d skifter Ladning lige saa hyppigt som A og B , maa Svingningstallet for de staaende Svingninger i cp og dq være lig Svingningstallet for de staaende Svingninger i $AkkB$; Svingningstallet er det samme for hele Systemet. Ved at bestemme Kapacitet og Selvinduktion i Svingningskredsen $pcABdq$ kan Svingningstallet beregnes; da n og b nu er bekendte, kan v findes af Formlen $v = nb$. Som før nævnt er v lig Lysets Hastighed, naar Omgivelserne, som i Forsøget, er Luft.

Forudsætter vi, at v er bekendt, kan vi af Formlen beregne n , d. v. s. Svingningstallet i den foreliggende Svingningskreds $pcABdq$,

Ac og Bd (Fig. 117) er to Luftkondensatorer. $pcABdq$ er altsaa en aaben Svingningskreds, hvori Kapaciteterne Ac og Bd er indskudt; den ved Forsøget fundne Bølgelængde vil vi kalde b . Er pc og dq hver 6 m, bliver Svingningskredsens Længde noget over 12 m — lad os sige $12\frac{1}{2}$ m — og hvis der ingen Kondensatorer var i den, vilde Bølgelængden altsaa være 25 m. Forsøget viser, at b er meget mindre end 25 m; de indskudte Kapaciteter har altsaa *formindsket* Bølgelængden, *forøget* Svingningstallet. Dette strider ikke mod Sætningen Side 118, som siger, at Kapaciteten *formindsker* Svingningstallet. I det Forsøg, vi nu taler om, er nemlig Kapaciteterne af pc , Ac , Bd og dq samt Gniststedet anbragt i Række, mens Kondensatoren i Forsøget Side 117 er anbragt parallelt med Gniststedet. Beregninger viser, at *to Kapaciteter, anbragt i Række, har en samlet Kapacitet, der er mindre end de enkelte Kapaciteter*; de indskudte Luftkondensatorer formindsker altsaa Svingningskredsens Kapacitet, forøger Svingningstallet. Det er denne Sætning, der her er eftervist ved Forsøg, mens Sætningen om Kapacitet og Selvinduktion Side 118 er almenlydig.

Taleksempel fra et Forsøg. cp og dq hver $5\frac{1}{4}$ m; hvis der ingen Kondensatorer var indskudt, maatte Bølgelængden være godt 21 m. Forsøget gav Bølgelængden 13,2 m; Luftkondensatorerne har altsaa *formindsket* Bølgelængden.

Følgende Eksempel skal tjene til at samle de omtalte Regler om Kapacitet og Selvinduktion. Fig. 118 forestiller en til Jorden afledet Antenne med Gniststed. K , K_1 og K_2 er tre Kondensatorer, hvis Kapaciteter kan varieres (Pladerne kan forskydes parallelt med hinanden, saa at de mer eller mindre dækker hinanden). S er en

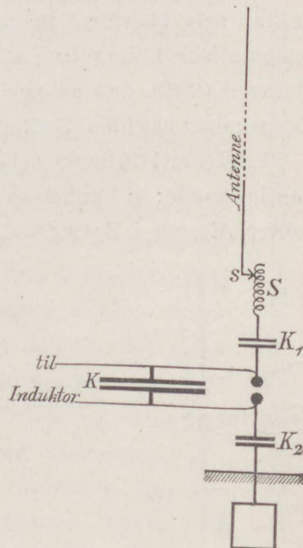


Fig. 118.

Selvinduktion, der kan varieres ved at forskyde s langs S , saa at flere eller færre Vindinger indskydes i Antennen. K forøger Svingningernes Energi; K_1 og K_2 forøger Svingningstallet, S formindsker Svingningstallet. Ved at variere Kapaciteter og Selvinduktion kan Antennens Svingningstal forandres indenfor vide Grænser (benyttes i Afsnittet om traadløs Telegrafi).

Elektromagnetiske Bølger.

Som tidligere omtalt tænker man sig, at der eksisterer et overordentlig tyndt, elastisk, fast Stof, **Æteren**, som ikke alene findes i det tomme Rum, men ogsaa i Luften, og som gennemtrænger alle Legemer. I alle Stoffer er Atomere og Elektroner tæt omgivet af Æteren og kan frembringe Bølger i den, hvis de sættes i Bevægelse, og de kan selv komme i Bevægelse, hvis Æterbølger rammer dem. Den matematiske Behandling af Æterbølgernes Teori skyldes Englænderen Maxwell (1865), den eksperimentelle Paavisning af deres Eksistens og Egenskaber skyldes Tyskeren Hertz (1888).

I AB (Fig. 119) tænker vi os frembragt elektriske Svingninger paa sædvanlig Maade; vi tænker os AB lodret. Elektronernes Svingninger i AB sætter Æteren i Bevægelse, og fra AB udgaar der Æterbølger til alle

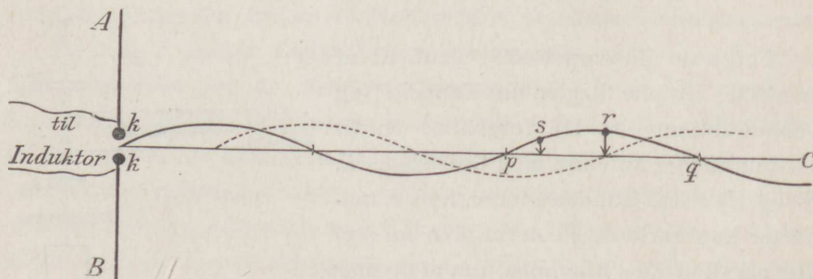


Fig. 119.

Sider. De opstaar paa lignende Maade, som Snorbølger opstaar i et paa Gulvet liggende Reb, hvis ene Ende svinges stærkt frem og tilbage; Haandens Bevægelse svarer til en Elektrons Svingninger, og ligesom Snorbølger er Æterbølgerne *Tværsvingninger*. Æterdelene har samme Svingningstal som Elektronerne i AB , d. v. s. samme Svingningstal som de elektriske Svingninger i AB , og Svingningerne er lodrette.

Lad os betragte en Straale, der f. Eks. udgaar fra Gniststedet i Retning mod c ; Bølgelinien angiver de Stillinger, hvor Æterdelene med Ligevægtsstilling i kc befinder sig i et bestemt Øjeblik (efter Forløbet af en Fjerdedel af Svingningstiden har Bølgen forskudt sig en Fjerdedel af en Bølgelængde, saaledes som den punkterede Linie paa Fig. 119 viser, o. s. v.). Betragter vi f. Eks. Stykket pq , angiver Bølgelinien mellem p og q , at Æteren over pq er sammenpresset, under pq strakt ud, paa lignende Maade som en Gummistrimmel kan strækkes; Æterbølgen angiver altsaa en *Spændingstilstand i Æteren* (af elastisk, ikke elektrisk Art). Gennem Mellemrummene mellem Atomerne i Metaltraadene Ak og kB udsender de i Traadene svingende Elektroner ligeledes lodrette Æterbølger med samme Bølgelængde og Svingningstal som Bølgen kc , men Æterdelenes Udsving er mindre, fordi Elektronernes Baner er kortere end paa Gniststedet, hvor — som før omtalt — Strømmen er stærkest, Udsvinget størst.

Elektriske Bølger. *Hjælpesælning fra den mekaniske Fysik.* ab er en Gummistrimmel (eller Metaltraad), der er fastgjort foroven og forlænges ved at hænge forskellige Vægte paa Krogen forneden. Det vilkaarlige Tværsnit s paavirkes paa Grund af Strimlens Elasticitet af Kraften S , *Spændingen*, som er lig Loddets Vægt (egentlig + Vægten af sb). Hver Gang et Lod hænges paa, gaar s et Stykke nedad; det viser sig, at *Spændingen er proportional med det Stykke, som s fjernes fra sin Ligevægtsstilling*; det samme viser sig som bekendt ogsaa, naar en Spiralfjeder strammes (Fjedervægten).

Forestillede Bølgelinien (Fig. 119) en Snorbølge, og anbragte man et lille Legeme ved r , vilde Snoren trykke paa Legemet. Paa samme Maade gaar det ved Æterbølgen, hvis



Fig. 120.

man ved r tænker sig anbragt en negativ Elektron (der er ingen Elektroner i Æteren, med mindre de f. Eks. er kommet der ved Jonisering af Luft, eller vi tænker paa Æteren i Metaltraade og andre Legemer); Spændingen i Æteren vilde paavirke Elektronen med en elektrisk Kraft, der ifølge Hjælpesætningen er ligefrem proportional med Elektronens Afstand fra Ligevægtsstillingen, d. v. s. fra kc . Var Elektronen anbragt ved s , vilde Æterens Tryk paa den ogsaa være vinkelret paa kc , thi i denne Retning bevæger jo Æterdelene sig ved s (Fig. 119), naar Æterbølgen skrider fremad. Da de Kræfter, hvormed Elektroner, der tænkes anbragt langs Bølgelinien, paavirkes, vilde være proportionale med deres Afstande fra kc , kan man lade Ordinaterne forestille selve Kræfterne. En i Rummet fremadskridende Æterbølge, fremstilles altsaa ved en fremadskridende Bølgelinie. Dennes Ordinator angiver to Ting. Dels angiver de Æterdelenes Udsving, Æterens Spændingstilstand, dels angiver de Størrelsen af de elektriske Kræfter, hvormed negative Elektroner paavirkes, hvis de er til Stede. Man siger derfor, at de elektriske Bølger er **Svingninger af elektrisk Kraft**.

Magnetiske Bølger. Efter Ampères Teori (Side 39) er en Magnets Smaamagnet omkredset af elektriske Strømme, der er Aarsag til Magnetismen. Ifølge Elektronteorien skyldes disse Strømme negative Elektroner, der kredser omkring Atomets Kærne, ligesom Planeter kredser om en Sol. Systemet Kærne + negative Elektroner kaldes en *Magneton*.

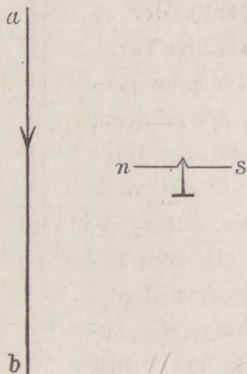


Fig. 121.

Paa Fig. 121 forestiller ab et Stykke af en lodret Ledning, ns en Kompasnaal. Sendes der fra et Batteri en Strøm gennem ab , varer det en kort, men endelig Tid, inden Strømmen bliver konstant. Mens Elektronerne i ab i det korte Tidsrum sættes i Gang, frembringer de — ligesom en enkelt elektrisk Svingning i en Traad — en enkelt Æterbølge, der forplanter sig til alle Sider med Lysets Hastighed; Æterbølgen naar efter kort Tids Forløb Nordpolen n , Spændingen i Æteren frem-

bringer paa n et Tryk **vinkelret** paa Papirets Plan, og Naalen slaar ud. Hvorfor Æterspændingens Tryk paa Magnetonernes Elektroner netop giver en Kraft i den nævnte Retning, har man ingen Forklaring paa; det er en Erfaring, som er os velkendt fra Ørstedes Forsøg (at Forholdene her er indviklede, fremgaar bl. a. af, at Magnetonernes Elektroner bevæger sig og derved selv frembringer Æterspændinger). — Naar Strømmen i ab er blevet konstant holder Æterspændingen sig uforandret i Rummets forskellige Punkter, og Naalen vedbliver at slaa ud, indtil Strømmen afbrydes og Æterdelene vender tilbage til deres oprindelige Stilling; gaar Strømmen modsat Vej, paavirkes n til modsat Side.

De elektriske Svingninger i AB (Fig. 119), som vi stadig tænker os lodret, skifter idelig Strømretning, og Elektronernes Svingninger frembringer altsaa i Æteren fremadskridende Æterbølger, fremadskridende Æterspændinger. Disse paavirker *Elektroner* med Kræfter, der gaar i lodret Retning, *Magnetpoler* med vandrette Kræfter; Bølgerne kaldes derfor **elektromagnetiske Bølger**. I hvert Punkt af Rummet vil de elektriske og magnetiske Kræfter variere i Størrelse og Retning og variere i Takt med Svingningerne i AB . Fremstilles disse Bølger ved Bølgelinier, tegnes en *lodret Bølgelinie*, hvis Ordinator angiver Størrelse og Retning af de elektriske Kræfter i et givet Øjeblik i de forskellige Punkter af Rummet, og en *vandret Bølgelinie*, hvis Ordinator paa samme Maade angiver Størrelsen af de magnetiske Kræfter. De magnetiske Kraftlinier et Sted i Rummet maa i Tæthed og Retning variere paa samme Maade som de magnetiske Kræfter. **Svingningerne af elektrisk og magnetisk Kraft foregaar i to paa hinanden vinkelrette Planer.**

Ved Ørstedes Forsøg slaar Naalen ikke ud i samme Øjeblik, som Strømmen sluttet, fordi Æterbølgen bruger Tid om at forplante sig fra Ledningen til Kompassnaalen. Ligeledes ved Voltainduktion (Side 50, Fig. 58); naar Hovedstrømmen sluttet, opstaar der en enkelt Æterbølge, som maa naa Induktionslederen, før de elektriske Kræfter

sætter dennes Elektroner i Gang. Med Undtagelse af de Virkninger, som skyldes Partikler i Bevægelse (Katodestraaler, Kanalstraaler), foregaar alle Afstandsvirkninger med Æteren som Mellemed og tager en vis Tid. — En Staalmagnets Felt maa skyldes konstante Æterspændinger i Rummet om Magneten — en Vridning af Æteren eller hvad det nu er — som fremkommer ved Magnetonernes Elektrons Bevægelse; nærmes en Traadrulle til Magneten, overføres Æterspændingerne paa Æteren i Traaden og Elektronerne her paavirkes af Tryk, elektriske Kræfter, der sætter dem i Gang.

Eksperimentel Paavisning af de elektromagnetiske Bølger.

1. *Elektriske Bølger.* Elektriske Bølger kastes tilbage fra en Metalplade; Tilbagekastningen foregaar dog ikke fra selve Overfladen, men Æterbølgerne trænger lidt ind i Metallet og sætter Elektronerne

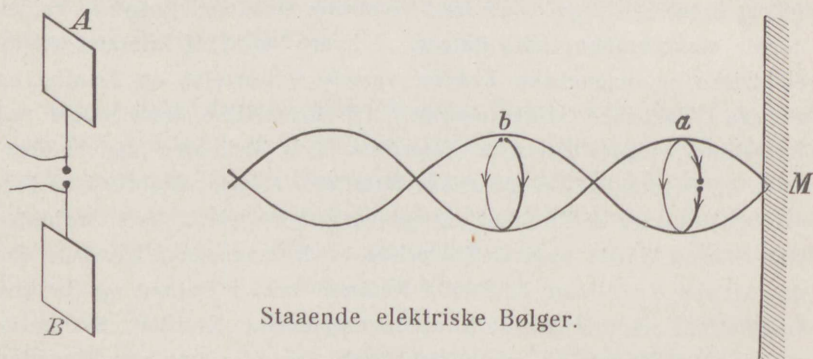


Fig. 122.

her i Svingninger, som atter frembringer nye tilbagegaaende Æterbølger med samme Svingningstal, samme Bølgebredde. Hertz frembragte elektriske Svingninger i AB (Fig. 122), som vi stadig tænker os lodret; de herfra udgaaende Æterbølger traf Metalpladen M og dannede med de fra M tilbagekastede Æterbølger staaende Bølger, saaledes som Fig. 122 viser. Til Paavisning af Buge og Knuder benyttede Hertz en cirkelformet Metaltraad, en Resonator, der var afbrudt paa eet Sted. Paa Afbrydelsesstedet, der skal tjene som Gniststed for

elektriske Svingninger i Cirklen, var der anbragt smaa Kugler. Anbringes Resonatoren — vinkelret paa Papirets Plan — i Stilling *a*, driver de lodrette elektriske Kræfter i et vist Øjeblik negative Elektroner i de ved Pilene angivne Retninger (danner Kraften og et Cirkel-element en Vinkel med hinanden, opløses Kraften i to paa hinanden vinkelrette Komposanter, hvoraf den ene gaar efter Tangenten; det maa væsentlig være denne, der spiller en Rolle). Paa Resonatorens Forside kommer Elektronernes Bevægelse ikke i fuld Gang, da den hemmes af Luften paa Gniststedet, mens den Svingning, som skyldes Elektronbevægelsen paa Resonatorens bagerste Halvdel, faar Overtaget og frembringer en Gnist paa Gniststedet. Da man faar livligst Gnistdannelse, naar Resonatorens Svingningstal og de elektriske Kræfters Svingningstal er ens, er det ikke ligegyldigt, hvor stor Resonatoren er; de to Svingningstal skal være i Resonans med hinanden, deraf Navnet Resonator.

Der kommer ikke Gnister, naar Resonatoren anbringes i Stilling *b*; i et bestemt Øjeblik drives negative Elektroner i Pilenes Retning, og der kommer lige store Spændinger paa Gniststedets Kugler, men ikke Spændingsforskel.

Ved at flytte Resonatoren frem og tilbage, med Gniststedet som i Stilling *a*, kunde Hertz paavise Buge — hvor Resonatoren gav de livligste Gnister — og Knudepunkter uden Gnister, og hermed er det godtgjort, at der eksisterer Svingninger af elektrisk Kraft. At Resonatoren maa anbringes parallel med Metalpladen, og at dens Gniststed maa anbringes som før omtalt, viser, at Æterbølgerne er *Tværsvingninger*, og at Æteren er et *fast Stof*, da Tværsvingninger kun kan foregaa i faste Stoffer.

2. *Magnetiske Bølger.* For at paavise de magnetiske Bølger maa Resonatoren anbringes i Papirets Plan som paa Fig. 123, for at der skal vise sig livlige Gnister. Det kan ikke være de lodrette elektriske Svingninger, der frembringer dem; thi ligesom i *b* paa Fig. 122, vil de nok frembringe Spændinger paa Kuglerne, men ikke Spændingsforskel. Det maa være de i Størrelse og Retning varierende vandrette magnetiske Kræfter, det varierende vandrette magnetiske Felt, der frembringer Induktionsstrømme i Resonatoren (Regel I, Side 51); *det er her ligegyldigt, hvor Resonatorens Gniststed er.* Ved at flytte Resonatoren paaviste Hertz Buge og Knudepunkter. Bølgelængden er den samme

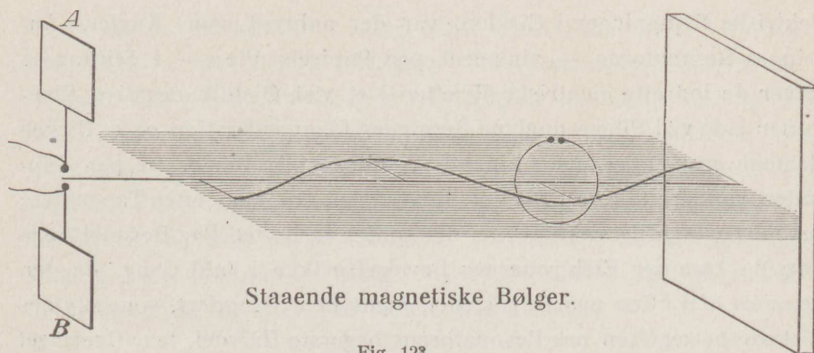


Fig. 123.

som for de elektriske Bølger. Som antydte paa Figuren henne ved Metalpladen, er ved *staaende* elektromagnetiske Bølger de magnetiske Bølger forskudt en kvart Bølgelængde i Forhold til de elektriske, saa at den ene Slags Bølger har Bug, hvor den anden Slags har Knudepunkt; men ved Bølger, der ikke er staaende, er der ingen Forskydning. Skraveringen paa Figuren skal tjene til at antyde, at Bølgelinien ligger vandret.

Hertz' Forsøg. Hertz foretog en Række Forsøg for at fastslaa, at der gælder de samme Love for elektromagnetiske Bølger som for

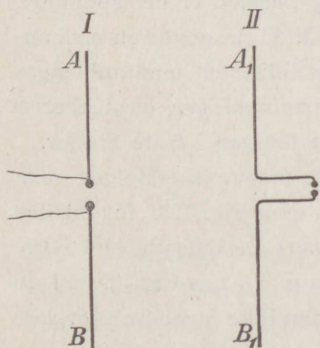


Fig. 124.

Lyset; kun et Par af disse Forsøg kan omtales her. Han benyttede to høje cylindriske Hulspejle af Metal med parabolisk Tværsnit. I det ene Hulspejls Brændlinie var der anbragt en Metaltraad AB med et lille Gniststed paa Midten (Fig. 124, I); Traadene til Induktoren gik isoleret gennem Hulspejlet. I det andet Hulspejls Brændlinie anbragte han som Resonator en Metaltraad med et lille Gniststed paa Midten (Fig. 124, II); Metaltraaden var bøjet paa Midten og de vandrette Dele

ført isoleret ud gennem Hulspejlet, saa at Gnister lettere kunde iagttages. Stillede Hulspejlene med Aabningerne mod hinanden, viste der sig livlige Gnister paa Resonatorens Gniststed, naar Induktoren

blev sat i Gang, mens de helt udeblev, naar det ene Spejl blev drejet noget. De fra Brændlinien udgaaende elektriske Bølger kastes fra det første Hulspejl parallelle over mod det andet, og efter Tilbagekastningen her krydser de hinanden i Brændlinien $A_1 B_1$ og trænger et Stykke ind i Traaden; de elektriske Kræfter bringer Elektronerne i $A_1 B_1$ i Svingninger, hvorved Resonatorens Gnister dannes.

Forsøgets Resultater stemmer med den fra Lyslæren kendte Tilbagekastningslov. Forsøget kan ogsaa gøres paa den i Fig. 125 angivne Maade; Spejlene opstilles saaledes overfor en Metalplade, at der bliver livligst med Gnister paa Resonatorens Gniststed, og Vinklerne mellem Spejlenes Akser og Metalpladen maales.

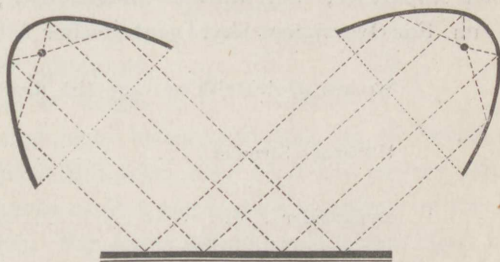


Fig. 125.

Fig. 126 antyder, hvorledes man paa lignende

Maade kan vise, at elektriske Straaler brydes; P er et meget stort Prisme, f. Eks. af Asfalt; det maa være en daarlig Leder (et dielektrisk Legeme), da elektriske Bølger ikke kan gaa gennem gode Ledere,

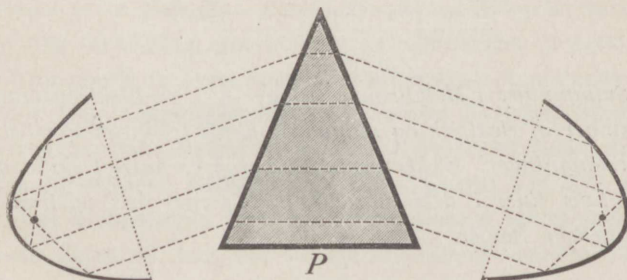


Fig. 126.

men kun trænger et lille Stykke ind i dem.

Hertz' Forsøg, der blev foretaget med Bølgelængder fra ca. 0,5 m til 3 m, har

vist, at der i det hele gælder de samme Love for elektromagnetiske Bølger og for Lysbølger, og man nærer derfor ingen Tvivl om, at begge Slags Bølger er fuldstændig af samme Art; Forskellen er blot, at Lysbølgerne har meget mindre Bølgelængder. Æterteorien kaldes derfor ofte **den elektromagnetiske Lysteori**. For Nemheds

Skyld har vi hidtil tænkt os, at Elektronerne kun foretog de Bevægelser, som er identiske med elektriske Svingninger i Traade og Plader eller med almindelige elektriske Strømme. Men uafhængig af disse Bevægelser har Elektronerne andre Bevægelser, som man véd meget lidt om; kun er man gennem Forsøg, som vi her ikke kan komme ind paa, overbevist om, at Lysbølgerne skyldes meget hurtige Svingninger af negative Elektroner i de Legemer, der er selvlysende. Saa hurtige elektriske Svingninger er man ikke i Stand til at frembringe med Apparater; den mindste Bølgelængde, man har frembragt, er 3 mm. For Oversigtens Skyld gentages her Tabellen Side 100 lidt udvidet:

Straaler af elektrisk og magnetisk Kraft . . .	$\left\{ \begin{array}{l} \infty \\ 3 \text{ mm} \end{array} \right.$
Ultrarøde Straaler	$\left\{ \begin{array}{l} 0,3 \text{ mm} \\ 0,0008 \text{ mm} \end{array} \right.$
Lysstraaler	$\left\{ \begin{array}{l} 0,0008 \text{ mm} \\ 0,0004 \text{ mm} \end{array} \right.$
Ultraviolette Straaler	$\left\{ \begin{array}{l} 0,0004 \text{ mm} \\ 0,0001 \text{ mm} \end{array} \right.$
Røntgenstraaler	ca. 10^{-8} mm

De tilsvarende Svingningstal beregnes af Formlen $v = nb$, hvor v er 300000 km, idet enhver Bølgebevægelse i samme Stof har samme Hastighed.

Elektriske Svingninger i Metaltraade, Plader o. l. er Elektronsvingninger. Svingninger af elektrisk og magnetisk Kraft (elektromagnetiske Bølger) er Ætersvingninger. Elektronsvingningerne er hurtigt skiftende Vekselstrømme, hvis Energi dels omsættes til Varme, dels udstraales som elektromagnetiske Bølger.

Traadløs Telegrafi.

Fig. 127 viser den traadløse Telegraf paa sin simpleste Form (Marconi, omtrent Aar 1900). Paa **Afsenderstationen A** er der en til

Jorden afledet Antenne med et lille Gniststed kk ; Gnisterne frembringes af en Induktor, i hvis Hovedledning der er anbragt en Telegrafnøgle. Trykker man paa Nøglen, springer der Gnister over mellem Kuglerne kk , og der opstaar elektriske Svingninger — Elektronsvingninger — i Antennen.*) Disse Svingninger frembringer i Æteren elektromagnetiske Bølger, som udbreder sig til alle Sider fra hele Antennen. Er denne f. Eks. 25 m høj, er Bølge-

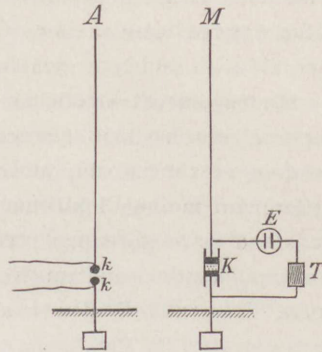


Fig. 127.

længden for Antennens Svingninger 100 m (Side 120), og af Formlen $v = nb$ faas Svingningstallet 3 Millioner; da v og n har samme Størrelse for Elektronsvingningerne og de frembragte Æterbølger, er disses Bølgelængde ligeledes 100 m. Var Antennetraadene (Luftledningen og Jordforbindelsen) udeladt, foregik Svingningerne kun mellem Kuglerne kk , og man kunde regne med en Bølgelængde, der er ca. fire Gange Kuglernes Diameter; dette vilde give et overordenligt højt Svingningstal, men ringe Energi i de enkelte Svingninger og i de af dem frembragte Æterbølger, og disses Virkninger vilde kun kunne spores paa meget smaa Afstande. Antennetraadenes Tilføjelse forøger Kapaciteten af den Strækning, paa hvilken Svingningerne foregaar, Bølgelængden bliver større og Svingningstallet mindre, alt stemmende med Sætningen Side 118. Antennetraadenes Tilføjelse bevirker altsaa, at de elektromagnetiske Bølger ikke udgaar fra Gniststedet alene, og at den fra Induktoren tilførte elektriske Energi fordeles over et mindre Antal Svingninger, hvorved disses Energi bliver større. I den traadløse Telegrafi benyttes derfor forholdsvis smaa Svingningstal, men store Bølgelængder; paa de største Stationer angives Bølgelængden til 7000 m; i Almindelighed er den omkring 1 km. Antennen bestaar paa større Stationer ikke af en enkelt Traad, men forgrener sig i et System af Traade; herved opnaas stor Kapacitet, stor Bølgelængde.

*) Nøglen kan ogsaa anbringes saaledes, at den ind- eller udskyder Antennen, saa at Induktoren er i Gang hele Tiden.

Erfaringen viser, at jo større Stationernes Afstand er, jo større maa Bølgelængden være.

Modtagerstationen *M* har en Antenne, hvori der er indskudt en **Kohærer** *K*, der bestaar af et kort, smalt Ebonit- eller Glasrør; Antenne-traadene er sat i Forbindelse med to Metalplader i Røret, og det lille Mellemrum mellem Pladerne er fyldt med Nikkelkorn. Kohærerens Modstand er meget stor, 100000 Ohm eller mere; paa Grund af Overgangsmodstanden mellem Kornene indbyrdes og mellem Plader og Korn; Elementet *E*, der sender Strøm gennem Kohærerens og Telegrafapparatet *T*'s Elektromagnet, giver derfor meget svag Strøm, saa at Elektromagneten ikke kan tiltrække Ankeret med den fornødne Kraft. Sættes Afsenderstationens Induktor i Gang, trænger de til Modtagerstationen ankommende elektromagnetiske Bølger ind i dens Antenne, sætter Elektronerne i Bevægelse og frembringer elektriske Svingninger i Antennen. Disse Svingninger bevirker, at Kohærerens Modstand falder til nogle faa Ohm — om Grunden hertil ved man ikke noget sikkert — og Strømmen gennem Telegrafapparatet bliver ret stærk. Hører Bølgerne op, beholder Kohærerens sin lille Modstand; banker man paa den, faar den igen stor Modstand.

Under Telegraferingen banker en Hammer stadig paa Kohærerens; Hammeren bevæges af en Elektromagnet paa samme Maade som Kuglen, der slaar paa Klokken i et Ringeapparat. Kohærerens er altsaa kun godt ledende, saa længe der ankommer Æterbølger til Modtagerstationen; Prikkerne i Telegrafalfabetet fremkommer derfor, naar man trykker kort Tid paa Afsenderstationens Nøgle, Stregerne, naar man trykker længere.

Fra Læren om Bølgebevægelse er det bekendt, at staaende Luftsvingninger i Rør eller Snorbølger kun kommer til fuld Udvikling — bliver kraftigst — naar Røret eller Snoren har en bestemt Længde, der afhænger af Bølgelængden (Svingningstallet), og paa samme Maade gaar det med elektriske Svingninger i Traade. Modtagerstationens Antenne skal derfor have en bestemt Længde, den skal **afstemmes** efter Afsenderstationen. I ovennævnte Taleksempel var Afsenderens

Antennelængde 25 m, Bølgelængden 100 m, Svingningstallet 3 Millioner; da nu Æterbølgerne faar samme Bølgelængde og Svingningstal, bliver Svingningstallet i Modtagerens Antenne ligeledes 3 Millioner, og man kunde vente, at den skulde være 25 m høj. Dette vilde ogsaa passe, hvis der ikke var indskudt en Kohærer i den, men Kohærerens udgør jo en lille Del af Antennen og bevirker paa Grund af sin store Modstand, at en nogenlunde nøjagtig Afstemning er umulig. — Nedenfor omtales Afstemningen nærmere; dens Betydning ligger — som nævnt — i, at Modtagerens Antennesvingninger bliver kraftigere, saa at Afstanden mellem Stationerne kan være stor; blandt flere Stationer, der ikke er for nær ved Afsenderen, kan den, der er afstemt efter Afsenderen, bedst opfange Telegrammet: Afstemningen kommer altså ogsaa til at spille en Rolle med Hensyn til Telegrammernes Hemmeligholdelse, og Idealet i denne Henseende vilde være, at kun to afstemte Stationer kan korrespondere med hinanden. Uden Afstemning kan en Station nær Afsenderen eller en fjærnere Station med særlig fintmærkende Kohærer dog aflæse Afsenderens Telegrammer; dette *kan* være en Fordel, f. Eks. naar et Skib er i Havsnød.

Anmærkning. Strømmen fra Elementet *E* er for svag til at drive Telegrafapparatet, og Elementet kan ikke erstattes med et Batteri, da Spændingsforskellen mellem Kohærerens Plader vilde blive saa stor, at den blev ledende, uden at Stationen modtog Æterbølger. Man anvender derfor et Relais, som ogsaa bruges ved almindelig Telegrafering; dets Indretning forstaas let af Fig. 128. Den svage Strøm gør Elektromagneten *M* magnetisk, saa at Ankeret *A* trækkes ned, hvorved Strømmen fra Batteriet *B*, der før var afbrudt ved *S*, sluttet gennem Telegrafapparatet *T*.

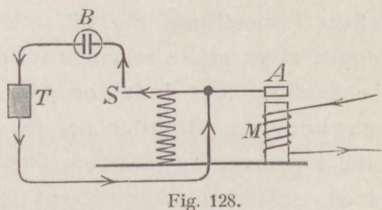


Fig. 128.

De Apparater, der — som Kohærerens — tjener til at udnytte de elektromagnetiske Bølger paa Modtagerstationen, kaldes **Detektorer**, hvorefter man har forskellige Slags. Kohærerens bruges ikke mere; i Almindelighed benyttes **Krystal-detektorer**, som bestaar af en lille Krystal mellem to Metalelektroder. Deres Virkemaade er for nogles Vedkommende ikke bekendt, andres Virkninger skyldes Termoelektri-

citet, f. Eks. naar Krystallen er Kobberglans (Cu_2S). De anbringes ligesom Kohærerer og kan ligesom denne benyttes sammen med et Telegrafapparat. Som Eksempel vil vi tage en Modtagerstation med Krystaldetektor, der har termoelektriske Virkninger, samt med den hyppigt anvendte **Telefonmodtagelse** i Stedet for Telegrafapparat; Afsenderstationen er den samme som paa Fig. 127. Paa Fig. 129 er K den meget lille Krystal, m en tynd Metaltraad, der berører Kry-

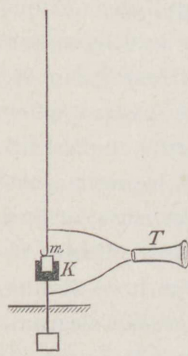


Fig. 129.

stallen; T er en Telefon. Naar Æterbølgerne fra Modtagerstationen frembringer Svingninger i Antennen, opvarmer disse Berøringsstedet mellem m og K , og der gaar en termoelektrisk Strøm gennem Telefonen; Detektoren er anbragt forneden i Antennen, hvor Antennestrømmen er stærkest (se den grafiske Fremstilling Fig. 116). Indeholder en Hovedgnist paa Afsenderstationen n Enkeltgnister, følger de dertil svarende n Svingninger i Modtagerens Antenne saa hurtigt paa hinanden, at Berøringsstedet mellem m og K ikke afkøles i Tiden mellem to Svingninger; *een Hovedgnist frembringer een Termostrøm.* I den

forholdsvis lange Tid, der forløber mellem to Hovedgnister (se den grafiske Fremstilling Fig. 83), afkøles Berøringsstedet, og næste Hovedgnist giver næste Termostrøm o. s. v. Naar altsaa Afbryderen paa Afsenderstationens Induktor gaar saa hurtigt, at der f. Eks. dannes nogle hundrede Hovedgnister pr. Sekund, hører man i Telefonen en Tone, idet hver Termostrøm frembringer een Svingning af Telefonpladen. Eftersom Afsenderen trykker kort eller længere Tid paa Nøglen, hører Modtageren Tonen i kort eller længere Tid, hvad der svarer til Telegrafalfabetets Prikker og Streger.

(Opgave Nr. 34).

Fig 127 viser Marconis første Afsender og Modtager fra Slutningen af forrige Aarhundrede. Siden den Tid er der indført mange Forbedringer, hvoraf de store forgrenede Antenner og Krystaldetektoren er omtalt; særlig vigtigt var det at forøge den fra Afsenderen under Form af elektromagnetiske Bølger udsendte Energi. Saaledes er nu Strøm-

styrkens Maksimalværdi (se den graf. Fremstilling Fig. 116) i Afsenderens Antenne, maalt med Varmetraadgalvanometret, fra nogle faa Ampère til et Par Hundrede Ampère paa store Landstationer, medens Spændingerne er saa høje, at man i Mørke kan se Lysduske ligesom paa Elektrisermaskinen. Da kun en ringe Del af den fra Afsenderen udsendte Energi træffer Modtagerens Antenne, bliver dennes maksimale Strømstyrke kun en lille Brøkdel af en Milliampère; heraf forstaas let, at Detektoren er anbragt paa det Sted, hvor Strømstyrken er størst, d. v. s. nær Antennens Fodpunkt.

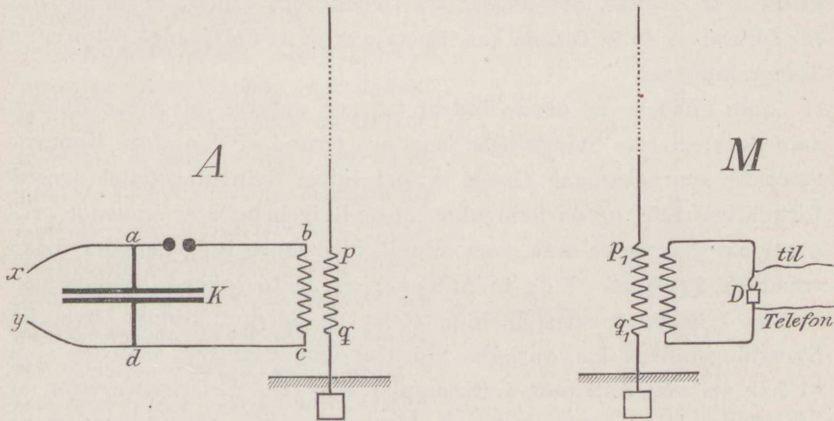


Fig. 130.

Figur 130 er en skematisk Fremstilling af en kraftigere Afsender og Modtager. Paa Afsenderstationen A fører Traadene x og y til Induktoren eller en anden dertil særlig konstrueret Vekselstrømmaskine. $abcd$ er en lukket Svingningskreds, hvor Kondensatoren K bestaar af en Mængde Leidnerflasker, hvis indre Belægninger er forbundne med hinanden, ligeledes de ydre; den har altsaa meget stor Kapacitet. Af Forklaringen til Fig. 113 fremgaar, at Svingningerne i denne Kreds indeholder stor Energi paa Bekostning af Svingningstallet. Den lukkede Svingningskreds alene afgiver dog kun meget lidt Energi udadtil (som Æterbølger), fordi en Svingning der f. Eks. har Retning fra c mod d , foroven gaar fra a mod b , d. v. s. modsat Vej. bc er en Rulle Kobbertraad, en Spole; Svingningerne i denne inducerer Strømme i Antennespolen pq , hvorved Svingningerne i den lukkede Svingnings-

kreds overføres til den aabne Svingningskreds, Antennen, der frit kan udstraale Energien som Æterbølger (fraregnet den Del af Energien, der omsættes til Varme ifølge Joules Lov). Naar — som her — en Svingningskreds inducerer Svingninger i en anden, siger man, at de to Kredse er **koblede**.

Paa Modtagerstationen *M* frembringer Æterbølgerne Svingninger i Antennen; fra Antennespolen p_1q_1 induceres Svingningerne over i den lukkede Svingningskreds, der indeholder Detektoren *D*. Er *D* en Krystal-detektor, kan dens Termostrømme gaa direkte til en Telefon gennem to Traade, der udgaar fra Detektorens Ender, nøjagtigt som før forklaret; de to Traade kan ogsaa gaa til et Relais med tilhørende Telegrafapparat.

Som Fordele ved denne Indretning kan anføres den store Energi, som de elektriske Svingninger faar paa Grund af den store Kondensator *K*; som gentagne Gange anført bliver Svingningstallet derved forholdsvis lille, og da Svingningstal og Bølgelængde er omvendt proportionale, arbejder man, som omtalt, med store Bølgelængder i den traadløse Telegrafi. I de to Antenner og de to lukkede Svingningskredse indskydes variable Kapaciteter og Selvinduktioner, hvorved Svingningstallene kan varieres indenfor vide Grænser, saaledes som vi har set ved Antennen i Eksemplet Fig. 118. Erfaringen viser, at man herved kan opnaa ret god Afstemning, idet Afsenderstationens lukkede og aabne Svingningskreds saavidt muligt afstemmes efter hinanden, ligeledes Modtagerstationens to Svingningskredse; endelig maa Afsender- og Modtagerstationen saa vidt muligt være afstemte efter hinanden.

Anmærkning. Antennehøjderne Fig. 130 er ikke en Fjerdedel af en Bølgelængde, selv om Antennen ikke er forgrenet, fordi der er Selvinduktion i pq og p_1q_1 ; da Selvinduktionen formindsker Svingningstallet, forøger Bølgelængden, bliver denne mere end fire Gange Antennens Højde.

Poulsens System for traadløs Telegrafi og traadløs Telefoni.

I det følgende anføres nogle Hovedtræk af vor Landsmand Valdemar Poulsens System, som paa flere Punkter frembyder betydelige Fordele; Afstemning foregaar ved Hjælp af variable Kondensatorer og Selvinduktioner, saaledes som omtalt i det foregaaende.

Afsenderstation. Gniststedet er erstattet af en Lysbue, der dannes mellem en Kobberanode og en Kulkatode i et Buekammer, som indeholder Brint eller en brinholdig Luftart (Gas, Spiritusdamp). Traadene x og y fører til en Jævnstrømdynamo, der driver Buelampen og tillige kan benyttes til at holde Elektromagneten med Polerne n og s magnetisk, saa at Lysbuen bøjes (paa Figuren ud fra Papirets Plan); Ledningerne til Elektromagneten, den magnetiske Blæser, er for Tydelighedens Skyld udeladt paa Figuren. Svingningerne foregaar i den Kreds, der dannes af Lysbuen, Selvinduktionen S og den »Kondensator«, hvis »Plader« K_1 og K_2 udgøres henholdsvis af Antennen og Jorden*). Lysbuen er med andre Ord anbragt direkte i Antennekredsen, saaledes at Kobling undgaas.

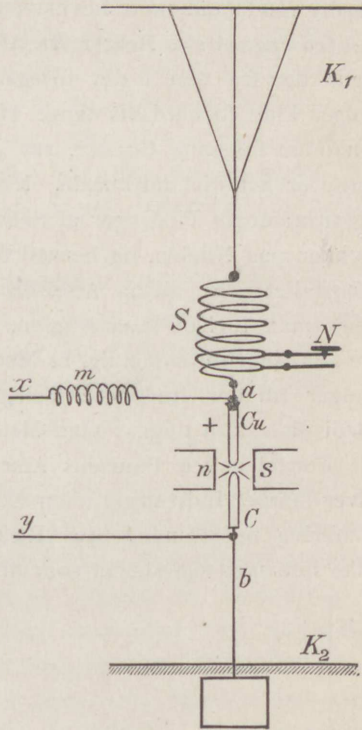


Fig. 131.

*) Luftmassen mellem den til Siderne forgrenede Antenne og Jorden er her det isolerende Mellemlag mellem »Kondensatorpladerne«. Den øverste vandrette Streg antyder den »Kondensatorplade« (K_1), der i Virkeligheden dannes af den forgrenede Antenne.

Svingningerne opstaar derved, at Lysbuen ikke brænder helt rolig, den forandrer uophørlig Modstand; »Kondensatorpladerne« K_1 og K_2 lades med Elektricitet fra Dynamoen gennem Traadene aK_1 og bK_2 , naar Buemodstanden er stor, og udlades gennem Lysbuen, naar denne Modstand er lille; et Øjeblik efter, naar Modstanden er stor, lades den igen o. s. v. m er en Drosselspole (se Side 73), der forhindrer Svingningerne i at gaa gennem Dynamoen, men ikke yder nævneværdig Modstand mod Jævnstrømmen. **Der udgaar altsaa uafbrudt elektromagnetiske Bølger fra Afsenderen, Bølgerne er kontinuerte**, mens der fra den i det foregaaende omtalte Afsender ikke udgaar Bølger i de forholdsvis lange Tidsrum, der forløber mellem to paa hinanden følgende Gnister, saa at Energien udsendes stødvis; Bølgerne er her diskontinuerte. Nøglen N anbringes simplest som paa Figuren; nogle Vindinger af Selvinduktionen S kortsluttes, naar man trykker paa Nøglen, og herved forandres (forøges) som bekendt Svingningstallet. Er altsaa Afsenderen afstemt efter Modtagerstationen, naar man trykker paa Nøglen, er Afstemningen, naar man slipper Nøglen, saa ufuldstændig, at Modtageren ikke reagerer. Kontinuerte Bølger tillader hurtigere Telegrafering end diskontinuerte Bølger, fordi disse kun udgaar med Mellemrum.

Fordelen ved Poulsens Afsender er de kontinuerte Bølger, som giver simpel Indretning uden Kobling, finere Afstemning, hurtig Telegrafering og desuden stor Rækkevidde, da kontinuerte Æterbølger ikke indtages saa stærkt som diskontinuerte.

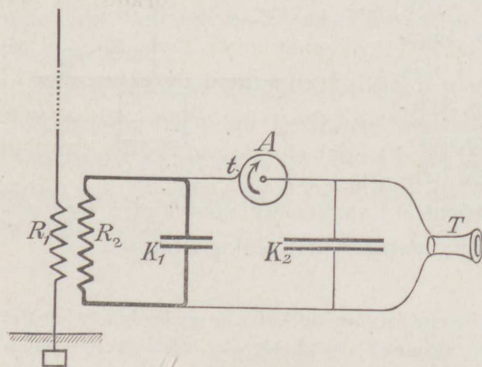


Fig. 132.

Modtagerstation. Svingningskredsen K_1R_2 er koblet til Antennen. Fra R_1 induceres Antennens Svingninger over i R_2 , saa at Kondensatoren K_1 's Plader skiftevis lades med positiv og negativ Elektricitet (Koblingen er løs, d. v. s. Traadrullerne R_1 og R_2 er anbragt et Stykke fra hinanden;

herved undgaas, at Svingningerne i R_2 inducerer Svingninger i R_1). K_2 er en Kondensator, der er meget større end K_1 ; T er en Telefon. A er en Afbryder, Poulsens **Tikker**, som hyppigt træder i Stedet for de før nævnte Detektorer. Den bestaar f. Eks. af en roterende Skive, der berører Traaden t , og som drives af et Urværk. Paa Grund af de uundgaaelige Ujævnheder i Skiven, afbrydes Berøringen stadig, saa at Ledningen skiftevis er afbrudt og sluttet ved l . Hver Gang Ledningen for et meget kort Tidsrum er sluttet, strømmer der Elektricitet fra Svingningskredsen R_2K_1 over paa K_2 , og K_2 udlades umiddelbart efter gennem Telefonen, hvorved der frembringes een Svingning af Telefonens Plade. Sker der f. Eks. 200 Afbrydninger pr. Sekund i Tikkeren, hører man en Tone, eller rettere sagt en Knagen, der varer saa længe, som der trykkes paa Afsenderens Nøgle. Trykkes der altsaa i kort Tid paa Nøglen, høres en kort Knagen svarende til en Prik i Telegrafalfabetet o. s. v.

Ved den før beskrevne Krystaldetektor omsættes først Svingningernes elektriske Energi til Varme, Varmen derpaa til Termostrøm, og ved disse Omsætninger finder der et stort Energitab Sted. Ved Poulsens Tikkermodtager er Energitabet derimod meget ringe.

Traadløs Telefoni.

Poulsens kontinuerede Bølger benyttes til traadløs Telefoni. *Afsenderstationen* er indrettet som Fig. 131, blot er der i Antennen indskudt en Mikrofon, saa at Svingningerne gaar gennem dennes Kulkorn. Variationen i de udsendte Æterbølger skyldes den forandrede Modstand i Kulkornene, der fremkommer, naar man taler ind i Mikrofonens Tragt. *Modtagerstationen* er indrettet med Detektor som Fig. 129. Modtageren hører i Telefonen *Afsenderens Stemme* endog bedre end ved almindelig Telefonering. Ved det største Anlæg, der for Tiden er i Brug, er Afstanden mellem Stationerne 55 Metermil.

Opgaver.

(De Opgaver, der er henvist til i Teksten, er mærket med en Streg under Opgavens Nummer).

1. En elektrisk Strøm har i et Voltameter udskilt 80 cm^3 Knaldluft à 21^0 i Løbet af 5 Minutter; Barometerstanden er 77 cm . Ved de 5 Minutters Ophør staar den fortyndede Svovlsyre i Maalerøret 16 cm højere end i Skaalen; Svovlsyrens Vægtfylde $1,1$. Hvor stærk var Strømmen, naar 1 Amp. i 1 Minut udskiller $10,44 \text{ cm}^3$ Knaldluft à 0^0 og 76 cm^3 ?

2. Forklaring paa, hvorfor Udslaget ved Deprez d'Arsonvals Galvanometer er proportionalt med Strømstyrken (kan først gennemgaaes, naar Afsnittet om Magnetisme er læst).

Det magnetiske Felt, hvori Aluminiumrammen bevæger sig, kan betragtes som et homogent Felt. Rammen er paavirket af to Drejningsmomenter D_1 og D_2 . D_1 skyldes Fjedrenes Snoning, som er lig Viserens Udslag ν , og er proportional med ν , d. v. s. lig $k_1 \cdot \nu$. D_2 skyldes Feltets Indvirkning paa de Dele af Rammens Bevikling, som ligger i Feltet; ifølge den Formel, der er anført under Lillefinger-Reglen Side 38, er D_2 proportional med Strømstyrken i , d. v. s. lig $k_2 \cdot i$. Naar Viseren standser, maa D_1 og D_2 være lige store, hvoraf

$$i = k \cdot \nu,$$

hvor k er konstant for samme Galvanometer. Formlen Side 38 viser, at k forandrer sig, hvis Feltets Intensitet forandrer sig.

3. Et Batteri paa 10 Tørelementer à $1,5 \text{ Volt}$ og $0,1 \text{ Ohm}$ sender Strøm gennem en Kobbertraad med Længden 4 m og Tværsnittet $0,1 \text{ mm}^2$. Hvor stort er Spændingsfaldet pr. cm af Kobbertraaden maalt i Millivolt.

4. 2 Elementer à $0,1 \text{ Ohm}$ og $1,5 \text{ Volt}$ er forbundet i Række. Batteriets Poler er forbundne med 3 ens, parallelt indskudte, Metaltraade, hvis Erstatningsmodstand er 1 Ohm . Hvor stor er Modstanden i hver af Metaltraadene? Hvor stor er Strømstyrken i Batteriet og i hver af Metaltraadene? Hvor stor er Klemmespændingen?

5. 2 Akkumulatorer à 2 Volt og 0,05 Ohm er sammensat i Række. Batteriet forsyner 5 parallelt indskudte Glødelamper à 3 Ohm med Strøm. Hvor stor er Modstanden i den ydre Ledning (Erstatningsmodstanden)? Hvor stor er Strømstyrken i Batteriet og i hver af Lamperne, og hvor stor er Klemmespændingen? Modstanden i Ledningstraadene til Lamperne og i disses Forbindelsestraade regnes lig 0.

6. Et Galvanometer (Deprez d'Arsonvals System) har Modstanden 333 Ohm, og et Udslag paa 1 Inddeling betyder 0,000001 Amp. Hvor stor skal Modstanden i Shunten være, for at et Udslag paa 1 Inddeling skal betyde en Strømstyrke paa 1 Milliampère i Ledningen? Hvor stor er det shuntede Galvanometers Modstand?

7. Strømmen fra 4 Elementer i Række à 1,5 Volt og 0,1 Ohm sendes gennem et Vandadskillelsesapparat, hvis Modstand er 8,6 Ohm. Hvor stærk er Strømmen, naar Polarisationens elektromotoriske Kraft er 1,5 Volt? Modstanden i Forbindelsestraadene mellem Batteri og Vandadskillelsesapparat sættes lig 0.

8. 2 Elementer à 1,5 Volt og 0,1 Ohm skal sende Strøm gennem en ydre Ledning, hvis Modstand vi kalder r_y . Regn ud, om det er muligt at vælge Modstanden r_y saaledes, at Strømmen bliver dobbelt saa stærk, naar Elementerne sammensættes i Række, som naar de sammensættes parallelt.

9. Hvor stor er Modstanden i en Kobbertraad med Diameter 1 mm og Længde 10 km?

10. Bevis, at Antallet af Kraftlinier, der udgaar fra en enkelt Pol med Magnetismemængden m , er $4\pi m$.

Kraftlinierne er rette Linier, der udgaar fra Polen ligelig fordelt til alle Sider. Læg med Polen som Centrum en Kugleflade med Radius r . Hvor stor er Intensiteten i et Punkt af Kuglefladen? Hvor mange Kraftlinier gaar der gennem 1 cm^2 af Kuglefladen? Hvor mange Kraftlinier gaar der gennem hele Kuglefladen?

11. Hvor mange Kraftlinier gaar der gennem 1 m^2 , der staar vinkelret paa Kraftlinierne i Jordens magnetiske Felt?

12. Hvor mange Kraftlinier sender Jordens magnetiske Felt gennem Gulvet i et Værelse, der er 6 m langt og 5 m bredt? (Da Antallet af Kraftlinier bliver det samme, i hvilken Retning Gulvets Længde og Bredde end gaar, kan man tænke sig, at Gulvets Længde gaar i Retning Øst—Vest)?

13. Vertikalintensiteten frembringer paa en Kompasnaal et Drejningsmoment, som søger at dreje Naalen ud af det vandrette Plan. Hvor langt maa Naalens Tyngdepunkt ligge fra Omdrejningsaksen for at Naalen skal staa

vandret, naar Naalens Akse er 12 cm, dens Vægt 3 g, Magnetismemængden i hver af Polerne 15?

1 Dyn regnes lig 1 mg.

14. Paa et Bord ligger en 1 m lang, retlinet Metaltraad vinkelret paa Retningen magnetisk Nord—Syd. Hvor stor er den Kraft, hvormed Jordmagnetismen paavirker Metaltraaden, naar denne gennemløbes af en Strøm paa 10 Amp.?

15. En retlinet Metaltraad med Længde 30 cm gennemløbes af en Strøm paa 50 Amp. Metaltraaden befinder sig i et homogent Felt og staar vinkelret paa Kraftlinierne. Hvor stor er Feltets Intensitet, naar Traaden paavirkes af en Kraft paa 2 kg? Sammenlign Resultatet med de Side 35 angivne Størrelser af Felt-Intensiteter.

16. Beregn ved Hjælp af Biot og Savarts Lov den Kraft, hvormed en Pol med Magnetismen m , anbragt i Centrum af en cirkelformet Strøm paa i Amp. og med Radius r , paavirkes. (Cirklen tænkes delt i p Strømelementer med Længden l ; de Kræfter, hvormed m paavirkes af hvert Strømelement, beregnes og adderes).

Beregn den Kraft, hvormed en cirkelformet Strøm paa 1 Amp. paavirker en Enhedspol i Centrum, naar Cirkelens Radius er 1 cm (elektromagnetisk Definition paa 1 Amp.).

17. En Leidnerflaske (Dimensioner som angivet Side 46) har Kapaciteten 0,002 Mikrofarad. Den ydre Belægning afledes til Jorden, den indre sættes i Forbindelse med en Elektrisermaskines positive Konduktor, som ved fortsat Drejning kan faa Spændingen 20000 Volt. Hvor meget Elektricitet maalt i Mikrocoulomb er der strømmet over paa Leidnerflaskens indre Belægning, naar Flasken er helt ladet? Hvor stor er den Kraft, maalt i kg, hvormed denne Elektricitetsmængde, anbragt paa en lille Kugle, vilde paavirke en anden lige saa stor Elektricitetsmængde i Afstanden 1 m?

18. Belægningerne paa en Pladekondensator paa 0,5 Mikrofarad sættes i Forbindelse med Nulledningen og Ledningen paa 220 Volt i et elektrisk Anlæg. Hvor meget Elektricitet, maalt i Mikrocoulomb, optager den Belægning, der er i Forbindelse med Ledningen paa 220 Volt?

19. Naar Antallet af Kraftlinier, der gaar gennem det af en Vinding omsluttete Areal, forandrer sig jævnt, er den inducerede elektromotoriske Kraft proportional med Forandringen pr. Sekund. Aftager Antallet af Kraftlinier i t Sekunder jævnt fra K_1 til K_2 , er den inducerede elektromotoriske Kraft

$$E = 10^{-8} \frac{K_1 - K_2}{t} \text{ Volt.}$$

En cirkelformet Ring af Kobbertraad, der staar vinkelret paa Kraftlinierne i Jordens magnetiske Felt, drejes i 2 Sekunder 90° om den vandrette Diameter saaledes, at Antallet af Kraftlinier gennem Ringen formindskes jævnt (d. v. s. Drejningen er hurtigst fra først af). Ringens Radius er 7 dm, dens Tværsnit 2 mm^2 . Hvor stor er den inducerede elektromotoriske Kraft, maalt i Mikrovolt, og hvor stærk er Strømmen, maalt i Milliampère?

20. Hvor stærkt skulde Feltet i foregaaende Opgave være, for at den i Ringen inducerede elektromotoriske Kraft skulde blive 1 Volt? (Et Felt med en saa stor Styrke og Størrelse kan ikke fremstilles, se de Side 35 angivne Størrelser a Felt-Intensiteter).

21. En 1 m lang, retlinet Metaltraad føres med Hastigheden 2 m gennem Jordens magnetiske Felt, saaledes at den skærer Kraftlinierne vinkelret. Hvor stor er den inducerede elektromotoriske Kraft maalt i Mikrovolt?

22. En retlinet 20 cm lang Metaltraad føres med Hastigheden 30 m gennem et homogent magnetisk Felt med Intensiteten 10000 Dyn (se Felt-Intensiteter Side 35), saaledes at den skærer Kraftlinierne vinkelret. Hvor stor er den inducerede elektromotoriske Kraft?

23. En cirkelformet Metaltraad er anbragt i et Plan, der er vinkelret paa Kraftlinierne i et homogent magnetisk Felt og bevæges saaledes, at det stadig forbliver i Planet. Opstaar der Strøm i Metaltraaden?

24. Ankermodstanden, d. v. s. Modstanden mellem Fjedrene F_1 og F_2 Fig 64, er maalt at være 0,1 Ohm. Beviklingen om Jærnringen danner en Strømforgrening, hvis to Grene er Beviklingerne om Ringens øverste og nederste Halvdel. Hvor stor er Modstanden i hver af disse Grene? Hvor stor er Modstanden i den Traad, man faar, naar man klipper Ankerbeviklingen over paa eet Sted og vikler Traaden af Ankeret?

25. Hvis Beviklingen om Ankeret i en Seriedynamo blev klippet over paa eet Sted og viklet af Ankeret, vilde den derved fremkomne Traad have Modstanden 0,2 Ohm. Magnetbeviklingens Modstand er 0,1 Ohm. Hvor stor er hele Dynamos Modstand (d. v. s. den Modstand, man vilde faa ved at maale Modstanden mellem Polerne P_1 og P_2 Fig. 65)?

26. Hvor meget Elektricitet medfører 1 mg divalent Kobber ved Elektrolyse af en Kobberopløsning?

27. Hvor meget Zink opløses og hvor meget Kobber udskilles, naar et Daniells Element giver en Strøm paa 0,25 Amp. i 1 Time?

28. En Glødelampe paa 25 Normallys kræver en Strøm paa 0,15 Amp. i et Anlæg paa 220 Volt. Hvor mange Watt pr. Normallys?

29. I en Forretning brænder der 40 Glødelamper (à $\frac{1}{4}$ Amp.) og 8 Buelamper (à 15 Amp.) i 4 Timer. Buelamperne er indskudt fire og fire i Række. Anlægget er paa 220 Volt. Hvor meget koster Belysningen, naar 1 Hektowatttime koster 3,5 Øre?

30. Hvor stort er i foregaaende Opgave Energiforbruget pr. Minut, maalt i Kilogramkalorier, i kgm og i Watt-Timer?

31. En Shunt dynamo har Klemmespændingen 60 Volt, Magnetbeviklingens Modstand er 90 Ohm og den ydre Modstand 10 Ohm. Hvor stærk er Strømmen i den ydre Ledning og i Magnetbeviklingen? Hvor stærk er Strømmen i hver af Ankerbeviklingens to Halvdele?

32. En Shunt dynamo med Klemmespænding 65 Volt forsyner 5 parallelt indskudte Buelamper à 12 Ampère med Strøm. Ankermodstanden er 0,1 Ohm. Magnetbeviklingens Modstand er 130 Ohm. Modstanden i de Kobbertraade, der fører fra Dynamoens Poler til Lamperne, regnes lig 0.

Hvor stor er Strømstyrken i Magnetbeviklingen?

Hvor stor er Modstanden i en Buelampe og dens Forlagsmodstand til sammen?

Hvor stor er Forlagsmodstanden, naar Spændingsfaldet gennem en Buelampe er 50 Volt?

Hvor stor er den ydre Modstand?

Hvor stor er Strømstyrken i Ankerbeviklingens to Halvdele?

Hvor stor er Modstanden i den Traad, som faas ved at klippe Ankerbeviklingen over paa eet Sted og vikle den af Ankeret?

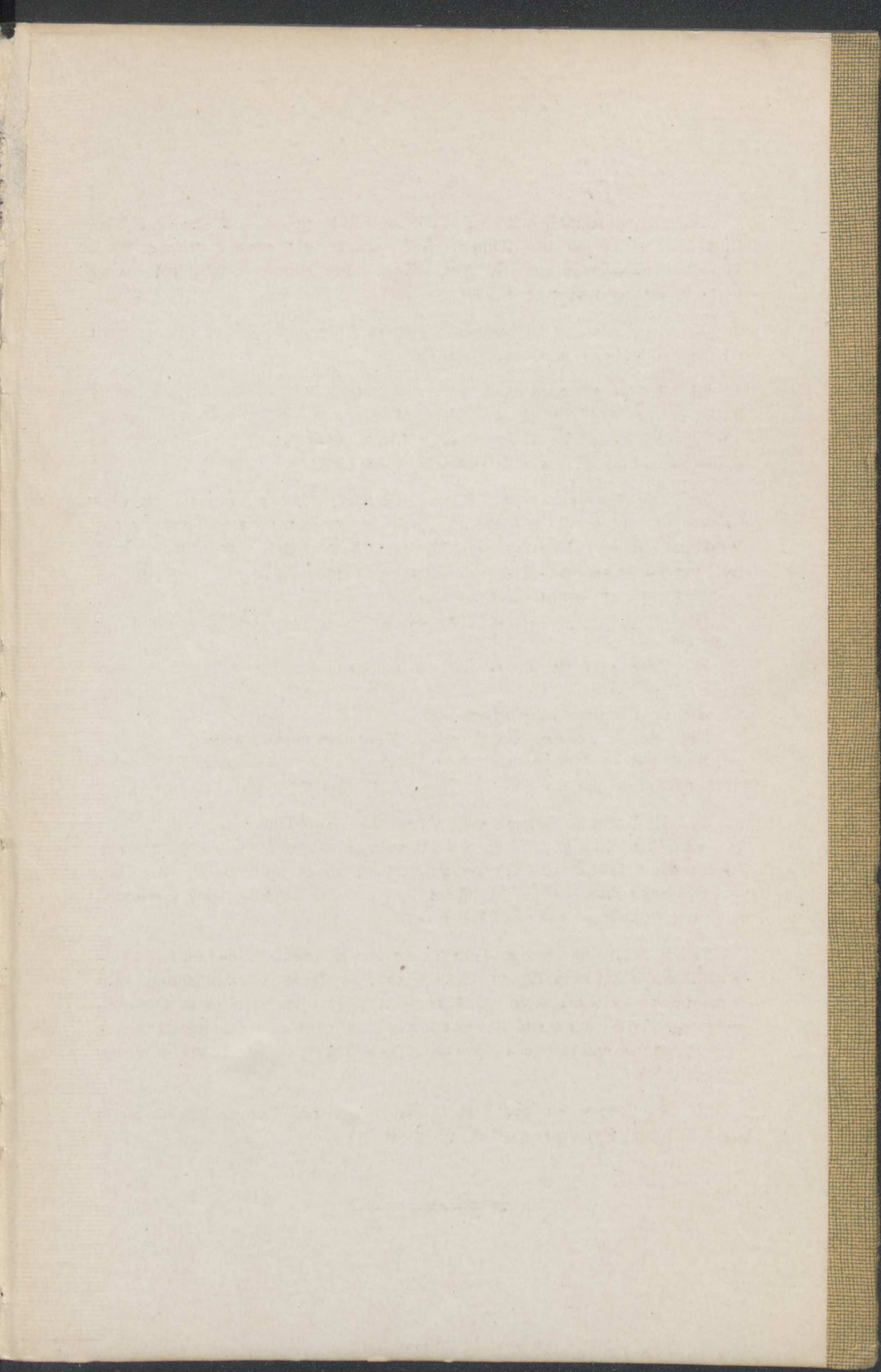
33. Hvor mange Gramkalorier svarer til 1 Watt-Time?

Naar Strømmen (Fig. 77) er 1 Amp. og Spændingsforskellen 1 Volt, frembringes der i 1 Sek. $0,24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$ Gramkalorier (ifølge Joules Lov). I 1 Time (= 3600 Sek.) frembringes der altsaa $0,24 \cdot 3600$ Gramkal. = 864 Gramkal.; d. v. s. 1 Watt-Time svarer til 864 Gramkal.

34. Et Anlæg for traadløs Telegrafi bestaar af Afsenderstationen Fig. 127 A og af Modtagerstationen Fig. 129; Stationerne er afstemt efter hinanden, naar de har samme Antennehøjde. Hvis denne er 30 m, hvor stort er da Elektronsvingningernes Svingningstal i Antennerne, hvor stort er Svingningstallet i de fra Antennen A udgaaende elektromagnetiske Bølger, og hvor stor er disses Bølgelængde?

35. En Glødelampe paa 50 Lys kræver i et 220 Volts Anlæg en Strøm paa 0,32 Amp. Hvor mange Watt pr. Normallys?





GYLDENDALSKE BOGHADEL — NORDISK FORLAG

TH. SUNDORPH

Varmelære for Gymnasiet.

Kr. 1.25 indb.

Fysik for Mellemskolen.

I. 6. Oplag. Kr. 1.50 indb.

II. 3. Oplag. Kr. 0.85 indb.

I—II. indb. i eet Bind Kr. 2.35

Fysik for Realklassen.

I. 2. Oplag. Kr. 0.70 indb. III. 2. Oplag. Kr. 1.00 indb.

II. 3. Oplag. Kr. 0.85 indb. IV. Kr. 0.70 indb.

I—IV. indb. i eet Bind Kr. 3.25

Fysik for Seminarier.

2. Oplag. Kr. 3.85 indb.

Kemi for Mellemskolen.

4. Oplag. Kr. 0.80 indb.

NIELS CHRISTENSEN og TH. SUNDORPH

Praktiske Øvelser i Fysik for Gymnasiet.

2. Udgave. Kr. 2.50 indb.

H. JEPSEN og TH. SUNDORPH

Fysiske Øvelser for Mellemskolen.

Kr. 1.25 indb.