

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*



G. Soltsmark

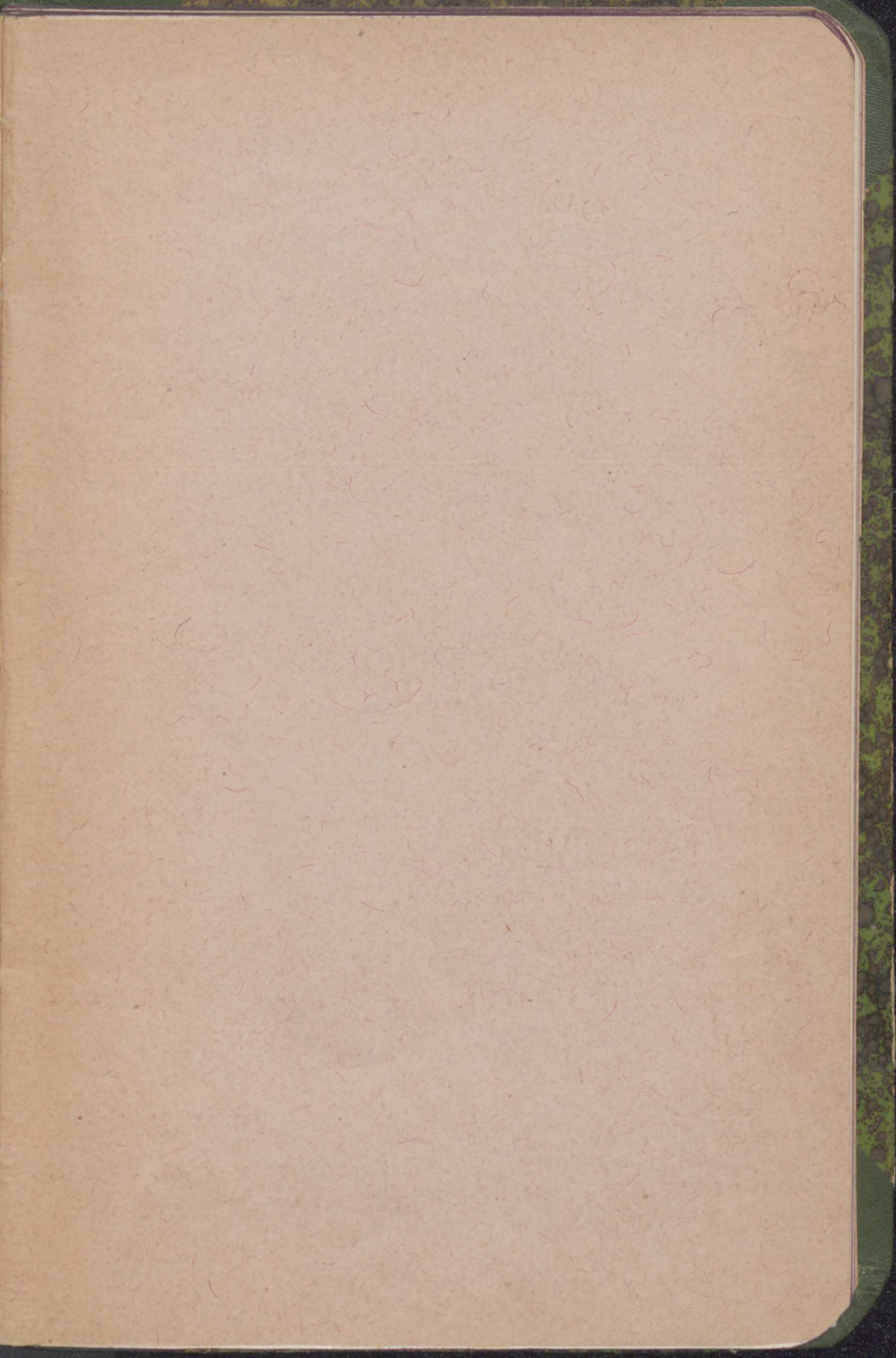
Elektriciteten.

1894.

STATSBIBLIOTEKET
Udvalget
! AARHUS



621.30
gl



STATSBIBLIOTEK
Folger Stensgaard
AARHUS.

467

6/2 96

Udrangeret

Gabriel Holtsmark

ELEKTRICITETEN

OG

DENS NYTTIGSTE ANVENDELSER

Pris 1 krone.

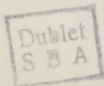


KRISTIANIA

FORLAGT AF FEILBERG & LANDMARK

(CHR. DYBWAD)

1894



DET MALLINGSKE BOGTRYKKERI

Forord.

Nærværende lille bog har jeg udarbejdet nærmest for mine elever ved Kristiania handelsgymnasium. Dens formaal er det rent praktiske, paa en letfattelig maade at gjøre rede for de vigtigste praktiske anvendelser af elektriciteten. Dette formaal har bestemt mig til at vælge en form for fremstillingen, som afviger fra den sedvanlige elementære, idet jeg har begyndt med den elektriske strøm og behandlet den statiske elektricitet tilslut. Da næsten alle anvendelser af elektriciteten er anvendelser af elektrisk strøm, har jeg nemlig holdt det for hensigtsmæssigst straks at føre læseren ind i forestillingerne om denne, istedetfor som almindelig først at beskrive den statiske elektricitets fænomener, som jo er temmelig meget forskjellige fra strømmens. Af samme aarsag har jeg ogsaa behandlet den statiske elektricitet forholdsvis meget mindre udførligt, end man pleier at gjøre. Det er min overbevisning, at fremstillingen ved denne ordning vinder i klarhed, idet fænomenerne ved strømme i mange henseender er simplere og mere oversigtlige end ved statisk elektricitet.

Anlagt paa denne maade er bogen tænkt at kunne være til nytte for enhver, som ønsker kort besked om elektricitetens praktiske betydning, og jeg har ogsaa ment, at den maatte kunne bruges ved den elementære undervisning i andre skoler. Den er allerede besluttet indført ved Olaf Bergs «Lærerindeskole til uddannelse af lærerinder for den høiere skole».

Under udarbejdelsen har jeg modtaget en særdeles værdifuld bistand af hr. universitetsstipendiat Kr. Birke-land, som flere steder har givet mig idéen til betydelige forbedringer, samt af hr. skolebestyrer Olaf Berg, der har gennemlæst større dele af manuskriptet. Jeg aflægger herved disse herrer min verbindtligste tak.

Kristiania i december 1894.

Gabriel Holtsmark.

Indhold.

<i>A. Elektrisk strøm :</i>	Side.
1. Indledning	1
2. Ledere og ikkeledere	3
3. Galvanometeret	4
4. Galvaniske elementer	5
5. Kemiske virkninger af strømmen	7
6. Maaling af elektricitetsmængder	9
7. Strømstyrke	11
8. Ledningsmodstand	13
9. Spænding	16
10. Elektromotorisk kraft	18
11. Polarisaton	21
12. Akkumulatorer	22
13. Elektromagnetisme	23
14. Den elektriske telegraf	25
15. Det elektriske ringeapparat	28
16. Ampèremeteret	29
17. Voltmeteret	31
18. Induktion	32
19. Dynamoer	35
20. Induktion ved strømme	42
21. Induktionsapparatet	45
22. Telefon	47
23. Elektrisk lys	51
24. Joules lov	56
25. Strømmens arbeide	57
26. Elektromotorer	60
27. Kraftoverføring ved elektricitet	61
28. Elektriske jernbaner	64
 <i>B. Statisk elektricitet :</i>	
29. Indledning	69
30. Positiv og negativ elektricitet	70
31. Elektriske fluider	71
32. Elektricermaskiner	73
33. Torden og lynild	75

A. Elektrisk strøm.

1. Stikker vi en blank kobberplade og en zinkplade ned i svovlsyre, som er opblandet med meget vand, ser vi, der bobler smaa luftblærer op omkring zinken, og efter nogen tid merker vi, at syren har tæret paa den. Luftblærerne bestaar af vandstof, og zinken tæres væk, fordi den med svovlsyren danner et salt, som opløser sig i vædsken. Ved kobberet ser vi ingen luftblærer, og der er heller ikke

tegn til, at syren har tæret paa det. Vi tager nu en kobbertraad, fæster kobberpladen til dens ene ende og zinkpladen til dens anden og sætter begge plader ned i svovlsyren, idet vi nøie passer paa, at ikke pladerne be-

rører hinanden. Det apparat, vi da har lavet os (fig. 1), kaldes et *galvanisk element* og blev opfundet

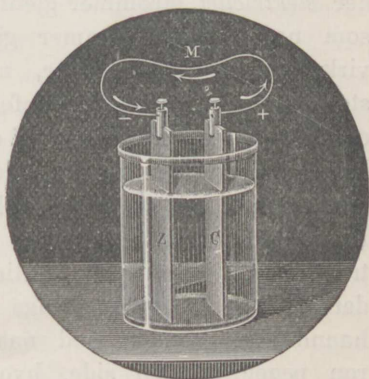


Fig. 1.

af italieneren *Volta* aar 1800. Kobbertraaden, som forbinder pladerne, har faaet flere merkelige egen-skaber. Holder vi den i nærheden af en deklina-tionsnaal (kompasnaal), svinger naalen sig. Vikler vi den om et stykke blødt jern, bliver jernet magne-tisk, men mister sin magnetisme, saasnart traaden tages væk. Traaden selv er ellers i almindelighed uforandret. Klipper vi den over et eller andet sted, ophører virkningerne; men sætter vi enderne sam-men igjen, faar vi dem paany. I det øieblik, da vi fjerner enderne fra hinanden, opstaar der en liden gnist.

Man siger, at der i traaden gaar en *elektrisk strøm*, og at denne er aarsag til de virkninger, som netop er beskrevne. Med dette navn forestiller vi os elementet som en kilde, hvorfra noget, vi kal-der *elektricitet*, strømmer gennem traaden; omtrent som naar vand strømmer gennem et rør. At virkningerne kun opstaar, naar traaden er hel, stemmer godt med denne forestilling. Man kan ogsaa tale om en retning af den elektriske strøm, ligesom af vandstrømmen, idet de to retninger i traaden bestemt skilles fra hinanden ved strøm-mens forhold til magneten. Lægger vi nemlig traaden paa langs over deklinationsnaalen og hol-der vor høire haand langs traaden saaledes, at haandfladen vender mod naalen, og tommelfinge-ren peger til den side, hvortil naalens nordpol slaar ud, saa vil vi altid finde, at fingerspidserne peger mod zinken i elementet. Man er derfor kommet overens om at sige, at strømmen gaar

gjennem traaden fra kobber til zink, altsaa i retning fra haandroden til fingerspidserne. I den elektriske buelampe (side 53) viser der sig en anden merkelig forskjel paa de to retninger.

Den ende af traaden, som er fæstet til kobberpladen, kaldes elementets *positive pol*, den, som er fæstet til zinkpladen, den *negative pol*. Traaden, som forbinder dem, kaldes *ledningen*. At afbryde ledningen, saa strømmen ophører, kaldes at *aabne strømmen*. At forbinde polerne ved en ledning kaldes at *slutte strømmen*.

2. Ledere og ikkeledere. Til ledning kan man bruge traad af et hvilket som helst metal, ikke bare kobber. Derimod kan man ikke danne nogen ledning af glas eller kautschuk. Legemer, som ikke leder elektriciteten, kaldes ikkeledere eller isolatorer, og til dem hører — foruden glas og kautschuk — skellak, svovl, guttaperka, silke, tørt træ, olje og luftarterne. Ledere er derimod — foruden metallerne — vand og alle fugtige legemer, saaledes ogsaa det menneskelige legeme, endvidere glødende luft, altsaa en flamme. Dog leder ikke alle lige godt. Metallerne leder langt bedre end alle andre ledere og af metallerne igjen sølv bedst, dernæst kobber. En metalledning, som hele veien ligger i luften, er altsaa isoleret, $\therefore$ elektriciteten maa følge traaden og kan ikke gaa ud i luften, da luft ikke leder. Ligger derimod traaden paa jorden, eller holder vi den i haanden, kan elektriciteten tage veien gennem jorden og vort legeme. For at hindre det, naar man gjør forsøg

med elektriske strømme, bruges ofte kobbertraad, som er tæt overspundet med silke eller belagt med et andet isolerende lag.

3. Galvanometeret. For let og hurtig at se, om der gaar en strøm i en ledning og for at se retningen af strømmen, benytter man et *galvanometer*, der gjerne er indrettet paa følgende maade: En liden magnetnaal er i sit midtpunkt ophængt i en fin traad, saa den kan svinge horizontalt inde i en liden træramme. Udenom trærammen er der viklet overspundet kobbertraad i

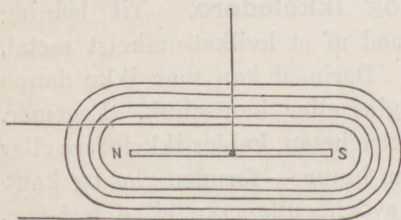


Fig. 2.

mange vindinger, og traadens ender er førte hver til sin klemmeskrue paa det træbret, som hele apparatet er fæstet paa. Fig. 2

viser skematisk, hvordan traadvindingerne lægges i forhold til magneten, medens galvanometerets virkelige udseende sees tilvenstre paa fig. 17 side 44. Man afbryder den ledning, man vil undersøge, og fæster dens ender i klemmeskruerne, saa strømmen kan gaa gennem vindingerne. I almindelighed stiller naalen sig i nord og syd, men gaar der en strøm i ledningen, svinger den straks ud fra denne stilling.

Ofte ophænges naalen paa samme maade som en vegtbjælke, saa den kan svinge i et lodret plan, og til aksen fæstes en let viser, som da

flytter sig forbi en inddelt skala. Det er da bekvemmere at iagttage udslagene, men apparatet bliver paa den maade ikke saa følsomt.

4. Galvaniske elementer. I det element, som vi før beskrev, holder ikke strømmen sig lang tid. Aarsagen hertil er, at kobberet snart bedækkes med vandstof. Det kan da forbedres igjen, om vandstoffet skræbes væk med en pennesfær. Bedre er det at fjerne vandstoffet med kemiske midler. Man kan saaledes erstatte svovlsyren med kromsyre; vandstoffet forbinder sig da i samme øieblik, som det opstaar, med kromsyrens surstof og danner vand. I dette saakaldte kromsyreelement bruges desuden istedetfor kobber et stykke retortkul, og zinken amalgameres, z : indgides med kviksølv. Den tæres da paa langt nær ikke saa hurtig op. Forøvrigt fremstilles galvaniske elementer paa mange forskjellige maader. Til konstante elementer, c : elementer, som kan bruges længere tid, uden at strømmen taber sig, maa man bruge ikke én, men to vædske, hvoraf den ene da gjerne heldes i en uglasseret lerkrukke, som stilles op i den anden vædske. Da krukken er porøs, berører vædskerne hinanden inde i leret uden at blande sig synderlig. Vi skal beskrive nogle af de almindeligste elementer.

Bunsens element (fig. 3) bestaar af zink *Z* i svovlsyre og retortkul *C* i sterk salpetersyre. Salpetersyren er i en lerkrukke *P*. Det giver meget sterk og konstant strøm. Men der dannes ilde-

lugtende, sure luftarter af salpetersyren, saa man maa tømme det hver gang, det er brugt.

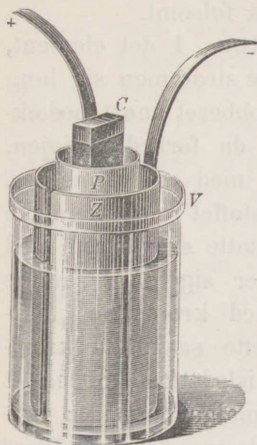


Fig. 3.

Leclanché's element bestaar af zink i en sterk opløsning af salmiak og retortkul, omgivet af brunsten. Kullet stilles i en lerkrukke, som derefter pakkes fuld af brunsten. I krukken er ingen vædske, men brunstenen fugtes af den vædske, som trænger ind gennem krukens porer. Det har den fordel, at det ikke behøver at tømmes for hver gang, det er brugt. Strømmen er ikke

sterk og taber sig hurtig. Alligevel regnes det til de konstante elementer; thi naar det har staaet ubrugt en tid, bliver det igjen lige godt som før. Det egner sig derfor meget godt til elektriske ringeapparater i huse.

Daniell's element bestaar af zink i svovlsyre og kobber i en opløsning af kobbervitriol. Giver konstant strøm, men er ikke saa kraftigt som Bunsens.

Meidingers element har bittersaltopløsning istedetfor svovlsyre. Der bruges ingen lerkrukke; bittersaltopløsningen heldes bare forsigtig ovenpaa kobbervitriolopløsningen og blander sig ikke med denne, da den er lettere. Ved vore telegrafer

bruges dette element ved siden af et slags krom-syreelement.

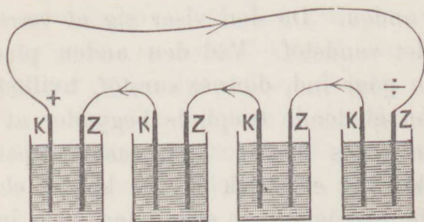


Fig. 4.

Man kan skaffe sig sterkere strøm ved at forbinde flere elementer med hinanden (fig. 4). Zink-polen i et element forbindes da med kulpolen i et andet, zink-polen i dette med kulpolen i et tredje o. s. v., og tilslut forbindes den sidste zinkpol med kulpolen i det første. Denne sammenstilling kaldes et *galvanisk batteri*.

5. Kemiske virkninger af strømmen.

Vand, hvortil der blandes nogle draaber svovlsyre, kan af den elektriske strøm spaltes i sine to bestanddele, vandstof og surstof. Man smelter to platinatraade ind i bunden af et glaskar (fig. 5) og fæster til traadene smaa plader af platina. Vandet holdes nu i karret, og over hver af pladerne hvælves et lidet glastrør, fyldt med vand. Apparatet forbindes med et batteri af nogle Bunsens elementer, saa strømmen gaar gennem vandet. Man ser da, at der bobler luftblærer op omkring pladerne og samler sig øverst i glas-

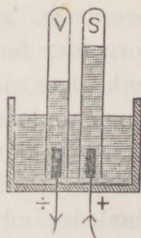
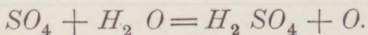


Fig. 5.

rørene. Ved den plade, hvor strømmen gaar ud af vædsken, danner der sig dobbelt saa meget luft som ved den anden. Da den viser sig at være brændbar, er det vandstof. Ved den anden plade, hvor strømmen gaar ind, dannes surstof, hvilket bevises ved, at en glødende træpinde begynder at brænde, naar den føres derind. En saadan spaltning af en vædske ved elektrisk strøm kaldes *elektrolyse*. Den plade, hvorigjennem strømmen gaar ind i vædsken, kaldes den *positive elektrode* eller *anoden*, den anden plade den *negative elektrode* eller *kathoden*.

Paa denne maade spaltes ogsaa salte, som er smeltede eller opløste i vand. Metallet udskilles ligesom vandstoffet altid ved den negative elektrode. Af en opløsning af kobbervitriol i vand udskilles kobber. Dette kobber kan man lade afsætte sig paa en form, som man har lavet ved at tage aftryk af en medalje eller en lignende gjenstand. Kobberet fylder da formen og kan siden brækkes løs, saa man faar en tro efterligning af medaljen. Ellers bruges elektrolysen til at overdrage gjenstande med metal, saaledes til at forgylde, forsølv, fornikle o. s. v. Gjenstandene anbringes da som negative elektroder i en passende opløsning af vedkommende metal. Denne kunst kaldes galvanoplastik. — I den nyeste tid anvendes elektrolysen til at udvinde metaller. Saaledes udvindes nu aluminium ved elektrolyse af smeltet lerjord. Men der maa da anvendes meget kraftige strømme. Hvordan de frembringes, skal vi lære senere.

Vandstof og metaller udskilles, som nævnt, altid ved den negative elektrode. Man siger, at de *føres med strømmen*. Ved den positive elektrode udskilles henholdsvis surstoffet og resten af saltet, nemlig syren. Af kobbervitriol CuSO_4 udskilles kobber Cu . Ved den positive elektrode optræder da SO_4 . Men bestaar elektroden af et kobberstykke, vil SO_4 forbinde sig med Cu , saa der paany dannes CuSO_4 , som opløses i vandet. Strømmens arbeide bestaar altsaa i at føre kobber fra den positive til den negative elektrode, og selve opløsningens styrke holder sig uforandret. Er derimod den positive elektrode af platina eller et andet metal, som ikke angribes af svovlsyre, vil SO_4 angribe vandet. Der dannes svovlsyre og udskilles surstof:



Kobbervitriolen forsvinder da lidt efter lidt af vædsken. I galvanoplastiken bruger man derfor altid som positiv elektrode det metal, som man vil have udfældt ved den negative elektrode.

6. Maaling af elektricitetsmængder. Som forklaret side 2 tænker vi os elektricitet strømmende gennem ledningen omtrent som vand gennem et rør. Vi kan ogsaa tale om elektricitetsmængder aldeles som om vandmængder, og vi skal nu vise, at vi i elektrolysen har et middel til at maale elektricitetsmængder. Lader man strømmen gaa gennem flere kar med opløsning af kobbervitriol, der er indskudt efter hinanden («i række») i en ledning, vil der udfældes nøiagtig lige meget kob-

ber i hvert kar; det kommer ikke an paa elektroderne form og størrelse. Man kan overbevise sig om dette ved at veie elektroderne før og efter. Vi gjør saa et andet forsøg: Strømmen fra et batteri *E* (fig. 6) gaar først gennem et kar *A* med kobbervitriol, derefter deler ledningen sig i to aldeles lige ledninger, som gaar gennem hvert sit kar *B* og *C* med kobbervitriol, der ogsaa er fuldstændig lige. De to ledninger forenes saa igjen og føres til batteriets anden pol. Veies

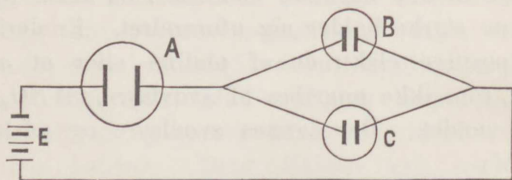


Fig. 6.

elektroderne før og efter, finder vi, at der i hvert af karrene *B* og *C* er udfældt nøiagtig halvparten saa meget kobber som i *A*. Paa grundlag af disse to forsøg kan vi benytte mængden af det udfældte kobber som maale for den elektricitetsmængde, som er gaaet gennem ledningen, idet vi sætter elektricitetsmængden proportional med mængden af det udfældte kobber. Det første forsøg forklarer vi da saa, at der gaar samme mængde elektricitet gennem hele ledningen. Det andet forsøg siger, at naar en ledning forgrener sig i to andre aldeles lige, saa gaar der i hver af disse halvparten saa meget elektricitet som i den første.

Gaar en og samme strøm gennem flere forskellige vædsker paa rad, f. eks. opløsninger af kobbervitriol, sølvnitrat, svovlsyreholdigt vand o. s. v., saa er mængderne af udfældt stof vel ikke længer lige store, men de er *kemisk ækvivalente*. Nu er $Cu = 63$, $Ag = 108$, $H = 1$. I kobbervitriol $CuSO_4$ er Cu tolværdigt. Samme strøm udfælder da i de nævnte opløsninger $\frac{63}{2}$ eller 31,5 vegtsdele kobber, 108 vegtsdele sølv og 1 vegtsdel vandstof. Har vi veiet kobberet, kan vi altsaa beregne sølvet og vandstoffet ved hjælp af atomvegterne. Denne merkelige lov er opdaget af englænderen *Faraday* i 1834 og er siden bekræftet ved en utallighed af forsøg.

Det staar nu alene tilbage at vælge størrelsen af den enhed, hvormed vi skal maale elektricitetsmængder. Man er da kommet overens om at sætte som enhed *den mængde elektricitet, der udfælder 0,0000104 gram vandstof*, og denne enhed kaldes en coulomb. 1 coulomb udfælder altsaa

$$0,0000104 \times 108 = 0,00112 \text{ g. sølv}$$

$$0,0000104 \times 31,5 = 0,00033 \text{ g. kobber o. s. v.}$$

7. Strømstyrke. Ved *strømstyrke* forstaar man *det antal coulomb, som gaar gennem ledningen i sekundet*. Den angives i *ampère*, og man siger, at strømstyrken er 1 ampère, naar der gaar 1 coulomb gennem ledningen i sekundet.

Man kan bestemme strømstyrken i en ledning ved at lade strømmen passere en vædske, som spaltes, og veie det stof, som udskilles i en viss tid. Et apparat til dette brug kaldes et *voltameter*.

Vanddekompositionsapparatet side 7 kan bruges som voltameter, idet man maaler volumet af det udskilte vandstof og surstof og deraf beregner vegten. Bedst er det at bruge sølvvoltameterene. Kalder vi strømstyrken i , saa gaar gjennem ledningen i 1 sekund i og i t sekunder it coulomb. Derved udfældes en sølvmængde $S = 0,00112 it$ gram. Heraf findes:

$$i = \frac{S}{0,00112 t} \text{ ampère.}$$

Denne maade at bestemme strømstyrken paa er dog temmelig sen. Langt hurtigere finder man

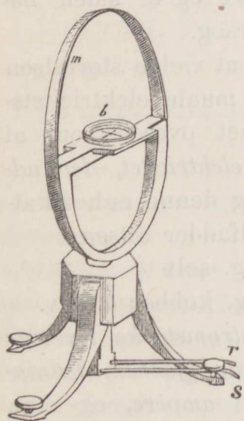


Fig. 7.

den med en *tangensboussole* (fig. 7), hvor strømmen maales ved dens virkning paa en magnetnaal. Strømmen gaar gjennem et baand af kobber m , som er bøiet i en cirkel omkring en liden deklinationsnaal b , ophængt i cirkelens centrum. Apparatet opstilles saaledes, at ringen staar i den magnetiske meridian, altsaa i samme retning som magnetnaalen peger. Sendes nu strømmen gjennem

kobberbaandet, svinger naalen ud. Men jordmagnetismen søger at dreie den tilbage igjen, og det endelige udslag bliver netop saa stort, at strømmens virkning holder ligevegt med jordmagne-

tismens virkning. Da strømmens virkning kun afhænger af strømstyrken, svarer der til hvert udslag en bestemt strømstyrke. Man bestemmer engang for alle udslagenes værdi ved at indskyde tangensboussolen og et voltameter i en og samme ledning og maale strømstyrken ved voltameteret. Forsøget gjentages med strømme af forskjellig styrke, og de maalte strømstyrker opskrives med tal paa en inddelt bue under naalen. En tredje strømmaalder beskrives side 29.

8. Ledningsmodstand. Strømstyrken afhænger saavel af elementernes som af ledningens beskaffenhed. Ved undersøgelse af ledningens indflydelse benytter vi et batteri af konstante elementer, og vi vil kun befatte os med ledninger, som er gjort af ensartet materiale, altsaa hvad man kalder homogene ledninger, da forholdene ellers, f. eks. om ledningen ikke i hele sin længde er gjort af samme metal, er mere indviklede. Prøves forskellige ledninger, finder man, at strømstyrken aftager, jo længere og tyndere ledningen gjøres, samt at den i væsentlig mon afhænger af, hvad slags materiale ledningen er gjort af. Man siger derfor, at den elektriske strøm i ledningen møder en *modstand*. Jo større modstand, desto mindre strømstyrke. Endvidere siger man, at to ledninger har samme modstand, om man faar samme strømstyrke med den ene som med den anden. Som enhed for modstand har man valgt *modstanden ved 0° C. i en kviksølotraad af længde 1,06 m. og tværsnit 1 mm^2* . Denne enhed kaldes

ohm. Det er bekvemmere at forskaffe sig en nysølvtraad med samme modstand og bruge denne ved senere maalingen. Man gaar nu ud fra, at modstanden i en ledningstraad af jevn tykkelse er *proportional med længden*, og skaffer sig da modstande paa 1 . 2 . 2 . 5 . 10 . 20 . . . ohm ved at afskjære tilsvarende længder af nysølvtraaden. Disse traadstumper anbringes i en egen kasse, der er indrettet saaledes, at man let og hurtig kan forbinde to eller flere af dem og saaledes efter behag skaffe sig modstande paa det antal ohm, man ønsker. Et saadant apparat kaldes en *modstandskasse* eller en *rheostat*. Den kan nærmest sammenlignes med en lodsats, der indeholder lodder paa 1 . 2 . 2 . 5 . 10 . 20 . . . gram. Ved sammenstilling af lodder kan man skaffe sig den vegt, man vil. Skal man med rheostaten bestemme modstanden i en ledning, kunde man først bestemme strømstyrken i ledningen, saa tage ledningen væk og indskyde af rheostaten saa stor modstand, at strømstyrken blev den samme.

Vi har gaaet ud fra, at modstanden i en ledningstraad er proportional med længden. Med rheostaten finder man, at den er *omvendt proportional med tversnittet*. Forøvrigt er det ligegyldigt, om traaden er rund, firkantet eller har en anden form, bare den har jevn tykkelse. Kaldes modstanden i en traad af længde 1 m. og tversnit 1 mm² for *a*, saa er modstanden i en traad af længde *l* m. og tversnit *s* mm²:

$$r = a \frac{l}{s}.$$

a er forskjellig for de forskjellige legemer og kaldes derfor legemets *specifike modstand*. Der skal anføres nogle tal:

		Modstand i en traad af længde 1 m. og tværsnit 1 mm ²	
Sølv	$a =$	0,015	ohm.
Rent kobber	$=$	0,015	—
Jern	$=$	0,1	—
Nysølv	$=$	0,25	—
Kviksølv	$=$	0,943	—
Kul til buelyst	$=$	33	—
Retortkul	$=$	69	—
Fortyndet svovlsyre (10 pct.s)	$=$	26000	—

Jo mindre et legemes specifikke modstand er, desto større, siger man, er dets *ledningsevne*. For ledningsevnen har man ingen særskilt enhed. Man pleier sætte kobberets ledningsevne $= 100$; de andre legemers ledningsevne bliver da forholdsvis mindre tal. Rent sølv og kobber leder altsaa elektriciteten bedst. Ved metallerne er det forøvrigt at merke, at selv meget smaa indblandinger af andre stoffe nedsætter ledningsevnen betydelig. Medens f. eks. rent kobber leder elektriciteten 6 à 7 gange saa godt som jern, leder det almindelige i handelen forekommende kobber kun 4 gange saa godt. Til elektriske ledninger er altsaa kobber bedre end noget andet materiale. Alligevel bruges jerntraad til telegrafledninger, fordi den er billigere end kobbertraad.

Med rheostaten kan ogsaa modstandens ind-

flydelse paa strømstyrken undersøges. Men her kommer der en vanskelighed til, idet der ikke blot er modstand i den ydre ledning, men ogsaa i selve elementet og i det apparat, hvormed vi maa-ler strømstyrken. Bruges hertil en tangensbous-sole, saa kan dennes modstand ligetil bestemmes ved den metode, som netop er angivet. Ogsaa elementets modstand kan let findes, men ved andre metoder, som vi her ikke vil gaa ind paa. Men selv uden at kjende denne kan vi hjælpe os, naar vi bruger ledninger af meget stor modstand, i hvert fald saa stor, at vi er visse paa, den er mange gange større end elementets. Vi kan da sætte denne sidstnævnte ud af betragtning og kun regne med modstanden i ledningen. Herved be-gaar man vistnok en fejl, men denne bliver desto ubetydeligere, jo større modstanden i ledningen er. Man finder da, *at strømstyrken er omvendt propor-tional med modstanden*. Forøges f. eks. modstan-den til det femdobbelte, bliver strømstyrken kun femtedelen saa stor o. s. v. Loven er ogsaa fuld-kommen gyldig for ledninger af liden modstand, naar blot elementets egen modstand medregnes.

9. Spænding. Aarsagen til den strøm, som iagttages i ledningen, ligger naturligvis i selve elementet, hvorfor dette med rette kan kaldes elek-tricitetskilden. Senere i denne bog skal ogsaa omta-les andre elektricitetskilder af helt anden art (induk-tion). Men de forskellige elektricitetskilder giver i samme ledning strøm af høist ulige styrke. Rig-tignok er den indre modstand i elektricitetskilderne

meget forskjellig; men prøver man sig frem, finder man, at forskjellen i indre modstand ikke er nok til at forklare forskjellen i strømstyrke.

Oversigten over de forhold, som her kommer frem, bliver meget enkel, naar der indføres et nyt begreb, som benævnes *elektrisk spænding*. Dette navn er en betegnelse for den tilstand, hvori de enkelte dele af elementet og ledningen befinder sig, og det antages, at strømmen opstaar, fordi den elektriske spænding er forskjellig paa de forskjellige steder af strømmens kredsløb, og at strømmen gaar fra steder med høiere spænding til steder med lavere, omtrent som naar vandet rinder fra høiere til lavere niveau. Betragtes et stykke af en homogen ledning, hvori der gaar en strøm, saa antager man, at styrken af denne strøm foruden af modstanden i stykket alene afhænger af, hvor stor forskjellen er mellem spændingerne ved stykkets to endepunkter, og det saaledes, at den er *proportional med spændingsforskjellen og omvendt proportional med modstanden*. Kaldes spændingsforskjellen V og strømstyrke og modstand som før henholdsvis i og r , saa sætter man

$$i = \frac{V}{r}.$$

Nu saa vi side 10, at der gaar samme mængde elektricitet gennem hele ledningen, med andre ord strømstyrken i er overalt den samme. Følgelig siger vor formel, at for ethvert stykke af ledningen forholdet mellem spændingsforskjellen ved stykkets endepunkter og modstanden i stykket altid er

det samme. Er saaledes ledningstraaden af jevn tykkelse, saa er forskjellen i spænding ved to punkter af ledningen desto større, jo længere det mellemliggende stykke af ledningen er. Vi maa altsaa forestille os, at spændingen er størst ved den positive pol og bliver mindre og mindre henad ledningen til den negative.

Den nys udviklede lov er først udtalt af tyskeren *Ohm* i 1827. Den kan ogsaa skrives saaledes:

$$V = i r.$$

I denne form siger den, at spændingsforskjellen mellem to punkter af en ledning kan findes ved at maale modstanden i det mellemliggende stykke af ledningen samt strømstyrken og multiplicere disse med hinanden. Er baade i og r lig 1, saa er ogsaa $V = 1$. Denne enhed kaldes *volt*, og vi har altsaa, at 1 volt er spændingsforskjellen mellem to punkter af en ledning, naar modstanden i det mellemliggende stykke er 1 ohm, og strømstyrken i ledningen er 1 ampère.

10. Elektromotorisk kraft. Vi skal anvende Ohms lov paa det galvaniske element. Følger vi ledningen fra den positive pol, aftager spændingen hele veien til den negative. Følges strømmeis vei videre ind i elementet, maa spændingen her atter stige til den værdi, den har ved den positive pol. Denne stigning frembringes af de kemiske kræfter, som kommer i virksomhed, ved at metallerne og syren berører hinanden. Disse kræfter vedligeholder en stadig spændingsforskjel mellem zink og syre, kul og syre o. s. v. I elementerne

kan nu disse spændingsforskjeller dels virke modsat, dels til samme side, men i almindelighed aldrig helt ophæve hinanden, hvorfor der bliver et vist overskud til den ene side. Dette overskud kaldes elementets *elektromotoriske kraft* eller ofte blot *elementets spænding*. Anvendes Ohms lov paa det hele kredsløb, faar man, at den elektromotoriske kraft er lig produktet af strømstyrken og den hele modstand (o: summen af den indre og ydre).

Beregnes paa denne maade den elektromotoriske kraft for forskjellige elementer, finder man, at den i de konstante elementer altid er den samme for elementer af samme slags, hvad enten elementet er stort eller lidet. Den er saaledes altid

i Bunsens element	ca. 1,8 volt,
- Daniells og Meidingers do. »	1,1 —
- Leclanchés do. »	1,5 —
- kromsyreelementet »	2 —

Derimod er den indre modstand meget forskjellig. Den er desto mindre, jo større elementet er, og jo nærmere pladerne staar til hinanden. Den kan maales paa forskjellige maader, som vi her ikke vil indlade os paa. I et godt Bunsens element, ca. 20 cm. høit, kan den være ca. $\frac{1}{4}$ ohm, men ogsaa meget mindre, i Meidingers fra 4 til 10 ohm o. s. v. Et godt Bunsens element kan altsaa give en strøm paa $\frac{1,8}{\frac{1}{4}} = 7,2$ ampère, naar modstanden i ledningen er forsvindende liden. Har denne en betydelig størrelse, bliver strømstyrken snart meget mindre.

I batterier er den elektromotoriske kraft lig summen af elementernes elektromotoriske kræfter.

Man kan i mange tilfælde faa en god forestilling om den elektriske strøm ved at sammenligne med vandet i en vandledning. Strømmer vandet ud af en beholder gennem et langt horisontalt rør ved bunden (fig. 8), møder vandstrømmen modstand i røret paa grund af friktionen.

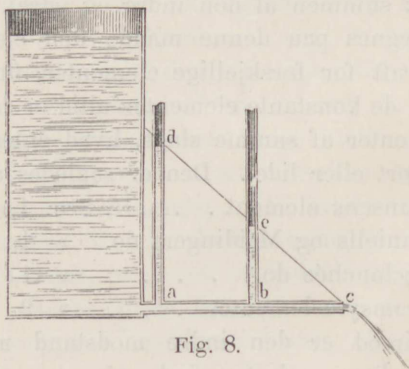


Fig. 8.

For at denne skal overvindes, maa trykket indover i røret være større end ved munden. Dette kan sees, naar man paa forskellige steder anbringer lodrette rør (*ad*, *be*), hvori vandet stiger op i en høide, som svarer til dets tryk. Den høide, hvortil vandet stiger, kaldes trykhøiden, og den aftager altsaa henad ledningen. Mellem to punkter *a* og *b* er der en viss trykhøideforskjel ($ad \div be$). Giver man røret en forsnevring mellem *a* og *b*, saa vandet møder større modstand, bliver ogsaa trykhøideforskjellen større.

Et galvanisk element er et slags elektricitets-beholder, hvorfra elektriciteten strømmer ud i ledningen. Til trykhøiden i vandledningen svarer her spændingen. Spændingen aftager hen igjennem ledningen fra den positive pol, og mellem to punkter af ledningen er der en viss spændingsforskjel, som er større, jo længere punkterne ligger fra hinanden, eller jo større modstanden er i den del af ledningen, som ligger mellem dem.

11. **Polarisation.** Ledes strømmen nogen tid gjennem et vanddekompositionsapparat (fig. 5 s. 7), og tager man derefter batteriet væk og istedet indskyder et følsomt galvanometer, vil man se, at galvanometernaalen gjør et udslag. Naar strømmen har gaaet gjennem vanddekompositionsapparatet, har dette altsaa selv faaet en elektromotorisk kraft, der kan frembringe en strøm. Den elektromotoriske kraft, som optræder i vanddekompositionsapparatet, kaldes *polarisation*, og den strøm, som den giver, kaldes *polarisationsstrøm*. Dette forklares derved, at naar vandet spaltes, bliver den ene af de to platinaplader omgivet med vandstof, den anden med surstof. Men platina omgivet med vandstof og platina omgivet med surstof i svovlsyre danner selv et galvanisk element, aldeles som zink og kobber i svovlsyre. Polarisationsstrømmens retning er *altid modsat* retningen af den strøm, som fremkaldte polarisationen. Den gaar altsaa gjennem vædsken fra vandstof til surstof. Den taber sig meget hurtig, da vandstoffet og surstoffet paa pladerne snart opbruges. Polarisation iagttages ikke

blot i vanddekompositionsapparatet, men i det hele altid, naar strømmen udfører en kemisk spaltning, og ogsaa i andre tilfælde, hvoraf et enkelt skal berøres senere i denne bog (elektrisk buelys).

Polarisationen ytrer sig ikke blot, efterat batteriet er udskudt af ledningen, men ogsaa saalænge strømmen fra batteriet gaar. Ogsaa da virker vanddekompositionsapparatet som et galvanisk element, der søger at frembringe strøm i modsat retning. *Polarisationen er altsaa intet andet end en elektromotorisk kraft, som søger at frembringe en strøm, der er rettet modsat den, som gaar i ledningen.* Den kan kaldes en elektromotorisk modkraft. Den kan maales ved metoder, der ligner dem, man bruger ved bestemmelse af elementers spænding. I vand med svovlsyre er polarisationen aldrig mindre end 1,5 volt, men den kan ofte være større. Skal altsaa vand spaltes ved elektrisk strøm, maa batteriets spænding være mere end 1,5 volt. Vand kan derfor ikke dekomponeres med et enkelt Daniells element, men vel med et Bunsens.

12. Akkumulatorer. I praksis benytter man sig af polarisationen i de saakaldte akkumulatorer. En akkumulator bestaar af et glaskar med fortyndet svovlsyre, hvori der er stillet to blyplader; i disse er der boret en mængde huller, som oprindeligt er fyldte med mønje. Mønje er en forbindelse af blyoxyd og blyhyperoxyd ($[PbO]_2 \cdot PbO_2$). Strømmen ledes nu gennem apparatet, idet blypladerne benyttes som elektroder. Ved den positive elektrode udskilles surstof (O), der oxyderer møjens blyoxyd

(PbO) til blyhyperoxyd (PbO_2). Ved den negative elektrode udskilles vandstof (H), der reducerer mængden til bly, som her faar et svampagtig udseende. Efter nogen tid er omdannelsen færdig, hvad man kan se derpaa, at der bobler gasblærer (vandstof og surstof) op ved pladerne. Pladerne er *polariserede*, og forbindes de med en ledning, faar man en polarisationsstrøm, som gaar gennem vædsken fra bly til blyhyperoxyd. Idet polarisationsstrømmen gaar (akkumulatoren «udlades»), reduceres blyhyperoxydet igjen til blyoxyd, og blyet oxyderes til blyoxyd. Ved begge plader forbinder blyoxydet sig med svovlsyren til svovlsurt blyoxyd, og naar pladerne bliver helt lige, ophører strømmen. Akkumulatoren kan da «lades» paany ved en elektrisk strøm, og dette kan man gjentage, saa ofte man vil. Den strøm, som bruges til ladingen, kan altsaa akkumulatoren levere tilbage og det endog efter flere maaneders forløb. Da strømmen er kraftig og langvarig, bruges akkumulatorer til at «opsamle» elektrisk strøm, som da igjen kan benyttes ved en anden leilighed. Under udladningen er spændingen i en akkumulator omtrent 1,9 volt, altsaa noget større end i et Bunsens element.

13. Elektromagnetisme. Dansken *H. C. Ørsted* gjorde i 1820 den iagttagelse, at en elektrisk strøm kan virke paa en deklinationsnaal, saa denne svinger ud fra den magnetiske meridian. Vi omtalte dette allerede side 2 og benyttede denne egenskab ved strømmen til at fastslaa, hvad der

skulde forstaaes ved strømmens retning. Omvendt, kjender vi strømmens retning, kan vi paa forhaand sige, til hvilken side naalen vil svinge: *Nordpolen vil bevæge sig i tommelfingerens retning, naar høire haand lægges langs ledningen, saaledes at strømmen gaar ind ved haandroden og ud ved fingerspidserne, og haandfladen vender mod magnetens nordpol.* Regelen udtales ofte i en anden form, som er foreslaaet af franskmanden *Ampère*: Man tænker sig svømmende med strømmen, med ansigtet vendt mod naalen; dennes nordpol slaar da ud til venstre. De to regler kommer naturligvis ud paa ett.

Vi omtalte ogsaa før, at naar ledningen vikles omkring et stykke blødt jern, gjør strømmen jernet magnetisk. Naturligvis maa der anvendes overspundet ledningstraad, saa strømmen virkelig følger ledningstraaden og ikke tager veien gjennem jernet. Et jernstykke, som magnetiseres paa denne maade, kaldes en *elektromagnet*. Den har som andre magneter en nordpol og en sydpol, og nordpolen findes til den side, hvortil tommelfingeren peger, naar haanden lægges langs strømmen, saaledes som det er beskrevet ovenfor. Elektromagnetne gives ofte form af en «hestesko». Naar ledningstraaden vikles omkring jernet i en mængde vindinger, og man bruger sterk strøm, kan man paa denne maade skaffe sig magneter, som er langt kraftigere end de kraftigste staalmagneter. Afbrydes strømmen, mister jernet næsten øieblikkelig sin magnetisme. Bruger man i elektromagneten staa istedenfor jern, magnetiseres ogsaa

staalet, men meget langsommere end jern, og naar strømmen ophører, bevarer det sin magnetisme.

Elektromagneter har faaet mangfoldige anvendelser. De fleste af disse beror netop paa den egenskab ved jernet, at det magnetiseres fuldstændig næsten i samme øieblik, som strømmen sluttes, og lige hurtig mister sin magnetisme, naar strømmen aabnes. En af de vigtigste anvendelser af elektromagneter gjøres i den elektriske telegraf.

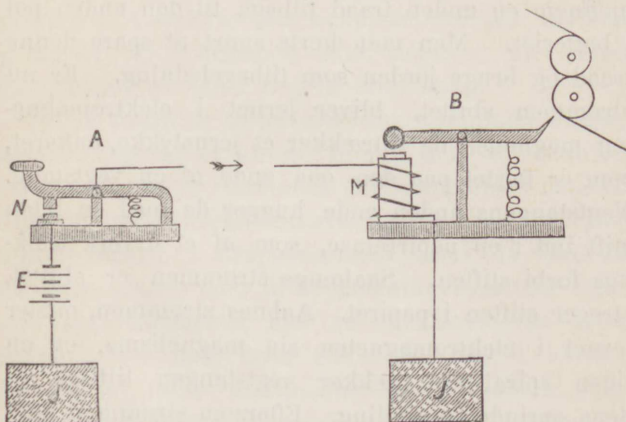


Fig. 9.

14. Den elektriske telegraf. At telegrafere betyder at skrive eller give tegn paa lange afstande. Før gav man tegn ved stænger, flag eller fakler (optisk telegraf); nu bruges den elektriske strøm. Skal der telegraferes mellem to steder A og B (fig. 9), opstilles i A et galvanisk batteri E. Fra batteriets ene pol føres en ledning

til en kobberplade J , som ligger dybt nede i jorden. Fra den anden pol gaar en ledning gennem et apparat N (som skal beskrives siden) over telegrafstolper til den anden station B . Her indskydes en elektromagnet M , hvorefter ledningen føres til en anden kobberplade J , som ogsaa staar i jorden. Jorden danner ledning mellem kobberpladerne, saa strømmen nu i virkeligheden er sluttet. I de ældste telegrafer gik strømmen fra elektromagneten gennem en anden traad tilbage til den anden pol i batteriet. Men man lærte snart at spare denne traad og bruge jorden som tilbageledning. Er nu strømmen sluttet, bliver jernet i elektromagneten magnetisk og tiltrækker et jernstykke, ankeret, som er fæstet paa den ene ende af en vegtstang. Vegtstangens anden ende hugger da med en liden stift ind i en papirremse, som af et urverk trækkes forbi stiften. Saalænge strømmen er sluttet, streger stiften i papiret. Aabnes strømmen, mister jernet i elektromagneten sin magnetisme, og en liden spiralfjær trækker vegtstangen tilbage til dens oprindelige stilling. Eftersom strømmen slutes kort eller længe, skrives streger eller prikker, som ved sammenstilling paa forskellige maader betegner bogstaverne i alfabetet, f. eks.:

$\cdot \text{---}$ $\text{---} \cdot \cdot \cdot$ $\text{---} \cdot \text{---} \cdot$ $\text{---} \cdot \cdot$ o. s. v.
 a b c d

Istedetfor stift er det bedre at bruge et lidet apparat, som skriver tegnene med blæk. — Apparatet N paa stationen A kaldes *nøglen* og tjener til at aabne og slutte strømmen. Det bestaar af

en liden vegtstang af messing, forsynet med en knap af glas eller andet isolerende materiale. Telegrafledningen ender i vegtstangens omdreiningssakse og traaden fra batteriet i et lidet metalstykke under vegtstangen. Da vegtstangen i almindelighed ikke berører metalstykket, er strømmen aaben. Men trykker man paa knappen, kommer vegtstangen i berøring med metalstykket, og strømmen er sluttet. Telegraferingen foregaar nu paa den maade, at man i *A* trykker paa knappen; derved skriver stiftet i *B*. Eftersom man trykker kort eller længe, skrives der i *B* prik eller streg.

Paa længere linjer svækkes strømmen meget, og for alligevel at kunne hjælpe sig uden altfor mange elementer forbindes skriveapparatet med et særskilt batteri, lokalbatteriet, som er opstillet paa samme station. Linjestrømmen føres da ikke til skriveapparatet, men til et saakaldt *relais*, der ligesom skriveapparatet har en elektromagnet med anker. Men naar dette anker tiltrækkes, slutter det ved en liden mekanisme lokalstrømmen, som igjen sætter skriveapparatet i virksomhed. Slipper ankeret igjen løs, aabner det lokalstrømmen. Relaisets anker kan gøres yderst let, saa det bevæges, selv om linjestrømmen er meget svag.

Den her beskrevne maade at telegrafere paa er opfundet af amerikaneren *Morse* i 1837 og er den almindeligst brugte over hele verden. Men *Morse* har kun opfundet apparaterne og alfabetet. Æren for telegrafen maa først og fremst tilfalde *Ørsted* og de andre videnskabsmænd, som banede

veien for den, da de opdagede strømmens virkning paa jern og udfandt lovene for denne virkning. Telegrafen er siden forbedret paa mange maader. Man har nu apparater til at telegrafere indtil 600 ord i minutet (*Wheatstones* apparat), og med andre apparater kan man endog sende 2, 4 eller endnu flere telegrammer samtidig paa samme traad (dupleks-, quadrupleks- og multiplekstelegrafi). Der bruges ogsaa apparater, som selv med det samme trykker telegrammet med almindelige bogstaver paa papirstrimmelen istedetfor at skrive det med prikker og streger (*Hughes's* apparat).

Telegrafledningen bestaar gjerne af jerntraad, som er galvaniseret, d. e. overtrukket med zink, forat den ikke skal rustne. Den føres fra station til station paa telegrafstolper, idet den fæstes paa særegne kopper af porcellæn for at være isoleret. Skal ledningen føres gennem vandet, støbes der udenom traaden et tykt lag guttaperka for at isolere, og udenom dette vikles jerntraad for styrkens skyld (kabel).

Ved telegrafering bruges almindeligst galvaniske batterier, hos os Meidingers element og kromsyreelementer. I den sidste tid har man med stor fordel begyndt at bruge akkumulatorer.

15. Det elektriske ringeapparat. (Fig. 10). Paa et træbret er fæstet en elektromagnet *EE* og en staaifjær *s*, der ender i et jernstykke *a*. Staaifjæren er fæstet saaledes, at jernstykket staar som anker ret ud for elektromagneten, dog uden at berøre den. Ledningen fra den ene pol i et bat-

teri føres først til elektromagneten og derfra til staaLfjæren og ankeret. Dette berører en anden staaLfjær *k*, hvorfra ledningen føres tilbage til batteriets anden pol. Sluttes nu strømmen, bliver jernet *EE* magnetisk og tiltrækker ankeret *a*. Men i samme øieblik ophører ankeret at

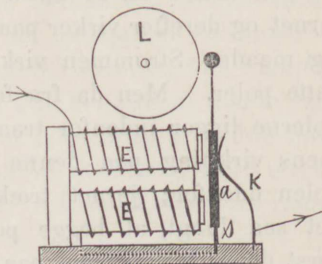


Fig. 10.

berøre fjæren *k*, hvorved stømmen aabnes; da jernet i *E* nu mister sin magnetisme, springer ankeret tilbage, hvorved det atter kommer i berøring med fjæren *k*. Men derved sluttes atter strømmen, og det hele gjentages. Fjæren med ankeret kommer saaledes til at svinge uophørlig, indtil ledningen afbrydes et andet sted. Til ankeret er fæstet en liden hammer, som for hver svingning slaar mod en klokke *L*. Apparatet opstilles der, hvor signalet skal høres, og ledningen lægges om det sted, hvorfra signalet skal sendes. Paa det sidste sted er ledningen afbrudt, men kan sluttes ved, at der trykkes paa en knap.

16. Ampèremeteret. Danner man sig en hul træcylinder og vikler isoleret ledningstraad omkring den i mange vindinger, kan man gjøre følgende forsøg: En stang af blødt jern, omtrent saa lang som cylinderen, lægges ind i denne, saaledes at omtrent halvparten af stangen rager uden-

for. Sendes en sterk strøm gennem traaden, ser man, at jernstangen trækkes helt ind i cylinderen. Vi kan tænke os, at strømmen først magnetiserer jernet og derefter virker paa magneten paa almindelig maade. Strømmen virker modsat paa de modsatte poler. Men da fra først af kun den ene af polerne ligger indenfor traadvindingerne, er strømmens virkning paa denne pol sterkere end paa polen udenfor; jernet trækkes derfor indover og det saa langt, at begge poler kommer indenfor; først da er virkningen paa begge poler lige sterk, og jernet bliver liggende rolig.

Da den kraft, hvormed jernet drages indover, afhænger af strømstyrken, benyttes denne virkning

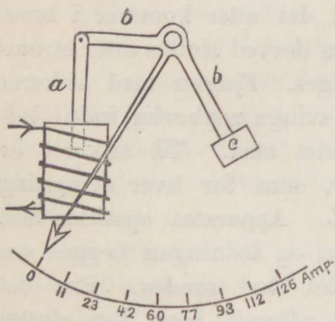


Fig. 11.

til maaling af strømstyrke ved apparater, som kaldes *ampèremetere* (fig. 11). Traadrullen staar ret op og ned og har faa vindinger af tyk traad. En jernstang *a*, som er ophængt paa den ene arm af en knæ-

formet vegtstang *bb*, hænger frit inde i rullen og rager kun et lidet stykke nedi. Paa vegtstangens anden arm er anbragt en modvegt *c*. Traadrullen indskydes i ledningen, og jo sterkere strøm der gaar, desto længere trækkes jernstykket ned. Paa vegtstangens akse sidder en viser, som angiver

dens bevægelse, idet spidsen flytter sig foran en inddelt bue. Ved sammenligning med et voltameter eller en tangensboussole bestemmes, hvilke strømstyrker der svarer til de forskellige stillinger af viseren. Paa skalaen noteres strømstyrken i ampère med tal, saa man siden kun behøver at aflæse ligetil. Ampèremeteret kan ikke bruges til fine maalinger; det bruges kun til at angive store strømstyrker, som man faar ved maskiner, der snart skal omtales.

17. Voltmeteret. Ampèremeteret kan ogsaa bruges til at finde spændingsforskjellen mellem to punkter af en ledning. I elektriske anlæg, hvor strømmen frembringes ved maskiner, interesserer man sig særlig for at kjende spændingsforskjellen mellem maskinens poler, den saakaldte polspænding. Man forbinder da polerne med en tynd sideledning («shunt») med meget stor modstand, i alle fald saa stor, at kun en liden brøkdel af strømmen kommer til at gaa gjennem den. I sideledningen indskydes et ampèremeter, der angiver strømstyrken i denne. Polspændingen er da efter Ohms lov lig denne strømstyrke gange sideledningens og ampèremeterets modstand. Da denne modstand altid er den samme, svarer der til en bestemt strømstyrke altid en bestemt spænding. De beregnede spændinger opskrives med tal paa den inddelte bue, saaledes at apparatets viser ligefrem angiver spændingen i volt. Apparatet kaldes da et *voltmeter*. Det kan ligesaa lidt som ampèremeteret bruges til fine maalinger.

18. Induktion. Hvis en magnet bevæges i nærheden af en sluttet ledning, d. v. s. en lednings-
traad, hvis ender er forbundne med hinanden, op-
staar der i almindelighed i ledningen en elektrisk
strøm. Det samme sker, om magneten er i ro, og
ledningen bevæges. Det er dog ikke ganske lige-
gyldigt, hvordan bevægelsen foregaar. For at
kunne forklare dette tydeligt, er det nødvendigt at
kjennde noget til en magnets egenskaber.

Den kraft, som udgaar fra en magnet, er størst
ved magnetens poler og aftager, jo større afstanden
fra polerne bliver; i stor afstand er kraften umerke-

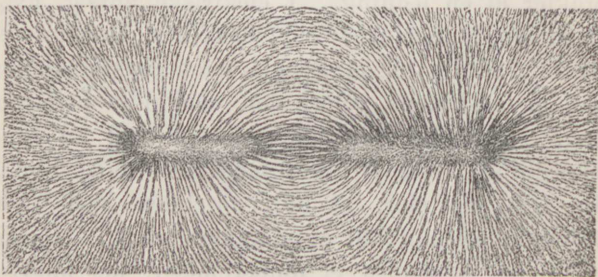


Fig. 12.

lig. Det rum, inden hvilket den magnetiske kraft
er merkbar, kaldes *et magnetisk felt*. Har man en
liden magnetnaal, som kan bevæge sig i alle ret-
ninger (et lidet kompas kan bruges), og flytter den
rundt i feltet, vil den paa hvert sted stille sig i
den retning, hvori kraften virker, og man kan paa
denne maade udfinde kraftretningen i alle punkter
af feltet. Endnu lettere kan man skaffe sig en
forestilling herom ved at lægge et papir over mag-

neten og strø jernfilspaan paa papiret (fig. 12). Spaanene magnetiseres og ordner sig overalt langs kraftretningen, saa der fremtræder tydelige linjer. Disse linjer, der altsaa overalt følger kraftretningen, kaldes *kraftlinjer*. De straalers ikke ret ud fra hver af polerne, men bøier sig over mod den anden pol. Man pleier udtrykke sig saa, at kraftlinjerne udgaar fra nordpolen og indsuges af sydpolen. Linjerne er tydeligst og ligger tættest i nærheden af polerne, hvor den magnetiske kraft er størst. Lægges et stykke jern i nærheden af magneten, faar kraftlinjerne øieblikkelig en anden retning. Ligger jernet ud for en af polerne, suges linjerne fra polen over mod jernet. Ved hjælp af kraftlinjerne lettes i høi grad oversigten over magnetens virkninger. Man pleier at tænke sig dem konstruerede efter visse regler, saaledes at deres tæthed paa hvert sted altid staar i bestemt forhold til størrelsen af den kraft, magneten øver paa stedet.

Hvis en del af en sluttet ledning bevæges i nærheden af en magnet, saa opstaar der en strøm i ledningen, saafremt ledningen bevæges paa en saadan maade, at den overskjærer kraftlinjerne. Strømmen kaldes en *induktionsstrøm*, og magneten siges at *inducere* strømmen i ledningen. Retningen af strømmen afhænger af bevægelsens retning. Lægges højre haand langs ledningen, saaledes at kraftlinjerne fra nordpolen gaar ind mod haandfladen, og tommelfingeren peger i bevægelsens retning, vil altid strømmen gaa i retning fra haandroden mod finger-spidserne. Strømmen induceres lige godt, om led-

ningen ligger rolig, og magneten bevæges. Strømmen gaar da i retning fra haandroden mod finger-spidserne, naar haanden lægges langs ledningen, saa kraftlinjerne fra nordpolen gaar mod haandfladen, og tommelfingeren peger *modsat* den retning, hvori magneten bevæges.

I de dele af ledningen, som overskjærer kraftlinjerne, opstaar altsaa en elektromotorisk kraft. Vi har her et tilfælde, hvor elektromotorisk kraft opstaar uden kemiske virkninger, altsaa en elektricitetskilde af helt anden art end det galvaniske element (sml. 9).

For simpelheds skyld forudsatte vi, at blot en del af ledningen bevæges. Om hele ledningen — vi kan tænke os den som en metalring — bevæges gjennem det magnetiske felt, saa opstaar naturligvis ogsaa da elektromotorisk kraft i ledningen overalt der, hvor den overskjærer kraftlinjerne. Men det kan tænkes, at den elektromotoriske kraft, som opvækkes i en del af ledningen, modvirkes af den, som opvækkes i en anden del, der overskjærer kraftlinjerne anderledes, og at resultatet er, at der ikke bliver nogen strøm i traaden. Det kan udledes, at der kun opstaar strøm, saafremt det antal kraftlinjer, som ledningen omslutter, ved bevægelsen enten forøges eller formindskes.

Den strøm, som opstaar i ledningen, virker tilbage paa magneten, og som vi ved, søger en elektrisk strøm at bevæge en magnetpol i en bestemt retning. Ved at sammenholde den regel, som vi har givet herfor (side 24), med den regel, som vi

netop har givet for retningen af induktionsstrømmen, finder man, at den kraft, hvormed magneten og strømmen virker paa hinanden, altid søger at hindre den bevægelse af magneten eller ledningen, hvorved strømmen induceres (*Lenz's lov*).

Induktionsstrømmen kan paavises let, naar man vikler ledningstraaden i mange vindinger omkring en hul træcylinder og forbinder dens ender med et følsomt galvanometer. Nærmer man raskt en kraftig staalmagnet til traadrullen, gjør galvanometernaalen et udslag, fjerner man den igjen, gjør naalen et udslag til modsat kant. Strømmen varer kun, saalænge bevægelsen staar paa.

Den elektromotoriske kraft, som induceres i ledningen, er desto større, jo hurtigere bevægelsen foregaar, og jo kraftigere magneten er. I en traadrulle er den desto større, jo flere vindinger traaden danner. Stiller man under forsøget inde i traadrullen en jernkjerne, giver galvanometernaalen betydelig større udslag. Kraftlinjerne vil da ikke straale saa meget til siden fra magneten, men gaa i en bundt ret mod jernet, hvorved der altsaa kommer flere ind i traadrullen (se side 33).

19. Dynamoer. Induktionen opdagedes af *Faraday* i 1831. Man lærte snart at konstruere maskiner, som ved induktion frembragte varige elektriske strømme; men det er først i den nyeste tid, at saadanne maskiner har faaet større praktisk betydning. Særlig har deres anvendelse i de sidste 10 aar taget et forbausende opsving. Omtrent alle maskiner indrettes saaledes, at magneten ligger

fast, og ledningen bevæges. Vi skal forklare et par af de almindeligste former:

1) *Grammes maskine* (fig. 13). SN er en stor hesteskoformet elektromagnet. Mellem dens poler er anbragt en jernring, der er fæstet paa en aksel, som drives rundt ved en dampmaskine, et vandhjul eller lignende. Jernringen er helt rundt omviklet med en isoleret ledningstraad, hvis ender derefter er sammenloddede. Ringen med lednings-

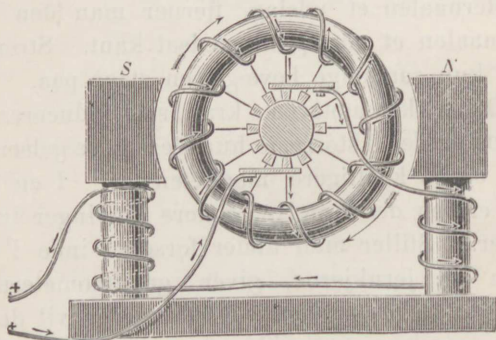


Fig 13.

traad kaldes *ankeret*. Mellem magnetpolerne er den magnetiske kraft meget sterk, og kraftlinjerne gaar fra nordpolen næsten ret over til sydpolen. Det er dog at merke, at i luften indenfor selve ringen er der omtrent ingen magnetisk kraft og altsaa heller ingen kraftlinjer. Dette kan forklares ved, at jernringen magnetiseres, saa at den faar en sydpol lige ud for elektromagnetens nordpol. I

luften indenfor ringen vil disse virke modsat, saa de der ophæver hinandens virkning. Paa samme maade ved den anden pol. Men i rummene mellem ringen og hver af magnetpolerne virker ringens og elektromagnetens magnetisme ens, saa kraftlinjerne der netop ligger meget tæt. Naar ankeret dreies rundt, overskjærer traadvindingerne kraftlinjerne paa tvers, hvorved der induceres strøm. Det er at merke, at den elektromotoriske kraft kun opstaar i den halvdel af traadvindingerne, som ligger paa ringens yderside; paa indersiden er der nemlig, som før nævnt, ingen kraftlinjer. Strømmen har imidlertid modsat retning paa høire og venstre halvdel af ankeret, hvad man kan udfinde ved hjælp af regelen med tommelfingeren, idet man erindrer, at kraftlinjerne gaar fra *N* til *S*. Gaar hjulet i pilens retning, kommer strømmen til paa høire side at gaa ind mod papiret, paa venstre side ud fra papiret; men da maa strømmen paa begge sider følge traadvindingerne opover. Til vindingerne er med lige store mellemrum loddet et antal kobbertraade (paa figuren tolv), som hver gaar ind til sin messingremse, der ligger fremover langs akselen. Disse messingremser er isolerede fra hjulet og fra hverandre ved pap. To messingbørster, som er forbundne ved en ledning, slæber paa messingremserne, naar hjulet gaar rundt, den ene paa oversiden, den anden paa undersiden. Naar nu strømmen i vindingerne gaar opover paa begge sider, forener de to strømme sig øverst til én, som gennem en kobbertraad gaar ind til den messingremse,

der i øieblikket berører den øverste børste, derfra videre gennem ledningstraaden til den anden børste og gennem en messingremse og den tilhørende kobbertraad paany ind i ankerets vindinger, idet den deler sig til begge sider for at gaa opover. Strømmen kommer altsaa til at gaa i samme retning, saalænge ankeret drives rundt.

Det staar tilbage at omtale, hvordan magnetismen frembringes i elektromagneten. I de ældste, de saakaldte magnetoelektriske maskiner, brugtes en staalmagnet; naar den engang var magnetiseret, beholdt den sin magnetisme. Senere indførtes istedet elektromagneter. Magnetismen tilveiebragtes i dem ved en særskilt strøm fra en liden maskine af den ældre form. I 1867 opdagede imidlertid Werner Siemens i Berlin, at man kan benytte den elektriske strøm, som maskinen selv frembringer, til at vedligeholde magnetismen i elektromagneten. I disse maskiner, der til forskjel fra de ældre kaldes *dynamoelektriske maskiner* eller blot *dynamoer*, ledes strømmen fra ankeret ind i elektromagnetens vindinger, saaledes som figuren viser. Man skulde da tro, at der fra først af, naar maskinen sættes i gang, ikke skulde kunne opstaa nogen strøm, da jernet jo ikke kan blive magnetisk, før maskinen leverer strøm, og paa den anden side strøm ikke kan opstaa, før jernet er magnetisk. Men nu er det saa, at jern, som engang har været magnetisk, ikke mister magnetismen fuldstændig. Den lille rest, som findes i jernet, er da tilstrækkelig til at frembringe en liden

strøm i maskinen; denne strøm forsterker magnetismen, som igjen forsterker strømmen o. s. v. Strømstyrken vokser derfor meget snart til den fulde styrke.

Hvis hele strømmen fra ankeret ledes ind i elektromagnetens vindinger, saaledes som vor tegning fremstiller, kaldes maskinen en *serie-dynamo*. Ofte indrettes det saa, at kun en del af strømmen kommer ind i elektromagnetens vindinger. Ledningen fra ankeret deler sig da i to, hvorefter den ene (shunten), som er tynd i forhold til den anden, gaar til elektromagnetens vindinger. Disse maskiner kaldes *shunt-dynamoer*.

Paa de virkelige maskiner har ikke ankeret kun nogle faa vindinger, som paa figuren, men en mængde. Jo flere vindinger ankeret har, desto høiere spænding faar den inducerte strøm. De to messingbørster, hvorigjennem strømmen gaar ud i ledningen og tilbage igjen, er gjerne baand af nogle centimeters bredde og nogle millimeters tykkelse, der er vævede af fin messingtraad. Ofte erstattes de af korte, tykke kulstænger. Antallet af messingremser paa akselen er meget mindre end antallet af vindinger i ankeret. Indretningen med børster og messingremser, som tjener til at samle den strøm, som opstaar i ankervindingerne, kaldes en *kollektor* (o: opsamler). Kollektoren kan ogsaa sløifes, idet man lader traadvindingerne paa ankeret være blanke udad, og børsterne slæbe lige paa traadene. Ankeret gjør flere hundrede omdreininger i minutet. Til at drive det maa man ved

større dynamoer have en kraftig maskine. Man skulde tro, at man kunde nøie sig med en ganske liden drivkraft, da man tilsyneladende kun har at overvinde friktionen i aksellagerne samt børsternes friktion. Det er ogsaa virkelig let at holde ankeret i bevægelse, naar maskinen ikke leverer strøm.

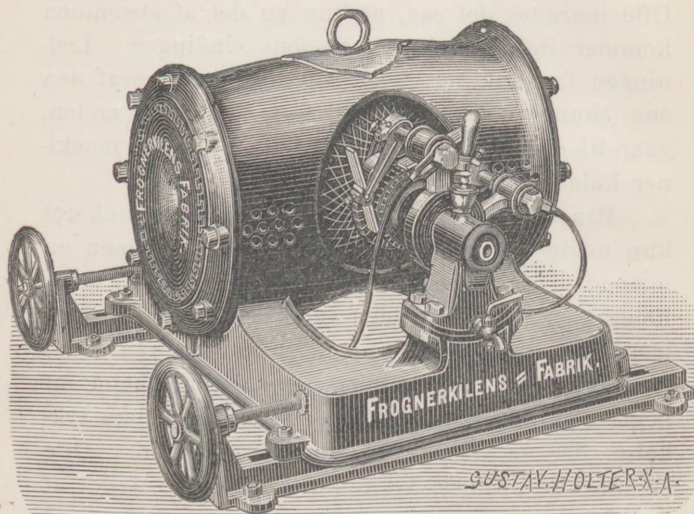


Fig. 14.

Men saasnart der opstaar en strøm, vil strømmen og magneten, ifølge Lenz's lov (side 35), øve en kraftvirkning paa hinanden og det paa en saadan maade, at hjulets bevægelse hemmes. Jo sterkere strømmen er, desto større er den modstand, som ankeret møder.

Ankeret kan konstrueres paa flere andre maa-der. Det vigtigste, foruden Grammes, er *Siemens's anker*, ogsaa kaldet *trommelankeret*, fordi lednings- traaden ikke er viklet om en ring, men paalangs om- kring en cylinder eller trommel. Det virker helt anderledes end Grammes; men vi vil ikke gaa ind paa den noget vidtløftige beskrivelse, som det vilde kræve. Ellers adskiller de mange forskellige dynamoer sig fra hinanden fornemmelig kun i detaljerne. Fig. 14 er tegning af en dynamo af norsk konstruktion.

2) *Vekselstrømmaskiner*. En vekselstrøm er ikke en strøm i den forstand, vi hidtil har lært,

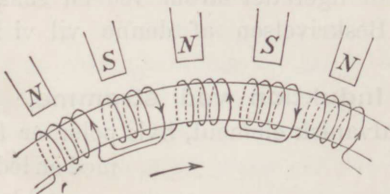


Fig. 15.

men en række kortvarige strømme, der uophørlig skifter retning. *NSNSN* (fig. 15) er polerne af en række elektromagneter, der er fæstede paa en rund skive. Indenfor magneterne er et anker, der ligesom Grammes anker bestaar af en jernring, omviklet med isoleret ledningstraad i mange vin- dinger. Men traaden er, som figuren viser, viklet anderledes. Naar ankeret dreies rundt, induceres der strømme i traaden, hvis retning er modsat i

de partier af vindingerne, som befinder sig foran en nordpol og en sydpol. Saaledes som beviklingen er udført, kommer alle disse til at forene sig til én strøm i traaden. Under ankerets bevægelse passerer imidlertid vindingerne afvekslende forbi nordpoler og sydpoler, og for hver gang skifter strømmen i hele traaden retning. Traaden er paa et enkelt sted afbrudt, og enderne er forbundne med hver sin af to blanke metalringe, som er fæstede paa ankerets aksel, isolerede fra denne og fra hinanden. Paa hver ring slæber en staaalfjær, hvortil den ydre ledning fæstes. I denne faar man da en vekselstrøm. Vekselstrømmen kan forandres til ligerettet strøm ved en saakaldt *kommutator*. Beskrivelsen af denne vil vi imidlertid forbigaa.

20. Induktion ved strømme. (Fig. 16).

F er et galvanisk element, hvis poler er forbundne

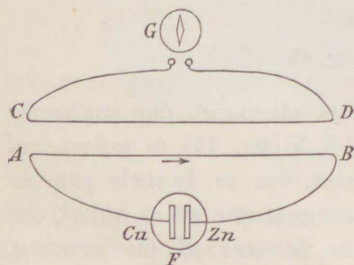


Fig. 16.

med en ledning, som paa stykket AB ligger parallelt med en anden sluttet ledning CD , hvori der er indskudt et galvanometer G . De to ledninger skal være fuldstændig isolerede fra hinanden. Strømmen

i AB gaar fra A til B . Afbrydes denne strøm, ser man, at naalen i galvanometeret gjør et udslag,

svarende til, at der i CD gaar en strøm fra C til D . Strømmen varer meget kort, hvorfor naalen øieblikkelig vender tilbage til ligevegstillingen. Sluttes igjen strømmen i AB , viser galvanometeret, at der gaar en kortvarig strøm fra D til C . Derimod viser der sig ikke nogen strøm i CD , saalænge strømmen i AB holdes sluttet og er af uforanderlig styrke.

Det samme resultat kan ogsaa opnaaes paa en anden maade. Fjernes ledningen AB fra CD , gjør det samme tjeneste, som om strømmen i AB blev afbrudt: Der opstaar en strøm fra C til D . Nærmes AB igjen til CD , opstaar en strøm fra D til C .

Man siger, at strømmen i AB *inducerer* en strøm i CD , og vi faar følgende regel: *Aabnes strømmen i en ledning, induceres der i en parallel naboledning en strøm i samme retning, sluttet den, induceres en strøm i modsat retning. Fjernes en ledning, hvori der gaar en strøm fra naboledningen, induceres en strøm i samme retning, nærmes den, induceres en strøm i modsat retning.*

Ved forsøg faar man tydeligere virkninger, om man istedetfor retlinjede ledninger, som fig. 16 fremstiller, bruger traadruller. Man kan benytte samme traadrulle, som brugtes til induktion af strømme ved magneter (side 35). Istedetfor en magnet bruges da en anden mindre traadrulle, der kan faa plads i hulrummet af den større (fig. 17). Den ene af traadrullerne (ligeegyldig hvilken) forbindes med elementet, den anden med galvanometeret. Den ledning, hvori strømmen fra elementet gaar,

kaldes *hovedlederen* eller den *primære* leder; den anden, hvori strømmen induceres, kaldes *bilederen* eller den *sekundære* leder. Det er ikke engang nødvendigt at aabne strømmen i hovedlederen. Om blot paa en eller anden maade strømstyrken forandres, f. eks. ved at modstanden i ledningen forandres, induceres derved en strøm i bilederen.

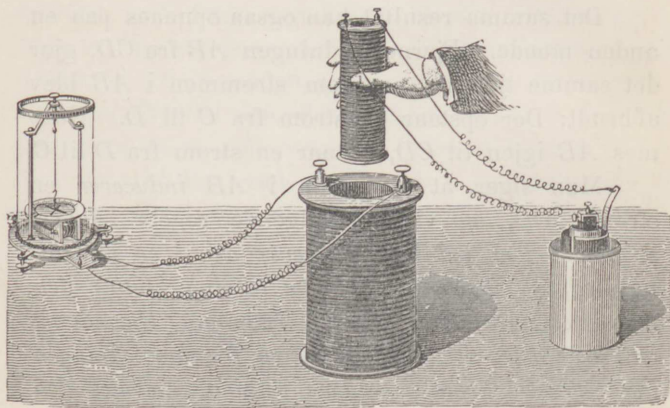


Fig. 17.

Den inducerte strøms spænding er større, jo hurtigere hovedstrømmen forandres. Man faar derfor aldrig saa stort udslag af galvanometernaalen, naar strømmen induceres ved, at rullerne nærmes eller fjernes fra hinanden, som naar den ene rulle stilles inde i den anden, og strømmen induceres ved at aabne eller slutte hovedstrømmen. Endvidere gjælder lignende her som for ankeret i Grammes

dynamo, at jo flere vindinger bileren har, desto høiere spænding faar den inducerte strøm. Men da modstanden i ledningen samtidig vokser med vindingernes antal, faar strømstyrken en tilsvarende mindre værdi.

21. Induktionsapparatet. Dette har som hovedleder en rulle *AA* (fig. 18), der indeholder en kerne af blødt jern og er forbundet med et batteri *E*. Bileren er en traadrulle *B*, der ligger udenom hovedlederen og har mange flere vindinger; den

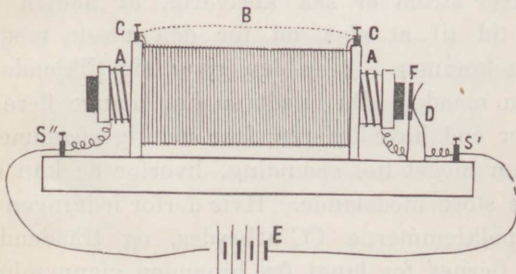


Fig. 18.

ender i to polklemmer *CC*. I hovedlederen er indskudt en saakaldt *Wagnersk* hammer, der besørger, at strømmen uafbrudt aabnes og sluttes. Den ligner ganske den indretning, som blev beskrevet ved det elektriske ringeapparat: Fra batteriet gaar ledningen gennem en klemmeskrue *S'* til en staalfjær *D*, som ligger an mod et jernanker *F*; dette er fæstet til en anden staalfjær, som endelig er forbundet med traadrullen *AA*, hvorfra ledningen

gjennem klemmeskruen S'' føres tilbage til batteriet. Saasnart strømmen fra batteriet sluttet, magnetiseres jernkjernen, og ankeret F tiltrækkes, hvorved strømmen aabnes; men derved mister jernet sin magnetisme, og ankeret slipper løs. Dette gjentager sig uafslædig. Er nu polklemmerne CC forbundne med en ledning (punkteret paa tegningen), opstaar der en kortvarig strøm i bilederen for hver gang, strømmen aabnes eller sluttet i hovedlederen. Den inducerte strøm skifter uafslædig retning, derfor kan den ikke paavises med galvanometeret; thi hver strøm er saa kortvarig, at naalen ikke faar tid til at slaa ud, før den næste modsatte strøm kommer. Men den giver sig tilkjende paa anden maade. Da bilederen har mange flere vindinger end hovedlederen, faar nemlig strømmene i den en meget høi spænding, hvorfor de kan overvinde store modstande. Hvis derfor ledningen mellem polklemmerne CC afbrydes, og traadenderne ikke fjernes for langt fra hinanden, gjennembryder strømmen luftlaget. Man ser gnister hver gang, hovedstrømmen aabnes og sluttet. Dog er aabningsgnisten meget større end slutningsgnisten. Man har lavet induktionsapparater, hvor bilederen har indtil 200 000 vindinger med en længde af 240 kilometer. Med nogle elementer giver de gnister paa mange decimeters længde. Spændingen er da over 100 000 volt. I luftfortyndet rum dannes ikke gnister, men luften mellem traadene lyser med et eget lys, der minder om nordlys. Man foretager forsøget med saakaldte *Geisslerske* rør; det er

lukkede glastrør, i hvis ender er indsmeltet platina-traade, og som derefter er pumpet næsten lufttomme. Platinatraadene forbindes med bilerens polklemmer.

Berører man en klemme med hver haand, gaar strømmene gennem legemet, og man kjender rykninger i musklerne; ved kraftige apparater kan strømmene virke lammende og endog dræbende. Lægerne benytter induktionsapparatet ved behandling af visse nervesygdomme.

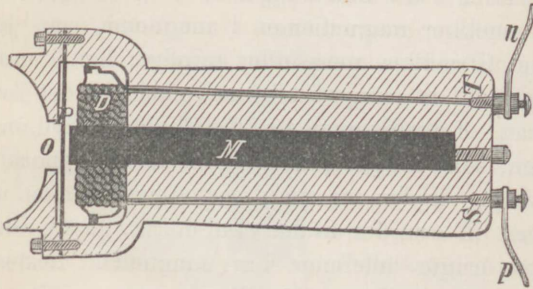


Fig. 19.

22. Telefon. Telefonen er opfundet af amerikaneren Graham Bell i 1872. Om den ene ende af en staalmagnet *M* (fig. 19) er spundet isoleret ledningstraad i mange vindinger, og traadens ender er førte hen til to klemmeskruer *S* og *T*, som er fæstede i det trærør, hvori magneten og traaden er anbragte. Ved den anden ende af træ-røret er en tynd jernplade *P* fæstet lige ud for magneten og traadrullen. Fra klemmeskruerne føres ledninger *n* og *p* til klemmeskruerne af et

mage apparat, og telefonen er færdig. Tales der gjennem aabningen *O* i trærøret mod jernpladen i det ene apparat, kan talen opfattes ved det andet apparat, naar det holdes tæt til øret. Dette gaar til paa følgende maade: Jernpladen magnetiseres af staalmagneten; naar den saa af lydbølgerne sættes i svingninger, fremkaldes der forandringer i den magnetiske kraft indenfor traadrullen, hvilke forandringer inducerer tilsvarende strømme i traadrullen. Strømmene gaar gjennem ledningen til traadrullen i det andet apparat, hvor de forsterker eller svækker magnetismen i magneten, saa jernpladen tiltrækkes mere eller mindre; den kommer saaledes til at svinge i takt med pladen i det første apparat. Følgelig maa den fremkalde en lyd, mage til den, som bragte pladen i det første apparat til at svinge. Lyden er svag, saa apparatet maa holdes tæt til øret, for at den skal høres. I de almindeligst brugte telefoner har magneten hesteskoform med vindinger om begge grene, ikke som paa vor tegning stavform. Der gjøres udtrykkelig opmærksom paa, at man til denne telefon ikke trænger noget batteri.

Nu bruges det her beskrevne apparat kun som høreapparat. Som afsender bruges *mikrofonen*, som er opfundet af Hughes i 1878. Man taler ogsaa der mod en plade; men pladen staar i forbindelse med en del kulstykker, som er løst forbundne indbyrdes, og hvorigjennem der ledes en strøm fra et galvanisk batteri. Naar pladen svinger, faar kulstykkerne smaa bevægelser, som er tilstrækkelige

til at forandre ledningsmodstanden i deres berøringspunkter betydelig. Derved opstaar tilsvarende forandringer i strømstyrken. Fra kulstykkerne gaar strømmen gennem hovedlederen i en induktionsrulle tilbage til batteriet. Ved forandringerne i strømstyrken induceres vekselstrømme i bilederen, som gennem telefonledningen er forbundet med telefonen paa den anden station.

Mikrofonerne indrettes paa mange forskellige maader; men forskjellen ligger væsentlig i den maade, hvorpaa kulstykkerne indrettes og forbindes

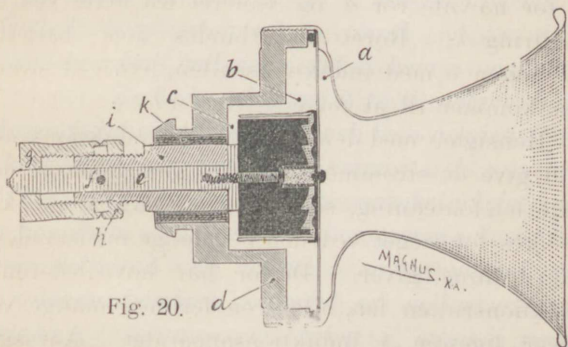


Fig. 20.

med hverandre. I Kristiania bruges mest den saakaldte kulkornsmikrofon, hvor strømmen gaar gennem en mængde kulstykker af størrelse som sandkorn. Vor tegning fremstiller et længdesnit af denne mikrofon i $\frac{3}{4}$ størrelse. *a* er en messingplade, som er fæstet indenfor et tragtformigt talerør. Til pladen er fæstet en anden mindre plade *b*, som danner bunden i et kort rør af uldtøj. *c* er en cylinderformig kulklods, som foran har

to cirkelformige render, og som er stukket ind i røret, saaledes at der er et lidet rum mellem klodsen og pladen *b*. Dette rum er fyldt med kulkorn. Strømmen fra batteriet skal nu ledes til messingpladerne *a* og *b*, derfra gennem kulkornene til kulklodsen *c*, og saa endelig gennem induktionsrullens hovedleder tilbage til batteriet. I dette øie-med er pladen fæstet i et messingrør *d*, medens kulklodsen er skruet fast til en kort stang *e* af messing, som igjen ved en stift *f* og to skruer *g* og *h* fastholdes til et rør *i*, som er stukket ind i det før nævnte rør *d* og isoleret fra dette ved en ebonitring *k*. Røret *d* forbindes med batteriet og stangen *e* med induktionsrullen, hvorved strømmen kommer til at følge veien *d a b c e*.

Hensigten med den tidt nævnte induktionsrulle er at give de strømme, som skal gaa gennem den lange telefonledning, saa høi spænding, at de ikke svækkes for meget ved den betydelige modstand, en lang ledning giver. Derfor har hovedlederen i induktionsrullen faa, bilederen derimod mange vindinger ligesom i induktionsapparatet. Aarsagen til, at høispændte strømme svækkes mindre i lange ledninger end lavspændte, skal forklares i det følgende side 62 og 63.

Telefonledninger bygges paa samme maade som telegrafledninger; der benyttes ogsaa her kun én traad, idet man lader jorden erstatte den anden traad. Ligger flere telefonledninger ved siden af hverandre paa samme stolper, kan man ofte i en traad høre, hvad der tales i en af de andre. Dette

kommer af, at strømmene i den traad, som benyttes, inducerer lignende strømme i nabotraadene. Man kan forhindre dette ved anvendelse af dobbeltlinje, saa strømmen ledes frem gennem den ene linje og tilbage gennem den anden, istedetfor som almindelig at lade den gaa tilbage gennem jorden. Frem- og tilbagelinjerne lægges klods ved siden af hinanden. De inducerede strømme, som gaar til samme side i de to linjer, mødes da i kredsløbet, og da de er omtrent lige sterke, ophæver de hinanden.

I de 15—20 aar, som er forløbne, siden telefonen blev opfundet, har den faaet en kolossal udbredelse. Den har dog ikke fortrængt telegrafene, hvad der af flere aarsager heller ikke synes at være udsigt til. Telefonen er ikke saa paalidelig som telegrafene, først fordi det i telefonen er let at høre fejl, medens et telegrafapparat opskriver meddelelsen, saa feiltagelse vanskelig kan finde sted; dernæst fordi telefonapparaterne har let for at komme i uorden. Endvidere kan telegrafering foregaa hurtigere end telefonering, hvorfor telegraferne maa faa fortrinnet paa linjer, som er meget benyttede. Og endelig er det forbundet med vanskelighed at telefonere paa lange afstande; i lange undervandskabler er det endog umuligt.

23. Elektrisk lys. Naar den elektriske strøm gaar gennem en ledning, bliver denne i almindelighed opvarmet. Man merker det let, naar ledningen er tynd, og strømmen ikke er for svag. En tynd jerntraad kan ved strømmen fra nogle

Bunsens elementer opvarmes saa sterkt, at den smelter. Jo daarligere ledningen leder elektriciteten, desto mere opvarmes den. Dog nytter det ikke at forsøge med en lang traad af daarlig ledende materiale; thi derved kan strømstyrken svækkes saa meget, at der af den grund ikke bliver nogen merkbar opvarmning.

Man benytter sig af denne opvarmning til at frembringe elektrisk lys. Der er to slags: Elektrisk *glødelys* og elektrisk *buelys*.

Glødelyset frembringes ved, at den elektriske strøm ledes gennem en kultraad, som derved bliver glødende. For at kullet ikke skal brænde op, maa traaden fæstes inde i en liden glasbeholder, som derefter pumpes lufttom. Strømmen ledes til og fra kultraaden gennem to platinatraade, som er indsmeltede i glasset. En liden glødelampe kan bringes til at lyse med nogle Bunsens elementer, men behøver sterkere strøm for at lyse godt. Kultraaden fremstilles af bomulds-, bambus- eller andre plantetrevler, som forkulles. Metaller kan ikke bruges, da de alle, endog platina, smelter. Skjønt kultraaden ikke brænder op, bliver den dog tilslut daarlig, saa den brister. Lampen maa da kasseres og erstattes med en ny. Man regner, at en lampe kan brænde 1000 timer. De traade, som skal indsmeltes i glasset, maa være af platina, fordi platina er det eneste af metallerne, som ved opvarmning udvider sig omtrent lig med glas. Lampen sprækker derfor, om der bruges noget andet metal. Glødelysets fordel fremfor andet lys ligger

fornemmelig i, at man er fri for alle forbrændingsprodukter, samt at lyset heder meget mindre end andet lys.

Lysstyrken af en lampe maales ved sammenligning med det saakaldte normallys. Dette vælges paa forskellige maader. Hos os menes sedvanlig det engelske normallys, som er et spermacetyllys, fabrikeret efter visse regler. Dets diameter er ca. 21 millimeter og flammehøiden 45 millimeter. Lysstyrken er forskjellig efter lampernes størrelse. Ved en normallampe forstaaes en lampe paa 16 lys. Den lyser omtrent som et gasblus, af dem, der almindelig bruges til gadebelysning. Ellers fremstilles der glødelamper paa nedtil 2 og op til 500 normallys. Men de almindeligst brugelige har en lysstyrke fra 10 til 50 normallys.

Buelyset. Naar en sterk elektrisk strøm ledes gennem to kulstænger, som berører hinanden, begynder de at gløde paa berøringsstedet. Fjernes de saa nogle millimeter fra hinanden, bliver lyset meget kraftigt, og ikke blot kullene gløder, men ogsaa luften mellem dem. Dog lyser kullene langt mere end luften. Ligger kulstængerne vandret, trækkes den lysende luftmasse af luftstrømmen opad i en bue, deraf har lyset faaet sit navn. Den kulstang, hvorigennem strømmen kommer ind, lyser 3—4 gange saa godt som den anden. Til gjengjæld brænder den dobbelt saa hurtig op og udhules, medens den anden tilspidises. For at lyset skal holde sig, maa stængerne flyttes mod hinanden, eftersom de brænder op. I buelamperne besørages

dette ved en mekanisme, som virker automatisk og altid holder spidserne i den rigtige afstand fra hinanden. Lamperne behøver da ikke noget tilsyn, saalænge kulstængerne ikke er opbrugte. Kulstængerne gjøres af et slags koks, som særskilt tilvirktes til dette øiemed.

Temperaturen i lysbuen overstiger alle temperaturer, man ellers kjender. Man har ikke kunnet maale den paa nogen maade. Indirekte er det beregnet, at den skulde være omkring 3500° C. Det har nylig lykkedes ved hjælp af lysbuens hede at smelte stoffe, som ikke har kunnet smeltes ved de høieste temperaturer, man kan opnaa ved almindelige flammer.

Buelamperne omgives med en kuppel af mat glas, der fordeler lyset, saa det ikke bliver saa skarpt. De leverer meget kraftigere lys end glødelamper, men de kræver ogsaa sterkere strøm. Vil man bruge Bunsens elementer, skal der mindst 25 til for at faa en ordentlig lysbue. Med en strømstyrke paa 3 ampère lyser buelampen omtrent som 300 normaltlys, med 20 ampère lyser den som 3000; derfor lønner de store lamper sig bedre end de smaa. Med samme strømstyrke giver buelamper langt mere lys end glødelamper og er derfor mere økonomiske end disse. Men da man ikke kan gjøre buelamper med mindre lysstyrke end 100 normaltlys, egner de sig ikke til at bruges der, hvor man ønsker smaa lamper med mildere lys; da gjør glødelamper bedre tjeneste. Derimod er buelamper bedre end alle andre belysningsmidler,

hvor man skal oplyse store lokaler, gader, offentlige pladse, til fyrtaarne og lignende.

Skal det lønne sig at bruge elektrisk lys istedetfor gas- eller oljelamper, maa strømmen frembringes ikke ved galvaniske elementer, hvilket falder meget kostbart og besværligt, men ved dynamo-maskiner. Disse opstilles i en centralstation og drives ved en dampmaskine, gasmotor eller ved vandkraft, og fra dynamoen gaar der ledninger til lamperne, som kan være fordelte paa mange steder og i stor afstand fra dynamoen.

Ved *elektricitetsverket i Kristiania* frembringes strømmen af 6 shunt-dynamoer, der drives ved 4 dampmaskiner. De to største, hver paa 450 hestekræfter, driver en dynamo hver. De to andre dampmaskiner, der er paa 200 og 100 hestekræfter, driver hver to dynamoer. Men dynamoerne er aldrig igang alle paa én gang. En af de største staar altid som reserve. Forøvrig sættes der igang flere eller færre, eftersom det trænges. Polspændingen holdes altid ved 240 volt, men strømstyrken afpasses efter behovet. Jo flere lamper der tændes, desto mere strøm trænges der. Om alle maskiner var i brug samtidig, vilde dampmaskinernes 1200 hestekræfter i dynamoerne levere en strøm paa 2830 ampère. Men maskinerne kan uden vanskelighed anstreges mere, saa man kunde faa op til 3900 ampère. Fra verket føres strømmen ud i byen gennem underjordiske kabler; i de sværeste har kobberet en diameter af 21,3 millimeter. For tiden er tilsluttet lamper, hvis strømforbrug svarer til 11600

normallamper, desuden er tilsluttet en del motorer (side 60), hvis strømforbrug svarer til 1440 lamper. Enkelte gader og pladse oplyses med buelamper, hvoraf de største (i Karl Johans gade) paa 2000 normallys. Ellers bruges i private og offentlige bygninger dels glødelamper paa 10 til 50 normallys, dels mindre buelamper, de mindste paa 150 normallys. Til regulering af strømmen er opsat et batteri, bestaaende af 92 større og 132 mindre akkumulatorer. Naar dynamoerne leverer mere strøm, end der bruges, anvendes overskuddet til at lade akkumulatorerne, som igjen kommer dynamoerne til hjælp, naar disse ikke kan levere saa meget strøm, som der behøves. Den sidste halvdel af natten, fra kl. $1\frac{1}{2}$ samt midt paa dagen, staar dynamoerne stille, og al strøm leveres da af akkumulatorerne. Naar disse er ladede, formaar de at give en strøm paa 593 ampère i $3\frac{1}{3}$ time.

24. **Joules lov.** Englænderen *Joule* har maalt den varmemængde, som udvikles, naar strømmen gaar gjennem en ledning. Varmemængder maales i kalorier (kal.). En kalori er den mængde varme, som behøves for at opvarme 1 gram vand 1° C. Til at maale varmemængder bruges et kalorimeter; dette er intet andet end en liden messingbeholder med en afveiet mængde vand og et fint termometer til aflæsning af temperaturen. Indeholder kalorimeteret f. eks. 200 gram vand, og det paa en eller anden maade opvarmes, f. eks. 3° C., saa har vandet modtaget en varmemængde $= 200 \text{ kal.} \times 3 = 600 \text{ kal.}$

Joule brugte en lang, tynd ledningstraad, som han rullede sammen og lagde ned i vandet i kalorimeteret. Saa lod han en strøm af jevn styrke gaa gennem traaden en viss tid og aflæste, hvor meget temperaturen steg. Deraf beregnede han, hvor meget varme kalorimeteret havde modtaget for hvert sekund. Endvidere maalte han strømstyrken og ledningens modstand. Han fandt da, at *den mængde varme, som strømmen udvikler, er proportional med ledningens modstand og med anden potens af strømstyrken*. Er strømstyrken i ampère og modstanden r ohm, saa udvikles for hvert sekund en varmemængde $0,24 ri^2$ kal. I t sekunder bliver varmemængden t gange saa stor.

Dette stemmer med, hvad vi før har seet. Det var lettere at gjøre en jerntraad glødende ved en elektrisk strøm end en kobbertraad, fordi jern leder daarligere end kobber, d. v. s. modstanden er større. Traaden maatte ogsaa være tynd, thi jo tyndere traad, desto større modstand. Vi forstaar nu ogsaa, at kultraaden i glødelampen kan gløde, medens den øvrige ledning ikke opvarmes merkbart, fordi kul leder meget daarlig i forhold til metallerne.

25. Strømmens arbejde. I varmelæren faar man vide, at der er en bestemt sammenhæng mellem varme og arbejde. Varme kan frembringes ved arbejde, f. eks. ved at gnide to træstykker mod hinanden. Paa den anden side er dampmaskinen et storartet eksempel paa, at varmen kan benyttes til at udføre arbejde.

Arbeidet maales i kilogrammeter (kgm.). 1 kgm.

er et saa stort arbeide, som der behøves for at løfte 1 kilogram 1 meter ret op. Joule har fundet, at naar varme skal frembringes ved arbeide, saa koster hver kalori, som udvikles, et arbeide $= 0,424$ kgm.

Naar strømmen opvarmer ledningen, udfører den altsaa et arbeide, hvis størrelse vi kan beregne saaledes: I 1 sekund udvikles $0,24 ri^2$ kal.; dette koster et arbeide $= 0,24 ri^2 \times 0,424$ kgm.

$$= 0,10176 ri^2 \text{ kgm.}$$

eller med et rundt tal $\frac{1}{10} ri^2$ kgm. Produktet ri er lig spændingsforskjellen mellem ledningens to endepunkter udtrykt i volt; kaldes denne V , kan vi sige, at det arbeide, som strømmen udfører ved at opvarme ledningen, er $\frac{1}{10} Vi$ kgm.

At strømmens arbeide er $\frac{1}{10} Vi$ gjælder imidlertid bestandig, ogsaa naar det bestaar i andet end at udvikle varme. Uden at ville indlade os paa beviset herfor, skal vi alene nævne et par eksempler. Dekomponerer strømmen vand, udfører den et kemisk arbeide, og vi saa før (side 22), at polarisationen da altid er mindst 1,5 volt, d. v. s. spændingsforskjellen mellem elektroderne er mindst 1,5 volt. Dens arbeide i vandet er da $\frac{1}{10} \times$ denne spændingsforskjel $\times$ strømstyrken. Men kun en del af dette arbeide kommer frem som varme. Resten er kemisk arbeide. Vi skal siden forklare, hvordan strømmen kan drive maskiner. Paa veien gennem maskinen synker strømmens spænding, og strømmens arbeide er atter $\frac{1}{10} \times$ dette spændingsfald $\times$ strømstyrken. En del af dette arbeide vil

altid medgaa til at frembringe varme i ledningen, men resten kan man disponere over, som man vil, idet man lader maskinen udføre et eller andet arbejde, som f. eks. at pumpe vand e. l.

Den udviklede formel spiller en overordentlig vigtig rolle i alle elektriske beregninger. Vi skal give et par eksempler.

Modstanden i kultraaden i glødelamper er høist forskjellig i de forskjellige lamper. Desuden er den, naar traaden gløder, kun omtrent halvparten saa stor, som naar den er kold. Sæt at vi har en glødelampe, hvis kultraad har en modstand af 200 ohm, naar lampen brænder, og at strømstyrken er 0,5 ampère. Hertil behøves for hvert sekund et arbejde $= \frac{1}{10} \times 200 \times 0,5^2 = \frac{1}{10} \times 200 \times 0,25 = 5$ kgm. Sæt nu, at strømmen frembringes ved en dynamo, som drives af en dampmaskine. De 5 kgm. maa da leveres af denne. Man siger, at en maskine arbejder med 1 hests kraft, naar den udfører et arbejde $= 75$ kgm. i hvert sekund. Vi vil for simpelhedsskyld antage, at alt dampmaskinens arbejde kommer til nytte i lamperne; i virkeligheden finder det aldrig sted, da en stor del gaar tabt paa grund af friktion i dynamoen, til at udvikle varme i den øvrige ledning o. s. v. Eksisterede ikke disse tab, vilde man med en maskine paa 1 hests kraft kunne faa 15 af de omtalte lamper til at lyse.

I buelamper er spændingsforskjellen mellem kulstykkerne gjerne mellem 40 og 50 volt. Stort mindre end 40 volt kan den ikke være, om lampen

skal lyse. Aarsagen hertil er, at der i lysbuen optræder en art polarisation eller elektromotorisk modkraft af denne størrelse. I hvert fald kan det arbejde, som medgaar i lampen, beregnes af formelen $\frac{1}{10} Vi$. Sættes $V = 50$ volt, og lyser lampen ved 15 ampère, udføres et arbejde $= \frac{1}{10} Vi = \frac{1}{10} \times 50 \times 15 = 75$ kgm. pr. sekund. Under samme forudsætning som før, at alt dampmaskinens arbejde skulde komme til nytte i lampen, skulde der til lampen behøves en dampmaskine (eller anden drivkraft) paa 1 hests kraft.

Lad os benytte disse tal til at beregne, hvad der er fordelagtigst, glødelamper eller buelamper. Den omtalte glødelampe lyser som 14 normallys. Med 1 hestekraft faaes 15 lamper, altsaa i alt $15 \times 14 = 210$ normallys. Den omtalte buelampe lyser som 2000 normallys og kræver ogsaa 1 hestekraft. Med samme arbejde faar man altsaa med buelamper henved 10 gange saa meget lys som med glødelamper.

26. Elektromotorer. Ved en motor forstaaes en maskine, som leverer drivkraft. En dampmaskine, en turbine, et møllehjul er motorer, hvor damp eller vand frembringer bevægelse. I en elektromotor frembringer den elektriske strøm bevægelse. En dynamo kan uden videre bruges som motor. Sendes en elektrisk strøm i pilenes retning gennem ledningstraaden paa Grammes dynamo (fig. 21), bliver jernet saavel i ankeret som i elektromagneten magnetisk. Elektromagneten faar nordpol tilhøre, sydpol tilvenstre. I ankerets vin-

dingen gaar strømmen paa begge sider nedenfra opad, saa jernringen faar en nordpol øverst og en sydpol nederst. Følgen heraf er, at ankeret dreier sig modsat de pile, som er tegnede udenom det.

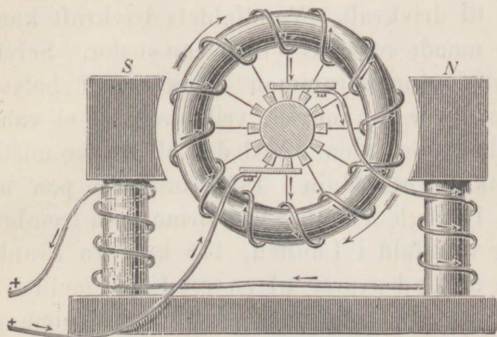


Fig. 21.

Men om ankeret dreier sig, vedbliver strømmen at gaa nedenfra opad paa begge sider, saa ringen altid vil have sine poler øverst og nederst og derfor altid dreies til samme side.

27. Kraftoverføring ved elektricitet. Ved hjælp af en elektromotor kan altsaa den elektriske strøm bruges som drivkraft for maskiner. Strømmen kan skaffes f. eks. ved galvaniske elementer. Men disse er saa dyre at vedligeholde, at det paa ingen maade kan lønne sig at benytte dem til at frembringe drivkraft. Man faar mangfoldige gange billigere drivkraft ved en damp- eller gasmaskine. Men elektromotorer har i den nyere tid faaet adskillig anvendelse ved flytning af drivkraft fra et

sted til et andet. Et vandfald kan f. eks. bruges til at drive en turbine eller et vandhjul, som igjen driver en dynamo. Strømmen fra denne kan ledes til en elektromotor, som er opstillet meget langt fra vandfaldet, og hvor altsaa strømmen igjen omgjøres til drivkraft. Vandfaldets drivkraft kan paa denne maade overføres til fjerne steder. Selvfølgelig kan ogsaa strømmen benyttes til belysning, hvorved byer kan oplyses ved hjælp af et vandfald et steds i nærheden. Ved den elektriske udstilling i Frankfurt am Main i 1891 brændte paa udstillingen 1000 glødelamper ved strøm, som frembragtes ved et vandfald i Lauffen, 175 km. fra Frankfurt. Denne afstand svarer til en ret linje mellem Kristiania og Haukelidsæter vestligst i Telemarken. Desuden benyttedes en del af strømmen til at drive en pumpe, som frembragte et 10 meter høit vandfald paa udstillingen.

Kraftoverføring ved elektricitet er dog forbundet med flere vanskeligheder. Ledningen opvarmes, og denne opvarmning sker paa bekostning af strømmen, hvorfor altid en del af drivkraften gaar tabt. Varmeudviklingen i ledningen er $0,24 ri^2$ kal. i sekundet. Heraf sees, at man for saa meget som muligt at undgaa tab bør sørge for, at saavel modstanden r som strømstyrken i er saa liden som mulig. Hvad først modstanden angaar, saa fremgaar det af, hvad vi saa side 14, at modstanden vokser i samme forhold, som længden forøges, og tversnittet formindskes. Tabet er derfor desto større, jo større afstande kraften skal overføres paa.

Rigtignok kunde man øge tversnittet i samme forhold, men traaden bliver da uforholdsmæssig dyr, og skal anlægget overhovedet lønne sig, maa man kunne hjælpe sig med tynd ledning. Man foretrækker kobber til ledning fremfor noget andet metal, da det leder bedst. Hvad dernæst strømstyrken angaar kan den godt være meget liden, uden at derfor det arbejde, som overføres ved strømmen, er lidet. Det arbejde, som dynamoen leverer, og som den i form af elektrisk strøm sender gennem ledningen til den anden station, er nemlig $\frac{1}{10} Vi$, $\varnothing: \frac{1}{10} \times$ polspænding $\times$ strømstyrke; skal der nu overføres et vist arbejde pr. sekund, kan dette ske med saa liden strømstyrke, det skal være, naar blot polspændingen er tilstrækkelig høi. Ved kraftoverføring paa lang afstand gives derfor strømmen høi spænding og liden strømstyrke. Selv om da modstanden i ledningen er stor, bliver tabet alligevel lidet, fordi strømstyrken er liden.

Men saadanne høispændte strømme er til mange slags brug uheldige, hvorfor de ofte paa det sted, hvor de skal benyttes, omdannes («transformeres») til strømme med lav spænding og tilsvarende høi strømstyrke. Saaledes lader vekselstrømme sig transformere ved et apparat (transformator), som i princippet ikke er andet end en induktionsrulle, saadan som den bruges i induktionsapparatet, kun at hovedlederen har mange vindinger af fin traad og bilederen faa vindinger af tyk. Mikrofonsens induktionsrulle (side 50) er en transformator, der transformerer lavspændt strøm til høispændt. De

høispændte strømme har ellers den ulempe, at de kræver meget omhyggelig isolation, samt at de kan give anledning til ulykkestilfælde, om nogen berører den blanke ledning. De kan da lamme og endog dræbe. Ved den omtalte kraftoverføring mellem Lauffen og Frankfurt brugtes vekselstrømme. Maskinerne i Lauffen gav en strøm paa indtil 50 volt og 1400 ampère, som transformeredes til strøm paa indtil 15000 volt og 4,3 ampère. Denne lededes gennem 3 kobbertraade* med 4 millimeters diameter til Frankfurt, hvor den atter transformeredes og denne gang til strøm paa indtil 100 volt og 700 ampère, hvorved man fik en strøm, som var skikket for lamperne og motoren.

Ved kraftoverføring gaar altsaa en del arbeide tabt. Den del, som kommer til nytte, angives i pct., og dette tal kaldes *nyttevirkningen*. En dynamo kan omsætte indtil 90 pct. eller endog lidt mere af drivkraften i elektrisk strøm, en elektromotor indtil omtrent 90 pct. af strømmen (o: omtrent 81 pct. af den oprindelige drivkraft) i arbeide. Ved kraftoverføringen mellem Frankfurt og Lauffen var nyttevirkningen omtrent 74 pct.

28. Elektriske jernbaner. Vil man drive vognene paa jernbaner eller sporveie med elektromotorer, anbringes disse gjerne under vognen. Strømmen, som skal drive motoren, kan skaffes paa to maader. Man kan bruge akkumulatorer, som

* Ledningen dannedes af tre traade, ikke én, fordi der brugtes en egen art, saakaldt *trefaset* vekselstrøm.

opstilles i vognene og lades ved en dynamo paa visse stationer. Eller strømmen kan føres til vognene fra én eller flere stationer gennem en ledning, der gaar langs hele jernbanelinjen. Akkumulatorer har den ulempe, at de er meget tunge, saa vognen bare i dem faar et helt læs. Derfor bruges næsten altid ledninger.

Vi skal, som eksempel paa elektrisk kraftoverføring, udførligere beskrive den nylig fuldførte *elektriske sporvei i Kristiania*. Den forbinder byens centrum med dens vestkant og har en hovedlinje mellem Jernbanetorvet og Majorstuen af længde 4,2 kilometer samt en 1,6 kilometer lang sidelinje, som udgaar ved Dronningparken omtrent midt paa hovedlinjen og følger Drammensveien til lidt udenfor Skarpsno. Ved Majorstuen ligger kraftstationen. Her er opstillet 3 dynamoer, der hver drives af en dampmaskine paa 100 hestes kraft. Der benyttes aldrig mere end to af dem. Den tredje staar som reserve. Ankerne gjør 540 omdreininger i minutet, og hver dynamo kan ved 500 volt spænding levere en strøm paa 120 ampère. Da dynamoerne frembringer strømmen i særskilte ledninger, som siden forener sig til én, kan strømstyrken i denne bringes op i 240 ampère, medens spændingen naturligvis ikke bliver mere end 500 volt.

Strømmen ledes fra kraftstationen gennem en blank traad af siliciumbronce (bronce med en liden tilsætning af silicium, hvorved traadens styrke forøges overordentlig meget). Traaden er 7 millimeter tyk og er ophængt isoleret ret over sporet paa 6 meter

høie jernstolper. Fra kraftstationen udgaar desuden to ledninger, ophængte ved siden af hovedledningen, indtil Dronningparken, hvor de er forbundne, den ene med Drammensveiledningen, den anden med ledningen til Jernbanetorvet. Disse to ledninger «fødes» paa denne maade gennem hver sin særskilte ledning fra kraftstationen, hvorved tabet bliver meget mindre, end om hele ledningssystemet skulde faa strømmen gennem en enkelt traad.

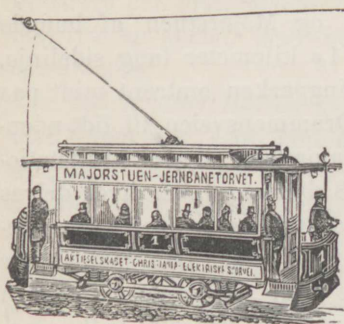


Fig. 22.

Vognen (fig. 22) har i hver ende en platform; paa den forreste har vognstyrreren sin plads. Under vognen, som rummer ca. 30 personer, findes 2 elektromotorer, som ved tandhjulsudvekslinger staar i forbindelse med vognhjulene.

Motorakslerne gaar nemlig for hurtig, til at vognhjulene kan fæstes direkte paa dem. Vognhjulene gaar paa svære jernskinner, som er indlagte i gadens brolægning. Paa taget af vognen er fæstet en jernstang paa skraa bagover. Den har øverst en trinse, der ruller under ledningen. Strømmen gaar fra kraftstationen gennem ledningen, trinsen, stangen og videre gennem en isoleret ledning, der er skjult bag lister inde i vognen, til

et reguleringsapparat paa forreste platform, fra dette til motorerne og endelig gennem hjulene og skinnerne tilbage til kraftstationen. Ved reguleringsapparatet kan vognstyrreren aabne og slutte, mindske og øge den strøm, som tilføres motorerne, alt efter som det trænges. Vognen er endvidere forsynet med en almindelig bremse, som bruges, naar vognen skal stanses, og naar den gaar udover bakke. Skal vognen gaa den modsatte vei, vendes stangen paa taget helt om, det benyttede reguleringsapparat udskydes af ledningen, og apparatet paa den anden platform tages i brug, hvorved strømmen sendes gennem ankeret i modsat retning. De to motorer i vognen kan tilsammen give indtil 60 hestes kraft. Men det hænder aldrig, at alle vogne paa linjen trænger hele denne kraft paa én gang. Motorerne formaa at trække vognen endog i temmelig sterke stigninger (den sterkeste er paa 1:15). Ja, almindelig kobles der til endnu en vogn, som ingen motorer har. — Vognene oplyses om aftenen ved 5 glødelamper, som er indskudte i en sideledning, der er uafhængig af reguleringsapparatet, saa lamperne lyser, selv om vognen staar stille. Lamperne er indskudte efter hverandre i ledningen, saa spændingen i hver lampe bliver henved 100 volt.

Motoren kan ogsaa bruges til at stanse vognen, altsaa som bremse. Ved hjælp af reguleringsapparatet afbrydes da ledningen fra ankeret til jorden, hvorved altsaa ingen strøm fra hovedledningen kan gaa gennem motorerne. Istedet forbindes den ledning, som kommer fra ankeret, med

den ledning, som gaar ind i elektromagneternes vindinger, saaledes at ledningen inde i vognen danner et selvstændigt sluttet kredsløb, hvori motoren er indskudt. Er nu vognen i fart, saa sætter vognhjulene ankeret i motoren i omdreining, hvorved denne kommer til at arbejde som dynamo og altsaa frembringe strøm i kredsløbet. Men denne strøm vil, som vi saa side 40, hemme ankerets bevægelse eller med andre ord bremse. Denne bremse er yderst virksom, saa vognen kan stanses paa nogle faa skridt. Men den anstrenger ledningerne noksaa meget, idet strømmen, som udvikles af motoren, bliver meget sterk. Denne «elektriske» bremse anvendes derfor kun i nødtilfælde.

Skulde en telefon- eller telegraftraad tilfældigvis falde ned paa den blanke luftledning, vil strømmen gaa gjennem vedkommende telefon- eller telegrafapparat ned i jorden, hvorved opvarmningen i traaden kan blive saa sterk, at isolationstoffet i apparatet fatter ild. For at forebygge den fare, som ligger heri, er spårveiledningen beklædt med et isolerende stof (bambusrør) paa oversiden, eller der er udspændt isolerede traade over den overalt der, hvor den krydser telefon- eller telegraflædninger. Til større sikkerhed er der endvidere i ledningen til vedkommende telefon- eller telegrafapparat indloddet en liden traad af en letsmeltelig metallegering (Roses metal, legering af tin, bly og vismuth, som allerede smelter ved temperaturen af kogende vand). Bliver strømmen i ledningen sterk, smelter denne traad, hvorved en stift falder ned

paa en ledning, der fører til jorden, saa strømmen tager denne vei istedetfor at gaa ind i apparatet. Dette sker hurtigere, end det kan beskrives, — naar strømmen er sterk, i et par sekunder.

B. Statisk elektricitet.

29. Naar glas eller lak gnides med en tør uldklud, faar de den egenskab at tiltrække smaa, lette gjenstande, som papirstumper. Bedst vises tiltrækningen ved smaa kugler af hyldemary, som gjerne ophænges i en fin silketraad (elektrisk pendel). Man siger, at glasset ved gnidningen bliver *elektrisk*, og det kan vises paa flere maader, at den elektricitet, vi her har med at gjøre, staar i nær sammenhæng med den, vi har lært at kjende som elektrisk strøm, saaledes i dens forhold ligeoverfor ledere og ikkeledere. Vi kan ikke gjøre en leder elektrisk ved gnidning, saalænge vi holder den i haanden. Den maa fæstes paa et haandtag af et isolerende stof. Stryger man over glasset med haanden eller et ledende stof, mister det sin elektricitet og tiltrækker ikke længere kuglerne. Endvidere bliver ikkeledere elektriske kun der, hvor de er gnedne, medens paa en leder elektriciteten udbreder sig over det hele.

Isoleres den uldklud, hvormed vi gnider glas-
set, bliver ogsaa den elektrisk. Det viser sig i det
hele, at naar to legemer gnedes mod hinanden, ud-
vikles der altid elektricitet paa begge. Er de ikke-
ledere, eller er de ledere, som er fæstede paa et
isolerende skaft, forbliver elektriciteten paa lege-
merne, ellers ikke. Den kan ikke udbrede sig til
luften, fordi denne ikke leder. Vil man undersøge,
om et legeme er leder eller ikkeleder for elek-
tricitet, gnider man det med uld og holder det hen
til en hyldemarvskugle. Saafremt denne tiltræk-
kes, viser det, at den udviklede elektricitet er for-
bleven paa legemet, som altsaa er en ikkeleder.
Denne prøve er langt simplere at udføre end prø-
ven ved strøm, som omtaltes side 3. En isoleret
leder kan ogsaa gøres elektrisk ved at bérøres
med et elektrisk legeme. Elektriciteten gaar da
over fra dette og udbreder sig over hele lederen.

30. Positiv og negativ elektricitet. Vi
gnider nu en lakstang med uld og hænger den op
i en traad. Nærmer vi en anden gnedet lakstang,
ser vi, at de to stænger frastøder hinanden. Paa
samme maade vises, at en gnedet glasstang fra-
stødes af en anden gnedet glasstang. Derimod
tiltrækkes lakstangen af glasstangen og omvendt.
Andre elektriske legemer vil enten, ligesom lak, fra-
støde lakstangen og tiltrække glasstangen, eller de
vil, ligesom glas, tiltrække lakstangen og frastøde
glasstangen. Der er altsaa to slags elektricitet:
Glaselektricitet, som man har kaldt *positiv*, og lak-
elektricitet, som man har kaldt *negativ*, og vi faar

den regel, at *ensbenævnte elektriciteter frastøder, uensbenævnte tiltrækker hinanden*. Det viser sig, at naar to legemer gnides mod hinanden, bliver altid det ene positivt, det andet negativt elektrisk. Saaledes er uldkluden negativ elektrisk, naar den er gnedet mod glas, positiv, naar den er gnedet mod lak.

Naar en hyldemarvskugle er tiltrukken af glas og har berørt glasset, stødes den siden væk, men tiltrækkes af lak. Dette forklarer man saa, at en del positiv elektricitet ved berøringen gaar over fra glasset til kuglen; denne faar da samme sort elektricitet som glasset, hvorfor den bortstødes. Men da lak har modsat elektricitet, tiltrækkes den af dette.

Nærmes en gneden glasstang til en leder, som er fæstet paa et isolerende stativ uden dog at berøre lederen, kan man med et hyldemarvsspendel paavise, at lederen bliver negativ elektrisk paa den side, som vender mod glasstangen, positiv paa den anden side. Fjernes glasstangen, forsvinder ogsaa elektriciteten.

31. Elektriske fluider. Man kan paa en enkel maade forklare disse foreteelser ved at antage, at alle legemer indeholder en blanding af et positivt elektrisk og et negativt elektrisk fluidum. Disse fluider ligner vædske og luftarter deri, at de kan strømme; i gode ledere strømmer de overmaade let, i isolatorer derimod yderst langsomt. Det kan ikke merkes, at de har nogen vegt. De to fluider tiltrækker hinanden, men hvert af dem

frastøder fluidum af samme art. Er de blandede ligt i et legeme, ophæver de hinandens virkninger; man siger, de danner en neutral blanding. Guides to legemer mod hinanden, samler der sig positivt fluidum paa det ene legeme, negativt paa det andet. Naar et legeme saaledes faar et overskud af det ene fluidum, viser det sig elektrisk, og jo større overskuddet er, desto større siger man, legemets *ladning* af elektricitet er. Naar en leder bliver elektrisk, ved at et elektrisk legeme kommer i nærheden, forklares det ved, at elektriciteten trækker det modsatte fluidum til sig og støder det ensbenævnte bort, saa de to fluider fordeles paa hvert sit strøg af lederen. Berører man lederen med haanden et øieblik, medens det elektriske legeme er i nærheden, jages en del af den ensbenævnte elektricitet ned i jorden, og lederen har da et overskud af det ene fluidum. Dette overskud beholder det, naar atter det elektriske legeme fjernes. Man siger da, at lederen er gjort elektrisk ved *fordeling*. Berører man et elektrisk legeme med haanden, mister legemet sin elektricitet, det *udlades*. Man maa da tænke sig, at enten overskuddet gaar ned i jorden, eller at der fra jorden tiltrækkes saa meget modsat elektricitet, at blandingen af de to fluider bliver neutral.

Med fine apparater kan det vises, at polerne i et almindeligt galvanisk element begge er ladede med elektricitet; tydeligere viser det sig paa et batteri, og er dette stort nok, kan det vises med et almindeligt elektrisk pendel. Den ene pol

(kobberet) er positiv, den anden (zinken) negativ elektrisk. Den elektricitet, som iagttages paa polerne af det galvaniske element, har aldeles de samme egenskaber som den, der udvikles ved gnidning. Forbindes polerne med en ledning, maa vi tænke os, at der fra den positive pol strømmer positiv og fra den negative pol negativ elektricitet ud i ledningen, hvor de forener sig med hinanden. Det er fra denne forestilling navnet *elektrisk strøm* er hentet. Egentlig er der to strømme, en positiv og en negativ, men man pleier at tale kun om én strøm, og ved strømmens retning forstaaes altid retningen af den positive strøm. Da strømmen vedvarer, slutter vi, at der i elementet stadig udvikles ny elektricitet, eftersom den strømmer væk fra polerne. Sammenlignes et legeme, som er ladet med elektricitet, f. eks. en gneden glasstang, med en ledning, hvori der gaar en elektrisk strøm, viser de høist forskellige egenskaber. Den elektriske strøm gjør jern magnetisk, bringer en magnetnaal til at gjøre udslag, øver kemiske virkninger o. s. v. Et legeme, som er ladet med elektricitet, viser derimod ingen af disse virkninger, men kan tiltrække og frastøde andre legemer. Efter den forestilling, vi har dannet os om elektriciteten som to fluider, maa denne forskjel kun bero paa, at elektriciteten i det ene tilfælde er i ro, i det andet i bevægelse. Elektricitet i ro kaldes *statisk elektricitet* i modsætning til *elektrisk strøm*.

32. Elektricermaskiner. Til at frembringe større mængder statisk elektricitet bruges elektri-

cermaskiner, der konstrueres paa forskjellige maa-der. I de simpleste frembringes elektriciteten ved, at en glasskive, som dreies rundt med en sveiv, gnides mellem to læderpuder. Maskinen, som vi forøvrigt ikke vil indlade os paa at beskrive nærmere, er indrettet saa, at der samles positiv elektricitet paa den ene og negativ paa den anden af to isolerede ledere (*konduktorer*). Ladningen paa disse bliver meget stor, saa de egenskaber ved den statiske elektricitet, som vi har omtalt i det foregaaende, saasom tiltrækning og frastødning, fremtræder overordentlig tydelig. Nærmes haanden til en ladet konduktor, springer en elektrisk gnist over med et smeld, og samtidig føles en stikkende smerte, ledsaget af rykninger i haandens muskler. Korte gni-ster er rette; er de nogle centimeter lange, har de siksakform, ligesom lynet. Er konduktoren forsynet med en fin spids, kan den ikke holde paa sin ladning, idet luften foran spidsen ikke formaar at isolere. Elektriciteten gaar da gennem denne ud i luften. I mørket ser man over spidsen en lysning, som har form af en dusk, saafremt den elektricitet, som strømmer ud af spidsen, er positiv, men kun viser sig som en lys prik, saafremt elektriciteten er negativ. Her fremtræder altsaa atter en haandgribelig forskjel mellem positiv og negativ elektricitet. Om en sterkt ladet konduktor udlades gennem en traad, hvori der er indskudt et følsomt galvanometer, gjør naalen i dette et udslag. Dette bekræfter, hvad der udvikledes side 73, at

den elektriske strøm maa opfattes som bevægelse af det, vi har kaldt elektriske fluider.

33. Torden og lynild er elektriske foreteelser. Det vidste man ikke før i forrige aarhundrede, efterat amerikaneren *Franklin* havde sendt en drage op mod en tordensky. Han merkede intet, før der kom en regnskur, som gjorde traaden vaad og dermed ledende. Naar nu han nærmede haanden til traaden, sprang en gnist over, og traaden viste ellers alle tegn paa at være ladet med elektricitet.

Lynet opstaar ved, at der springer en gnist enten mellem to skyer, som er ladede med modsat elektricitet, eller mellem en sky og jorden. I sidste tilfælde siger man, at *lynet slaar ned*, og dette nedslag kan fremkalde frygtelige virkninger: Daarlige ledere, som træ, splintres, metaller smeltes og fordamper, sandkorn smelter sammen i klumper, dyr og mennesker lammes eller dræbes. Tordenen er det smeld, som ledsager gnisten, og som giver et rullende ekko mellem skyerne.

Franklin opfandt lynaflederen, hvorved lynnedslag kan forebygges. Den bestaar af en stang, som ender i en fin platinaspids og som opsættes paa taget. Fra stangen gaar metalledning i forgreninger henover taget og væggene og forenes i en ledning, der ender i en kobberplade saa dybt nede i jorden, at der altid er fugtigt. Kommer nu en elektrisk sky over huset, trækkes modsat elektricitet op fra jorden gennem ledningen og spidsen, saa skyens elektricitet langsomt neutraliseres, uden at der dannes gnist.

Telegraf- og telefonledninger forsynes med lynafledere af særegen form. Hensigten med dem er, i tilfælde af lynnedslag, at lede elektriciteten til jorden, uden at den gaar gennem apparaterne. I ledningen indskydes en metallisk plade med spidser omtrent som en kam, og ligeoverfor denne anbringes en lignende plade, saaledes at spidserne af de to plader vender lige mod hverandre uden at berøre. Fra denne sidste plade fører en ledning til jorden. Pladerne staar netop saa langt fra hinanden, at den lavspændte strøm i ledningen ikke kan springe over mellem spidserne, medens luftens elektricitet paa grund af sin høie spænding springer over og gaar i jorden uden først at tage veien gennem apparaterne.



