

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

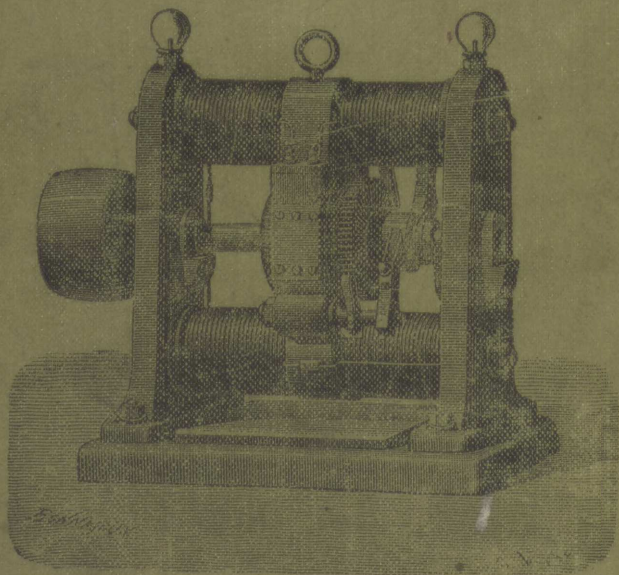
Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

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*

Elektricitet
537. Th. og
Magnetisme.



Af
Silvanus P. Thompson.

DANMARKS TEKNISKE VIDENCENTER & BIBLIOTEK

KUN

til brug på

LÆSESAL

537 Elektricitet
Elektricitet og Magnetisme
1893

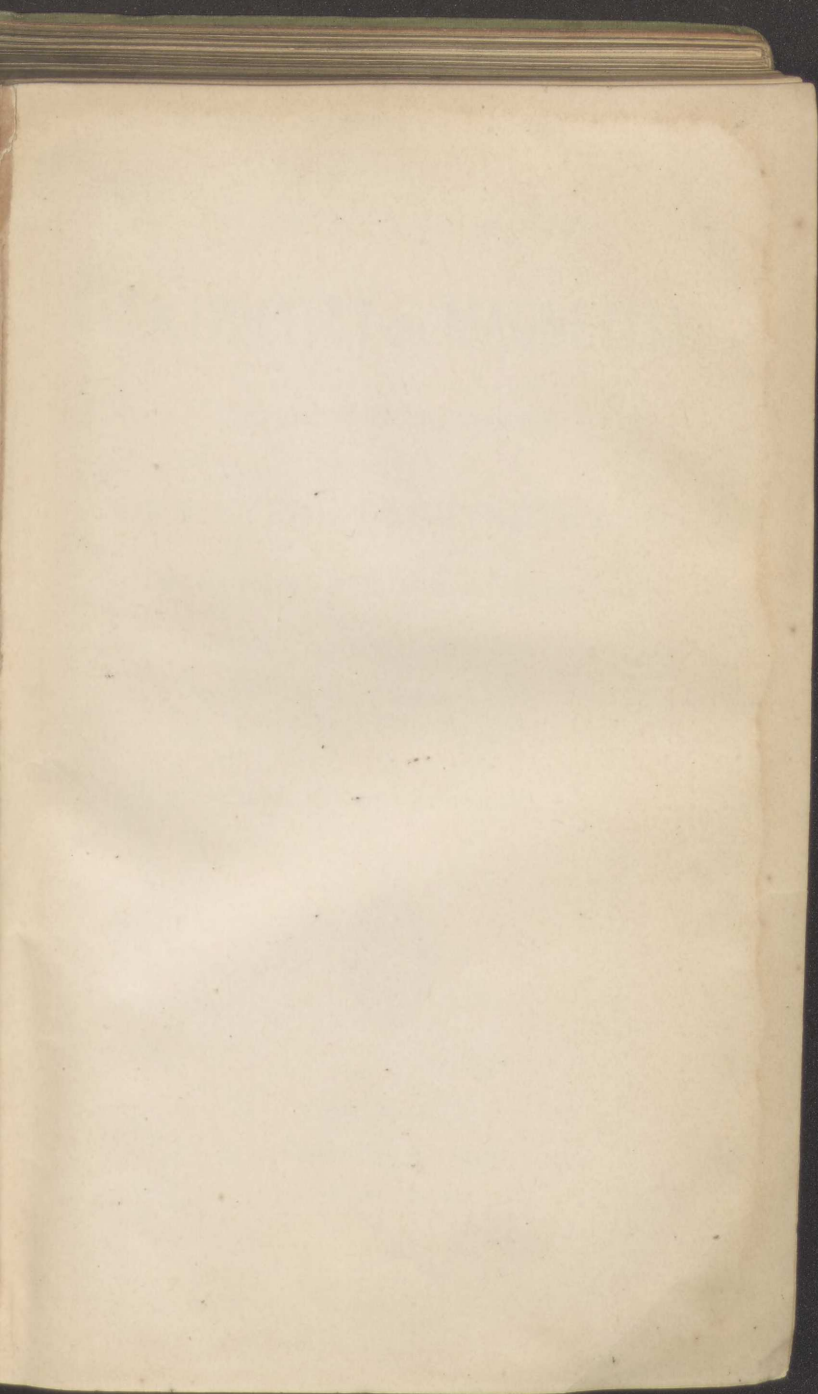
IB

Sysnr: 254884



300011853150





Dansk Ingeniørforenings
Bogsamling.

SILVANUS P. THOMPSON:

ELEKTRICITET OG MAGNETISME.

ELEMENTÆR INDLEDNING

TIL

DEN NYERE ELEKTROTEKNIK.

TIL SELVSTUDIUM OG TIL BRUG VED UNDERVISNING.

OVERSAT AF

V. C. A. JØHNKE,
PREMIERLIEUTENANT I FLAADEN.

MED 152 AFBILDNINGER.



KØBENHAVN.

P. G. PHILIPSENS FORLAG.

THIELES BOGTRYKKERI.

1893.

THEORY OF ELECTRICITY
ELEKTRICITET OG MAGNETISME

BY HANS CHRISTIAN ØRSTED

NEW YORK
PUBLISHED BY
J. B. ALLEN, 12 NASSAU ST.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

Medens den udstrakte Anvendelse, som Elektrotekniken i de senere Aar har faaet i det daglige Liv, den deraf følgende forøgede Interesse hos det store Publikum og den hurtigt voksende Skare af »Elektrikere« i Udlandet have frembragt en Rigdom af mer eller mindre »praktiske«, »kortfattede« og »letfattelige« Haand- og Lærebøger om elektriske og elektrotekniske Emner, har den danske Læseverden, for saa vidt den ikke har eller søger en videnskabelig Fagdannelse, hidtil været henvist enten til »almenfattelige« Fremstillinger af mere underholdende Art, hvorfra eksakte og kortfattede Forklaringer, som Praktikerens maa ønske dem, ifølge Sagens Natur ere udelukkede, eller til elementære Skolebøger, hvis Fremstilling er dikteret af pædagogiske Hensyn og ikke af Hensyn til det praktiske Livs Behov.

Den foreliggende Oversættelse af Prof. SILV. THOMPSONS almen anerkendte og i mange Tusinder af Eksemplarer udbredte Bog søger at afhjælpe dette Savn, idet den indenfor en ikke alt for snævert begrænset Ramme og uden at forudsætte mere end den mest elementære matematiske Viden, giver en Fremstilling af Elektriciteten og Magnetismen i Overensstemmelse med de nyere Fremskridt i disse Viden-

IV

skaber og fører Læseren saa langt ind i de moderne Anvendelser, Maal-Enheder og Maale-Metoder, at han vil kunne benytte Bogen som Indledning til de mere detaillerede Fagbøger, der ganske vist endnu mangle paa Dansk, men som Udlandets Literatur har Overflod af.

Fremstillingen er imidlertid ingenlunde særlig beregnet paa den vordende Fagmand; den tager saa meget Hensyn til det almen-interessante, at den ogsaa vil kunne gøre Fordring paa Opmærksomhed udenfor Fagmændenes Kreds.

Bogen finder ved Undervisningen i England en udstrakt Anvendelse, og skønt vore Undervisningsforhold ere en Del afvigende fra de engelske, vil den dog sikkert ogsaa kunne benyttes hos os og vil i en kyndig Lærers Haand blive et godt Hjælpemiddel ved den elementære Undervisning, der gaar ud over Fordringerne ved 4de Klasses Hovedeksamen.

Oversættelsen slutter sig nøje til Originalen, idet der kun hist og her er tilføjet en og anden formentlig nødvendig Bemærkning, der da altid er mærket som Oversætterens Anmærkning. Forfatteren har et saadant Navn i den elektrotekniske Verden, og hans Bøger ere i England og paa Fastlandet udbredte i saa mange Tusinder af Eksemplarer, at han kan gøre Fordring paa at blive præsenteret uden »Forbedringer«. Bogens store Udbredelse hænger desuden saa nøje sammen med dens Fremstillingsform, at man formentlig er bedst tjent med at bibeholde denne, selv om man paa enkelte Punkter maa finde den noget bred, og selv om den tydeligt bærer Spor af at være skrevet for Englændere af en Englænder, der glæder sig ved

hver Side, paa hvilken han kan indskrive en Eng-
lænders Navn, og let fristes til at overse Ikke-Eng-
lænderes Fortjenester. At Forfatteren for at dele Ret
og Skel mellem Volta og Galvani kaster Vrag paa
Ordet Galvanisme og de deraf afledede Ord, giver paa
enkelte Punkter Fremstillingen et for danske Øren
uvant Særpræg, som jeg ikke har villet berøve den,
da det dog ikke giver Anledning til Misforstaaelse.

Det Kundskabsforraad, Bogen forudsætter, er noget
uensartet, — i al Fald efter danske Forudsætninger —
idet der f. Eks. gives en Udvikling af de elementære
trigonometriske Funktioner, medens der forudsættes
noget Kendskab til Dobbeltbrydning; Tilegnelsen vil
dog næppe af den Grund volde Vanskeligheder.

De engelske tekniske Betegnelser for elektriske
Begreber — Potential, Permeabilitet, Susceptibilitet
o. s. v. — ere kun undtagelsesvis ombyttede med
danske Betegnelser, saa at f. Eks. Ordet Induktion
hyppigst er bibeholdt i Stedet for det danske »For-
deling«, og hvor en dansk Oversættelse er benyttet, er
jævnlig den engelske Betegnelse tilføjet i Parentes.
De fremmede Ord have vundet en saadan almen-
evropæisk Borgerret, at der let opstaar Uklarhed, naar
man søger at ombytte dem med selvlavede og vil-
kaarligt valgte danske Oversættelser, og i en Bog som
denne maa Hensynet til »rent Dansk« vige Pladsen
for Hensynet til Fremstillingens Letforstaaelighed. Vi
have nu engang desværre ikke Englændernes Lethed i
Nydannelse af Ord for nye Begreber, heller ikke den
Tolerance, Englænderne vise lige overfor den sproglige
Logik i Nydannelserne, naar de kun ere korte og
prægnante.

VI

Sluttelig aflægger jeg herved min Tak til Hr. Söminemester, Cand. mag. HANNIBAL JESPERSEN, der har vist mig den Velvillie at gennemgaa Manuskriptet, og hvis sagkyndige Hjælp paa mange Punkter har været mig en væsentlig Støtte.

Oktober 1893.

Oversætteren.

INDHOLDSFORTEGNELSE.

FØRSTE KAPITEL.

Gnidnings-Elektricitet.

I. Elektrisk Tiltrækning og Frastødning.

1. Elektrisk Tiltrækning	I
2. Forskellige Forsøg, der vise elektrisk Tiltrækning	2
3. Elektrisk Frastødning	4
4. To Slags Elektricitet	5
5. Samtidig Frembringelse af begge Arter Elektricitet	6
6. Elektricitetens Teori	7
7. Ladning	8
8. Ledere og Isolatorer	9
9. Andre elektriske Virkninger	9
10. Andre Kilder til Frembringelse af Elektricitet	10

II. Elektroskoper.

11. Simple Elektroskoper	11
12. Straa-Viser-Elektroskopet	11
13. Guldblad-Elektroskopet	12
14. Henleys Kvadrant-Elektroskop	14
15. Snonings-Vægten	14
16. De omvendte Kvadraters Lov	16
17. Enhed for Mængde af Elektricitet	18

III. Elektrisering ved Fordeling.

18—20. Elektrisk Fordeling	18—21
21. Fordelingsevne	22
22. Elektroforet	22
23. Kontinuerlige Elektroforer	25
24. »Fri« og »bunden« Elektricitet	25
25. Ladning af Guldblad-Elektroskopet	26
26. Bagslag	27

VIII

IV. Elektricitetens Ledning og Udbredelse.

27.	Ledning	27
28.	Elektricitetens Udbredning paa Legemerne	29
29.	Ladningen befinder sig kun paa Overfladen	30
30.	Biots Forsøg	31
31.	Yderligere Forklaring	32
32.	Anvendelse heraf	34
33.	Tilsyneladende Undtagelser	34
34.	Den fuldstændige Fordeling	34
35.	Elektrisk Tæthed	36
36.	Fornyet Udbredning af en Ladning	38
37.	Konduktors Kapacitet	39

V. Elektrisermaskiner.

38.	Elektrisermaskiner	40
39.	Cylinder-Elektrisermaskinen	41
40.	Skive-Elektrisermaskinen	42
41.	Amalgam	44
42.	Regler ved Brugen af Elektrisermaskiner	44
43.	Forsøg med Elektrisermaskiner	45
44.	Armstrongs Damp-Elektrisermaskiner	48
45.	Maskiner, der virke ved Fordeling og Overføring	48
46.	Holtz's Fordelingsmaskine	50
46 b.	Wimshursts Fordelingsmaskine	52

VI. Leydner-Flasken og andre Kondensatorer.

47—48.	Kondensatorer	53—54
49.	Dielektriske Legemer	56
50.	En Kondensators Kapacitet	56
51.	Leydner-Flasken	57
52.	Opfindelsen af Leydner-Flasken	58
53.	Rest-Ladning	59
54.	Batteri af Leydner-Flasker	59
55.	Ladningens Plads	60
56.	Dielektrisk Spænding	61

VII. Andre Elektricitetskilder.

57.	Indledning	62
58.	Slag	62
59.	Svingninger	62
60.	Sønderbrydning og Spaltning	63
61.	Krystallisering og Størkning	63
62.	Forbrænding	63
63.	Fordampning	63
64.	Atmosfærisk Elektricitet	63
65.	Tryk	64
66—67.	Pyro-Elektricitet	64—65
68.	Dyrisk Elektricitet	66

69.	Vegetabilsk Elektricitet.....	67
70.	Termo-Elektricitet.....	67
71.	Berøring mellem forskellige Metaller.....	67
72.	Metallernes Spændingsrække.....	69
73.	Spændingsforskel ved Berøring mellem to forskellige Vædske.....	70
74.	Magneto-Elektricitet.....	71
75.	Oversigt.....	71

ANDET KAPITEL.

Magnetisme.

VIII. Magnetisk Tiltrækning og Frastødning.

76.	Naturlige Magneter eller Magnetjernsten.....	72
77.	Kunstige Magneter.....	72
78.	Lægen Gilberts Opdagelser.....	73
79.	Magnetnaalen.....	73
80.	Magnetisk Tiltrækning og Frastødning.....	74
81.	To forskelligartede magnetiske Poler.....	74
82.	To Poler uadskillelige.....	75
83.	Magnetisk Kraft.....	75
84.	Tiltrækning gennem Legemer.....	76
85.	Magnetiske Stoffer.....	77
86.	Andre magnetiske Metaller.....	77
87.	Diamagnetisme.....	77
88.	Jorden er en Magnet.....	77
89.	Magnetisk Fordeling.....	78
90.	Koercitivkraften.....	79
91.	Magnetismens Teori.....	80

IX. Magnetisering.

92.	Magnetisering ved enkelt Strøg.....	81
93.	Magnetisering ved delt Strøg.....	82
94.	Magnetisering ved dobbelt Strøg.....	82
95.	Sammensatte Magneter.....	83
96.	Magnetisering ved Jordmagnetismen.....	83
97.	Magnetisering efter Opvarmning.....	83
98.	Magnetisering ved elektriske Strømme.....	84
99.	Afmagnetisering.....	84
100.	Varmens Indflydelse paa Magnetisering.....	84
101.	Formen af Magneter.....	85
102.	Magnetisk Mætning.....	85
103.	Bæreevne.....	86

X. Magnetismens Fordeling.

104.	Normal Fordeling	87
105.	Magnetisk Felt	87
106.	Sønderbrydning af Magneter	88
107.	Magnetismens Fordeling paa Flader. Magnetiske Plader	89
108—110.	Magnetiske Figurer	90—92
111.	Magnetisk Skrift	93
112.	Overflade-Magnetisering	93
113.	Mekaniske Virkninger af Magnetisering	93
114.	Magnetismens Indvirkning paa Lys	94
115.	Magnetismens fysiske Teori	94

XI. Lovene for magnetisk Kraft.

116.	Lovene for magnetisk Kraft	95
117.	Loven om de omvendte Kvadrater	95
118.	Maaling af magnetiske Kræfter	97
119.	Snonings-Vægten	97
120—122.	Svingnings-Metoden	100—101
123—124.	Afvignings-Metoden	102—104
125.	Enhed for Styrke af en Magnetpol	105
126.	Teorien om magnetiske Kurver	106
127.	En Magnetplades magnetiske Kraft	107
128.	Et magnetisk Særsyn	108

Om Maaling af plane Vinkler og Rumvinkler.

129.	Beregning i Grader	109
130.	Beregning i Buemaal	109
131.	Beregning ved Sinus eller Cosinus	110
132.	Beregning ved Tangenter	110
	Tabel over naturlige Sinus'er og Tangenter	111
133.	Rumvinkler	112

XII. Jordmagnetismen.

134.	Skibs-Kompasset	112
135.	Jorden er en Magnet	113
136.	Deklinationen eller Misvisningen	114
137.	Inklinationen eller Heldningen	114
138.	Jordmagnetismens Styrke	116
139.	Magnetiske Kort	117
140.	Forandringer i Jordmagnetismen	118
141.	Sekulære Forandringer	119
142.	Daglige Forandringer	120
143.	Aarlige Forandringer	121
144.	Elleve-Aars-Perioden	121
145.	Magnetiske Storme	121
146.	Selvregistrerende magnetiske Apparater	121

TREDIE KAPITEL.

Strømmende Elektricitet.

XIII. Det simple Volta-Element.

147.	Elektrisk Strøm	122
148.	Galvanis og Voltas Opdagelser	123
149.	Berørings-Elektricitet: Bevis ved Kondensator-Elektroskopet	124
150.	Volta-Søjlen	125
151.	Voltas Bæger-Apparat	126
152.	Det simple Volta-Element	127
153.	Virkninger frembragte af Strømmen	129
154.	Volta-Batterier	129
155.	Elektromotorisk Kraft	130
156—157.	Voltas Love	130—131
158.	Modstand	131

XIV. Kemiske Virkninger i Elementet.

159—160.	Kemiske Virkninger	132—133
161.	Lokal Virkning	134
162.	Amalgamering	135
163.	Polarisation	135
164.	Polarisationens Virkninger	136
165.	Midler mod indre Polarisation	136
166.	Simple Love for kemiske Virkninger i Elementet	138

XV. Volta-Batterier.

167—168.	Volta-Batterier	139
169.	Elementer med een Vædske	140
170.	Daniells Element	140
171.	Groves Element	142
172.	Bunsens Element	144
173.	Leclanchés Element. Niaudets Element	145
174.	De la Rues Element	146
175.	Marié Davys Element	146
176.	Vægtfylde-Elementer	147
177.	Latimer Clarks Normal-Element	147
178.	Forskellige Elementers elektromotoriske Kraft	147
179.	Strømstyrke	147
180—181.	Ohms Lov	149—150
182.	Andre Elementer	151
183.	Virkningen af Varme paa Elementer	152

XVI. Strømmens magnetiske Virkninger.

184.	Strømmens magnetiske Virkninger	153
185.	Ørstedes Forsøg	154
186—187.	Ampères Regel	154—155

188.	Galvanoskop	156
189.	Schweiggers Multiplikator	156
190.	Astatiske Kombinationer	156
191.	En Strømladers magnetiske Felt	158
192.	En ækvivalent magnetisk Plade. Ampères Sætning	160
193.	Maxwells Regel	161
194.	De la Rives flydende Element	161
195.	Strømstyrke i magnetisk Maal	163
196.	Enhed af Strømstyrke	163

XVII. Galvanometre.

197.	Galvanometer	164
198.	Nobilis astatiske Galvanometer	165
199.	Tangent-Galvanometret	166
200.	Absolut Maal for Strøm ved Tangent-Galvanometret	169
201.	Sinus-Galvanometer	170
202.	Spejl-Galvanometer	171
203.	Differential-Galvanometer	173
204.	Ballistisk Galvanometer	174

XVIII. Strømmens kemiske Virkninger; Voltametre.

205.	Kemiske Virkninger	174
206.	Vands Adskillelse	175
207.	Elektrolyse	175
208.	Elektrolyse af Vand	175
209.	Elektrolyse af Kobbersulfat	177
210.	Anioner og Kathioner	177
211.	Elektrolysens kvantitative Love	178
212.	Tabel over elektro-kemiske Ækvalenter o. s. v.	179
213.	Beregning af de udskilte Vægtmængder	180
214.	Voltametre	180
215.	Vand-Voltametre	180
216.	Kobber- og Sølv-Voltametre	181
217.	Sammenligning mellem Voltametre og Galvanometre ..	181
218.	Kemisk Prøve for svage Strømme	182
219—220.	Indre og ydre Virkninger	183

XIX. Strømmens fysiske og fysiologiske Virkninger.

221.	Molekylære Virkninger	183
222.	Elektrisk Osmose	184
223.	Elektrisk Destillation	184
224.	Diaphragma-Strømme	184
225.	Elektro-kapilære Fænomener	185
226—228.	Fysiologiske Virkninger	186—187
229.	Muskel-Sammentrækninger	188
230.	Betingelser for Muskel-Sammentrækninger	190
231.	Dyrisk Elektricitet	191
232.	Medicinsk Anvendelse	192

FJERDE KAPITEL.

Elektrostatik.

XX. Potential-Teorien.

233.	Elektrostatik	193
234.	1ste elektrostatiske Lov	193
235.	2den elektrostatiske Lov	193
236.	Enhed for Elektricitets-Mængde	194
237—238.	Potential	195—197
239.	Nul-Potentialet	199
240.	Potentialforskel	200
241.	Elektrisk Kraft	200
242.	Overflader med samme Potential	201
243.	Kraftlinier	203
244.	Potentialet inden i en lukket Konduktor	203
245.	Loven om de omvendte Kvadrater	204
246.	Kapacitet	205
247.	Enhed for Kapacitet	206
248.	Overflade-Tæthed	207
249.	Overflade-Tæthed paa en Kugle	208
250.	Elektriske Billeder	208
251.	Den elektriske Kraft, som en ladet Kugle udøver paa et Punkt i Nærheden af den	209
252.	Den elektriske Kraft, som en ladet Plade af uendelig stor Udstrækning udøver paa et Punkt i Nærheden af den	210
253.	Beregning af Kraften	210

Bemærkninger om Grund-Enheder og afledede Enheder.

254.	Grund-Enheder	212
255.	Afledede Enheder	212
256.	Elektriske Enheder	213
257.	Elektrostatiske Enheder	213
258.	Enhedernes Dimensioner	214

XXI. Elektrometre.

259.	Elektrometer	215
260.	Frastødnings-Elektrometre	216
261.	Plade-Elektrometre	217
262.	Kvadrant-Elektrometret	220
263.	Kvadrant-Elektrometrets Benyttelse	222
264.	Elektrometret med tør Søjle	223
265.	Haarrørs-Elektrometre	223

XXII. Specifisk Fordelingsevne o. s. v.

266.	Specifisk Fordelingsevne	223
267.	Teorien for en kugleformet Luftkondensator	224

XIV

268.	Specifisk Fordelingsevne	225
269.	Faradays Forsøg	226
270.	Nyere Undersøgelser	227
271.	Vædskers og Luftarters specifikke Fordelingsevne	229
272.	Mekaniske Virkninger af dielektrisk Spænding	230
273.	Elektrisk Udvidelse	232
274.	Undersøiske Kabler som Kondensatorer	233
275.	Benyttelsen af Kondensatorer	234
276.	Praktisk Enhed for Kapacitet	235
277.	Formler for Konduktors og Kondensators Kapacitet	235
278.	Energien af Udladningen af en Leydner-Flaske eller Kondensator	236
279.	Ladning af Leydner-Flasker, anbragte i Række (efter hinanden)	238

XXIII. Udladnings-Fænomener.

280.	Elektrisk Udladning	239
281.	Eksplodiv Udladning	239
282.	Udladning ved Ledning	240
283.	Udladning ved Bortførelse	240
284.	Mekaniske Virkninger	241
285.	Lullins Forsøg	242
286.	Kemiske Virkninger	242
287.	Fysiologiske Virkninger	243
288.	Varme-Virkninger	244
289.	Lys-Virkninger	246
290.	Udladning gennem Pensler og lysende Punkter	247
291.	Gnistens Længde	248
292.	Udladning i delvis luftomt Rum	250
293.	Fænomener i meget luftfortyndet Rum	251
294.	Striber	252
295.	Elektriske Svingninger	253
296.	Udladningens Forplantningshastighed	253
297.	Elektriske Støvfigurer	255
298.	Frembringelse af Ozon	256
299.	Ladningens Forsvinding	256
300.	Positiv og negativ Elektrisering	257

XXIV. Atmosfærisk Elektricitet.

301.	Atmosfærisk Elektricitet	258
302.	Tordenvejr er et elektrisk Fænomen	258
303.	Tordenvejrs Teori	259
304.	Lyn og Torden	260
305.	Lynledere	262
306.	Atmosfærens Elektricitet	263
307.	Iagttagelsesmaader	264
308.	Daglige Variationer	266
309.	Nordlys	267

FEMTE KAPITEL.

Elektromagnetisme.

XXV. Teorien om magnetisk Potential.

310.	Elektromagnetisme. Magnetisk Potential.....	269
311.	Krafttrør.....	271
312.	Feltets Styrke (Intensitet).....	272
313.	Magnetiseringens Intensitet, magnetisk Susceptibilitet og magnetisk Permeabilitet	273
314.	Potentialet, der skyldes en (solenoidal) Magnet	278
315.	Potentialet, der skyldes en magnetisk Plade	277
316.	Potentialet af en Magnetpol i Forhold til en magnetisk Plade.....	280
317.	Vekselvirkning mellem en Pol og en magnetisk Plade.....	282
318.	Magnetisk Potential, der skyldes en Strøm	282
319.	En Magnetpols og et Kredsløbs gensidige Potential...	283
320.	To Kredsløbs gensidige Potential.....	284

Om magnetiske og elektromagnetiske Enheder.

321.	Magnetiske Enheder	286
322.	Elektromagnetiske Enheder	286
323.	Praktiske Enheder.....	287
324.	Dimensionsformlerne for magnetiske og elektromagnetiske Enheder	288

Om Maaling af Jordens magnetiske Kraft i absolute Enheder.

325 a.	Intensiteten af Jordens magnetiske Kraft	288
325 b.	Indeks-Betegnelse	290

XXVI. Elektromagneter.

326.	Elektromagneter	290
327.	Konstruktion af Elektromagneter.....	292
328.	En Elektromagnets Bæreevne	294
329.	Solenoider.....	294
330.	Lovene for Elektromagneter.....	297

XXVII. Elektrodynamik.

331.	Elektrodynamik	303
332.	Lovene om parallelle og skraatstillede Kredsløb.....	303
333.	Ampères Stativ.....	306
334.	Ampères Teori.....	307
335.	Elektromagnetiske Omdrejninger.....	309
336.	Elektrodynamometer	310
337.	Elektromagnetiske Virkninger af Overførings-Strømme ..	312
338.	Ampères Teori for Magnetisme.....	313

XVI

XXVIII. Diamagnetisme.

339.	Diamagnetiske Forsøg.....	314
340.	Kvantitative Resultater.....	316
341.	Tilsyneladende Diamagnetisme, der skyldes det om- givende Medium	316
342.	Diamagnetisk Polaritet	317
343.	Magneto-krystallisk Virkning	318
344.	Flammers Diamagnetisme.....	319

SJETTE KAPITEL.

Maaling af Strømme o. s. v.

XXIX. Ohms Lov og dens Følger,

345.	Ohms Lov	320
346.	Ledeevne og Modstand.....	321
347.	Lovene for Modstand	322
348.	Specifisk Modstand	323
349.	Indflydelsen af Varme paa Modstanden.....	323
350.	Typisk Kredsløb	324
351.	Den bedste Forbindelsesmaade for Elementer	326
352.	Instrumenter med lange og korte Traadruller	327
353.	Strømforgrening	328
354.	Strømflader.....	329

XXX. Elektriske Maalinger.

355.	Elektriske Maalinger	329
356.	Maaling af Modstand	329
357.	Potentialfald langs en Ledning	331
358.	Wheatstones Bro	332
359.	Modstandsruller	333
360.	Maaling af elektromotorisk Kraft	336
361.	Maaling af et Batteris indre Modstand	337
362.	Maaling af en Kondensators Kapacitet	337
363.	Modstand udtrykt som en Hastighed.....	338
364 a.	Bestemmelsen af en Ohm	339
364 b.	Den legale Ohm	339

Om Forholdet mellem elektrostatiske og elektro- magnetiske Enheder.

365.	Forholdet mellem elektrostatiske og elektromagnetiske Enheder	340
------	---	-----

SYVENDE KAPITEL.

Varme, Lys og Arbejde, frembragte ved elektriske Strømme.

XXXI. Strømmens Varmevirkninger.

366.	Varme og Modstand	341
367.	Lovene for Udvikling af Varme: Joules Lov.....	342
368.	Favres Forsøg	344
369.	Temperaturstigning	344
370.	Sprængninger ved Elektricitet	346

XXXII. Det elektriske Lys.

371.	Volta-Buen	346
372.	Elektriske Buelamper	349
373.	Elektriske Lys	352
374.	Glødelamper	352

XXXIII. Elektromotorer (Elektromagnetiske Maskiner).

375.	Elektromotorer	355
376.	Elektrisk Kraftoverførelse	357
377.	Teorien om Elektromotorers Nyttelvirkning	357
378.	1. Arbejdsbekostning	358
378.	2. Beregning af elektrisk Kraft	359

OTTENDE KAPITEL.

Termo-Elektricitet.

XXXIV. Termo-elektriske Strømme.

379.	Termo-elektriske Strømme	361
380.	Peltiers Virkning	361
381.	Termo-elektriske Love	362
382.	Omvendt termo-elektromotorisk Kraft	364
383.	Termo-elektrisk Diagram	365
384.	Termo-elektrisk Batteri	366

NIENDE KAPITEL.

Elektro-Optik.

XXXV. Den almindelige Sammenhæng mellem Lys og Elektricitet.

385.	Forbindelsespunkter mellem Elektricitet og Lys	368
386.	Elektrostatisk optisk Spænding	368
387.	Magneto-optisk Drejning af en Lysstraales Polarisationsplan	369
388.	Jernets foto-magnetiske Egenskaber	372
389.	Selens foto-elektriske Egenskaber	373
390.	Elektromagnetisk Teori for Lyset	374

TIENDE KAPITEL.

Induktions-Strømme (Magneto-Elektricitet).

XXXVI. Strømme frembragte ved Induktion.

391.	Induktions-Strømme.....	376
392.	Induktions-Strømme, frembragte af en Magnet	377
393.	Induktions-Strømme, frembragte af Strømme	377
394.	Grund-Love for Induktion	379
395.	Ampères Regel, anvendt paa Induktions-Strømme	381
396.	Lenz's Lov	381
397.	To Kredsløbs gensidige Induktion	381
398.	Induktionsrullen	382
399.	Ruhmkorffs Kommutator.....	384
400.	Induktionsgnisternes Lysvirkninger	385
401.	Strømme, inducerede i Metalmasser	386
402.	Induktions-Strømme, frembragte ved Jordmagnetismen .	387
403.	Jordstrømme	388
404.	Selvinduktion. Ekstrastrømme	388
405.	Helmholtz's Ligning.....	389
406.	1. Inducerede Strømme af højere Ordner	390
406.	2. Transformatorer.....	390

XXXVII. Magneto-elektriske og dynamo-elektriske Strømfrembringere.

407.	Magneto-elektriske Maskiner	391
408.	Dynamo-elektriske Maskiner	392
409.	Siemens's Maskine.....	394
410.	Grammes Maskine	396
411 a.	Brushs Maskine	399
411 b.	Edisons Maskine.....	400
411 c.	Teorien for Dynamoer med ensrettet Strøm.....	401
411 d.	Vekselstrøms Maskiner	401
411 e.	Compound-beviklede Maskiner.....	402

ELLEVE KAPITEL.

Elektro-Kemi.

XXXVIII. Elektrolyse og Elektrometallurgi.

412.	Kemisk Arbejde i en elektrolytisk Celle	402
413.	Polarisationens elektromotoriske Kraft	403
414.	Elektrolysens Teori	403
415.	Sekundære Elementer: Opsamling af elektriske Strømme	405
416.	Groves Gas-Element	407
417.	Almindelige Love for elektrolytisk Virkning	407
418.	Grothuss's og Clausius's Hypoteser	410
419.	Elektrometallurgi	412

420.	Elektrotypi	413
421.	Elektroplettering	414
422.	1. Metal-Farvning	415
422.	2. Metallers elektro-kemiske Kraft	415

TOLVTE KAPITEL.

Telegrafer og Telefoner.

XXXIX. Elektriske Telegrafer.

423.	Den elektriske Telegrafs Opfindelse	416
424.	Apparat med enkelt Naal	417
425.	Morses Apparat	420
426.	Relais	421
427.	Fejl paa Telegraflinier	422
428.	Dupleks-Telegrafering	423
429.	Undersøisk Telegrafering	425
430.	Signalleringshastighed gennem Kabler	426
431.	Modtager-Instrumenter ved Kabel-Telegrafering	426

XL. Elektriske Klokker, Ure og Telefoner.

432.	Elektriske Klokker	427
433.	Elektriske Ure	428
434.	Elektriske Telefoner	429
435.	Graham Bells Telefon	430
436.	1. Edisons Telefon	432
436.	2. Dolbears Telefon	433
437.	Hughes's Mikrofon	433
438.	Hughes's Induktions-Vægt	434
439.	Hughes's magnetiske Vægt	436

FØRSTE KAPITEL.

GNIDNINGS-ELEKTRICITET.

I. Elektrisk Tiltrækning og Frastødning.

1. Elektrisk Tiltrækning. Naar man tager en Stang Lak, et Stykke Harpiks eller en Glasstang og gnider dem med et Stykke Flonel eller Silketøj, vil man finde, at de derved faa en Egenskab, de ikke forud vare i Besiddelse af, nemlig Evnen at kunne tiltrække lette Legemer som Hakkelse, Savspaaner eller smaa Stykker Papir (Fig. 1). Denne mærkelige Kraft blev oprindelig opdaget som en Egenskab ved Rav eller »elektron«, som Grækerne kaldte det, og om dette fortæller Thales fra Milet (c. 650 A. f. C. F.) og Theophrast (c. 300 A. f. C. F.) i hans Afhandling om Ædelstenene, at det efter at være bleven gnedet tiltrækker lette Legemer. Endskønt denne Egenskab findes hos et meget stort Antal Legemer, vare Rav og Jet dog de to eneste Stoffer, i hvilke dens Tilstedeværelse var bleven opdaget i Oldtiden, ja lige op til Dronning Elizabeth af Englands Tid. Hendes Livlæge, Gilbert (f. i Colchester), godtgjorde c. A. 1600 ved Forsøg, at ikke blot Rav og Jet, men ogsaa en Mængde andre Legemer som Diamant, Sapphir, Bjærgkrystal, Glas, Svovl, Lak, Harpiks o. s. v. ere i Besiddelse af den samme Egenskab, og han kaldte disse Legemer elektriske. Siden den Tid er Navnet Elektricitet bleven benyttet som

Betegnelse for Aarsagen til disse Fænomener. Gilbert opdagede ogsaa, at i fugtigt Vejr mislykkedes Forsøgene.

2. For at vise denne Tiltrækningskraft paa en tydeligere Maade end angivet i Fig. 1, kan man op hænge en lille Kugle af Hyldemarv eller Kork i en Silketraad paa et lille Stativ, som vist i Fig. 2. Gnider man nu et tørt, varmt Glasrør stærkt med et Silkelommelørklæde, vil Røret udøve en stærk Tiltrækning paa Kuglen, og derved vise, at det er bleven stærkt elektriseret.



Fig. 1.

Skal en Stang Lak elektriseres, maa man helst gnide den med Flonel, uldent Tøj eller bedst af Alt med Pelsværk. Bayle opdagede, at et elektriseret Legeme selv tiltrækkes af et andet Legeme, som ikke er elektriseret. For at vise dette kan man ophænge en elektriseret Lak- eller Glasstang i en Silketraad, som vist i Fig. 3. Holder man nu sin Haand i Nærheden af Stangen, vil denne dreje sig hen imod Haanden.

Ligeledes vil et Stykke Silkebaand, naar det gnides med varmt Kautsjuk eller blot trækkes imellem to Stykker opvarmet Flonel og derpaa holdes fast ved den ene Ende, blive tiltrukket af Genstande, som findes i Nærheden af det. Holder man Silkebaandet i Nærheden af Væggen i et Værelse, vil den frie Ende af det flyve ind imod Væggen og hænge fast ved den. Ved at iagttage særlige Forholdsregler kan man vise, at saavel det Legeme, der gnides, som det, hvormed der gnides, blive elektriserede, idet de begge tiltrække lette Legemer; men for at Forsøget skal lykkes, maa man passe paa, at man ikke tager for meget med Haanden paa det Legeme, hvormed der gnides.

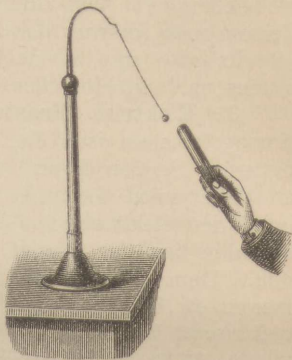


Fig. 2.

Vil man saaledes vise, at Kaninskindet, hvormed en Lakstang er bleven gnedet, ogsaa er bleven elektriseret, maa man helst ikke tage med Haanden paa Skindet, men derimod binde det til en Glasstang, der da tjener som Haandtag.

Aarsagen til denne Forsigtighedsforanstaltning vil blive forklaret i Slutningen af dette Afsnit og desuden fuldstændigere i Afsnit IV.

En stor Mængde Stoffer som Jærn, Guld, Messing og alle andre Metaller vise ingen Tegn paa, at de blive elektriserede, naar man tager dem i Haanden og gnider dem, —

det vil sige, de tiltrække ikke lette Legemer, saaledes som

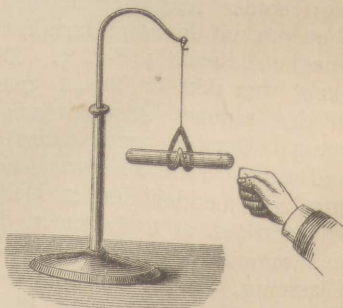


Fig. 3.

gnedet Glas eller Rav gøre det. Gilbert omtaler ogsaa, at Perler, Marmor, Agat og Magnet-Jærnsten ikke blive elektriserede ved at gnides. Saadanne Legemer bleve af den Grund tidligere betegnede som uelektriske; men dette Udtryk er ikke rigtigt, thi dersom man forsyner disse Legemer med Glashaandtag, vil det vise sig, at de blive elektriserede, naar de gnides med Silketøj eller Pelsværk.

3. Elektrisk Frastødning. Ved at udføre det Forsøg, som er vist i Fig. 1, med en gnedne Glasstang og smaa Stykker Papir, Straa eller Klid, vil man se, at disse smaa Legemer først tiltrækkes og flyve op imod den elektriserede Glasstang, men at de frastødes og falde ned paa Bordet, saa snart de have rørt ved den. Denne Frastødning kan ogsaa vises ved at op hænge en lille Fjeder i en Silketraad og holde en elektriseret Glasstang i Nærheden af Fjederen. Denne vil da straks fare hen imod Glasstangen og blive hængende ved den, for et Øjeblik efter at fare bort fra den igen, stødt tilbage af en usynlig Kraft, hvorefter den ikke paany vil fare hen imod Stangen. Dersom Forsøget gentages med en anden Fjeder og en Lakstang, gnedne med Flonel, vil akkurat det samme vise sig; holder man derpaa sin Haand i Nærheden af Fjederen, vil denne nu fare hen imod Haanden, som det gnedne Legeme i Fig. 3. Dette viser, at Fjederen, skønt den ikke er bleven gnedet, nu er i Besiddelse af den samme Egenskab som den elektriserede Glasstang. Den er med andre Ord bleven elektriseret ved at have været i Berøring med et elektriseret Legeme, som har meddelt den en Del af sin Elektricitet. Det vil heraf ses, at to Legemer, der ere elektriserede med den samme Elektricitet, frastøde hinanden. En gnedne Glasstang, der er ophængt i en Silketraad, som vist i Fig. 3, vil blive frastødt af en anden Glasstang, der er gnedet paa samme Maade som den ophængte, medens en gnedne Lakstang vil blive frastødt af en anden gnedne

Lakstang. Frastødningen mellem to ens elektriserede Legemer kan ogsaa vises ved at ophænge et Par smaa Hyldemarvskugler i tynde linnede Traade i en Glasopstander, som vist i Fig. 4, og derpaa berøre dem begge med en gnedne Glasstang. De ville nu frastøde hinanden og flyve et Stykke ud fra hinanden i Stedet for at hænge ned ved Siden af hinanden, og Glasstangens Nærværelse vil yderligere sprede dem fra hinanden, idet den vil frastøde dem begge. Den gensidige Frastødning, som et elektriseret Legemes enkelte Dele udøve paa hinanden, kan vises ved et smukt Forsøg ved at elektrisere en Sæbebobbel, som udvider sig, naar den elektriseres.

4. To Slags Elektricitet. Elektriserede Legemer frastøde imidlertid ikke altid hinanden. Fjederen, der er bleven berørt af en gnedne Glasstang og som Følge heraf frastødes af det gnedne Glas, vil blive tiltrukken, hvis man nærmer en Stang Lak til den, og omvendt vilde Fjederen, hvis den først var bleven elektriseret ved Berøring med den gnedne Lakstang, blive til-

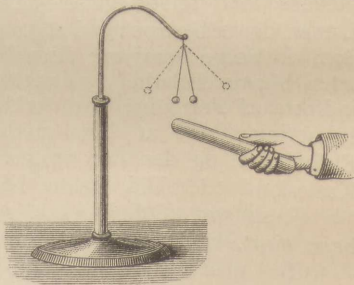


Fig. 4.

trukken af en gnedne Glasstang, skønt den frastødes af det gnedne Lak. En gnedne Glasstang, der er ophængt i en Silketraad, vil blive tiltrukken af et gnedet Stykke Lak, Harpiks eller Rav, men frastødt af en gnedne Glasstang. To ophængte Hyldemarvskugler, der ere blevne berørte af en gnedne Glasstang, frastøde hinanden og ville yderligere spredes ad, naar den gnedne Glasstang holdes i Nærheden af dem; men de ville nærme sig til hinanden, naar en gnedne Lakstang holdes under dem, idet de blive tiltrukne af den. Symmer var den første, som opdagede disse Fænomener, men uafhængigt

af ham bleve de ogsaa opdagede af Du Fay, som kom til det Resultat, at der findes to forskellige Arter Elektricitet, der tiltrække hinanden, medens ensartede Elektriciteter frastøde hinanden. Den Elektricitet, der frembringes i Glasset ved at gnide det med et Silketørklæde, kaldte han Glaselektricitet, idet han fejlagtig antog, at Glas kun kunde frembringe een Art Elektricitet; den Elektricitet, som Lak, Harpiks, Rav o. s. v. faa ved at gvides med uldent Tøj eller Flannel, kaldte han Lakelektricitet.

Den Art Elektricitet, der frembringes, er imidlertid ikke alene afhængig af den Ting, der gvides, men ogsaa af det Stof, hvormed der gvides. Saaledes bliver Glas lakelektrisk, naar det gvides med Katteskind, medens Lak bliver glaselektrisk ved at gvides med Læder, der er bestrøet med et Amalgam af Tin og Kviksølv. Som en Følge heraf ere disse Betegnelser paa Elektriciteten blevne forladte og erstattede af to andre, der ere indførte af Franklin; han kaldte den Elektricitet, der frembringes ved at Glas gvides med Silke, positiv Elektricitet, og den der opstaar, naar Lak gvides med Katteskind eller Uld, kaldte han negativ Elektricitet.

Resultatet af de Forsøg, som Symmer og Du Fay have gjort, kan sammenfattes i følgende Sætning:

To positivt elektriserede Legemer frastøde hinanden; to negativt elektriserede Legemer frastøde hinanden; men et positivt elektriseret Legeme og et negativt elektriseret Legeme tiltrække hinanden.

5. Samtidig Frembringelse af begge Arter Elektricitet. Ingen af de to Slags Elektricitet frembringes alene, men der udvikles altid lige store Mængder af begge Arter, idet den ene Slags frembringes paa den Ting, der gvides, medens den anden viser sig i det Stof, hvormed der gvides. At der frembringes lige store Mængder af de to Arter Elektricitet, kan meget let eftervises; thi dersom saavel det gnedne Legemes negative Elektricitet som det gnidende Legemes positive Elektricitet overføres til et tredie Legeme, vil dette

aldeles ikke vise Tegn paa at være bleven elektriseret, idet de to lige store og modsatte Elektriciteter have ophævet hinanden.

I nedenstaaende Række ere Legemerne ordnede saaledes, at ethvert af dem bliver positivt elektrisk ved Gnidning med et efterfølgende og negativt elektrisk ved at gvides med et foranstaaende: Pelsværk, Uld, Elfenben, Glas, Silke, Metallerne, Svovl, Kautsjuk, Guttaperka, Collodium.

6. Elektricitetens Teori. Adskillige Teorier ere opstillede for at forklare disse Fænomener, men alle ere de mer eller mindre utilfredsstillende. Symmer foreslog en »Dobbelt-Fluidum-Teori«, i Henhold til hvilken der er to uvejelige, elektriske Fluider af modsat Art, som neutralisere hinanden, naar de forenes, og som altid ere forenede i lige store Mængder i ethvert Legeme, indtil denne Forening ophæves ved Gnidning. En herfra noget afvigende Opfattelse er fremsat af Franklin, som opstillede en »Enkelt-Fluidum-Teori«. Ifølge denne findes der kun et enkelt elektrisk Fluidum, som i Almindelighed er ligeligt fordelt i ethvert Legeme, men som ved Gnidning af Legemet vil fordele sig ulige mellem det gnedne og det gnidende Legeme, saa at det ene faar mere, det andet mindre end Halvdelen af Fluidet. Herfra skriver Betegnelsen positiv og negativ sig, som endnu benyttes. Det Legeme, som antages at have den største Mængde af Fluidet, siges at være ladet med positiv Elektricitet (sædvanlig angivet ved Plus-Tegnet, +), medens det andet siges at være ladet med negativ Elektricitet (angives ved Minus-Tegnet, ÷). Disse Betegnelser ere dog rent vilkaarlige, thi paa Videnskabens nuværende Standpunkt vide vi endnu ikke, hvilken af de to Betegnelser, der angiver den største Værdi. Det er imidlertid aldeles bestemt, at Elektriciteten ikke er noget materielt Fluidum, thi skønt den ligner et Fluidum, idet den flyder fra et Sted til et andet, saa afviger den dog i enhver anden Retning fra alle kendte Fluider. Elektriciteten har ingen Vægt og

frastøder sig selv. Det er desuden fuldstændig umuligt at tænke sig to Fluider, som i enhver Henseende ere aldeles modsatte af hinanden, og det er derfor øjensynlig vildledende at tale om et elektrisk Fluidum eller elektriske Fluider, hvor bekvemt det end kan synes at være.

En anden Teori, som sædvanlig gaar under Navnet »Molekylar-Teorien«, og som først er fremsat af Faraday, gaar ud paa, at den elektriske Tilstand er Resultatet af visse særlige Egenskaber ved Molekylerne i det Legeme, som er bleven gnedet, eller ved »Æteren«, som antages at omgive Molekylerne. Der er meget, der taler til Gunst for denne Hypotese, men den er endnu ikke bleven bevist, og vi skulle derfor i det Følgende saa vidt muligt undgaa alle Teorier og kun benytte Begnelsen Elektricitet.

7. Ladning. Den Mængde af den ene eller den anden Art af Elektricitet, som ved Gnidning eller paa anden Maade frembringes paa Overfladen af et Legeme, benævnes en Ladning, og det Legeme, som er bleven elektriseret, siges at være ladet. Det er klart, at Ladningen kan være af forskellig Størrelse, lige saa vel som den kan være positiv eller negativ. Naar en elektrisk Ladning bortledes fra et ladet Legeme, siges det at blive afladet. Gode Elektricitetsledere aflades øjeblikkelig, hvis de berøres med Haanden eller med en hvilken som helst Leder, der er i Forbindelse med Jorden, idet Elektriciteten paa denne Maade afledes til Jorden. Et Legeme, som ikke er nogen god Leder, kan fuldstændig aflades ved hurtigt at føres igennem Flammen af en Spirituslampe eller af et Lys, thi Flammen vil øjeblikkelig bortføre Elektriciteten og sprede den i Luften. Elektricitet kan enten opsamles paa Overfladen af et Legeme som en Ladning eller flyde igennem hele Legemet som en Strøm. Den Del af Videnskaben, som omhandler Lovene for Ladningen paa Legemers Overflade, kaldes Elektrostatikken og vil blive nærmere behandlet i Afsnit IV, medens den Gren

af Videnskaben, som omhandler den elektriske Strøm, er behandlet i Afsnit III og længere hen i Bogen.

8. Ledere og Isolatorer. Betegnelsen »Ledere«, som er brugt ovenfor, benyttes om de Legemer, der let lade Elektriciteten strømme igennem dem. I al Almindelighed kunne Legemerne deles i to Klasser, de som lede, og de som ikke lede Elektriciteten; dog ere mange Stoffer delvise Ledere og kunne som en Følge heraf ikke henføres til nogen af de to ovenfor nævnte Klasser. — Alle Metaller, det menneskelige Legeme og Vand ere gode Ledere. Derimod ere Glas, Lak, Silke, Skellak, Guttaperka, Kautsjuk, Harpiks, fede Olier og Luften »Ikke-Ledere«. Som en Følge heraf blive disse Stoffer anvendte til Opstandere og Haandtag paa elektriske Apparater, fra hvilke Elektriciteten ikke maa afledes, og de benævnes derfor Isolatorer. Som vi tidligere have omtalt, kaldte Gilbert de Stoffer uelektriske, der, som f. Eks. Metallerne, ikke viste Tegn paa at blive elektriserede, naar man holdt dem i Haanden og gned dem; men vi vide nu, at Grunden dertil var den, at de som gode Ledere bortlede Elektriciteten lige saa hurtigt, som den frembringes. Den Opdagelse, som Gilbert gjorde, at elektriske Forsøg mislykkedes i fugtigt Vejr, forklares derved, at Vand er en god Leder, saa at Fugtigheden paa Overfladen af vaade Legemer vil aflede Elektriciteten, der er frembragt ved Gnidning, lige saa hurtigt, som den udvikles.

9. Andre elektriske Virkninger. Frembringelse af Elektricitet ved Gnidning kan godtgøres ved andre Virkninger end den Tiltrækning og Frastødning, vi hidtil have betragtet som en Prøve paa Tilstedeværelsen af Elektricitet. Otto von Guericke opdagede saaledes, at Gnister og Lysbundter opstaa i det Øjeblik, stærkt elektriske Legemer blive afladede. Saadanne Gnister ere sædvanligvis ledsagede af en knittrende Lyd, der, som allerede Newton og andre samtidige Naturforskere gjorde opmærksom paa, om end kun svagt, minde om Tordenen, der følger med Lynet. Blege Lysbundter frembringes

ogsaa ved Udladning af Elektricitet gennem lufttomme Rør. Andre Virkninger skulle senere omtales.

10. Andre Kilder til Frembringelse af Elektricitet. Gnidning er imidlertid ikke den eneste Maade, paa hvilken Elektricitet kan frembringes, thi dette kan ogsaa ske ved Sammentrykning, Slag, Varme, kemisk Virksomhed, fysiologisk Virksomhed, Berøring mellem Metaller o. s. v., men disse Maader ville nærmere blive omtalte i Afsnit VII. Vi skulle her kun i al Almindelighed bemærke, at naar to forskellige Stoffer gnides mod hinanden, frembringes der altid Elektricitet, idet det er fuldstændig ligegyldigt, hvad Stofferne bestaa af. Symmer bemærkede, at der blev frembragt Elektricitet, naar en Silkestrømpe blev trukken over en Uldstrømpe, skønt Uld med Uld og Silke med Silke ikke frembringer nogen elektrisk Virkning. Dersom et Stykke mat Glas gnides med et Stykke blankt Glas, vil der dog vise sig Elektricitet, da Overfladens Tilstand ved alle Legemer spiller en meget stor Rolle med Hensyn til Frembringelsen af Elektricitet ved Gnidning. I Almindelighed vil, naar to Legemer gnides sammen, det, som slides mest ved Gnidningen, blive negativt elektrisk. Forskel i Varmegraden indvirker ogsaa paa Legemernes elektriske Tilstand; et varmt Legeme bliver som Regel negativt elektrisk, naar det gnides med et koldt af samme Slags. Péclet fandt, at den Elektriseringsgrad, som frembringes ved at to Legemer gnides mod hinanden, er uafhængig af Trykket og af Størrelsen af de Overflader, der ere i Berøring med hinanden, men afhængig af Stoffet og af Hastigheden, med hvilken de bevæges hen over hinanden. Rullende og glidende Gnidning frembringe samme Virkning. Mængden af frembragt Elektricitet er imidlertid ikke proportional med Størrelsen af den virkende mekaniske Gnidningsmodstand, og derfor synes det tvivlsomt, om Gnidningen virkelig er Aarsagen til Elektriseringen. Det er snarere sandsynligt, at den virkelige Aarsag ligger i Berøringen af uensartede Stoffer (se Pkt. 73), og at det er nødvendigt, naar to

Dele ved Berøring med hinanden ere blevne modsat elektriserede, den ene positivt, den anden negativt, at fjærne dem fra hinanden, førend den Elektrisering, som enhver af dem har modtaget, kan iagttages. Elektriske Maskiner ere derfor saaledes konstruerede, at de bringe uensartede Stoffer i inderlig Berøring med hinanden og derefter føre de Smaadele bort fra hinanden, som ved at berøre hinanden ere blevne elektriserede.

II. Elektroskoper.

11. Simple Elektroskoper. Ved et Elektroskop forstaas et Instrument, der angiver, hvorvidt et Legeme er elektriseret eller ikke, og om det er positivt eller negativt elektriseret. Fjederen, der blev tiltrukken og frastødt, og de to Hyldemarvskugler, som fløj fra hinanden, ere i Virkeligheden simple Elektroskoper. Der er imidlertid konstrueret en Mængde forskellige Instrumenter, som bedre egne sig til at vise disse elektriske Fænomener, og vi skulle derfor nedenfor give en Beskrivelse af enkelte af dem.

12. Straa-Viser-Elektroskopet. Lægen Gilbert har konstrueret det første Elektroskop (Fig. 5), og det bestaar af en stiv Straavisser, ophængt paa Enden af en spids Opstander, saaledes at den kan dreje sig i den vandrette Plan.

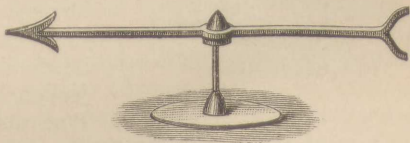


Fig. 5.

En tynd Strimmel Messing eller Træ eller selv en Gaasefjeder, ophængt paa Spidsen af en Synaal, vil gøre akkurat samme Nytte.

Naar et elektriseret Legeme holdes i Nærheden af Elektroskopet, vil Viseren blive tiltrukken og dreje sig, hvorved den angiver Tilstedeværelsen af Elektricitet, selv om Mængden heraf er meget mindre end den, der

behøves for at tiltrække smaa Papirsstykker, der ligge paa et Bord.

13. Guldblade-Elektroskopet. Et endnu mere følsomt Instrument er Guldblade-Elektroskopet, der er opfundet af Bennet og vist i Fig. 6. Vi have set, at to Hyldemarvskugler, der ere ladede med ensartet Elektricitet, frastøde hinanden og holde sig fra hinanden, idet Tyngdekraften delvis overvindes af den elektriske Frastødnings-Kraft. Et Par smalle Strimler af det allertyndeste Papir, ophængte paa en Opstander, ville virke

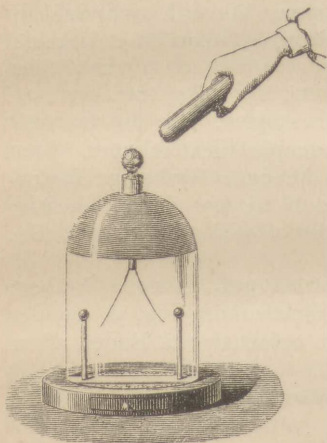


Fig. 6.

aldeles paa samme Maade, naar de elektriseres. Det bedste Resultat opnaas imidlertid med to Strimler af overmaade tyndt Bladguld (»Bogguld«), som er meget lettere end det tyndeste Papir. Guldblade-Elektroskopet konstrueres almindelig saaledes, at man ophænger de to Guldblade inden i en Glasflaske med vid Hals, hvorved man baade opnaar, at Guldbladene ere beskyttede mod Lufttræk, og at de ikke ere i ledende Forbindelse med Jorden. Igennem Flaskens Prop, der skal være ferniseret

med Skellak eller paraffineret, er ført et ligeledes ferniseret Glasrør; gennem dette er anbragt en stiv Messingtraad, som forneden er bøjet i en ret Vinkel til Befæstelse af Guldbladene, og som foroven bærer en flad Metalplade eller en Messingkugle. Naar dette Elektroskop holdes tørt og frit for Støv, vil det kunne vise Tilstedeværelsen af overordentlig smaa Mængder af Elektricitet. En gnedne Glasstang vil, selv om den holdes to, tre Fod fra Elektroskopet, bevirke at Guld-

bladene frastøde hinanden. De smaa Spaaner, som skæres af en Blyant, naar man spidser den, ville vise sig at være elektriserede, naar man lader dem falde paa Elektroskopets Plade. Guldbladene ville ligeledes gøre et Udslag, naar Elektroskop-Kuglen børstes med en lille Kamelhaars Børste. Man kan fremdeles med dette Instrument vise, at enhver Gnidning frembringer Elektricitet. Dersom et Menneske staar paa et isolerende Underlag — f. Eks. en Skammel med Glasben eller et Brædt, der hviler paa 4 Vandglas, og man giver ham en Række hurtige Slag med et Silkelommetørklæde eller en Rævehale, eller selv om man kun børster ham med en almindelig Klædebørste, vil han blive elektriseret, hvad der vil vise sig paa Elektroskopet, naar han holder paa Kuglen med den ene Haand.

Guldblad-Elektroskopet kan endvidere benyttes til at vise, hvilken Slags Elektricitet et Legeme er ladet med. Dersom man f. Eks. gnider et Stykke Indpakkingspapir med et Stykke Kautsjuk og ønsker at vide, om den Elektricitet, der er frembragt i Papiret, er positiv eller negativ, skal man bære sig ad paa følgende Maade: Guldbladene lades ved at berøre Elektroskopets Kugle med en Glasstang, der er gnedet med Silketøj. Bladene ville gøre et Udslag, idet de blive positivt elektriserede. Nærmer man nu et Legeme til Kuglen, vil Guldbladenes Udslag blive større, hvis Legemet er positivt elektriseret, medens Udslaget vil blive mindre, dersom Legemet er negativt elektriseret. Naar Papiret nærmes til Kuglen, vil Udslaget forøges, og man ser deraf, at den i Papiret frembragte Elektricitet er af samme Art, som den, hvormed Elektroskopet er bleven ladet, og at Papiret altsaa er positivt elektrisk. Elektroskopet vil ogsaa tilnærmelsesvis kunne angive Mængden af den Elektricitet, som et Legeme, der kommer i Berøring med det, er ladet med, idet nemlig Guldbladenes Udslag bliver større, naar man paa denne Maade tilfører dem en større Mængde Elektricitet. Skal Maalingen af Elektricitetsmængden være nøjagtig, maa man imidlertid be-

nytte et saakaldet Elektrometer, som vil blive beskrevet i Afsnit XXI.

I Bohnenberger's Elektroskop anvendes et enkelt Guldblad, der er ophængt imellem to Metalplader, af hvilke den ene kan gøres positivt, den anden negativt elektrisk ved at forbinde dem med Polerne af et »tørt Batteri« (Pkt. 182). Lades Guldbladet med positiv eller med negativ Elektricitet, vil det blive tiltrukket af den ene Metalplade og frastødt af den anden efter Loven for Tiltrækning og Frastødning, som er omtalt i Pkt. 4.

14. Henley's Kvadrant-Elektroskop. Kvadrant-Elektroskopet anvendes undertiden for at vise Tilstedeværelsen af store Ladninger af Elektricitet. Det bestaar af en lille lodret Stang af et ledende Stof, til hvilken der er befæstet en Stift, som foroven kan dreje sig om en Akse og forneden ender i en Hyldemarvskugle. Naar Instrumentet er elektriseret, vil Kuglen blive frastødt af Stangen, og Stiften vil gøre et Udslag, hvis Størrelse kan aflæses paa en inddelt Bue. Dette **Elektroskop**, der er vist paa Elektrisermaskinen Fig. 20, anvendes kun for at vise, om en Elektrisermaskine eller et Leydner-Batteri er ladet, og det maa ikke forveksles med det i Afsnit XXI beskrevne, fintfølende »Kvadrant-Elektrometer«, hvis Bestemmelse er at maale meget smaa elektriske Ladninger — ikke at vise store.

15. Snonings-Vægten. Skønt Snonings-Vægten snarere maa regnes for et Elektrometer end for et Elektroskop, vil Beskrivelsen af den dog være paa sin Plads her. Instrumentet (Fig. 7) benyttes til at maale den Kraft, med hvilken to ensartet elektriserede Legemer frastøde hinanden, idet Frastødningen holdes i Ligevægt af den Kraft, hvormed en tynd Metaltraad, der er bleven snoet, søger tilbage mod sin Hvilestilling. Snonings-Vægten bestaar af en tynd Skellakstang, der er ophængt inden i en Glaskasse i en tynd Sølvtraad. Denne Stang bærer i sin ene Ende en lille Kugle c af forgyldt Hyldemarv. Sølvtraadens øverste Ende er fastgjort til en Metaldup A, forsynet med en i

Grader inddelt Skive. Duppen med Skiven kan drejes rundt i det Glasrør, som bærer den. I Glaskassens Laag findes en lille Aabning, gennem hvilken man kan føre en lille Stang af Skellak eller Glas a b ned i Kassen; Stangen ender forneden i en Kugle b, der er lige saa stor som c og ligesom denne af forgyldt Hylde-marv. Paa Siderne af Glaskassen og i Højde med den vandrette Skellakstang findes en Inddeling i Grader. For at holde den i Glaskassen indesluttede Luft tør, er der paa Bunden af Glaskassen anbragt en Skaal med Klorkalcium, der indsuger Fugtighed.

Snonings-Vægten benyttes nu paa følgende Maade: Man drejer først Duppen A, hvortil Sølvtraaden er befæstet, indtil de to Kugler b og c netop røre hinanden. Derpaa udtages Stangen a b, og Kuglen b lades med den Elektricitets-Ladning, der skal maales, hvorefter Stangen igen anbringes paa Plads. Saasnart b og c røre hinanden, vil en Del af b's Ladning meddele sig til c,

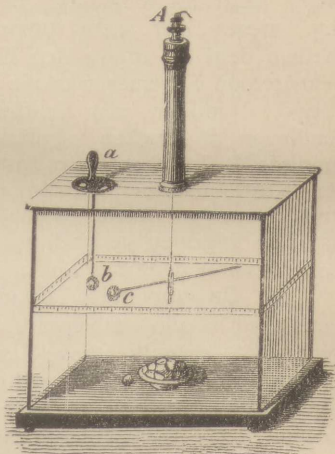


Fig. 7.

hvorfor de frastøde hinanden, da de ere ladede med ensartet Elektricitet. Kuglen c vil derved blive dreven rundt, og Sølvtraaden vil altsaa blive snoet. Frastødnings-Kraften bliver mindre og mindre, jo længere c fjerner sig fra b; men Snoningsmodstanden bliver større og større, jo mere Traaden snos. Derfor ville disse to Kræfter holde hinanden i Ligevægt, naar Kuglerne ere fjernede et vist Stykke fra hinanden, og det er indlysende, at en større elektrisk Ladning vil frastøde

Kuglen c med en større Kraft, end en mindre Ladning vil gøre det. Afstanden mellem de to Kugler aflæses i Grader paa Glaskassens Inddeling. Naar en Traad snos, vil den Kraft, med hvilken den søger at sno sig tilbage igen, være nøjagtigt proportional med Snoningens Størrelse. Den Kraft, der fordres for at sno en Traad 10 Grader, er netop 10 Gange saa stor som den Kraft, der er nødvendig for at sno den 1 Grad. Med andre Ord, Snonings-**Kraften** er proportional med Snonings-**Vinklen**. Naar de to Kugler ikke fjernes meget langt fra hinanden, vil Vinkelafstanden mellem dem meget nær være proportional med Afstanden imellem dem og angive den Kraft, med hvilken de to elektriserede Legemer frastøde hinanden i denne Afstand. Læseren maa imidlertid vel skelne imellem Maalingen af **Kraften** og Maalingen af den virkelige **Mængde** Elektricitet, som Instrumentet er ladet med; den Kraft, hvormed de to elektriserede Kugler frastøde hinanden, retter sig efter deres indbyrdes Afstand og følger en særlig Lov, »de omvendte Kvadraters Lov«, som nedenfor vil blive forklaret.

16. De omvendte Kvadraters Lov. Coulomb viste ved Hjælp af Snonings-Vægten, at den Kraft, hvormed to smaa elektriske Legemer paavirke hinanden, er omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden imellem dem. Lad os saaledes tænke os, at to elektriserede Legemer i en indbyrdes Afstand af en Tomme frastøde hinanden med en vis Kraft, saa vil den Kraft, med hvilken de frastøde hinanden i en Afstand af to Tommer, være $\frac{1}{4}$ af den Kraft, hvormed de frastøde hinanden i en Tommes Afstand, og i 10 Tommers Afstand vil den kun være $\frac{1}{100}$ af Kraften i en Tommes Afstand. Denne Lov kan bevises ved Hjælp af Snonings-Vægten paa følgende Maade. De to Inddelinger forudsættes til at begynde med at vise paa Nul, og der meddeles derefter Kuglerne en vis Ladning. Kuglen c bliver da frastødt og antages at indstille sig i en Afstand af 36^0 fra b. Snoningen af Traaden imellem

den øverste og nederste Ende er da ogsaa 36^0 , eller Frastødningskraften er 36 Gange saa stor som den Kraft, der fordres til at sno Traaden 1 Grad. Duppen A drejes nu rundt, saa at Traaden snos for oven, hvorved Kuglen c bringes nærmere til Kuglen b, indtil den oprindelige Afstand imellem dem er bleven halveret. For at formindske Afstanden fra 36^0 til 18^0 , har det været nødvendigt at dreje Duppen en Vinkel paa 126^0 . Den hele Snoning mellem Traadens øverste og nederste Ende er altsaa $126^0 + 18^0$ eller 144^0 , og Kraften er 144 Gange saa stor, som den, der fordres for at sno Traaden 1^0 . Men 144 er fire Gange saa meget som 36, hvoraf vi se, at medens Afstanden er bleven formindsket til det Halve, er Frastødningskraften mellem de to Kugler bleven fire Gange saa stor. Var Afstanden bleven formindsket til en Fjerdedel, eller 9^0 , vilde den hele Snoning have været 576^0 , eller seksten Gange saa stor. Dette beviser, at Kraften er **omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden.**

Der fordres imidlertid for at opnaa saa nøjagtigt Resultat en betydelig Øvelse og Dygtighed, idet der i Instrumentet findes mange Kilder til Unøjagtighed. Kuglerne maa være meget smaa i Forhold til Afstanden imellem dem. Det vil vise sig, at den elektriske Ladning bliver mindre og mindre, som om den blev afledet fra Kuglerne til Luften. Tabet er imidlertid mindre, naar Apparatet er fuldstændig tørt, og dette er Grunden til, at der inden i det anbringes en Skaal med Klorkalcium, koncentreret Svovlsyre eller et andet vandsugende Middel.

Førend vi forlade Omtalen af elektrisk Kraft, maa vi nævne, at Tiltrækningskraften mellem to uensartede elektriserede Legemer ogsaa forholder sig omvendt som Kvadratet paa Afstanden imellem dem. I alle Tilfælde, hvad enten det er Tiltrækning eller Frastødning, er Kraften i en given Afstand **proportional med Produktet af de to Elektricitetsmængder**, der findes i Legemerne. Have vi f. Eks. givet Kuglen b en Ladning 2 og Kuglen c en Ladning 3, vil Kraften imellem dem

være $3 \cdot 2 = 6$ Gange saa stor, som hvis hver af dem havde haft en Ladning 1.

17. Enhed for Mængde af Elektricitet. I Henhold til Lovene for Tiltrækning og Frastødning har man valgt følgende Definition for den Elektricitetsmængde, man benytter som **Enhed** ved Maalingen af andre Elektricitetsmængder: Enhed for Elektricitet er den Mængde, som i 1 Centimeters Afstand (i Luften) frastøder en ensartet og lige saa stor Mængde af Elektricitet med en Kraft af 1 Dyn.

Yderligere Forklaring om Maaling af Elektricitetsmængder er givet i Afsnittene XX og XXI.

III. Elektrisering ved Fordeling.

18. Vi have nu vist, hvorledes to ladede Legemer ville tiltrække eller frastøde hinanden. Man siger undertiden, at det er Elektriciteterne i Legemerne og

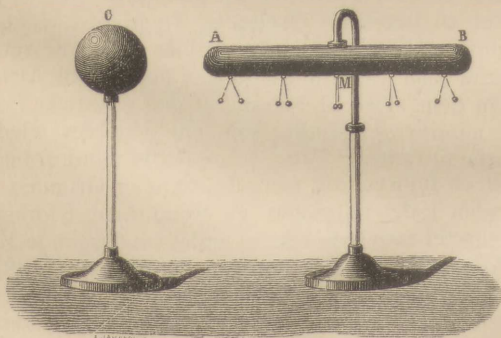


Fig. 8.

ikke selve Legemerne, som tiltrække eller frastøde hinanden; men da man kun kender Elektriciteten som værende i eller paa de elektriserede Legemer, kan man ikke føre noget direkte Bevis for, at det er de

forskelligartede Elektriciteter, som tiltrække hinanden. Ikke desto mindre er der visse Fænomener, som bestyrke denne Antagelse, og et af disse er den elektriske Indfyldelse, som et elektrisk Legeme udøver paa et ikke elektrisk.

Hvis vi gnide en Glaskugle med Silketøj og holde den i Nærheden af et Legeme, som ikke er bleven elektriseret, hvad vil saa ske? For at undersøge dette kunne vi benytte det Apparat, som er vist i Fig. 8. Det bestaar af en cylindrisk Metalstang, A B, der bæres af en Glasfod, og hvis Ender ere afrundede. Til Stangens Underside er fastgjort en Række Hylde-marvskugler, ophængte parvis, i ledende Traade. Anbringes nu en Glaskugle, C, der er ladet med positiv Elektricitet, i Nærheden af Stangen eller som den ogsaa kaldes »Konduktoren«, vil det vise sig, at denne er bleven elektriseret, skønt den ikke er bleven gnedet, thi Hylde-marvskuglerne ville gøre et Udslag, der er størst for dem, der ere ophængte i hver Ende af Konduktoren, og som aftager, jo nærmere Kuglerne hænge ved Konduktorens Midte, idet de dér ophængte Kugler slet intet Udslag gøre. Det vil endvidere vise sig, at Elektriciteten er af forskellig Art i de to Ender af Konduktoren, idet den Ende, der er nærmest Glaskuglen er negativt elektrisk, medens den anden Ende er positivt elektrisk. Det fremgaar heraf, at en positiv Ladning tiltrækker en negativ og frastøder en positiv. Havde vi derimod anbragt et negativt elektrisk Legeme i Nærheden af Konduktoren, vilde den Ende af den, som er nærmest det elektriserede Legeme, være bleven positivt elektrisk, medens den anden Ende var bleven negativt elektrisk. Denne Maade at fremkalde Elektricitet paa kaldes at elektrisere et Legeme ved **Fordeling** (Induktion) og er først angivet af den engelske Fysiker John Canton i 1753. Elektrisering ved Fordeling vil finde Sted, selv om det elektriserede Legeme er temmelig langt fjernet fra Konduktoren, ja selv om der er anbragt en stor Glasplade imellem dem. Naar

det elektriserede Legeme fjernes, vil hele Ladningen i Konduktoren forsvinde uden at efterlade noget Spor, og Glaskuglen vil indeholde en lige saa stor Ladning som oprindelig, saa at den altsaa ikke har afgivet noget af sin Elektricitet. Det vil erindres, at en af Teorierne om Elektriciteten antager, at et positivt elektrisk Legeme har mere Elektricitet og et negativt elektrisk Legeme mindre Elektricitet end Omgivelserne. Af denne Teori følger, at naar et Legeme (som f. Eks. den positivt elektriserede Glaskugle), der har mere Elektricitet end dets Omgivelser, anbringes i Nærheden af en isoleret Konduktor, bliver den ligelige Fordeling af Elektriciteten i denne forstyrret, idet Elektriciteten strømmer bort fra den Ende, som er nærmest det positive Legeme, hvorved der bliver mindre tilbage af den i denne Ende end sædvanlig, medens der frembringes mere Elektricitet end sædvanlig i den anden Ende. Naar Konduktoren, efter at Glaskuglen er fjernet, ikke viser noget Tegn paa Elektrisering, forklares det derved, at Konduktoren vender tilbage til sin oprindelige Tilstand, og da den hverken er mere eller mindre elektrisk end alle andre Genstande paa Jordens Overflade, vil den hverken vise en positiv eller en negativ Ladning.

19. Dersom Konduktoren bestaar af to Stykker, som kunne skilles fra hinanden, medens de endnu ere under Paavirkning af det elektriserede Legeme, saa ville de to Ladninger, naar det elektriserede Legeme fjernes, ikke længere kunne ophæve hinanden, men de maa blive hver paa sit Stykke af Konduktoren, og kunne da undersøges i Ro og Mag.

Isoleres Konduktoren ikke, saa at den er i ledende Forbindelse med Jorden, vil det vise sig, at kun den Ende, som er nærmest det elektriske Legeme, bliver elektriseret. Den frastødte Elektricitet er bleven ført saa langt bort som muligt $\propto$ til Jorden, og man vil under disse Omstændigheder kun finde een Slags Elektricitet paa Konduktoren, nemlig den modsatte Art af den, det elektriserede Legeme er ladet med, hvad Slags

dette nu end maa være. Resultatet er det samme, som om et elektriseret Legeme var i Stand til at drage Elektricitet af modsat Art til sig fra Jorden, men den først givne Forklaring af Forholdet er rigtigere.

Størrelsen af de to Ladninger, som Tilstedeværelsen af en elektrisk Ladning saaledes har frembragt ved Fordeling paa en Konduktor, afhænger af Størrelsen af den Ladning, der har frembragt Fordelingen, og af Afstanden mellem det elektriske Legeme og Konduktoren. En stærkt elektriseret Glasstang vil frembringe en større fordelende Virkning end en svagere elektriseret Glasstang, og Glasstangen frembringer en større Virkning, efterhaanden som den bringes nærmere og nærmere til Konduktoren. Den største Ladning, der vil kunne frembringes paa Konduktorens nærmeste Ende, vil være en negativ Ladning, der er lige saa stor som Glasstangens positive, og paa den fjerneste Ende en lige saa stor positiv Ladning; men inden det elektriserede Legeme kan blive bragt saa tæt til Konduktoren som fordres hertil, vil der som Regel ske noget andet, der bevirker en fuldstændig Forandring af Forholdene. Efterhaanden som det elektriserede Legeme bringes nærmere og nærmere til Konduktoren, ville nemlig de to Ladninger af modsat Art paa de to modstaaende Overflader tiltrække hinanden stærkere og stærkere og ophobes tættere og tættere, indtil der, naar det elektriserede Legeme er kommet meget nær, vil springe en Gnist over; de to Ladninger ville da fare imod hinanden og ophæve hinanden, medens den positive Ladning, der tidligere blev stødt bort til Konduktorens anden Ende, efter at det elektriserede Legeme er bleven fjernet, vil fordele sig over hele Konduktoren.

20. Vi ere nu i Stand til ved Hjælp af Fordelings-Princippet at forklare, hvorfor et elektriseret Legeme kan tiltrække andre Legemer, som aldeles ikke ere elektriserede. Ophænges en let Kugle i en Silke- traad (Fig. 9), og holdes en gneden Glasstang i Nærheden af den, vil Glassets positive Ladning ved For-

deling frembringe en negativ Ladning paa den nærmeste Side og en lige saa stor positiv Ladning paa den modsatte Side af Kuglen. Den nærmeste Halvdel af Kuglen vil derfor blive tiltrukken, medens den fjerneste vil blive frastødt; men Tiltrækningen vil være stærkere

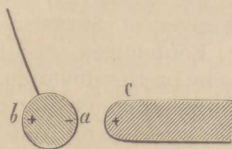


Fig. 9.

end Frastødningen, fordi den tiltrukne Elektricitet er nærmere end den frastødte, og Resultatet heraf vil være, at Kuglen bliver tiltrukken af Glasstangen. Man kan let overbevise sig om, at dersom Kuglen er af et ikke ledende Stof, som f. Eks. Voks, vil den

ikke blive tiltrukken saa stærkt, som naar Kuglen er af et ledende Stof. Herved bevises, at en Fordeling gaar forud for Tiltrækningen.

21. Fordelingsevne. Vi ere hidtil gaaede ud fra, at Elektriciteten kan virke paa Afstand og kan frembringe sine fordelende Virkninger uden noget Forbindelsesled mellem Legemerne. Dette er imidlertid ikke Tilfældet, thi Faraday opdagede, at Luften imellem det elektriserede Legeme og Konduktoren spiller en meget vigtig Rolle ved Frembringelsen af disse Virkninger. Havde et andet Stof, som f. Eks. Stenolie eller Svovl, opfyldt Mellemrummet, vilde Virkningen af det elektriserede Legeme i samme Afstand være bleven større. Den Evne, et Legeme har til at lade et elektriseret Legemes fordelende Indflydelse virke igennem sig, kaldes dets **Fordelingsevne** (se Pkt. 49 og Afsnit XXII).

22. Elektroforet. Vi skulle derefter gaa over til at beskrive et simpelt og sindrigt Instrument, der er opfundet af Volta i 1775, og som sætter os i Stand til ved Fordeling at frembringe et ubegrænset Antal elektriske Ladninger ved Hjælp af en enkelt Ladning.

Dette Instrument er **Elektroforet** (Fig. 10). Det bestaar af to Dele, en rund Kage (G) af harpiksagtige Stoffer, der er støbt i en Metalskaal, »Tallerkenen« (F), omtrent 12" i Diameter, og en rund Plade (P) af noget

mindre Diameter, af Træ, overtrukken med Staniol, eller af Metal og forsynet med et Glashaandtag V. Kagen kan laves af Skellak, af Lak eller af en Blanding af Harpiks, Skellak og venetiansk Terpentintin (3: »tyk Terpentintin«). En Plade af Svovl kan ogsaa bruges, men den er meget skør. En

Ebonitplade er meget fortræffelig; men dens Overflade maa af og

til vadskes med Salmiakspiritus og gnides af med Stenolie, da det Svovl, der indeholdes i Eboniten, er tilbøjeligt til at iltes og tiltrække Fugtighed.

Naar Elektroforet skal bruges, gnider eller slaar man Kagen med et Stykke varmt, uldent Tøj eller endnu bedre med Katteskind. Skjoldet anbringes derefter oven paa Kagen og berøres et Øjeblik med en Finger, hvorpaa det ved Hjælp af Glashaandtaget løftes op igen; man vil da finde, at det er bleven stærkt positivt elektrisk, saa at der endog vil springe en Gnist over, naar man holder Knoen af en Finger hen imod Skjoldet. Man kan derefter sætte Skjoldet paa Kagen igen, berøre det, løfte det op igen, og paa denne Maade frembringe saa mange Gnister, man vil, idet Kagen, praktisk taget, bevarer sin Kraft usvækket.

Teorien for Elektroforet er meget simpel, forudsat at man fuldstændig har forstaaet den ovenfor givne Forklaring af Frembringelsen af Elektricitet ved Fordeling. Naar Harpikskagen bliver slaaet med Katteskindet, bliver dens Overflade negativt elektrisk. Lægges Skjoldet paa Kagen, hviler det i Virkeligheden kun paa tre eller fire Punkter af dens Overflade og vil derfor

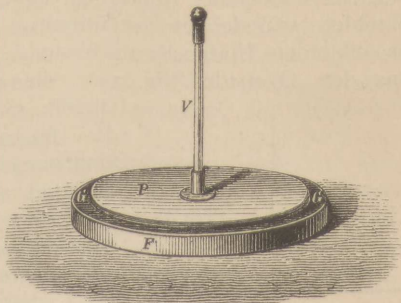


Fig. 10.

kunne betragtes som en isoleret Konduktor, der er i Nærheden af et elektriseret Legeme. Derfor vil Kagens negative Elektricitet frembringe en elektrisk Fordeling i Skjoldet, saaledes at der tiltrækkes positiv Elektricitet paa Skjoldets Underside og frastødes negativ Elektricitet paa dets Overside (Fig. 11).

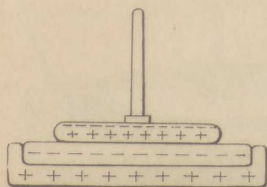


Fig. 11.

Berøres nu Skjoldet et Øjeblik med en Finger, vil den frastødte negative Ladning paa Oversiden blive neutraliseret af Elektricitet, der fra Jorden strømmer op igennem det menneskelige Legeme og Fingeren. Skjoldets positive Ladning vil derimod blive tilbage, da den holdes bunden

af Kagens negative Ladning, og naar Skjoldet derpaa løftes op ved Haandtaget, vil den ikke længere ved Tiltrækning være bunden til Undersiden, men den vil spredes over begge Sider af Skjoldet, og kan, som ovenfor sagt, benyttes til at frembringe en Gnist.

Det er klart, at intet af Kagens oprindelige Ladning herved er bleven forbrugt, og at Forsøget vil kunne gentages saa ofte, det skal være. Kagens Ladning forsvinder imidlertid langsomt, navnlig i fugtigt Vejr, og den maa derfor fornyes ved at slaa Kagen med Kattekindet. Man kan undgaa at berøre Skjoldet med Fingeren, naar der fra Tallerkenens Underside til Oversiden af Kagen er anbragt et Messingpind eller et Stykke Staniol, der berører Skjoldet; herigennem vil der da strømme Elektricitet til fra Jorden og ophæve Skjoldets negative Elektricitet.

Da Frembringelsen af Elektriciteten i Skjoldet ikke sker paa Bekostning af Ladningen i Kagen, vil det have sin Interesse at undersøge, hvor denne tilsyneladende uudtømmelige Kilde til Energi findes, thi Energi kan kun udvikles ved Omdannelse af en anden Energi-form, lige saa vel som en Dampmaskine kun kan arbejde, naar den forsynes med Brændsel. Sammenhængen her-

med er nu den, at der i Virkeligheden udfordres større Kraft til at løfte Skjoldet op, naar det er ladet med positiv Elektricitet, end naar det er uladet; naar det er ladet, skal man nemlig baade overvinde Tyngdekraften og den elektriske Tiltrækningskraft. Det forøgede Muskelarbejde, der saaledes udrettes, hver Gang Skjoldet løftes, er den virkelige Kilde til den Energimængde, de elektriske Udladninger repræsenterer.

23. Kontinuerlige Elektroforer. Den rent mekaniske Handling, at lægge Skjoldet paa Kagen, berøre det og igen løfte det op, kan udføres avtomatisk ved særlige, mekaniske Indretninger, og saaledes kan Frembringelsen af disse Ladninger ved Fordeling, praktisk talt, foregaa uafbrudt.

Det ældste af saadanne kontinuerlige Elektroforer er konstrueret af Bennet under Navn af »Fordobleren« (the doubler of electricity); Wimshurst's Maskine, der er beskrevet i Afsnit V, er den nyeste Løsning af Opgaven.

24. »Fri« og »bunden« Elektricitet. Vi have ovenfor betegnet en elektrisk Ladning paa Overfladen af en Konduktor som »bunden«, naar den er tiltrukket af en i dens Nærhed til Stede værende Ladning af modsat Art. Den omvendte Betegnelse »fri« anvendes undertiden om Elektricitet i dens sædvanlige Tilstand paa en ladet Konduktor, der ikke er under Paavirkning af en anden Ladning af modsat Art. En »fri« Ladning paa en isoleret Konduktor vil øjeblikkelig blive afledet til Jorden, hvis der tilvejebringes en ledende Forbindelse mellem denne og Konduktoren, og det er i saa Henseende ligegyldigt, hvilket Punkt af Konduktoren, der bringes i ledende Forbindelse med Jorden. Betragt vi igen Fig. 8, hvor et positivt elektriseret Legeme frembringer negativ Elektricitet i den Ende af Konduktoren, der er nærmest ved det elektriserede Legeme og positiv i den modsatte Ende, er den negative Ladning »bunden«, idet den bliver tiltrukket, medens den positive Ladning, der frastødes, er »fri«; og dersom den isolerede Kon-

duktor berøres af et Menneske, der staar paa Gulvet, vil den »fri« Elektricitet strømme bort til Jorden gennem Legemet, medens den »bundne« Elektricitet bliver tilbage uden Hensyn til, om Konduktoren berøres i den ene eller anden Ende eller paa Midten.

25. Ladning af Guldblad-Elektroskopet ved Fordeling. — Vi skulle nu gaa over til at vise, hvorledes Guldblad-Elektroskopet kan blive ladet med en Elektricitet, som er modsat den, der findes i det Legeme, som benyttes til Ladningen. I Afsnit II viste vi, at den Maade, paa hvilken Elektroskopet blev ladet, var, at man berørte dets Kugle med et elektriseret Legeme, for, som det syntes, at bringe en lille Del af Ladningen til at strømme ned i Guldbladene. Det er indlysende, at en Glasstang, der er gnedet med Silke og altsaa er positivt elektrisk, paa denne Maade vilde gøre Guldbladene positivt elektriske.

Lad os imidlertid antage, at den gnedne Glasstang holdes nogle faa Tommer oven over Elektroskopet, saaledes som vist i Fig. 6; ogsaa i denne Afstand ville Guldbladene gøre Udslag, men Virkningen vil nu skyldes Fordelingen.

Guldbladene, Metalstangen og Kuglen danne en sammenhængende Konduktor, der er isoleret fra Jorden ved Glasflasken, og Tilstedeværelsen af den pos. elektriserede Glasstang vil derfor frembringe en Fordeling i den »isolerede Konduktor«, saaledes at Kuglen, der er nærmest Glasstangen, vil blive negativt elektrisk, medens Guldbladene, som ere Konduktorens fjerneste Ende, ville blive positivt elektriske og altsaa gøre Udslag. Af disse to Ladninger er den negative paa Kuglen »bunden«, medens den positive paa Guldbladene er »fri«, og dersom nu, idet Glasstangen stadigt holdes over Elektroskopet, Kuglen berøres af et Menneske, der staar paa Jorden, vil den ene af de to Ladninger strømme til Jorden, nemlig den fri Ladning, — ikke Ladningen paa den berørte Kugle, thi den er »bunden«, men derimod Guldbladenes Ladning,

som er fri, — og Guldbladene ville derfor øjeblikkelig falde sammen. Der bliver kun tilbage paa Kuglen den negative Ladning, som er »bunden«, saa længe Glasstangens positive Ladning holdes i Nærheden af den og tiltrækker den, men saa snart Glasstangen fjernes, vil den negative Ladning ikke længere være »bunden« paa Kuglen; den vil blive »fri« og fordele sig til Guldbladene, saa at disse igen ville gøre et Udslag — men denne Gang fordi de ere ladede med negativ Elektricitet.

26. Bagslag. Naar en ladet Konduktor pludselig udlades, ville Personer, som befinde sig i Nærheden af den, undertiden føle et Stød; hvis der er anbragt et Elektroskop i Nærheden af Konduktoren, vil Virkningen kunne iagttages paa dette, og der vil endog kunne fremkomme en Gnist. Denne Virkning kaldes »Bagslag« og skyldes Fordelingen; thi lige saa vel som der frembringes Elektricitet i Legemer, der befinde sig i Nærheden af en ladet Konduktor, saaledes ville disse ogsaa, naar Konduktoren udlades, udlade den i dem frembragte Elektricitet til Jorden eller til andre gode Ledere.

»Bagslag« føles ogsaa undertiden af Personer, som staa paa Jorden i Nærheden af det Sted, hvor Lynet slaar ned.

IV. Elektricitetens Ledning og Udbredelse.

27. Ledning. — I Slutningen af Afsnit II have vi omtalt, at visse Legemer, saasom Metallerne, lede Elektriciteten, medens andre, de saakaldte Isolatorer, ikke gøre det.

Denne Opdagelse skyldes Stephen Gray, som i 1729 fandt, at en Korkprop, indsat i Enden af et gnedet Glasrør, ja selv en Træpind, som er stukken fast i Proppen, er i Stand til at tiltrække lette Legemer. Han viste ogsaa, at Metaltraad og Sejlgarn leder Elektriciteten, medens Silke ikke gør det. Dette kan let

vises ved at tage et Glasrør, hvori der er indsat en Korkprop med en Træpind, og til denne fastgøre en Metalkugle ved Hjælp af en linned Traad eller en Metaltraad. Metalkuglen vil da, naar Glasrøret bliver gnedet, være i Stand til at tiltrække smaa Stykker Papir, ligesom Glasstangen i Fig. 1. Ophænges derimod Kuglen i en tør Silketraad, vil den ikke blive elektrisk.

Det lykkedes ogsaa Gray at overføre en elektrisk Ladning gennem en 700 Fod lang Hampetraad, der var ophængt i Silketraade. Noget senere lykkedes det Du Fay at overføre en Ladning gennem en 1256 Fod lang fugtig Traad, og han viste saaledes, at Fugtighed leder Elektricitet. Herefter bleve Legemerne delte i Ledere og Isolatorer.

Denne Inddeling er imidlertid ikke fuldstændig korrekt, da en hel Del Stoffer indtage en Mellemstilling og ere delvise Ledere. Tørt Træ er f. Eks. en daarlig Leder, men ogsaa en daarlig Isolator; det er en tilstrækkelig god Leder til at bortlede den Elektricitet af høj Spænding, der frembringes ved Gnidning, men det er en daarlig Leder for Elektricitet af forholdsvis lav Spænding, som den, der frembringes af smaa Volta-Batterier.

Man siger, at de Stoffer, som ere meget daarlige Ledere, gøre en stor **Modstand** imod Elektricitetens Bevægelse igennem dem. Der findes imidlertid ikke et Stof, som er saa god en Leder, at det ingen Modstand gør imod Elektriciteten, ligesom der paa den anden Side heller ikke findes noget Stof, som gør saa stor Modstand, at det slet ikke leder en Smule. Selv Sølv, som er den bedste Leder af alle kendte Stoffer, gør dog en ubetydelig Modstand imod den elektriske Strøm, medens en saa slet Leder som Glas, hvis Modstand er mange Millioner Gange større end et hvilket som helst Metals, dog tillader en ganske ringe Mængde Elektricitet at gaa igennem sig.

I den nedenfor staaende Liste ere Legemerne ordnede efter deres Ledningsevne, saaledes at et Legeme, som findes højere oppe i Rækken leder bedre end et, der staar længere nede.

Sølv	}	Gode Ledere.	
Kobber			
Andre Metaller			
Trækul			
Vand	}	Halv-Ledere.	
Det menneskelige Legeme			
Bomuld			
Tørt Træ			
Marmor	}	Isolatorer eller slette Ledere.	
Papir			
Olie			
Porcellæn			
Uld	}		
Silke			
Harpiks			
Guttaperka			
Skellak	}		
Ebonit			
Paraffin			
Glas			
Tør Luft	}		

Ved Hjælp af et ladet Guldbladelektroskop kan man paa en simpel Maade undersøge, om et Legeme er en Leder eller ikke, idet man tager Legemet i Haanden og bringer det i Berøring med Elektroskopets Kugle. Dersom Legemet er en god Leder, vil Elektriciteten strømme ud gennem dette og det menneskelige Legeme til Jorden, og Elektroskopet vil blive afladet. Gennem gode Ledere sker Udstrømningen saa hurtigt, at Afladningen praktisk talt er øjeblikkelig.

Dette vil nærmere blive behandlet i Afsnit XXIII.

28. Elektricitetens Udbredning paa Legemerne.

Naar man frembringer Elektricitet paa en begrænset Del af et ikke ledende Legeme, vil Elektriciteten blive

paa dette Sted; den vil ikke brede sig ud over Overfladen eller vil i hvert Tilfælde kun gøre det overordentlig langsomt. En Glasstang, der gnides i den ene Ende, vil derfor kun blive elektriseret i denne. Gnides en Del af en varm Harpikskage med et Stykke Klæde, vil kun den Del, der er gnedet, kunne tiltrække lette Legemer. Det modsatte er imidlertid Tilfældet, naar der meddeles Elektricitet til en hvilken som helst Del af et ledende Legeme, der er anbragt paa et isolerende Underlag, thi Elektriciteten vil øjeblikkelig sprede sig over hele Overfladen, om den end i Almindelighed ikke vil spredes jævnt over hele Overfladen.

29. Ladningen befinder sig kun paa Overfladen.
Dette bevises ved den Kendsgerning, at det med Hensyn

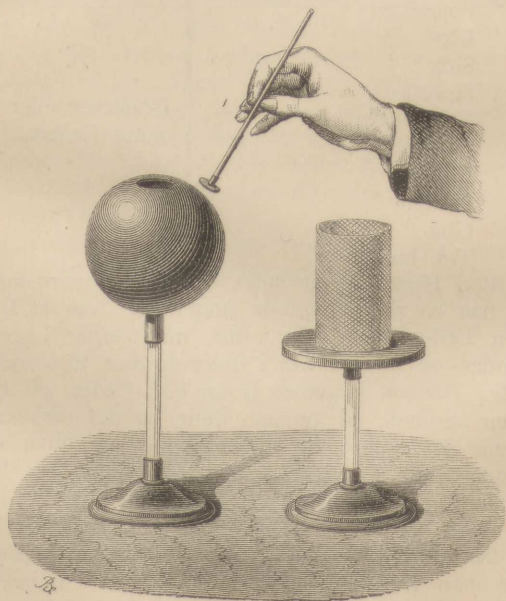


Fig. 12.

til Elektricitetens Fordeling paa en Konduktor er fuldstændig ligegyldigt, hvad dens Indre bestaar af, om Konduktoren er massiv, hul eller af Træ, belagt med Staniol eller forgyldt. Er Formen den samme, vil Elektriciteten fordele sig nøjagtigt paa samme Maade paa Overfladen.

Denne vigtige Kendsgerning kan imidlertid ogsaa vises ved direkte Forsøg.

Er en hul Metalkugle med en Aabning foroven, anbragt paa en Glasfod (Fig. 12) og ladet med Elektricitet ved Hjælp af nogle faa Gnister fra et Elektrofor, vil Manglen paa Elektricitet i det Indre kunne vises paa følgende Maade: — For at kunne undersøge den Elektricitet, hvormed et Legeme er ladet, er det bekvemt at kunne tage en lille Del af Ladningen til Undersøgelsen. Dette gøres ved Hjælp af en saakaldet Prøveskive, der bestaar af en lille Plade af Kobber eller Guldpapir, anbragt paa Enden af en tynd Glasstang. Lægges denne lille Plade paa Overfladen af et elektriseret Legeme, vil en Del af Elektriciteten forplante sig til Pladen, og dennes Elektricitet vil nu kunne undersøges paa sædvanlig Maade ved Hjælp af et Guldbladelektroskop. Undertiden kan det være bekvemmere at anvende en lille Metalkugle i Stedet for Pladen. — Dersom nu en saadan Prøveskive anbringes paa Overfladen af den ladede hule Metalkugle og derpaa bringes i Berøring med Kuglen paa et Guldbladelektroskop, ville Guldbladelektroskopet gøre et Udslag, der viser Tilstedeværelsen af Elektricitet. Indføres derimod Prøveskiven forsigtigt gennem Aabningen og bringes i Berøring med Kuglens Inderside, og tages den derefter ud igen, vil man finde, at det Indre af Kuglen er fuldstændig blottet for Elektricitet. Et elektriseret Tinkrus eller et som en Cylinder formet fint Metalnet vil vise akkurat det samme.

30. Biot's Forsøg. Biot beviste denne Kendsgerning paa en anden Maade. Han elektriserede en isoleret Kobberkugle og anbragte derpaa to halve Kugleskaller af Kobber, af noget større Diameter end Kuglen

og forsynede med Glashaandtag, uden om denne (Fig. 13). Saa længe de ikke rørte ved Kuglen, beholdt

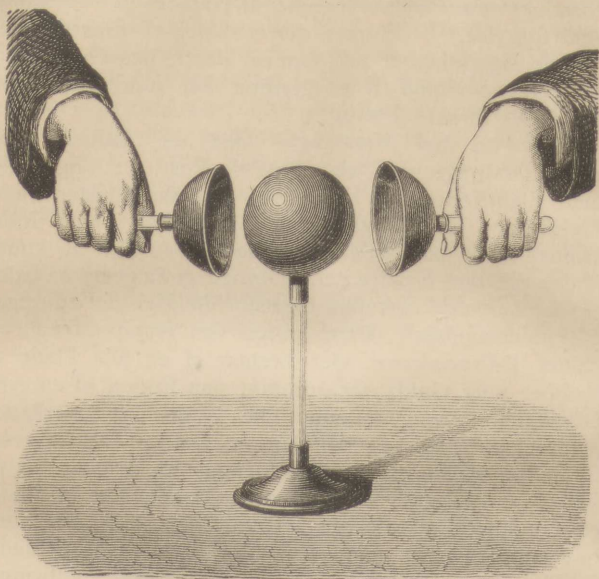


Fig. 13.

denne sin Ladning, men saa snart Skallerne berørte Kuglen et Øjeblik, gik al Elektriciteten over paa dem, og naar de bleve fjernede, var Kuglen fuldstændig udladet.

31. Yderligere Forklaring. Forklaringen paa denne Elektricitetens Optræden maa utvivlsomt søges i den ovenfor omtalte Egenskab, som enhver af de to Elektriciteter er i Besiddelse af, nemlig at virke frastødende paa sig selv; derfor fjerner Elektriciteten sig saa langt som muligt fra Midten og samler sig paa Overfladen.

Vi skulle i Afsnit XX som en vigtig Udvidelse af denne Sætning komme til at omtale, at der ikke virker

nogen elektrisk Kraft inde i en lukket Konduktor. Her har der kun været Tale om at godtgøre, at der ingen fri Elektricitet findes inden i en hul Konduktor. Dette kan godtgøres paa mange andre Maader. — Terquem viste saaledes, at et Par Guldblade, der hang inden i et Metaltraads-Bur, ingen Udslag gjorde, naar Buret blev elektriseret. — Faraday benyttede en kegleformet Hætte af Musselin, der var fastgjort til en isoleret Metalring (Fig. 14). Ved Hjælp af to Silketraade kunde Hætten

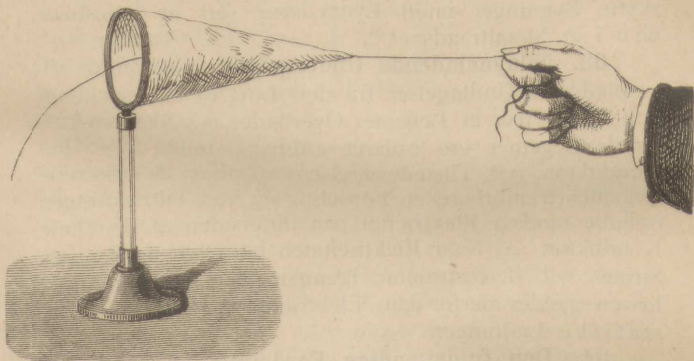


Fig. 14.

krænges, som det let ses ved en Betragtning af Figuren. Hætten blev ladet, og ved Hjælp af Prøveskiven og et Elektroskop blev det paavist, at Ladningen befandt sig paa Ydersiden af Hætten. Denne blev derpaa krænget, saa at den forrige Inderflade nu blev Yderflade, og det viste sig da, at der igen kun fandtes Elektricitet paa Yderfladen. — Det mest slaaende Forsøg gjorde Faraday med en hul Terning af Træ, 12 Fod paa hver Side og belagt med Staniol; den blev opstillet isoleret og ladet saa stærkt ved Hjælp af en kraftig Maskine, at dens Yderside gav lange Gnister. Faraday lukkede nu sig selv inde i denne Kasse med nogle af sine

mest finfølende Elektroskoper, men der var ikke den mindste Virkning at spore paa Elektroskoperne.

32. Anvendelse heraf. At Elektriciteten kun findes paa et Legemes Overflade, benytter man sig med Fordel af ved Konstruktionen af fine Elektrometre og andre Instrumenter, idet disse kunne blive fuldstændigt beskyttede imod elektriserede Legemers Indflydelse, ved at indesluttet i en tynd Metalkasse, som kun er forsynet med de nødvendige Observations-Aabninger.

Afdøde Prof. Clerk Maxwell har foreslaaet at beskytte Bygninger imod Lynnedslag ved at indeslutte dem i et Metaltraadsnet*).

33. Tilsyneladende Undtagelser. Der er to tilsyneladende Undtagelser fra den Lov, at Elektriciteten kun findes paa et Legemes Overflade. 1) Naar elektriserede Legemer ere isoleret anbragte inden i en hul Konduktor, vil Tilstedeværelsen af disse elektriserede Legemer frembringe en Fordeling og ved Tiltrækningen ophobe modsat Elektricitet paa Indersiden af den hule Konduktor. 2) Naar Elektriciteten bevæger sig som en Strøm, vil den strømme igennem hele Konduktoren. Loven gælder derfor kun Elektricitet i Hvile — d. e. statiske Ladninger.

34. Den fuldstændige Fordeling. Faraday har gjort et Forsøg, der fortjener særlig Omtale, fordi det viser den Rolle, Fordelingen spiller ved disse Fænomener. Han sænkede lidt efter lidt en med Elektricitet ladet Metalkugle ned i en hul Konduktor, som ved en Traad var forbunden med et Guldblade-Elektroskop (se Fig. 15) og iagttog Virkningen**). Der foregik nu følgende: Idet Kuglen, som vi ville antage har en positiv Ladning, sænkes ned i Karret, gøre Guldblade et Udslag, da Ladningen virker fordelende og

*) Systemet er indført i Praksis af Belgieren Melsens, og benævnes sædvanlig »Melsens's System«. O. A.

**) En Metal-Iskøle kan bekvemt anvendes til dette Forsøg, og det kaldes derfor hyppig Faradays Iskøle-Forsøg, men det er en Selvfølge, at man f. Eks. lige saa godt kan anvende en Blikspand, et Tinkrus, Sølvbæger el. lign., der anbringes paa en Glasfod.

tiltrækker en negativ Ladning paa Indersiden af Karret, medens der frastødes en positiv Ladning til Ydersiden.

Guldbladenes Udslag vil vokse mere og mere, indtil Kuglen er helt omgivet af den hule

Konduktor, hvorefter Udslaget ikke vil vokse yderligere. Lader man Kuglen berøre den indvendige Side af Konduktoren, ville Guldbladerne stadig gøre et Udslag, men naar Kuglen derefter løftes ud af Karret, viser det sig, at den fuldstændig har mistet sin Elektricitet. Den Kendsgerning, at Guldbladerne ikke gøre et

større Udslag, efter at Kuglen har rørt Konduktoren, end de gjorde umiddelbart forinden, beviser, at naar den ladede Kugle er helt omgivet af den hule Konduktor, vil enhver af de ved Fordelingen frembragte Ladninger nøjagtig være lig Kuglens Ladning, og den indre negative Ladning vil netop neutralisere Kuglens Ladning i det Øjeblik, de komme i Berøring med hinanden, medens den lige saa store ydre Ladning forbliver uforandret.

Et saadant »elektrisk Bur« som den ovenfor beskrevne hule Konduktor vil med stor Fordel kunne benyttes, naar man skal undersøge Ladningen paa et Legeme, der er lille nok til at sænkes ned deri; vi kunne nemlig uden at bruge noget af Legemets Ladning (hvad vi ere nødte til at gøre, naar Prøveskiven anvendes) undersøge Ladningen, der ved Fordeling er frembragt paa Ydersiden af Karret, da den er lige saa stor og af samme Art som Legemets Ladning.

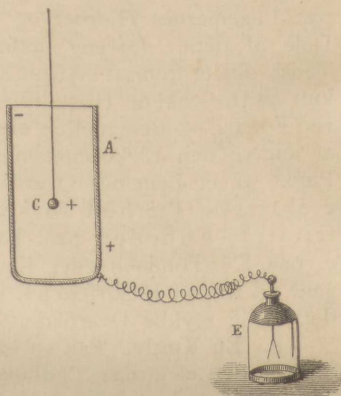


Fig. 15.

35. Elektrisk Tæthed. En elektrisk Ladning er i Almindelighed ikke ensformigt udbredt over Legemernes Overflade. Forsøg vise, at der er mere Elektricitet paa Legemernes Hjørner og Kanter end paa de flade Dele af dem. Lovene herfor kunne udledes af den Teori, der er fremsat i Afsnit XX; men vi ville imidlertid kun nævne enkelte Hovedtilfælde, som kunne godtgøres ved Forsøg. — Betegnelsen **elektrisk Tæthed** bruges for at angive den Elektricitetsmængde, der findes paa et Punkt af et Legemes Overflade, og ved et Punkts elektriske Tæthed forstaas Antallet af Elektricitets-Enheder paa Enhed af Overflade (d. e. paa Kv.-Tommen eller Kv.-Centimeteren), idet man gaar ud fra, at Elektriciteten er ensformigt udbredt paa dette lille Stykke Overflade.

a. En Kugle. Paa en isoleret Kugle af et ledende Stof er den elektriske Ladning ensformigt udbredt, forudsat at der ikke i Nærheden af Kuglen findes andre Konduktorer eller andre elektriserede Legemer; Tætheden er altsaa ens over det Hele. Dette er vist i

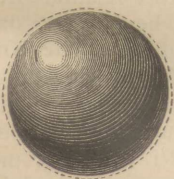


Fig. 16.

Fig. 16 ved den punkterede Linie, som overalt har samme Afstand fra Kuglen, hvorved der er antydnet et overalt lige tykt Lag af Elektricitet. Det maa dog bemærkes, at Ladningen slet ikke har nogen som helst kendelig Tykkelse; den findes i selve Overfladen, men kan ikke betragtes som et Lag uden paa den.

b. En Cylinder med afrundede Ender. Paa en cylinderformet Konduktor (Fig. 17), som den hyppigt



Fig. 17.

anvendes i elektriske Apparater, er Tætheden størst ved Enderne, hvor Overfladens Krumning er størst.

c. **To Kugler, der berøre hinanden.** Naar to Kugler, der berøre hinanden, blive isolerede og ladede, vil Tætheden være størst i de Punkter, der ligge længst borte fra Berøringspunktet, og mindst i Nærheden af dette. Ere Kuglerne ulige store, er Tætheden størst paa den lille Kugle, der har den krummeste Overflade.

Paa en **ægformet** eller **pæreformet** Konduktor er Tætheden størst i den smalle Ende. Paa en **Kegle** er den størst ved Toppen, og dersom Keglen ender i en Spids, vil Tætheden være meget større paa denne end paa nogen anden Del af Keglens Overflade. Paa en Spids vil Tætheden af den opsamlede Elektricitetsmængde kunne være saa stor, at de omliggende Luftdele ville blive elektriserede, hvorpaa de blive frastødte, og saaledes frembringe et stadigt Tab af Ladningen. Af den Grund undgaas altid Spidser og skarpe Kanter paa elektriske Apparater, undtagen hvor man netop ønsker, at der skal finde en Udladning Sted.

d. **En Skive.** Ladningens Tæthed paa en Skive (Fig. 18) er, som vi ogsaa maatte vente, større ved



Fig. 18.

Randen end paa den midterste Del af Overfladen; her vil Elektriciteten være næsten ensformigt udbredt.

Rigtigheden af de her anførte Eksempler kan godtgøres ved efterhaanden at anbringe en lille Prøveskive paa forskellige Steder af de elektriserede Legemer, og derpaa undersøge Prøveskivens Elektricitetsmængde ved Hjælp af et Elektroskop eller et Elektrometer. Coulomb, som baade ad matematisk Vej og ved Forsøg undersøgte mange af de vigtigste herhen hørende Forhold, benyttede Snonings-Vægten til at kontrollere sine Beregninger. Han opdagede saaledes, at Tætheden ved de yderste Ender af en Omdrejnings-Ellipsoides Akse er proportional med Længden af disse Akser. Ligeledes viste han, at Tætheden i et hvilket som helst

Punkt af Ellipsoidens Overflade er proportional med Længden af den vinkelrette fra Ellipsoidens Midtpunkt til Punktets Tangent. Riess undersøgte ogsaa en Række interessante Tilfælde; han paaviste saaledes, at Tætheden paa Midten af en Tærnings Kant er omtrent to og en halv Gange saa stor som Tætheden paa Midten af en af Fladerne, medens Tætheden i et af Tærningens Hjørner er mere end fire Gange saa stor.

36. Fornyet Udbredning af en Ladning. Dersom en vis Del af en isoleret Konduktors Ladning afledes, vil den tilbageblivende Del af Ladningen øjeblikkeligt sprede sig over hele Overfladen paa samme Maade som den oprindelige Ladning, forudsat at der ikke findes andre Konduktorer eller ladede Legemer i Nærheden, som ved deres fordelende Indflydelse kunne gribe forstyrrende ind i disse Forhold.

Dersom en Konduktor lades med en vis Mængde Elektricitet, og en anden Konduktor af samme Størrelse og Form (men uladet) et Øjeblik bringes i Berøring med den, og derefter fjernes, vil det vise sig, at Ladningen er bleven delt ligeligt mellem de to Konduktorer. Paa samme Maade kan en Ladning deles i tre eller flere lige store Dele ved samtidig Berøring mellem tre eller flere fuldstændigt ens Konduktorer.

Dersom to lige store Metalkugler, der ere ophængte i Silkesnore og ladede med ulige store Elektricitetsmængder, bringes i Berøring med hinanden et Øjeblik og derpaa atter adskilles, vil Elektriciteten sprede sig fuldstændigt ens over de to Kugler, saaledes at der nu paa hver af disse vil findes det halve af Summen af de to Ladninger. Dette vil ogsaa finde Sted, selv om Ladningerne ere af modsat Art. Elektriseres saaledes to ens Konduktorer, den ene med en positiv Ladning paa 5 Enheder, den anden med en negativ Ladning paa 3 Enheder, saa vil hver af dem, efter at de have været i Berøring med hinanden og atter ere adskilte, have en Ladning paa 1 Enhed, idet den algebraiske Sum af $+ 5$ og $- 3$ er $+ 2$, som skal deles ligeligt

mellem begge Konduktorerne, hvorved der bliver $+ 1$ til hver.

37. Konduktorers Kapacitet. Ere Konduktorerne ulige i Størrelse eller Form, ville de Ladninger, som enhver af dem beholder efter den ovenfor omtalte Deling, ikke være lige store, men de ville være proportionale med Konduktorernes elektriske Kapaciteter. Definitionen af **Kapacitet**, set i sin Forbindelse med de øvrige elektriske Enheder, er givet i Afsnit XX, Punkt 246. Vi ville imidlertid her bemærke, at to isolerede Konduktorer af samme Form, men af forskellig Størrelse, ikke have samme elektriske Kapacitet; thi der skal tilføres den største af dem en større Elektricitetsmængde, for at dens Overflade skal blive elektriseret lige saa stærkt som den mindstes.

Betegnelsen Potential anvendes i denne Forbindelse paa følgende Maade: En given Mængde Elektricitet vil elektrisere et isoleret Legeme til et vist »Potential« (c: Kraft til at udføre elektrisk Arbejde), hvis Størrelse er afhængig af Legemets Kapacitet. Naar en stor Mængde Elektricitet tilføres en Konduktor med lille Kapacitet, vil den blive elektriseret til et meget højt Potential, paa samme Maade som en stor Vandmængde vil frembringe en høj Vandstand i et snævert Kar.

Den nøjagtige Definition af Potentialet ved Hjælp af den under Paavirkning af elektriske Kræfter udviklede Arbejds mængde er givet i Afsnittet om Elektrostatik (Punkt 237).

Et positivt elektriseret Legeme siges at være elektriseret til et positivt eller højt Potential, medens man betegner et negativt elektriseret Legeme som elektriseret til et negativt eller lavt Potential. Og ligesom vi tage Havets Overflade til Nulpunkt, naar vi maale Højden af Bjerger over den eller Dybden af Miner eller Dale under den, saaledes tage vi ogsaa Potential af Jordens Overflade (thi Jordens Overflade er altid elektriseret til en vis Grad) til Nul-Potential

og bruge det som et bekvemt Udgangspunkt ved Sammenligning mellem forskellige elektriske Potentialer.

V. Elektrisermaskiner.

38. Med det Formaal for Øje at frembringe større Mængder Elektricitet, end man kan ved at gnide en Glas- eller Lakstang, har man konstrueret særlige Elektrisermaskiner. Disse bestaa alle af 2 Dele, en der frembringer og en der samler Elektriciteten. Erfaringen viser, at Mængden af positiv og negativ Elektricitet, der frembringes ved Gnidning paa to Overflader, som grides mod hinanden, afhænger dels af Gnidningsmodstandens Størrelse og af Berøringsfladernes Størrelse, dels af de Legemers Natur, der grides mod hinanden. Dersom de to Stoffer staa nær ved hinanden paa den Liste, der er opstillet i Punkt 5, vil den elektriske Virkning ved at gnide dem sammen ikke være saa stor, som hvis man havde valgt to Stoffer, der staa langt fra hinanden. For at faa den største Virkning skal man altsaa ved Konstruktionen af en Maskine anvende det mest positive og det mest negative af de dertil egnede Stoffer; fremdeles skulle de Overflader, der grides mod hinanden, være saa store som muligt, og de skulle presses saa stærk imod hinanden, som er foreneligt med den forlangte Omdrejningshastighed.

Den første Elektrisermaskine blev konstrueret af Otto von Guericke i Magdeburg. Den bestod af en Svovlkugle paa en Aksel og blev gjort elektrisk derved, at man under Omdrejningen trykkede de tørre Haandflader ind imod den. Ved Hjælp af denne Maskine opdagede han Tilstedeværelsen af elektriske Gnister og Frastødningen mellem ensartet elektriserede Legemer. Sir Isaac Newton erstattede von Guerickes Svovlkugle med en Glaskugle. Noget senere blev Maskinen forbedret af forskellige tyske Elektrikere. Von Bose forsynede den med en Beholder eller »første Konduktor«

i Form af et Jernrør; dette blev enten holdt af en Mand, som stod paa en Harpijskage for at være isoleret, eller det blev ophængt i Silkesnore. Winckler i Leipzig anvendte en Læderpude til at gnide med i Stedet for Haanden, og Gordon i Erfurth simplificerede Maskinens Konstruktion ved at anvende en Glas cylinder i Stedet for en Glaskugle. Elektriciteten blev ledet fra den gnedne Kugle eller Cylinder til den »første Konduktor« ved en Metalkæde, som var i Berøring med Kuglen. En Opsamler, forsynet med Spidser, blev ikke anvendt før efter Franklins berømte Undersøgelser om Virkningen af Spidser. Omtrent ved Aaret 1760 konstruerede De la Fond, Planta, Ramsden og Cuthbertson Maskiner, der havde Glasplader i Stedet for Cylindre. De eneste vigtige Forbedringer, der ere indførte efter den Tid, ere Anvendelsen af Ebonit i Stedet for Glas og Opfindelsen af de saakaldte Fordelingsmaskiner.

39. Cylinder-Elektrisermaskinen. Denne be-
staar i Almindelighed af en Glas cylinder, anbragt paa en vandret Aksel, der kan drejes rundt ved Hjælp af et Haandtag. En Læderpude, stoppet med Krølhaar og overtrukken med et pulveriseret Amalgam af Zink eller Tin, presses imod Cylindren. Et Stykke Silketøj, der er fastgjort til Læderpuden, dækker Cylindrens øverste Halvdel. Paa modsat Side af Gnidepuden er den »første Konduktor« opstillet; den er af Metal, har sædvanlig Form af en aflang Cylinder med halvkugleformede Ender og staar paa et Glasben; i den Ende, der er nærmest ved Glas-Cylindren, er Konduktoren forsynet med en Stang, der bærer en Række fine Metalpigge, saa at den ligner en Rive, medens den anden Ende sædvanligvis bærer en Stang, der ender i en Metal-
kugle. I Fig. 19 er Maskinens almindelige Form vist. Naar Haandtaget drejes rundt, vil Gnidningen imellem Glasset og den amalgamovertrukne Gnidepude frembringe en stærk elektrisk Virkning, idet der vil fremkomme positiv Elektricitet paa Glasset og negativ paa Gnidepuden. Konduktoren opsamler denne Ladning

paa følgende Maade: Den positive Ladning, der føres rundt med Glasset, frembringer Elektricitet ved Fordeling paa den lange, isolerede Konduktor, idet der frastødes positiv Elektricitet til den fjerneste Ende, medens den nærmeste Ende bliver ladet med negativ Elektricitet. Virkningen af Spidserne er nu den, at de frembringe en vedvarende Udladning af negativ elektriseret Luft mod den paa Glasset opsamlede positive Elektricitet, som derved neutraliseres, saa at Glasset møder Gnidepuden i neutral Tilstand, rede til at blive elektriseret igen. Denne Virkning af Metalpiggene

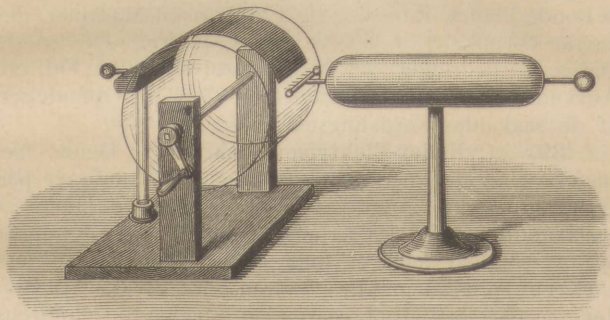


Fig. 19.

forklares undertiden, skønt mindre korrekt, ved at sige, at Spidserne opsamle Glassets positive Elektricitet. Ønsker man ogsaa at opsamle den negative Ladning, maa Gnidepuden være anbragt paa en isolerende Fod og bag paa være forsynet med en Metalkugle. Indretningen af Maskinen til Opsamling af begge Slags Elektricitet skyldes Nairne. I Almindelighed benyttes dog kun den positive Ladning, og man forbinder da Gnidepuden med Jorden ved Hjælp af en Kæde for at neutralisere den negative Ladning.

40. Skive-Elektrisermaskinen. Som Navnet angiver, er Maskinen forsynet med en rund Glas-

eller Ebonitplade; den er sædvanligvis forsynet med to Par Gnidepuder, af hvilke et Par er anbragt foroven og et forneden, og som ved Fjedre trykkes fra begge Sider ind mod Skiven. Til hver Gnidepude er fastgjort et Stykke Silketøj, der bedækker en Fjerdedel af Skiven. »Den første Konduktor« er enten dobbelt, eller ogsaa er den bøjet saaledes, at den gaar frem imod de to modsatte Ender af Skivens vandrette Diameter, hvor den er forsynet med to Rækker Spidser, der have samme Betydning som Spidserne paa Cylinder-Maskinens Konduktor. Fig. 20 viser en af de al-

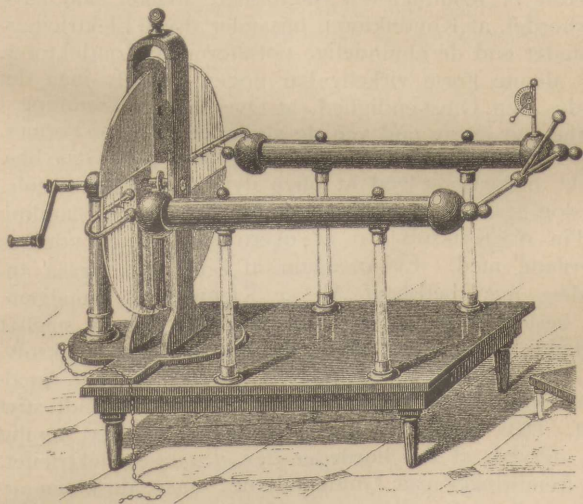


Fig. 20.

mindeligt forekommende Former af saadanne Maskiner. Virkningen af Maskinen er i alle væsentlige Punkter den samme som Cylinder-Maskinens. Fordelene ved den er, at en stor Glasplade er lettere at fremstille end en stor og nøjagtig Cylinder af Glas, og at Afstanden paa Glasset imellem Kanten af Gnidepuderne

og Spidserne er større paa Skiven end paa Cylindren med samme Størrelse paa den Del af Overfladen, der bliver gnedet. Man vil nemlig bemærke, at naar der er ophobet en vis Mængde af de to Elektriciteter, der ere blevne adskilte, vil en Udladning finde Sted langs Overfladen, og Længden af den vil derfor bestemme Maskinens Styrke. I en mere moderne Form, der skyldes Le Roy, og som er modificeret af Winter, er der kun eet Sæt Gnidepuder med et Stykke Silketøj, der bedækker lidt over en Fjerdedel af Skiven, og een Opsamler eller dobbelt Række Spidser. I Winters Maskine er Konduktoren ringformet, hvilket skal have den Fordel, at Konduktoren opsamler større Elektricitetsmængder end de almindelige pølseformede Konduktorer. Hvis denne Form virkelig har nogen Fordel, maa det skyldes den Omstændighed, at Overfladens Krumning i det hele er større end ved de almindelig brugte Former.

41. Amalgam. Canton, der fandt, at Glas blev stærkt elektriseret ved at blive dyppet i tørt Kviksølv, foreslog at anvende et Amalgam af Tin (3: en Blanding af Tin og Kviksølv) til at overtrække Gnidepudernes Overflade med. Et Amalgam af Zink kan ogsaa anvendes, men bedst af Alt er Kienmayer's Amalgam, der bestaar af lige Dele Tin og Zink, som i smeltet Tilstand blandes med to Gange deres Vægt Kviksølv. Tin-Tvesvovl (Mussiv-Guld) kan ogsaa bruges. Amalgamet smøres paa Gnidepuderne sammen med lidt stivt Fedt. Dets Anvendelse gør Gavn paa to Maader, nemlig dels derved, at det bortleder den negative Elektricitet, der frembringes paa Gnidepuderne, naar Maskinen arbejder, dels derved, at der grides med et Legeme, som bliver kraftigere negativt elektrisk end Læder og Silke. Pulveriseret Grafit er ogsaa godt.

42. Regler ved Brugen af Elektrisermaskiner. Ved Brugen af Elektrisermaskiner er der en Del Forsigtighedsregler at iagttage. Fugtighed og Støv maa omhyggeligt undgaas. Da Overfladen af Glas er hygroskopisk, er det nødvendigt, undtagen i meget tørre

Klimaer, at opvarme Glasset og Gnidepuderne for at fjerne den Fugtighed, de samle. De isolerende Glas-Ben overstryges med et tyndt Lag af Skellak-Fernis, eller med Paraffin. Nogle faa Draaber vandfri Stenolie (der faas ved at overhælde et Stykke Natrium i en Flaske med Stenolie), som med et Stykke Flonel smøres paa de opvarmede Overflader, forhindrer Dannelsen af Fugtighed paa dem. En Elektrisermaskine, som ikke har været benyttet i flere Maaneder, maa forsynes med nyt Amalgam paa Gnidepuderne, inden den atter tages i Brug. Gnidepuderne renses og opvarmes, og over-smøres med et tyndt Lag Tælle eller andet stift Fedt, hvorpaa Amalgamet pulveriseres og spredes over Overfladen med en Sigte.

Alle Spidser skulle undgaas i Apparater, der benyttes til Gnidningselektricitet, undtagen hvor de, som f. Eks. »Opsamler-Spidserne« paa Konduktoren, benyttes til at frembringe en elektrisk Udladning. Alle Stænger etc. ere derfor i saadanne Instrumenter forsynede med Kugler for at undgaa skarpe Kanter eller Spidser.

43. Forsøg med Elektrisermaskiner. Den rigelige Elektricitetsudvikling som Elektrisermaskinerne frembringe, gør det muligt at anstille en Række morsomme og oplysende Forsøg. Tiltræknings- og Frastødnings-Fænomenerne kunne vises paa en meget iøjnefaldende Maade. Det elektriske Klokkespil*), der er vist

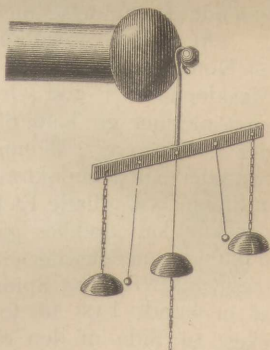


Fig. 21.

*) Det er opfundet i 1752 af Franklin, og han benyttede det til at underrette ham om, at der var opsamlet atmosfærisk Elektricitet i en Konduktor, som var forbunden med en spids Jernstang, han havde opstillet paa sit Hus.

i Fig 21, er et Eksempel herpaa. Det bestaar af to smaa Messingkugler, der hænge i Silkesnore, og blive sat i Bevægelse, saa at de slaa imod de Klokker, imellem hvilke de hænge. De to yderste Klokker ere ved Metaltraade eller Kæder ophængte paa Knoppen af Elektrisermaskinen. Den tredie Klokke er ophængt i en Silketraad men er ved en Messingkæde i ledende Forbindelse med Jorden. Kuglerne tilstrækkes først af de elektriserede, yderste Klokker og frastødes derpaa, hvorefter de blive udladede ved Berøring med den midterste, ikke isolerede Klokke, og atter tiltrækkes; de ville paa denne Maade svinge frem og tilbage.

Ved et andet Apparat kunne smaa Dukker, ud-skaarne af Hyldemarv, bringes til at hoppe op og ned imellem en Metalplade, der er ophængt vandret i Knoppen paa Konduktoren, og en anden flad Plade, der er anbragt en eller to Tommer neden under, og som er i ledende Forbindelse med Jorden.

At Spidser udlade Elektricitet fra Overfladen af en Konduktor kan vises ved talrige Eksempler. Dersom Maskinen er i god Orden og er i Stand til, naar man nærmer en Kno til Konduktoren, at give Gnister, der f. Eks. ere 4 Tommer lange, saa vil det vise sig, naar der paa Konduktoren anbringes en spids fin Naal, at denne vil udlade Elektriciteten i en saadan Grad, at der kun kan trækkes ganske korte Gnister ud af Konduktoren, medens der vil vise sig en Straale eller Busk af blegt, blaat Lys paa Spidsen af Naalen. Holdes Flammen af et tændt Lys ud for Spidsen, vil Flammen blive blæst til Side af den elektriserede Luftstrøm (Fig. 22). Luftstrømmen kan føles med Haanden, og den skyldes den gensidige Frastødning mellem de elektriserede Luftpartikler i Nærheden af Spidsen og Elektriciteten, der er samlet paa selve Spidsen. At denne gensidige Reaktion eksisterer kan bevises ved Hjælp af Hamiltons elektriske Hjul eller Mølle (Fig. 23), der bestaar af et af tynde Metalstænger eller Straa dannet Kors, som er anbragt paa en Spids, og

hvis yderste Ender ere bøjede i rette Vinkler ud til Siden og tilspidsede. Anbringes Apparatet paa en Elektrisermaskines Konduktor eller forbindes med den ved en Kæde, vil Frastødningskraften mellem Elektriciteten i Spidserne og i den umiddelbart foran dem liggende Luft drive Hjulet rundt i modsat Retning af den, i hvilken Spidserne ere bøjede.

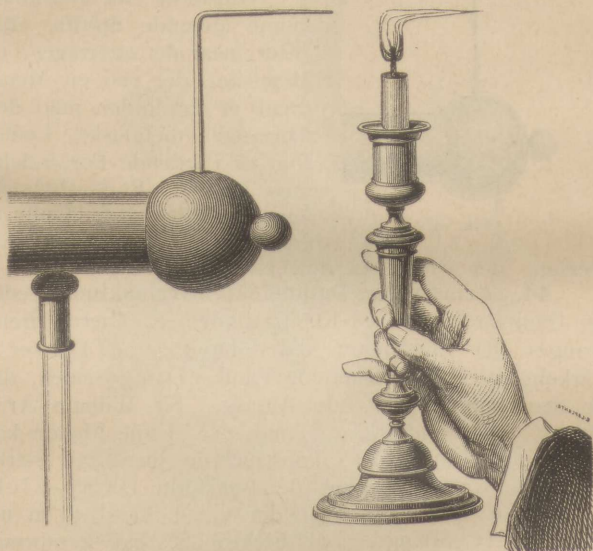


Fig. 22.

En anden yndet Maade at vise den elektriske Frastødning paa, er at anbringe en Dukke med langt Haar paa Konduktoren; saa snart Maskinen drejes rundt, vil Haaret rejse sig, idet de enkelte Haar frastødes baade af Hovedet og af hinanden indbyrdes. En Papirskvaster vil opføre sig paa samme Maade, naar den anbringes paa Maskinens Konduktor. Den mest slaaende Maade, hvorpaa Fænomenet kan vises, er ved at stille

et Menneske paa en Skammel med Glasben, og lade ham holde sin ene Haand paa Konduktoren; dersom

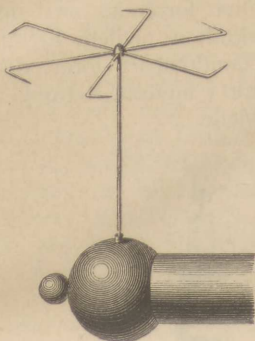


Fig. 23.

hans Haar er tørt, rejser det sig, naar Maskinen drejes rundt, og et andet Menneske, der staar paa Jorden, vil kunne trække Gnister ud af ham.

Gnisterne fra Maskinen kunne antænde Spiritus eller Æter, naar det anbringes i en Metalske, der ved en Metaltraad er forbunden med den nærmeste metalliske Leder, som er i ledende Forbindelse med Jorden. Et Gasblus vil kunne tændes ved Hjælp af en Gnist fra Fingeren af den

Person, der staar paa den isolerende Skammel.

44. Armstrongs Dampelektrisermaskine. Ledes en Dampstraale fra en Kedel gennem et Træror, frembringes der Elektricitet ved Gnidningen. Det er i Virkeligheden det fortættede Vand i Dampstraalen, der er den egentlig virkende Aarsag. Sir William Armstrong, som opdagede, at man paa denne Maade kan frembringe Elektricitet, konstruerede en dertil særlig indrettet, kraftig Maskine, den saakaldte Damp-Elektrisermaskine (Fig. 24), der var i Stand til at udvikle uhyre Mængder af Elektricitet og frembringe Gnister paa fem, seks Fods Længde. Opsamlere, som bestaar af en Række Metalspidser, imod hvilke Dampen fra Rørene strømmer ud, og som er i Forbindelse med en Kugle, der tjener som Konduktor, er anbragt paa en Glasfod. Rørene ere af Træ og Udstrømningskanalerne gennem Rørmundingerne ere ombøjede for at forøge Gnidningen (M). Dampkedlen hviler paa Glasfødder.

45. Maskiner, der virke ved Fordeling og Overføring. En anden Slags Elektrisermaskiner, der afviger fuldstændigt fra

dem, vi ovenfor have beskrevet, er baseret paa Anvendelsen af en lille Begyndelsesladning, der virker fordelende og derved frembringer andre Ladninger, som ved en Bevægelse af nogle af Maskinens Dele føres til et Sted, hvor de forøge Begyndelsesladningen eller ophobes i en Opsamler. Af saadanne Apparater er det ældste Volta's Elektrofor, der er forklaret i Afsnit III. Bennet, Nicholson, Darwin og andre have konstrueret Apparater til Iværksættelsen af de Bevægelser og Udladninger, som ved Elektroforet

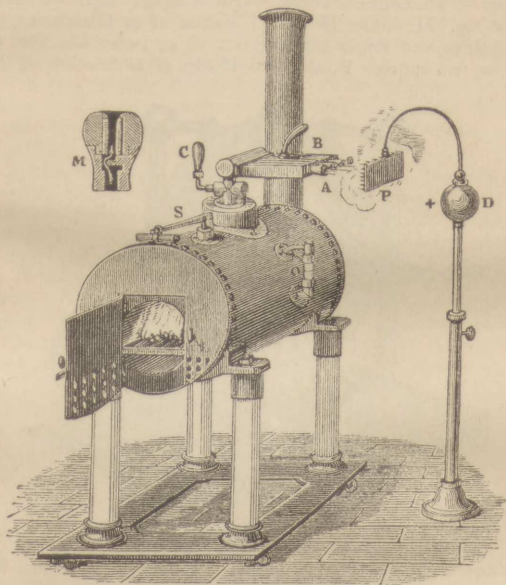


Fig. 24.

udføres med Haanden. Nicholsons Omdrejnings-Fordobler er et Apparat, i hvilket den omdrejende Bevægelse fører en isoleret Konduktor hen til det elektriserede Legeme, hvor den bliver berørt et Øjeblik, og den frastødte Elektricitet bliver afledet. Konduktoren føres derefter hen til et andet Legeme, hvor den afgiver den opnaaede Ladning, medens omvendt dette Legeme virker fordelende paa Konduktoren og giver den en modsat Ladning, som den under den fortsatte Omdrejning fører tilbage til det elektriserede Legeme, hvormed det først var i Berøring, og hvis oprindelige Ladning

saaledes forøges. Lignende Maskiner ere blevne konstruerede af Varley, Sir W. Thomson (Fyldeapparatet »the replenisher«), Tøpler, Carré og Holtz. De to sidst nævnte Apparater ere fuldstændig kontinuerlige i deres Virkninger og kunne derfor ogsaa ret vel betegnes som kontinuerlige Elektroforer. Holtz's Maskine benyttes en Del, og der skal derfor gives en kort Forklaring af den.

46. Holtz's Fordelingsmaskine. Hvorledes denne Maskine virker er ikke ganske let at forstaa, skønt de til Grund liggende Principper i Virkeligheden ere meget simple, naar de forklares hvert for sig. Maskinen (Fig. 25) bestaar af to Glasskiver, en A, der fastholdes ved nogle Ebonitskiver til et isolerende Stel (1, 2, 3, 4), og en anden, B, der ved Hjælp af to Snorløb og Skiver

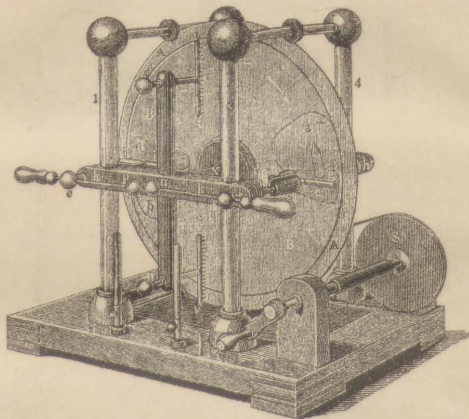


Fig. 25.

kan sættes i en hurtig Omdrejning, Skiven A har paa Midten en Gennemboring for B's Omdrejningsaksel, og har desuden to diametralt modsatte Aabninger a og b. Henholdsvis under og over disse er der paa Bagsiden af den faststaaende Glasskive fastklæbet to Stykker ferniseret Papir, de saakaldte Armaturer, c og d, hvert forsynet med en fremstaaende Spids, der ere ombøjede saaledes, at de berøre Bagsiden af den bevægelige Skive B, hvis Omdrejningsretning er saaledes, at den gaar imod Spidserne. Foran den bevægelige Skive og lige ud for Armaturerne er der til højre og venstre anbragt en isoleret Konduktor med Metalspidser, som vende ind mod Glasskiven. Hver af Konduktorerne har en Kugle (p og n) paa Enden af en Metalstang, der er forskydelig og forsynet med isolerende Haandtag, saa at Kuglerne kunne bringes i Berøring med eller fjernes fra hinanden.

Inden Maskinen sættes i Gang, bringes p og n i Berøring med hinanden. Derpaa lades det ene af Papirsstykkerne, f. Eks. c, ved Hjælp af en gneden Lak- eller Ebonitstang, hvorefter Skiven drejes hurtigt rundt. Efter nogle faa Omdrejninger vil det vise sig, at det Arbejde, der udfordres for at holde Maskinen i Gang, forøges betydeligt, og samtidig ses smaa blaalige Lysbuske paa Spidserne; føres derefter Kuglerne p og n fra hinanden, springer der en uafbrudt Række af glimrende Gnister over imellem dem.

Frembringelsen af Elektriciteten sker paa følgende Maade: Antage vi, at det paa højre Side anbragte Papirsstykke c er bleven ladet med en lille negativ Ladning, vil denne bevirke en Fordeling i den af begge Konduktorerne dannede Leder, saaledes at der strømmer positiv Elektricitet ud af de Spidser, der staa lige ud for c (ved g g), medens den negative Elektricitet frastødes og gaar ud af Spidserne i den anden Ende af Lederen (ved i i). Den positive Elektricitet, der saaledes strømmer over paa højre Side af den roterende Glasskives Forside, føres paa den nederste Halvdel af Skiven over til Spidserne paa Konduktoren til venstre, hvor den udstømmende negative Elektricitet ikke blot vil neutralisere den positive Ladning men endogsaa lade Skivens Forside med negativ Elektricitet, som paa den øverste Halvdel føres over til højre Side, hvor den negative Ladning paa ny forandres til en positiv Ladning. En tilsvarende forstærkende Vekselvirkning mellem de to Papirsarmaturer foregaar paa den roterende Glasskives Bagside. Den paa venstre Side anbragte Armatur (d), der oprindeligt ingen Ladning havde modtaget, lades ved Fordeling med positiv Elektricitet, idet den med positiv Elektricitet ladede nederste Del af Skiven, forinden den naar til de paa venstre Side af Lederen anbragte Metalspidser, passerer forbi Armaturens Papirsspids, gennem hvilken der altsaa strømmer negativ Elektricitet ud paa den roterende Glasskives Bagside. Paa lignende Maade forstærkes den negative Ladning i Armaturen paa højre Side (c) ved Udstømning af positiv Elektricitet gennem dens Papirsspids, og den oprindeligt ved Ladning af den ene Armatur frembragte Udstømning af positiv og negativ Elektricitet gennem Metalspidserne til højre og venstre forøges altsaa under Omdrejningen ved en voksende Ladning af begge Armaturer. Som Følge heraf vil den oprindeligt meddelte meget ringe Ladning hurtigt vokse til et Maksimum, idet Grænsen er naaet, naar Armaturerne ere saa stærkt ladede, at de ved Udstømning af Elektricitet tabe lige saa meget, som de vinde ved Fordeling og Overføring.

Maskinens Virksomhed er, som det ses, afhængig af, at der strømmer Elektricitet over fra den ene Konduktor til den anden, og derfor ere disse til at begynde med bragte i Berøring med hinanden. Er Maskinen arbejdet op, kunne Konduktorenes Kugler skilles ad, og Overstrømningen af Elektricitet vedligeholdes gennem en Række Gnister, men bliver Afstanden mellem Kuglerne saa stor, at Gnisterne ikke længer kunne springe over, udlades

Maskinen hurtigt, og man maa begynde forfra, $\circ$: med at lade en af Armaturerne. Dette undgaas ved Anbringelsen af to Hjelpe-Konduktorer (tt og vv), der enten forbindes indbyrdes eller med hver sin af Hovedkonduktorerne.

I nogle senere konstruerede Maskiner anvender Holtz et større Antal roterende Skiver, fast anbragte paa en fælles Aksel, og hele Maskinen er indesluttet i en Glaskasse for at beskytte den mod Fugtighed. En lille Ebonitskive, forsynet med Gnidepude, er nu i Almindelighed fastgjort til Akslen for at vedligeholde Begyndelsesladningen. En af de sidst konstruerede Maskiner er forsynet med 32 Skiver.

Mascart har vist, at Holtz's Maskine kan bringes til at rotere baglænds, naar de to Papirstykker stadig forsynes med Elektricitet fra en anden Maskine, der holdes i Omdrejning.

Righi har vist, at en Holtz's Maskine kan frembringe en kontinuerlig Strøm ligesom et Volta-Batteri, og at Strømstyrken vil være noget nær proportional med Omdrejningshastigheden. Maskinens elektromotoriske Kraft fandt han lig 52 000 Daniell's Elementer eller nærlig 53 000 Volt ved alle Hastigheder. Modstanden var, naar Maskinen gjorde 120 Omdrejninger i Minutten, 2180 Millioner Ohm., men kun 646 Millioner Ohm., naar den gjorde 450 Omdrejninger pr. Minut.

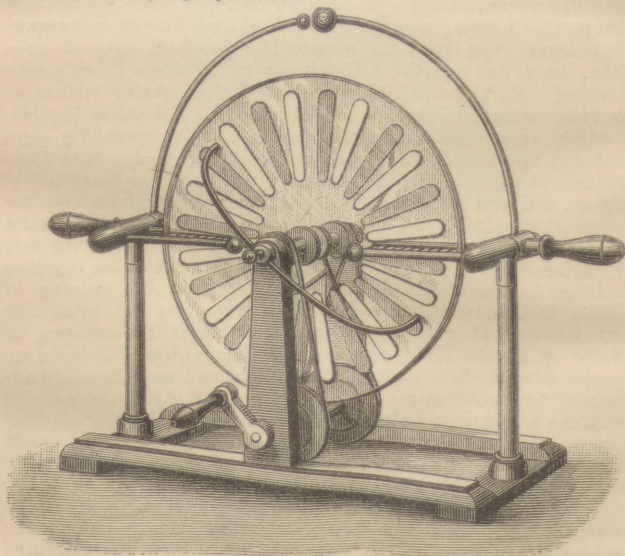


Fig. 26.

46. b. Wimshurst's Fordelingsmaskine. Wimshurst's Maskine (Fig. 26), der er konstrueret endnu senere end Holtz's,

bestaar af to Skiver, der rotere i modsat Retning; hver af disse er forsynet med en Række smaa Strimler af Metalfolie, der baade tjene til at frembringe Elektricitet ved Fordeling og til at overføre Elektriciteten fra den ene Konduktor til den anden. Der er to, med Metalbørster forsynede, uisolerede Konduktorer, anbragte diagonalt, en paa Forsiden og en paa Bagsiden af Maskinen, og paa højre og venstre Side staa to isolerede Konduktorer med Opsamlerspidsen og med et Udlader-Apparat. Enhver lille Metalstrimmel berøres af de uisolerede Børster, idet den passerer forbi den ladede Metalstrimmel paa den anden Plade, og modtager derved en Ladning, som den under den fortsatte Omdrejning afgiver til den ene eller den anden Opsamler.

VI. Leydner-Flasken og andre Kondensatorer.

47. Vi have ovenfor set, at modsatte elektriske Ladninger tiltrække hinanden, og at Elektricitet ikke kan strømme igennem Glas, men at Elektricitet kan virke gennem Glas ved Fordeling. To ophængte Hylde-marvskugler, af hvilke den ene er positivt den anden negativt ladet, tiltrække hinanden gennem det mellemliggende Luftlag, og selv om der anbringes en Glasplade imellem dem, ville de dog stadig tiltrække hinanden, skønt hverken Kuglerne eller deres Ladning kunne trænge gennem Glasset. Ophænges en negativt ladet Hylde-marvskugle inden i en tør Glasflaske, og holdes en gnedne Glasstang mod Flaskens udvendige Side, vil Kuglen svinge hen imod den Side af Flasken, der er nærmest ved Glasstangen, idet den tiltrækkes af den positive Ladning, der er bragt hen i Nærheden af den.

Tager man en Glasplade og beklæder den paa begge Sider indtil nogle Tommers Afstand fra Randen med Tinfoolie og lader derpaa det ene Stykke Tinfoolie med positiv, det andet med negativ Elektricitet, ville disse to Ladninger tiltrække hinanden gennem Glasset, og ere ikke længere fri. Stilles Glasskiven paa Højkant, saa at ingen af Metalbeklædningerne rører Bordet, vil man finde, at man ved at berøre den ene eller den anden af Beklædningerne saa godt som ingen Elektricitet kan aflede, idet begge Ladningerne saa

at sige ere »fastbundne« ved den Fordeling, de frembringe i hinanden gensidig. Det vil desuden vise sig, at disse to Stykker Tinfoлие ville kunne lades en hel Del mere, end hvert enkelt af dem vilde kunne, dersom de vare anbragte paa hver sit Stykke Glas. Dette kan udtrykkes saaledes: En Konduktors Kapacitet forøges betydeligt, naar den anbringes i Nærheden af en anden Konduktor, ladet med modsatartet Elektricitet. Dersom dens Kapacitet forøges, skal der meddeles den en større Mængde Elektricitet, forinden den lades til et højt Potential. Derfor benævnes et saadant til Opsamling af store Elektricitetsmængder indrettet Apparat en **Kondensator** (Fortætter) eller **Akkumulator** (Ophober) for Elektricitet.

48. **Kondensatorer.** A og B i Fig. 27 ere to Metalplader, der bæres af Glasfodder, og C er en

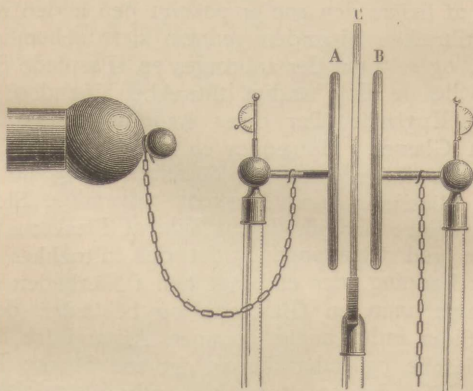


Fig. 27.

Glasplade, der er anbragt imellem dem. Forbindes A ved en Ledning med Konduktoren paa en Elektriser-maskine, medens B sættes i ledende Forbindelse med Jorden, vil den positive Ladning paa A virke fordelende

igennem Glaspladen paa B, saaledes at der frastødes positiv Elektricitet til Jorden, medens den Side, der vender mod A bliver negativt elektrisk. Denne negative Ladning paa B vil trække den positive Ladning paa A over til den Side, der er nærmest Glaspladen, hvorefter A vil modtage en ny Mængde Elektricitet fra Maskinen. Dette Apparat vil saaledes virke som en Kondensator eller Akkumulator. Bringes de to Metalplader nærmere til Glaspladen, vil Tiltrækningen imellem den positive og negative Ladning blive endnu stærkere, fordi de ere nærmere ved hinanden, og den fordelende Indvirkning vil blive stærkere; som Følge heraf ville Pladerne nu kunne optage en større Ladning. Vi se altsaa heraf, at en Kondensators Kapacitet forøges ved at bringe Pladerne tættere sammen. Bortfjernes Ledningerne fra Pladerne, naar disse ere stærkt ladede, og føres de længere fra hinanden, ville de to Ladninger ikke længere holde hinanden saa stærkt bundne, og der vil derfor være mere fri Elektricitet paa Overfladen af dem end tidligere. Dette vil tydelig vise sig paa de med Pladerne forbundne Kvadrant-Elektroskoper (se Figuren), thi disse ville gøre større Udslag, efterhaanden som Pladerne fjernes fra hinanden. Vi have ikke forøget A's Ladning, og dog synes det efter Elektroskopets Angivelser at slutte, som om Pladen A var bleven elektriseret til en højere Grad ved at fjernes fra Pladen B. Sagen er imidlertid den, at medens Konduktoren A var i Nærheden af B's negative Ladning, blev A's Kapacitet stærkt forøget, men efterhaanden som B fjernes fra A, formindskes dennes Kapacitet, og derfor vil den samme Elektricitetsmængde elektrisere den til en højere Grad end tidligere. Anbringelsen af en med Jorden forbunden Plade i Nærheden af en isoleret Konduktor vil derfor forøge dens Kapacitet og sætte den i Stand til at optage en større Ladning, idet Elektriciteten tiltrækkes og fortættes (kondenseres) paa den Del af Overfladen, der er nærmest ved Jord-Pladen, saa at Overflade-Tætheden bliver meget

stor paa denne Del. Et saadant Apparat kaldes snart en Kondensator og snart en Akkumulator.

Vi ville kalde det en Kondensator, naar Hensigten med den jordforbundne Plade er at forøge Ladningens Overflade-Tæthed paa en Del af den isolerede Konduktor. Betegnelsen Akkumulator anvendes nu i Reglen om de Batterier, der magasinere elektriske Strømmes Energi (Pkt. 415).

Luftlaget imellem de to Plader vil være tilstrækkeligt til at isolere de to Ladninger fra hinanden. To Metalplader, isolerede ved et Luftlag, kaldes en Luftkondensator. Disse ere først konstruerede af Wilke og Äpinus.

49. Dielektriske Legemer. Ved de ovenfor nævnte Apparater spiller Glaspladen eller Luftlaget en betydelig Rolle, idet Elektricitetens fordelende Indflydelse virker igennem dem. Paa Grund af denne Egenskab ved disse Stoffer kaldte Faraday dem for dielektriske. Alle de dielektriske Legemer ere Isolatorer, men lige gode Isolatorer ere ikke nødvendigvis lige godt dielektriske. Luft og Glas ere meget bedre Isolatorer end Ebonit og Paraffin, da de ere meget daarligere Ledere. Men elektrisk Fordeling finder lettere Sted igennem en Glasplade end igennem en Ebonit- eller Paraffinplade af lige Tykkelse, men dog lettere gennem disse end gennem Luftlag. Med andre Ord, Glas er bedre dielektrisk end Ebonit, Paraffin eller Luft. De Stoffer, som ere stærkt dielektriske, siges at have en stor Fordelings-Evne.

50. En Kondensators Kapacitet. Man indser heraf, at en Kondensators Kapacitet vil afhænge af:

1. Størrelsen og Formen af Metalpladerne eller Metalovertrækkene.
2. Tykkelsen af det dielektriske Lag, der adskiller Pladerne (idet Kapaciteten er desto større, jo tyndere Mellemlaget er).
3. Mellemlagets Fordelings-Evne.

51. Leydner-Flasken. Leydner-Flasken, der er opkaldt efter den By, i hvilken den er opfundet, er en bekvem Form af en Kondensator. Den bestaar sædvanlig af en Glasflaske (Fig. 28), der til en vis Højde saavel indvendigt som udvendigt er belagt med Tinfoolie. Flasken lukkes med et tørt og stærkt ferneret Trælaag, og gennem dette gaar en Metalstang, som foroven bærer en Metalkugle, og hvis nederste

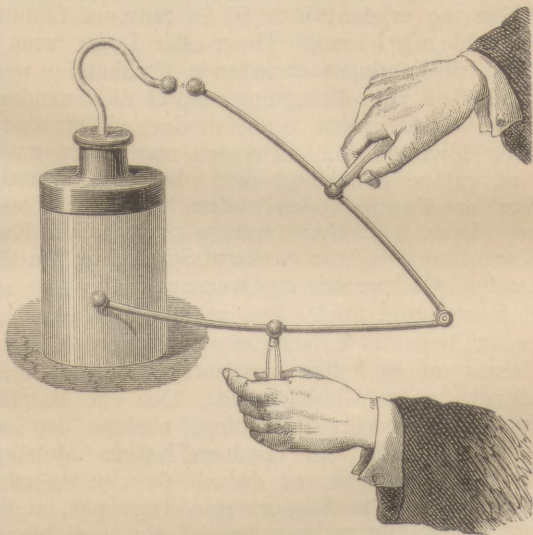


Fig. 28.

Ende ved Hjælp af en lille Metalkæde er i ledende Forbindelse med Flaskens indvendige Belægning. Skal Flasken lades, forbindes Metalkuglen med en Elektriser-maskines Konduktor, medens den ydre Belægning berøres med Haanden eller forbindes med Jorden ved Hjælp af en Metaltraad eller Kæde. Meddeles der saaledes den indre Belægning en positivt elektrisk Lad-

ning, vil denne virke fordelende paa den ydre Belægning og tiltrække en negativ Ladning paa den Side af Belægningen, der er nærmest Glasset, medens en positiv Ladning vil blive frastødt og dreven ud i Ydersiden af den udvendige Belægning, hvorfra den gennem Haanden eller Metaltraaden vil blive afledet til Jorden. I Løbet af ganske kort Tid vil Leydner-Flasken være fuldt ladet, idet den ydre Belægning er negativt medens den indre er positivt elektrisk. Er Flasken lavet af godt Glas, og er den tør og fri for Støv, vil Ladningen kunne holde sig i mange Timer eller Dage, men dersom der tilvejebringes en ledende Forbindelse mellem den indre og ydre Belægning, saa at de hinanden tiltrækkende Elektriciteter kunne mødes, vil Flasken øjeblikkelig blive udladet. Dersom man tager omkring den udvendige Belægning med den ene Haand og nærmer en Kno paa den anden Haand til Flaskens Kugle, vil en klar Gnist springe over mellem Kuglen og Knoen, man vil høre et skarpt Smæld, og Musklerne i Haanden, Underarmen og Overarmen ville blive ramte af et krampagtigt Stød. For at udlade Flasken uden selv at faa noget Stød, benyttes en Udlader (se Fig. 28), der bestaar af en leddet Metalstang, forsynet med to Metalkugler og to Glashaandtag. Den ene Metalkugle holdes imod den ydre Belægning, medens den anden holdes i Nærheden af Leydner-Flaskens Metalkugle, som vist paa Figuren, og der vil da vise sig en klar Gnist imellem de to Kugler, som Tegn paa, at de to opsamlede Ladninger have forenet sig med hinanden og iværksat Udladningen.

52. Opfindelsen af Leydner-Flasken. Leydner-Flaskens Opfindelse skyldes et Forsøg, som Musschenbroek og hans Discipel Cuneus*) gjorde paa at opsamle det elektriske »Fluidium« i en med Vand halvt fyldt Flaske; Flasken blev holdt i Haanden, og gennem dens Prop var der anbragt et Søm, som skulde lede

*) Æren for Opdagelsen af Leydner-Flasken tilskrives ogsaa den pommerske Biskop Kleist.

»Fluidet« fra en Elektrisermaskine ned til Vandet. Dette repræsenterer den indre Belægning, medens Haanden er den ydre. Ved at røre ved Sømmet fik Cuneus et Stød. Denne tilfældige Opdagelse vakte overordentligt Røre i Europa og Amerika.

53. Rest-Ladning. Lades og udlades en Leydner-Flaske, viser det sig, naar der er hengaaet en lille Tid efter Udladningen, at man ved atter at udlade den kan frembringe endnu en lille Gnist. Der har altsaa i Flasken været en Restladning tilbage, som synes at være sivet ind i Glasset og være bleven optaget af dette. Restladningens Frigørelse paaskyndes ved at man banker paa Flasken. Størrelsen af Restladningen afhænger dels af den Tid, i hvilken Leydner-Flasken har staaet ladet og dels af, hvilken Slags Glas der er anvendt til Flasken. I en Luftkondensator viser der sig, efter at den er bleven udladet, ingen Restladning.

54. Batteri af Leydner-Flasker. En stor Leydner-Flaske vil give et kraftigere Stød end en lille, thi den kan optage en større Ladning; dens Kapacitet er større. En Leydner-Flaske af tyndt Glas har en større Kapacitet end en Kondensator af tykt Glas og af samme Størrelse. Men dersom Glasset er for tyndt, vil det sprænges, naar Flasken bliver stærkt ladet, idet en Gnist vil gennembryde det. Hærdet Glas gennembrydes vanskeligere end almindeligt Glas, og en Leydner-Flaske, der forfærdiges deraf, vil altsaa kunne gøres tyndere, saa at den kan optage en større Ladning.

Skal der imidlertid opsamles en meget stor Ladning Elektricitet, maa man anvende flere Leydner-Flasker, hvis indvendige Belægninger forbindes indbyrdes, og hvis udvendige Belægninger ligeledes bringes i ledende Forbindelse med hinanden. En saadan Samling Leydner-Flasker kaldes et Batteri af Leydner-Flasker eller et Leydner-Batteri (Fig. 29). Da det har en stor Kapacitet, fordrer det en stor Mængde Elektricitet for at blive fuldt ladet, men det vil da ogsaa kunne frembringe meget kraftige Virkninger. Gnisten fra det vil uden

Vanskelighed gennembryde Glas, og man maa passe paa, at Batteriet ikke udlades gennem det menneskelige Legeme, da det kunde have meget alvorlige Følger for vedkommende Person. Figuren viser, hvorledes »Universal-Udladeren« benyttes i Forbindelse med Leydner-Batteriet.

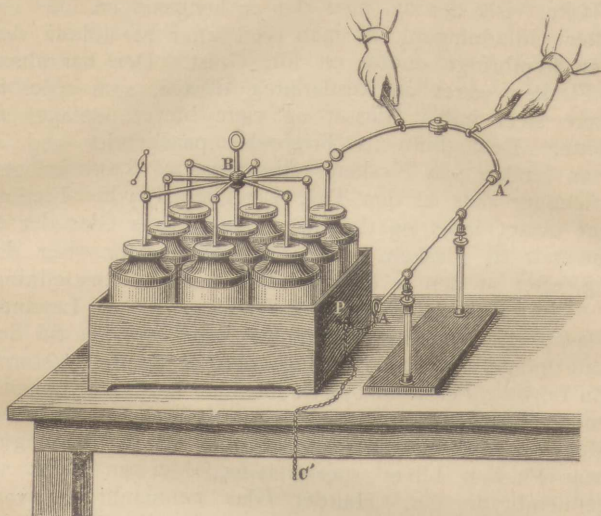


Fig. 29.

55. Ladningens Plads. Benjamin Franklin opdagede, at en Leydner-Flaskes Ladning i Virkeligheden findes paa Glassets Overflade og ikke paa Metalbelæggerne. Dette beviste han ved Hjælp af en Leydner-Flaske, hvis Belægninger kunde fjernes (Fig. 30). Leydner-Flasken blev ladet og anbragt paa et isolerende Underlag; derefter blev den indre Belægning løftet ud af den og selve Glasbeholderen taget ud af den ydre Belægning. Ved at undersøge Belægningerne fandt han, at de kun vare meget svagt elektriserede, men saa snart det Hele blev samlet igen, var Flasken atter stærkt ladet.

Ladningerne havde hele Tiden opholdt sig paa Glassets indvendige og udvendige Side.

56. Dielektrisk Spænding.

Faraday beviste, at det Medium, igennem hvilket elektrisk Fordeling finder Sted, i Virkeligheden spiller en vigtig Rolle ved disse Fænomener. Vi vide nu, at alle dielektriske Stoffer, igennem hvilke Fordelingen virker, derved udsættes for en Spænding. Da det lufttomme Rum virker dielektrisk, er det klart, at det ikke nødvendigvis er de materielle Dele af det dielektriske Stof, som paavirkes saaledes; man antager derfor, at elektriske Fænomener skyldes Tryk og Spændinger i den saakaldte »Æter«, det

fine Medium, som gennemtrænger alle Genstande og Rum, og hvis store Elastisitet sætter det i Stand til at overføre Lyssvingningerne til os, skønt det er Millioner Gange mindre tæt end Luften. Da Legemernes Smaadele ere fuldstændigt omgivne af »Æter«, overføres Spændingen i »Æteren« ogsaa til Legemernes Smaadele, og der opstaar som Følge deraf en Spænding i selve Legemet. Glasset imellem de to Tinfoolie-Belægninger paa Leydner-Flasken bliver i Virkeligheden trykket eller spændt under Paavirkning af de to elektriske Ladningers gensidige Tiltrækning. Naar en isoleret, ladet Kugle ophænges i et Værelse, vil en lige saa stor Elektricitetsmængde af modsat Art opsamles paa Indersiden af Væggen, og Luften imellem denne og Kuglen vil blive spændt (elektrisk) ligesom Glasset i Leydner-Flasken. Er Leydner-Flasken lavet af tyndt Glas, kan den give efter for Trykket, og naar en Leydner-Flaske udlades, vil Luftlaget imellem dennes Kugle og Udladerens Kugle underkastes en

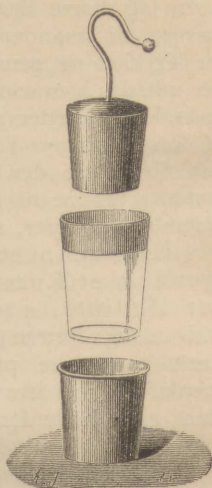


Fig. 30.

større og større Spænding, efterhaanden som Kuglerne nærmes til hinanden, indtil Luftlaget til sidst giver efter for Trykket og gennembrydes af den elektriske Gnist, der udlades igennem det. Tilstedeværelsen af saadanne Spændinger sætter os i Stand til at forstaa Aarsagen til Restladningen i Leydner-Flasken, i hvilken Glasset paa Grund af den elastiske Eftervirkning ikke straks kommer tilbage til sin oprindelige Tilstand, naar den Spænding ophører, som det har været udsat for.

Hypotesen, at elektrisk Kraft overføres igennem et Rum ved Tryk eller Spændinger i det Medium, som opfylder Rummet, har nu fuldstændig fortrængt den gamle Teori, at elektrisk Kraft kan virke paa Afstand, hvad der var logisk utænkeligt, og hvorved man tilmed ikke var i Stand til at gøre Rede for de iagttagne Fænomener.

VII. Andre Elektricitetskilder.

57. I Slutningen af første Afsnit have vi bemærket, at Gnidning ingenlunde er den eneste Maade, paa hvilken Elektricitet kan frembringes, og vi skulle nu omtale forskellige andre Maader, paa hvilke det kan ske.

58. Slag. Slaas to Legemer haardt imod hinanden, vil der frembringes modsat Elektricitet paa deres Overflader. Man er i Stand til at opstille en lignende Liste som i Punkt 5, i hvilken Legemerne ere ordnede saaledes, at ethvert af dem bliver positivt elektrisk ved at blive slaaet med et efterfølgende. Erman, som har angivet en saadan Liste for en Del Metaller, bemærkede, at Ordenen var den samme som i den termo-elektriske Række, opført i Punkt 381.

59. Svingninger. Volpicelli har vist, at Svingninger i en Metalstang, der er omgivet af Svovl eller et andet ikke ledende Stof, frembringer en Adskillelse af Elektriciteterne paa Overfladen mellem Metallet og Isolatoren.

60. Sønderbrydning og Spaltning. Rives et Kaart over i Mørke, vil der vise sig Gnister, og de adskilte Dele ville, naar de undersøges med Elektroskopet, vise sig at være elektriske. Det samme vil ogsaa være Tilfældet med Papirflipper og lærredsklædte Konvolutter. Knuses et Stykke Sukker i Mørke mellem Tænderne, vil der vise sig blege Lysblink. Spaltes et Glimmerblad rask, opstaar der ogsaa Gnister, og de to Spalteflader blive modsat elektriske.

61. Krystallisering og Størkning. Mange Stoffer vise efter deres Overgang fra flydende til fast Tilstand Tegn paa Elektrisering. Smeltes Svovl i en Glasskaal, vil det efter at være bleven koldt være stærkt elektrisk, hvilket kan vises, naar man løfter den krystalliserede Masse op ved Hjælp af en Glasstang. Chokolade bliver ligeledes elektrisk, medens det stivner. Naar Arsenik (»Rottekrudt«) udkrystalliserer af en Opløsning i Saltsyre, er Udskilningen af hver Krystal ledsaget af et Lysglimt, der utvivlsomt skyldes en elektrisk Udladning. Et ejendommeligt Fænomen viser sig ved svovlsurt Kobberilte og Kali, der er smeltet i en Digel; det størkner uden at blive elektrisk, men naar Afkølingen er skredet noget videre frem, antager den krystalinske Masse Pulverform, og samtidigt dermed udvikles der Elektricitet.

62. Forbrænding. Volta har paavist, at Forbrænding frembringer Elektricitet. Anbringes et Stykke brændende Trækul eller en brændende Røgelse-Pastil i ledende Forbindelse med Kuglen af et Guldblad-Elektroskop, ville Guldbladene gøre Udslag.

63. Fordampning. Vædsers Fordampning er ofte ledsaget af elektriske Fænomener, saaledes at Vædsken og Dampene blive modsat elektriske. Heldes nogle faa Draaber opløst svovlsurt Kobberilte i en op-hedet Platin-Digel, opstaar der ved Fordampningen en stærk Udvikling af Elektricitet.

64. Atmosfærisk Elektricitet. Denne er nøje knyttet til Fordampnings-Elektriciteten og er altid til

Stede i Luften, idet den i det mindste til Dels skyldes Fordampningen fra Verdenshavene. Den atmosfæriske Elektricitet bliver særlig behandlet i Afsnit XXIV.

65. Tryk. Et stort Antal Stoffer blive elektriske paa Overfladen, naar de udsættes for et Tryk. Kork bliver saaledes positivt elektrisk ved at presses imod Rav, Guttaperka og Metaller, medens det derimod bliver negativt elektrisk ved at blive presset imod Kalkspat og lignende Mineralier eller mod animalske Stoffer. Abbed Haiüy opdagede, at en Krystal af Kalkspat blev elektrisk ved at blive trykket mellem tørre Fingre, naar Sammentrykningen skete langs Krystallens stumpede Kanter, og at den beholdt sin Elektricitet i nogle Dage. Han foreslog endog at anvende en presset, ophængt Krystal som Elektroskop. Den samme Egenskab tillægges Glimmer, Topas og Flusspat. Et Tryk vil frembringe modsat Elektricitet i hver sin Ende af en Krystal af Turmalin og andre Krystaller, som skulle omtales nedenfor.

66. Pyro-Elektricitet. Forskellige Krystaller blive, naar de opvarmes eller afkøles, elektriske paa bestemte Steder, »Polerne«, og Krystaller, der blive elektriske paa denne Maade, siges at være pyro-elektriske. Den vigtigste af disse Krystaller er Turmalinen, hvis Evne til at tiltrække lette Legemer, naar den er bleven opvarmet, har været kendt i Aarhundreder. Theophrast og Plinius hentyde hertil ved Omtalen af Lapis Lyncurius. Turmalin er et haardt Mineral af en mørk, grøn eller brun Farve, halv-gennemsigtigt, naar det skæres i tynde Skiver, men i naturlig Tilstand fuldstændig sort og uigennemsigtigt; det virker polariserende paa Lyset. Det forekommer i Almindelighed i lidt uregelmæssige tresidede Prismer, som, naar Krystallen er fuldt udviklet, i begge Ender er begrænset af en tresidet Pyramide. Det hører til det heksagonale Krystalsystem, men er kun hemiedrisk, d. v. s. at kun det halve Antal af Fladerne er udviklet. Krystalformen er vist i Fig. 31, der tillige viser de to Ender A og B

særskilt. Man vil se, at disse to Ender ikke ere ganske ens. Enhver af dem er dannet af tre skraanende Flader, som løbe sammen i en Spids; men for A's Vedkommende løbe de sammenstødende Kanter ned til Prismets Kanter, medens de for B's Vedkommende ramme Midten af Prismets Sideflader. Den Ende, der er betegnet med A, kaldes den analoge Pol; B er den antiloge Pol.

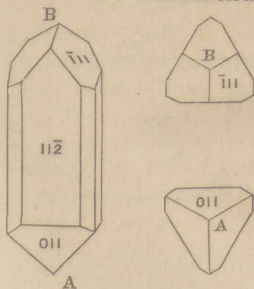


Fig. 31.

Naar Krystallen opvarmes, vil A blive positivt elektrisk og B blive negativt elektrisk; men afkøles den derefter, ville Polerne skifte, idet A nu vil være negativt, B positivt elektrisk. Holdes Temperaturen konstant, vil der hverken ved en høj eller lav Temperatur kunne spores nogen Elektricitet, og al Frembringelse af Elektricitet vil ophøre ved en Temperatur af over 150°C . Dette hidrører imidlertid, som Gauguin har paavist, ikke fra, at Krystallen ved denne Temperatur skulde være bleven en Leder; dens elektriske Modstand er nemlig ved endnu højere Temperaturer saa stor, at den maa betegnes som en Isolator. En opvarmet Krystal af Turmalin, ophængt i en Silketraad, vil tiltrækkes og frastødes af elektriske Legemer eller af et andet Stykke ophedet Turmalin. Sænderdeles en Krystal, vil ethvert af Brudstykkerne have en analog og en antilog Pol.

67. Foruden Turmalin ere mange andre Krystaller mer eller mindre pyro-elektriske. Blandt disse ere kisel-surt Zinkilte («elektrisk Galmeje»), Boracit, Rørsukker, Kvarts, vinsurt Kali, svolvsurt Kinin og flere andre. Boracit krystalliserer som vist i Fig. 32, der forestiller en Terning med hvert andet Hjørne afskaaret. De hele Hjørner forholde sig som analoge Poler, de afstumpede som antiloge. Denne ejendommelige skæve

Symetri eller Hemiedri findes hos alle de ovenfor omtalte Krystaller og skyldes utvivlsomt de samme mole-

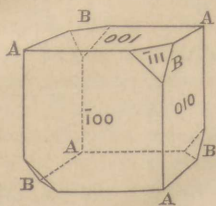


Fig. 32.

kylære Ejendommeligheder, hvoraf deres særegne, elektriske Egenskaber ere en Følge, og som ogsaa ofte bestemme Krystallernes optiske Forhold i polariseret Lys.

68. Dyrisk Elektricitet. Adskillige af de Dyr, som leve i Vandet, kunne frembringe elektriske Udladninger ved Hjælp af visse Dele af deres Organisme. De bekendteste af disse Dyr ere den elektriske Rokke,

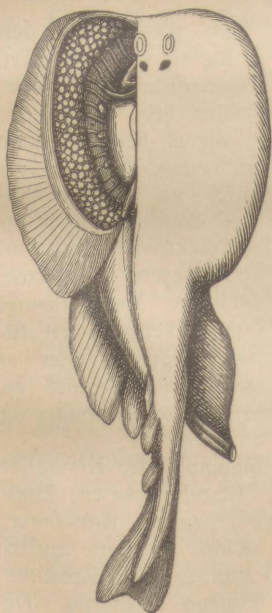


Fig. 33.

den elektriske Aal og den i Nilen og Niger levende elektriske Malle. Den elektriske Rokke, Raja-Torpedo*), af hvilken der findes tre Arter i Middelhavet og Atlanterhavet, har det elektriske Organ paa Bagsiden af »Hovedet«, som vist i Fig. 33. Det bestaar af 800 indtil 1000 eller endnu flere Skiver, der ere sammensatte af manglekantede Celler og staa i Forbindelse med fire store Bundter af Nerve-traade. Undersiden af Fisken er negativt, Oversiden positivt elektrisk.

I den elektriske Aal, *Gymnotus electricus*,

figuration af Lynet. Ligheden imellem Navnene Electra og electron (Rav) kan ikke være tilfældig.

*) Araberne kalde den ra-ad, hvilket betyder Lynet. Mærkeligere endnu er det at se, at der i de Homeriske Sagn tillægges «Electra» saadanne Egenskaber, at man kunde fristes til at anse hende som en Personi-

findes det elektriske Organ paa begge Sider af Dyret, i hele dets Længde. Den elektriske Aal kan give et meget kraftigt Stød og er en farlig Modstander, naar den har naaet sin fulde Længde af 5 til 6 Fod. Humbolt giver en livlig Skildring af Kampene imellem de elektriske Aal og de vilde Heste, der drives ud i Sumpene, hvor Aalene leve.

Nobili, Matteucci og andre have vist, at Nerve-Pirringer og Muskel-Sammentrækninger i det menneskelige Legeme ogsaa frembringe svage elektriske Udladninger.

69. Vegetabilsk Elektricitet. Buff mener at have fundet, at Plantelivet frembringer Elektricitet. Rødderne og de saftige Dele skulle være negativt, Bladene positivt elektriske, men der er kun foretaget meget faa Undersøgelser paa dette Omraade.

70. Termo-Elektricitet. Opvarmes Forbindelsesstedet mellem to forskellige Metaller, frembringes en elektrisk Strøm igennem Forbindelsesstedet. Dette er nærmere forklaret i Afsnit XXXIV om termo-elektriske Strømme.

71. Berøring mellem forskellige Metaller. Volta har vist, at der ved Berøring mellem to forskellige Metaller frembringes modsat Elektricitet paa de to Overflader, idet den ene bliver positivt, den anden negativt elektrisk. Dette beviste han paa forskellige Maader men mest afgørende ved Hjælp af Kondensator-Elektroskopet. Dette bestod af et Guld-blad-Elektroskop i Forbindelse med en lille Kondensator. I Stedet for Elektroskopets Kugle anvendte han en Metalplade, og oven paa den blev lagt en anden Metalplade, forsynet med et isolerende Haandtag og isoleret fra den førstnævnte Plade ved et Lag Fernis paa Overfladen (Fig. 59). Da en saadan Kondensators Kapacitet er meget betydelig, vil en meget svag Elektricitets-Frembringer meddele Kondensatoren en Elektricitets-mængde, der ikke væsentlig vil forøge dens Potential eller bevirke, at Guldbladene gøre et Udslag. Løftes

imidlertid den øverste Plade op, vil den underste Plades Kapacitet formindskes i betydelig Grad, og Ladningens Potential vil stige, hvilket vil vise sig ved, at Guldbladene gøre et Udslag.

Ved Hjælp af Kondensator-Elektroskopet kan man vise, at Berøring mellem to forskellige Metaller frembringer Elektricitet. En Stang, der bestaar af to sammenloddede Metaller, f. Eks. Zink og Kobber, og som holdes i Haanden, bringes med den ene Ende i Berøring med den underste Plade, medens den øverste sættes i ledende Forbindelse med Jorden, f. Eks. ved at man berører den med en Finger. Bortfjernes derpaa den øverste Plade, ville Guldbladene gøre et Udslag, hvilket viser Tilstedeværelsen af fri Elektricitet, som man derefter kan undersøge for at faa at vide, om den er positiv eller negativ. I lang Tid tvivlede man paa, at denne Elektricitet fremkom ved Berøringen mellem de forskellige Metaller, og antog, at dens Fremkomst skyldtes kemiske Virkninger. Sandheden er imidlertid den, at saa vel Berørings-Elektricitet som kemisk Virkning skyldes de Stoffers molekulære Tilstand, som komme i Berøring med hinanden; men vi kende endnu ikke nøjagtig Beskaffenheden af de molekulære Ejendommeligheder, som frembringe disse to Virkninger. Senere Forsøg, især de, der ere foretagne med W. Thomson's fintfølende Elektrometre, have fuldt ud godtgjort Rigtigheden af Volta's Opdagelse. Et simpelt Forsøg vil

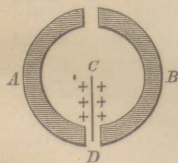


Fig. 34.

kunne forklare den Fremgangsmaade, der anvendes. En tynd Metalnaal op-
hænges saaledes, at den kan dreje sig
om Punktet C (Fig. 34), og elektriseres.
Under Naalen anbringes to halvcirkel-
formede Plader eller Halv-Ringe af
forskellige Metaller. Ingen af dem
vil hverken tiltrække eller frastøde
den elektriserede Naal, førend de ere bragte i Be-
røring med hinanden eller forbundne med et tredie
Stykke Metal, men da vil Naalen øjeblikkelig blive
drejet, idet den tiltrækkes af den Halv-Ring, som har

modsat Elektricitet, og frastødes af den, der har samme Elektricitet som den selv.

72. Volta fandt endvidere, at den elektriske Spændingsforskel mellem forskellige Par Metaller ikke er den samme. Medens Zink og Bly bleve henholdsvis positivt og negativt elektriske, men kun i ringe Grad, fandt han, at Zink og Sølv bleve i betydelig højere Grad henholdsvis positivt og negativt elektriske. Han opstillede Metallerne i en Række, saaledes at ethvert af dem bliver positivt elektrisk ved Berøring med et efterfølgende. De Metaller, hvis Navne ere trykte med skraat liggende Typer, ere tilføjede efter senere udførte Forsøg.

Metallernes Berøringsrække (i Luft).

+ *Natrium*
Magnium
 Zink
 Bly
 Tin
 Jern
 Kobber
 Sølv
 Guld
Platin
 — *Grafit* (Kul)

Volta angav aldeles tilnærmelsesvis Tal-Værdier for Spændingsforskellen mellem forskellige Par Metaller, men den er først i den senere Tid bleven nøjagtigere maalt af Ayrton og Perry. Resultatet af enkelte af deres Maalinger er anført i nedenstaaende Række.

		Spændingsforskel (i Volt)
Zink	}	0,210
Bly		
Tin	}	0,069
Jern		
Kobber	}	0,313
Platin		
Guld	}	0,146
Kul		
		0,238
		0,113

Spændingsforskellen mellem Zink og Kul er den samme, som faas ved at addere de efter hinanden følgende Differenser, eller 1,09 Volt^{*)}. Resultatet af Volta's Undersøgelser kan derfor udtrykkes i følgende Sætning, den saakaldte **Volta's Lov**: Spændingsforskellen imellem to Metaller i Berøringsrækken er lig Summen af de mellemliggende Metalleres Spændingsforskel.

Det er vigtigt at lægge Mærke til, at Metallernes Orden i Berøringsrækken i Luften falder meget nær sammen med den, man faar, naar man opstiller dem efter deres elektro-kemiske Kraft, udregnet af deres kemiske Ækvivalenter og Forbindelsesvarmen mellem Metallerne og Ilt (se Tabellen i Pkt. 422 (2)). Heraf synes det at fremgaa, at Spændingsforskellen mellem et Metal og Luften, der omgiver det, angiver Metallets Tilbøjelighed til at blive iltet af Luften.

Dersom dette er rigtigt, og dersom (hvad der jo er Tilfælde) Luften er en slet Leder, medens Metallerne ere gode Ledere, skulde heraf følge, at naar to forskellige Metaller berøre hinanden, ophæve de deres egen Spændingsforskel, medens de Luftlag, der omgive dem, faa forskellig Spænding. Alle de nøjagtige Forsøg, der hidtil ere udførte, have ikke maalt Spændingsforskellen imellem selve Metallerne, men mellem det Luftlag, der er i Berøring med det ene Metal og det, der er i Berøring med det andet. Dette spiller en stor Rolle i Teorien om Volta-Elementet.

James Brown har i den seneste Tid paavist Tilstedeværelsen af en Vædskehinde eller Hinde af fortættet Luft paa en nylig rengjort Metaloverflade og har vist, at naar blankt Zink og Kobber bringes saa tæt til hinanden, at Hinderne komme i Berøring med hinanden, vil der dannes et Element.

73. Spændingsforskel kan ogsaa opstaa ved Berøring mellem to forskellige Vædsker.

^{*)} Angaaende Definitionen af Volt eller Enhed for Spændingsforskel, se Pkt. 323.

En Vædske i Berøring med et Metal frembringer ogsaa en Spændingsforskel. Dette er ogsaa Tilfældet, naar et opvarmet Stykke Metal bringes i Berøring med et koldt Stykke Metal, idet der finder en elektrisk Adskillelse Sted paa Berøringsfladen.

Professor J. J. Thomson har fornylig vist, at Berøringsoverfladen mellem to ikke ledende Stoffer, saa som Lak og Glas, er Sædet for en permanent Spændingsforskel.

74. Magneto-Elektricitet. Elektricitet, i Form af elektriske Strømme gennem Ledninger, kan frembringes ved Hjælp af Magneter ved at bevæge Ledere, der danne et sluttet Kredsløb, i Nærheden af dem. Da man paa denne Maade frembringer elektriske Strømme og egentlig ikke statiske, elektriske Ladninger, skal den nærmere omtales i Afsnit XXXVI.

75. Oversigt. Vi have i det foregaaende set, at saa godt som en hvilken som helst Indvirkning paa Legemerne frembringer Elektricitet. De vigtigste af de Midler, der kunne anvendes, ere Gnidning, Varme, kemisk Virkning, Magnetisme og Berøring mellem Stoffer af forskellig Natur. Vi omtalte, at Frembringelsen af Elektricitet ved Gnidning for en stor Del afhang af Overfladernes molekulære Tilstand, og vi kunne her tilføje, at Spændingsforskellen, der fremkommer ved Berøring mellem uensartede Stoffer, er afhængig af Temperaturen og det Mediums (Luft, Vacuum o. s. v.) Beskaffenhed, i hvilket Forsøget foretages. Berørings-Elektriciteten er uden Tvivl ogsaa afhængig af, at de uensartede Stoffers molekulære Tilstande ere forskellige; Overfladernes Smaadele have forskellig Størrelse og Form og svinge med forskellig Hastighed og Kraft. Der er god Grund til at antage, at Gnidnings-Elektricitet (se Pkt. 10) i Virkeligheden skyldes Berørings-Elektricitet, frembragt paa forskellige Steder af Overfladerne, efterhaanden som de bevæges hen over hinanden. Om de molekulære Tilstande i Legemerne,

der betinge Frembringelsen af Elektricitet ved Berøring, kende vi imidlertid endnu saa godt som Intet.

ANDET KAPITEL.

MAGNETISME.

VIII. Magnetisk Tiltrækning og Frastødning.

76. Naturlige Magneter eller Magnetjernsten.

Navnet Magnet (Magnes Lapis) blev i Oldtiden anvendt paa visse haarde, sorte Sten, der bleve fundne i forskellige Dele af Verden, men især ved Magnesia i Lille-Asien, og som besad den Egenskab at tiltrække smaa Stykker Jern eller Staal. Denne, som det den Gang syntes, magiske Kraft gjorde Magnetjernstenen berømt, men det var først i det tiende eller tolvte Aarhundrede, at man opdagede, at den var i Besiddelse af den endnu mærkværdigere Egenskab, at pege i Retningen Nord—Syd, naar den blev ophængt i en Traad. Denne Egenskab blev med Fordel anvendt i Navigationen, og herfra skriver sig Magnetjernstenens engelske Navn lodstone (den ledende Sten). Den naturlige Magnet, Magnetjernstenen, er en Jernmalm, der af Mineralogerne kaldes Magnetit, og hvis kemiske Betegnelse er Fe_3O_4 . Denne Malm findes i stor Mængde i Sverig, Spanien, Arkansas, Elba og andre Dele af Verden, men er ikke altid magnetisk. Den forekommer hyppigt som Krystaller, og dens almindelige Form er et regulært Oktaeder.

77. Kunstige Magneter. Gnides et Stykke Jern eller endnu bedre et Stykke haardt Staal med Magnetjernsten, vil det faa Magnetens karakteristiske Egen-

skaber; det vil tiltrække smaa Stykker Jern, og op-
hænges det i en Traad, vil det pege i Retningen
Nord—Syd. Fig. 35

viser en naturlig og en
kunstig Magnet, der
begge ere dyppede i
Jernfilspaaner, hvorved

disse tiltrækkes og
klumpe sig sammen i
Buske.

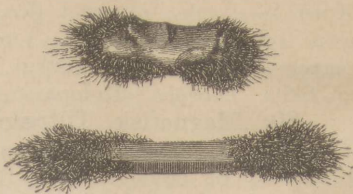


Fig. 35.

78. Lægen Gilberts

Opdagelser. Dette var

alt eller næsten alt, hvad man vidste om Magnetten, indtil
Aar 1600, da Lægen Gilbert i hans berømte Værk
»De Magnete« offentliggjorde et stort Antal mag-
netiske Opdagelser. Han bemærkede, at Magnetens Til-
trækningskraft syntes at have sit Sæde paa to Steder,
og at disse Steder, »Polerne«, i langstrakte Magneter
sædvanligvis ere Enderne (se Fig. 35). Den Del af
Magnetten, som ligger mellem de to Poler, er tilsyne-
ladende mindre magnetisk, idet den ikke tiltrækker
Jernspaanerne saa stærkt, og midt imellem Polerne
finder der hele Magnetten rundt slet ingen Tiltrækning
Sted. Denne Del kaldte Gilbert Magnetens Ækvator,
og den Linie, der kan
trækkes mellem Polerne,
kaldte han Aksen.

79. Magnetnaalen.

For bedre at undersøge
den magnetiske Kraft
anvendes en Magnet-
naal. Den bestaar af en
lille Staalnaal (Fig. 36),
forsynet med en lille
Hætte af Messing, Glas
eller Agat, ved Hjælp
af hvilken den kan op-
hænges paa en fin Spids,

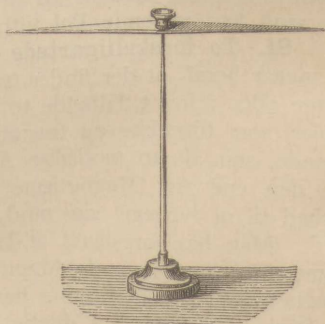


Fig. 36.

saa at den frit kan dreje sig rundt med ringe Gnidning. Den gøres magnetisk ved at gnides med en Magnet, og naar den er magnetiseret, vil den stille sig i Linien Nord—Syd eller rettere i den »magnetiske Meridian« (Pkt. 136). Kompasset, som sælges af Instrumentmagere, bestaar af en saadan Naal, der svinger over en Skive, hvorpaa »Kompassstregerne« ere afsatte.

80. Magnetisk Tiltrækning og Frastødning.

Tage vi en Magnet (enten naturlig eller kunstig) i Haanden, og holde skiftevis den ene af Polerne hen til den Pol af Magnetnaalen, der peger imod Nord, ville vi bemærke, at den ene af Magnetens Poler tiltrækker den, medens den anden frastøder den. Gentage vi Forsøget med den Pol, der peger mod Syd, vil det vise sig, at den frastødes af den ene af Magnetens Poler, medens den tiltrækkes af den anden, og at den samme Pol, som tiltrækker den mod Nord pegende Pol af Magnetnaalen, frastøder den mod Syd pegende Pol.

Hvis vi i Stedet for Magneten anvender en anden Magnetnaal, som har den Ende, der peger mod Nord, tydelig mærket, for at skelne den fra den mod Syd visende Ende, vil det vise sig, at de to mod Nord pegende Poler og de to mod Syd pegende Poler frastøde hinanden, medens en mod Nord pegende Pol og en mod Syd pegende Pol tiltrække hinanden.

81. To forskelligartede magnetiske Poler. Det fremgaar heraf, at der findes to forskellige Arter Magnetisme eller i hvert Tilfælde to modsatartede magnetiske Poler, som tiltrække og frastøde hinanden paa lignende Maade, som de to modsatte Arter af Elektricitet gøre; og den ene Art Magnetisme synes at have Tilbøjelighed til at bevæge sig mod Nord, den anden mod Syd. Man har foreslaaet at kalde de to Slags Magnetisme for »nordsøgende Magnetisme« og »sydsøgende Magnetisme«, men vi ville her kun skelne imellem de to forskellige Poler. I daglig Tale kaldes en Magnets Poler henholdsvis »Nordpolen« og »Sydpolen«, og den

mod Nord pegende Pol mærkes som Regel med et N, hvorfor den undertiden kaldes den »mærkede« Pol for at skelne den fra den mod Syd pegende Pol eller den »umærkede« Pol. For at undgaa al Misforstaaelse^{*)} ville vi kalde den Pol den »nordsøgende Pol«, som, hvis Magnetnaalen var ophængt, vilde pege mod Nord; den anden kalde vi den »sydsøgende Pol«.

Hvad vi have udviklet ovenfor om Tiltrækning og Frastødning kan derfor udtrykkes paa følgende Maade: Ensartede Poler frastøde hinanden, uensartede Poler tiltrække hinanden. Dette ville vi kalde Magnetismens første Lov.

82. To Poler uadskillelige. Det er umuligt at frembringe en Magnet, der kun har een Pol. Magnetiseres et Stykke Staaltraad eller en Urfjeder ved at gnides med den ene Pol af en Magnet, vil det dog altid have to Poler — en nordsøgende Pol og en sydsøgende Pol —, og dersom Staaltraaden brækkes over i to Stykker, vil hvert Stykke have to Poler af modsat Art.

83. Magnetisk Kraft. Den Kraft, med hvilken en Magnet tiltrækker eller frastøder en anden Magnet eller et Stykke Jern eller Staal, kaldes magnetisk Kraft^{**)}. Den Kraft, med hvilken en Magnet paavirker et Stykke Jern eller en anden Magnet, er for-

*) Der hersker nemlig paa dette Punkt nogen Uoverensstemmelse mellem forskellige Bøger. Tiltrækkes den mod Nord pegende Pol paa en Magnetnaal af den Magnetisme, der findes i Jordens Nordpol, lærer Loven om Tiltrækning (»uensartede Poler tiltrække hinanden«) os, at disse to Poler have modsat Magnetisme. Hvilken Magnetisme skulle vi da kalde Nordmagnetisme? Den som er i Jordens Nordpol? I saa Tilfælde maa vi sige, at den mod Nord pegende Ende af Magnetnaalen har Nordmagnetisme. Sige vi derimod, at den mod Nord pegende Ende af Magnetnaalen har Syd magnetisme, maa Jordens Nordpol have Syd magnetisme. I begge Tilfælde er der en Vanskelighed. Kineserne og Franskmandene kalde den mod Nord pegende Pol af Magnetnaalen en Sydpol og den mod Syd pegende Pol en Nordpol. Sir Wm. Thomson kalder ogsaa den mod Nord pegende Pol for en »virkelig Syd-Pol«, men almindelig Praksis gaar den modsatte Vej og kalder den mod Nord pegende Pol en N-Pol. For at skelne en Magnets Poler fra hinanden males efter Sir G. Airys Angivelse som Regel Nordpolen rød og Sydpolen blaa; mærkværdigvis ere Magnetene i »Royal Institution's Samling malede modsat.

**) Se Noten om »Kraft« Punkt 155.

skellig efter Afstanden, idet Kraften er større, naar Magneten er nærmere, og mindre, naar den er fjernere fra Jernet eller den anden Magnet. En Magnets Tiltrækningskraft forholder sig omvendt som Kvadratet paa Afstanden fra Polen (se Pkt. 117). Naar en Kraft saaledes virker mellem to Legemer, vil den altid paavirke dem begge og forsøge paa at bevæge dem begge. En Magnet vil tiltrække et Stykke Jern, og et Stykke Jern vil tiltrække en Magnet. Dette paaviste Isaac Newton ved at anbringe en Magnet paa en Prop, der flød i et Kar med Vand; Proppen med Magneten bevægede sig tvers over Karret, naar der blev holdt et Stykke Jern i Nærheden af Magneten. En Kompasnaal, der anbringes paa samme Maade, vil stille sig i Retningen Nord—Syd, men den vil hverken bevæge sig mod Nord eller Syd. Grunden hertil vil senere blive forklaret i Pkt. 117.

Gilbert maalte en Magnets Kraft ved at lade den tiltrække et Stykke Jern, der var ophængt i den ene Arm af en Vægt, medens der til den anden Arm blev fastgjort en Skaal med Lodder, som skulde modvirke Magnetens Tiltrækningskraft. Han fandt derefter, at Virkningen var den samme, naar Magneten blev ophængt i Vægtstangen, og Jernet blev anbragt under den. Virkning og Modvirkning, »Aktion og Reaktion«, ere altsaa ved magnetiske Kræfter lige store.

84. Tiltrækning igennem Legemer. Anbringes en Skive af Glas, Træ eller Papir imellem en Magnet og det Stykke Jern eller Staal, den skal tiltrække, vil den alligevel tiltrække Jernet, som om der Intet var anbragt imellem dem. Indesluttet en Magnet fuldstændigt i et Glasrør, vil den alligevel virke som en Magnet. Lucretius opdagede, at en Magnet, der var indesluttet i et Messing-Kar, tiltrak Jernspaaner gennem Messinget. Gilbert omgav en Magnet med en Ring af Flamme og fandt derved, at den endnu var underkastet magnetisk Tiltrækning udefra. De magnetiske Kræfter ville virke gennem Vand, det lufttomme Rum og alle kendte

Stoffer, dog med een Undtagelse: den magnetiske Kraft virker ikke gennem en Skærm af Jern eller andet magnetisk Materiale. Ophænges en lille Magnet inden i en hul Jernkugle, vil den ikke paavirkes af nogen udvendig Magnet. En hul Jernkugle vil derfor virke som et magnetisk Bur og skærme det indvendige Rum mod magnetisk Paavirkning.

85. Magnetiske Stoffer. Gilbert skelnede mellem Magneter og magnetiske Stoffer. En Magnet tiltrækker kun med Polerne, og disse ere i Besiddelse af modsatte Egenskaber. Men en Jernklump vil tiltrække enhver af Magnetens Poler, hvilken Del af Klumpen, der end vendes mod Magneten. Den har ingen bestemte »Poler« og ingen magnetisk »Ækvator«. En virkelig Magnet har Poler, af hvilke den ene frastødes af en anden Magnetpol.

86. Andre magnetiske Metaller. Senere Forsøg have forøget Listen paa de Stoffer, som tiltrækkes af en Magnet. Foruden Jern (og Staal) ere følgende Metaller magnetiske:

Nikkel	Cerium
Kobolt	Mangan
Chrom	

og enkelte andre. Men kun Nikkel og Kobolt kunne sammenlignes med Jern og Staal, hvad Størrelsen af den magnetiske Kraft angaar, og dog staa de betydeligt lavere. Andre Legemer, som adskillige Salte af Jern og andre Metaller, Papir, Porcellæn og Ilt, tiltrækkes ogsaa meget svagt af en kraftig Magnet.

87. Diamagnetisme. En Del Legemer, navnlig Vismuth, Antimon, Fosfor og Kobber, frastødes af en Magnetpol. Saadanne Legemer kaldes diamagnetiske Legemer; de skulle nærmere omtales i Afsnit XXVIII.

88. Jorden er en Magnet. Den vigtigste af Gilberts Opdagelser var hans Paavisning af, at der findes Magnetisme i Jorden. Jorden er selv en stor Magnet, hvis Poler nærlig falde sammen med

den geografiske Nord- og Sydpol, og derfor vil Jorden dreje en frit ophængt Magnet saaledes, at den stiller sig i Retningen Nord—Syd. Jordmagnetismen er behandlet i Afsnit XII. Ifølge den første Lov om Magnetisme maa den magnetiske Tilstand i Jordens nordlige Egne være modsat den, en magnetiseret Naals nordsøgende Pol har. Derfra skrive de Vanskeligheder sig, som der er hentydet til paa Side 75.

89. Magnetisk Fordeling. (Magnetisk Induktion.) Et Stykke Jern kan blive magnetisk uden at komme i Berøring med en Magnet. Anbringes en kort, tynd, umagnetiseret Jernstang i Nærheden af nogle Jernfilspaaner, og nærmes en Magnet til Stangen, vil Magnetens Tilstedeværelse inducere Magnetisme i Jernstangen, og den vil nu tiltrække Jernfilspaanerne (Fig. 37). Denne fordelende eller inducerende Virkning

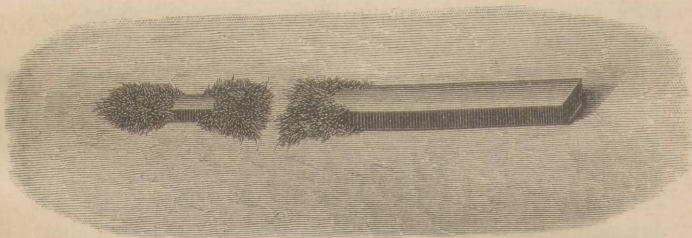


Fig. 37.

ligner meget den, der finder Sted, naar et elektriseret Legeme nærmes til et uelektrisk (se Afsnit III). Ligheden gaar endnu videre, thi man vil finde, at den saaledes ved Fordeling magnetiserede Stang har to Poler, af hvilke den, der er nærmest ved den inducerende Magnets Pol, har modsat Magnetisme af denne, medens Stangens fjerneste Ende er en Magnetpol af samme Art som den inducerende. Magnetisme kan imidlertid kun induceres i de Legemer, vi have nævnet som magnetiske Legemer, og de Legemer, i hvilke en magnetiserende

Kraft kan frembringe en høj Grad af Magnetisering, siges at besidde en høj Magnetiserings-Koefficient. I det følgende skulle vi vise, at den magnetiske Fordeling foregaar i visse Retninger, der kaldes magnetiske Induktionslinier eller magnetiske Kraftlinier, og som enten kunne gaa gennem Jern og andre magnetiske Stoffer eller gennem Luft, lufttomt Rum, Glas og andre ikke magnetiske Stoffer. Da den magnetiske Fordeling foregaar lettest i Legemer med stor magnetisk Modtagelighed (Susceptibilitet), siger man undertiden (skønt ikke fuldstændig korrekt), at »Kraftlinierne fortrinsvis gaa gennem magnetiske Stoffer«, eller at »magnetiske Stoffer lede Kraftlinierne«.

Skønt magnetisk Fordeling finder Sted i nogen Afstand igennem et mellemliggende Luftlag, en Glasplade eller lufttomt Rum, er der dog ingen Tvivl om, at det mellemliggende Medium tager direkte Del i Overførelsen af den magnetiske Kraft, om end det virkelige Medium sandsynligvis er »Æteren«, der omgiver Stoffets Molekyler, og ikke selve Molekylerne.

Vi kunne nu forstaa, hvorfor en Magnet kan tiltrække et umagnetiseret Stykke Jern; den magnetiserer det først ved Fordeling og tiltrækker det derefter, idet den Ende af Jernet, som er nærmest Magneten, magnetiseres modsat Magnetpolen og derfor vil blive stærkere tiltrukken, end den fjerneste, ensartede Pol vil blive frastødt. Fordeling gaar altsaa forud for Tiltrækning.

90. Koercitivkraften. Det er ikke alle magnetiske Stoffer, som kunne blive permanente Magneter. Magnetjernsten, Staal og Nikkel bibeholde vedvarende den største Del af den Magnetisme, der er bibragt dem; de ere »permanent magnetiske«. Støbejern og mer eller mindre rent Smedejern holde i ringere Grad paa Magnetismen, medens rent, blødt Jern kun er magnetisk, saa længe det paaavirkes af en magnetiserende Kraft, eller er »temporært magnetisk«. Dette kan vises ved følgende Forsøg. Anbringes en lille

Jernstang eller et Søm af blødt Jern i Berøring med en permanent Staalmagnet, tiltrækkes Jernstangen af den og bliver selv en midlertidig (»temporær«) Magnet (Fig. 38), der nu vil kunne bære en anden lille Jernstang, denne en tredie o. s. fr., saaledes at Staalmagneten bærer en Række af fire, fem smaa Jernstænger. Bortfjernes nu Staalmagneten fra det øverste Jernstykke, ville de andre Jernstænger falde fra hinanden, og de ville ikke længere være magnetiske. Man kan ogsaa gøre Forsøget med en Række Stænger eller Naale af Staal, men disse ville da blive permanent magnetiske.

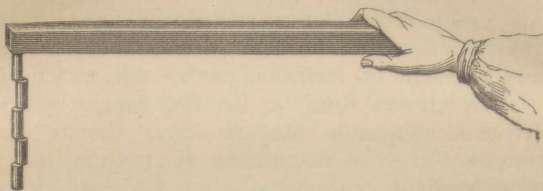


Fig. 38.

En Staalnaal vil imidlertid være vanskeligere at magnetisere end en Jernnaal af samme Størrelse. Det er besværligere at bibringe Staal Magnetisme end Jern, men det er ogsaa vanskeligere at afmagnetisere Staal end Jern, thi Staalet vil holde paa den Magnetisme, det en Gang har faaet. Den Kraft, der modarbejder Magnetisering og Afmagnetisering, kaldes jævnlig Koercitivkraften, men man burde hellere anvende Lamonts Udtryk, Retentivitet σ : Evne til at bibeholde. Denne Evne er meget stor i hærdet Staal, den er meget lille i blødt Smedejern. Jo haardere Staalet er, desto større er dets Retentivitet.

91. Magnetismens Teori. Læseren vil sikkert have følt sig slaaet af de Ligheder, der er imellem de magnetiske og de elektriske Fænomener, saa som Tiltrækning, Frastødning, Fordeling o. s. v., og dog ere Fænomenerne fuldstændigt forskellige. Et positivt elek-

trisk Legeme tiltrækker hverken en Magnets Nordpol eller Sydpol som saadan, men det vil tiltrække enhver af dem, uafhængigt af dens Magnetisme, ligesom det vil tiltrække ethvert andet Legeme. Der findes imidlertid en direkte Sammenhæng mellem Magneter og elektriske Strømme, som senere vil blive omtalt, men mellem Magneter og stationære elektriske Ladninger kendes ingen Sammenhæng.

Vi have endnu ikke fremført nogen Teori om Magnetismens Natur, vi have kun anført de væsentligste Kendsgeninger uden nogen forudfattet Mening. I mange Lærebøger tales der om et magnetisk Fluidum eller Fluid, men det er absolut sikkert, at Magnetismen ikke er noget Fluidum, hvad den saa end er. Betegnelsen, som er en Levning fra Fortiden, kan kun delvis forsvares derved, at Magnetismen under visse Omstændigheder fordeler sig i magnetiske Legemer paa samme Maade, som et elastisk Fluidum vilde gøre det. Men de Grunde, der tale imod, at Magnetismen er et Fluidum, ere endnu mere afgørende, end Tilfældet er ved Elektriciteten. Naar et elektrisk Legeme bringes i Berøring med en anden Konduktor, afgiver det en Del af sin Elektricitet til denne, som derved elektriseres. Men en Magnet magnetiserer det Stykke Jern, der gnides med den, uden at afgive noget af sin egen Magnetisme. Et Fluidum kan umuligt forplantes i det uendelige uden Tab. De Bevisgrunde, der kunne hentes fra det, der foregaar, naar en Magnet brækkes i Stykker, eller fra andre Forsøg, der skulle omtales i Afsnit X, tale endnu stærkere imod Fluidum-Teorien. Vi ville derfor ikke fremsætte nogen Teori om Magnetisme, førend disse Tilfælde ere omtalte.

IX. Magnetisering.

92. Magnetisering ved enkelt Strøg. Vi have hidtil forudsat, at Stænger eller Naale af Staal blive

magnetiserede, naar man blot berører dem eller stryger dem fra den ene Ende til den anden med den ene Pol af en Staalmagnet eller en naturlig Magnet. Paa denne Maade vil det sidst berørte Sted af Stangen blive en Pol med modsatartet Magnetisme af den, hvormed det er bleven berørt. Anvender man en enkelt Magnetpol ad Gangen, maa man dog hellere stryge den ene Ende af Naalen med den ene Magnetpol, og den anden Ende med den anden Pol. Der gives imidlertid bedre Maader til Magnetisering af en Naal.

93. Magnetisering ved delt Strøg. Ved denne Metode lægges den Stang, der skal magnetiseres, vandret, hvorefter to Magneter med de modsatte Poler sammen sættes paa Stangens Midte, og derpaa føres hver til sin Ende, løftes og atter sættes paa Midten, føres i samme Retning som første Gang o. s. fr. Stangen vendes derpaa om, hvorefter den samme Operation gentages. Man faar bedre Virkning ved at

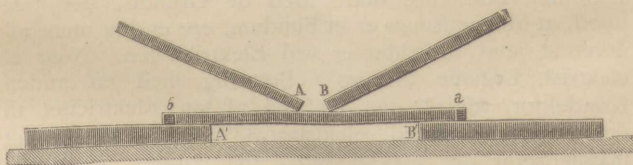


Fig. 39.

lægge Staalstangen paa Polerne af to stærke Magneter, saaledes at hver Ende af Stangen ligger paa en Pol af samme Art, som den, hvormed den stryges (Fig. 39).

94. Magnetisering ved dobbelt Strøg. En anden Maade, der gaar under Navnet Dobbelt-Strøg, afviger kun ubetydeligt fra den forrige. Et lille Stykke Træ eller Kork anbringes imellem Enderne af de to Magneter, der benyttes, hvorpaa de forbindes fast med hinanden og føres frem og tilbage paa Staalstangen fra den ene Ende til den anden. Stangens Poler komme til at ligge i modsat Retning af Polparrets,

hvormed man stryger. En Staalstang bliver imidlertid ikke ved nogen af disse Metoder magnetiseret saa stærkt, som den kan blive det.

95. S sammensatte Magneter. Lange, tynde Staal-magneter ere i Forhold til deres Vægt kraftigere end tykke, og Scoresby*) foreslog derfor at konstruere sammensatte Magneter, bestaaende af tynde Staalplader, der hver for sig bleve magnetiserede og derefter bleve indbyrdes forbundne. Disse sammensatte Magneter eller Plademagneter ere kraftigere end almindelige magnetiserede Staalstænger.

96. Magnetisering ved Jordmagnetismen. I Mangel af en Staal-magnet kan Jordmagnetismen benyttes til Magnetisering af en Staalstang. Gilbert paaaviste, at Jernstænger bleve magnetiserede ved Jordens Paa-virkning, naar de i længere Tid vare anbragte lodret. Naar en Ildrager af Staal holdes i den magnetiske Meridian med den ene Ende skraat nedefter, og den bænkes med en Trækølle, vil den blive magnetisk, og dens nederste Ende vil blive en Nord-Ende. Man har ogsaa funden, at Staaltraade blive magnetiske, naar de anbringes i den magnetiske Meridian og i denne Stilling underkastes en Snoning.

97. Magnetisering efter Opvarmning. Gilbert opdagede ogsaa, at naar en Staalstang opvarmes til Rødgloedhede og derpaa afkøles, enten langsomt eller hurtigt, medens den ligger i den magnetiske Meridian, vil den blive en Magnet, hvad der ikke er Tilfældet, hvis den under Afkølingen ligger i Retningen Øst—Vest. Det har været foreslaaet at frembringe kraftige Magneter, ved at anbringe opvarmede Jernstænger mellem Polerne af meget kraftige Elektro-Magneter og afkøle dem i denne Stilling; Carré har fornylig frembragt stærke Magneter af Jern, der blev støbt i Forme, anbragte i et kraftigt magnetisk Felt.

*) Geuns i Venlo foreslog noget lignende i 1768, og Jamin har fornylig konstrueret Magneter paa lignende Maade.

98. Magnetisering ved elektriske Strømme.

Ledes en stærk elektrisk Strøm gennem en Traad, der er viklet omkring en Jern- eller Staalstang, vil denne blive betydelig kraftigere magnetiseret, end den kan blive det ved nogen af de ovenfor angivne Metoder. Er det en Stang af blødt Jern, der anvendes, er den kun magnetisk, saalænge Elektriciteten strømmer gennem Traaden. En saadan Magnet kaldes en Elektro-Magnet, og vil nærmere blive omtalt i Afsnit XXVI. Elias i Haarlem har foreslaet at magnetisere Staalstænger ved at føre dem igennem en kort, tyk Traad-Rulle med mange Vindinger, gennem hvilke der blev sendt en stærk Strøm fra et Volta-Batteri. Tommasi paastaar at have magnetiseret Staalstænger ved at lede Damp gennem et Rør, der var snoet i Spiral omkring Stængerne; men dette Punkt trænger til yderligere Bekræftelse.

99. Afmagnetisering. En Staalomagnet mister sin Magnetisme fuldstændigt eller delvis, naar den udsættes for voldsom Behandling, f. Eks. en vedvarende Række Stød og Slag. Den mister ogsaa, som Gilbert paaviste, sin Magnetisme ved at blive opvarmet til Rødgloedhede.

100. Varmens Indflydelse paa Magnetisering.

Lægges en Staalomagnet i varmt eller kogende Vand, vil dens Styrke blive formindsket, men ved atter at afkøles vil den nærlig blive lige saa stærk som tidligere. Udsættes en Magnet for Kulde, forøges dens Styrke. Støbejern tiltrækkes ikke længere af en Magnet, naar det er lyst rødglødende, 0: ved en Varmegrad af c. 700°C .; Kobolt beholder sin Magnetisme ved de højeste Varmegrader; Chrom ophører at være magnetisk ved c. 500°C . og Nikkel ved 350°C . Mangan viser kun magnetisk Tiltrækning, naar det afkøles til -20°C . Man har derfor antaget, at andre Metaller ogsaa vilde blive magnetiske, naar de afkøledes tilstrækkelig; men afkøles Staalmagener til 100°C . under Frysepunktet, afmagnetiseres de.

De magnetiske Metaller blive ikke ved stærk Opvarmning diamagnetiske, men ere ved de høje Varmegrader endnu svagt magnetiske.

101. Formen af Magneter. Formen af naturlige Magneter er hyppigst uregelmæssig, men undertiden gøres de regelmæssige ved at beskæres eller slibes. Tidligere var det almindelig Brug at forsyne dem med Belægninger af blødt Jern, »Ankere« (Armaturer), der tjente som Polstykker.

Ved videnskabelige Forsøg anvendes som Regel Stangmagneter af hærdet Staal, men til mange andre Øjemed benyttes hesteskoformede Magneter. Ved disse sidde Polerne tæt ved hinanden, hvorved man opnaar, at de begge kunne tiltrække det samme Stykke Jern.

»Ankeret« (Armaturen) eller »Bærestykket« (the keeper) er et Stykke blødt Jern, der anbringes tvrs over Polerne, og som ved den magnetiske Fordeling selv bliver en Magnet. Da begge Polerne magnetisere det, bliver den Kraft, med hvilken det tiltrækkes af Magneten, større.

102. Magnetisk Mætning. Naar en Magnet er magnetiseret saa kraftigt, som det er muligt, siges den at være mættet med Magnetisme. Flere af de ovenfor beskrevne Magnetiseringsmaader ville bibringe en Stang mere Magnetisme, end den er i Stand til at bibeholde permanent. En nylig magnetiseret Magnet vil jævnlig vise sig at være overmættet, selv efter at den magnetiserende Kraft har ophørt at virke. En Hestekomagnet af Staal vil saaledes kunne bære en større Vægt umiddelbart efter at den er bleven magnetiseret, end den vil kunne, efter at Ankeret en Gang er taget bort fra dens Poler. Selv blødt Jern vil, naar det bliver magnetiseret, beholde nogen Magnetisme tilbage, efter at den midlertidige Magnetisme (den temporære M.) er forsvunden, og denne ringe Rest kaldes remanent Magnetisme (residual m.).

En Magnets Styrke. En Magnets »Styrke« er ikke det samme som dens »Bæreevne«; Magnetens »Styrke« er »Styrken« af dens Poler, og den maa maales ved den magnetiske Kraft, som disse udøve.

Tage vi saaledes to Magneter, A og B, hvis Styrke vi ville sammenligne, og lade enhver af dem virke paa Nordpolen C af en tredie Magnet, saa vil A's Styrke være dobbelt saa stor som B's, dersom A's Nordpol frastøder C med to Gange saa stor Kraft, som den, med hvilken B's Nordpol, anbragt i samme Afstand, frastøder C. En Magnetpols »Styrke« kan ogsaa udtrykkes ved Mængden af fri Magnetisme i Polen. Ved at benytte den i Pkt. 125 bestemte Enhed for Styrke af Magnetpoler, kunne vi udtrykke enhver Pols Styrke ved Antallet af saa og saa mange »Enheder« af Styrke.

103. Bæreevne. En Magnets Bæreevne afhænger baade af dens Form og af dens magnetiske Styrke. En Hestekomagnet vil kunne bære tre til fire Gange saa meget som en Stangmagnet af samme Vægt. Bæreevnen bliver større, naar Berøringsfladen mellem Polerne og Ankeret forøges. En Magnets Bæreevne vokser fremdeles paa en mærkværdig og uforklaret Maade, ved efterhaanden daglig at forøge den Byrde, der er ophængt i Ankeret, ud over den Byrde, den fra først af vilde have været i Stand til at bære. Naar Byrden er bleven saa stor, at Ankeret rives fra, vil Magnetens Bæreevne dog øjeblikkelig synke ned til dens oprindelige Størrelse. Tiltrækningen mellem en kraftig Magnet og dens Anker kan være c. 200 Pd. pr. Kv.-Tm. eller c. 14000 Gram pr. Kv.-Cm. Smaa Magneter bærer i Forhold til deres egen Vægt en større Byrde end store Magneter*). En god Heste-

*) Bernouille har givet følgende Regel for at finde Bæreevnen p af en Magnet, hvis Vægt er w:

$$p = a \sqrt[3]{w}$$

hvor a er en Konstant, aethængig af Staalets Beskaffenhed og af Magnetiseringsmaaden. I de bedste af de Staal-magneter, der bleve lavede i Haarlem af V. Wetteren, var denne Konstant mellem 19.5 og 23.

skomagnet af Staal, der vejer 1 Pd., kan bære 20 Pd. Isaac Newton skal have været i Besiddelse af en lille Magnetsten, indfattet i en Signetring, som kunde løfte et Stykke Jern, der vejede 200 Gange saa meget som den selv.

X. Magnetismens Fordeling.

104. Normal Fordeling. I en almindelig Stangmagnet ligge Polerne ikke helt ude i Enderne af Stangen, men findes et Stykke derfra, og det kan vises, at Grunden hertil er den Maade, paa hvilken Magnetismen er fordelt i Stangen. En meget lang, tynd og regelmæssigt magnetiseret Stang har sine Poler i Enderne, men i en almindelig, tyk Magnet indtage Polerne et Rum med kendelig Udstrækning, idet den »fri Magnetisme« gradevis formindskes fra Enderne af Stangen. I hvert af disse Rum kan man imidlertid bestemme et Punkt, i hvilket Resultanten af de magnetiske Kræfter virker, og som i Almindelighed kan betragtes som Polen. Ved uregelmæssig Magnetisering vil det i visse Tilfælde kunne indtræffe, at der findes en eller flere Poler imellem Endepolerne. Saadanne Poler kaldes Følgepunkter (se Fig. 43).

105. Magnetisk Felt. Det Rum omkring en Magnet, der gennemkrydses af magnetiske Kræfter, kaldes Magnetens »Felt«. Det er kraftigst tæt ved Magnetens Pol og bliver svagere og svagere, jo længere man fjerner sig fra den. I ethvert Punkt af det magnetiske Felt har Kraften en bestemt Størrelse, og den magnetiske Fordeling virker i en bestemt Retning eller Linie. I en Hesteskomagnet er Feltet kraftigst imellem Polerne, og Linierne for den magnetiske Fordeling ere Kurver, der gaa fra den ene Pol til den anden igennem Feltet. I Punkt 108 er der under »magnetiske Figurer« angivet en praktisk Maade til at finde Fordelingsliniernes

Breguet's Magneter, lavede af Allevard-Staal, have omtrent samme store Bæreevne.

Retning. Naar Ankeret sættes paa en Hestekomagnets Poler, bliver Magnetens Kraft betydelig svækket i Rummet omkring den, idet den magnetiske Fordeling nu foregaar gennem Ankerets Jernmasse og ikke gennem det omkringliggende Rum. Et lukket System af Magneter, som det, der frembringes ved at lægge fire Stangmagneter langs Siderne af en Firkant, saaledes at Nordpolen af den ene rører ved Sydpolen af den anden, har intet ydre magnetisk Felt. En Staalring kan magnetiseres saaledes, at den hverken faar ydre magnetisk Felt eller Poler; man maa i saa Fald snarest betragte den som en Magnet, hvori ethvert Punkt har en Nordpol og en Sydpol liggende saa tæt ved hinanden, at de ophæve hinanden.

At Poler af modsat Navn ophæve hinanden, kan vises ved et bekendt Forsøg. Man ophænger en lille Genstand — en Staalring eller en Nøgle — i en Stangmagnets Nordpol, og bringer derefter denne i Berøring med en anden Stangmagnets Sydpol; de to Poler ville ophæve hinanden, og Ringen eller Nøglen vil falde af.

106. Sønderbrydning af Magneter. Vi have tidligere omtalt, at naar en Magnet brækkes i to eller flere Stykker, vil hver af disse være en fuldstændig Magnet med to Poler, og hver af dem vil nærlig være lige saa stærkt magnetiseret som den oprindelige Magnet (Fig. 40). Dersom Brudstykkerne sættes sammen, saa



Fig. 40.

at de slutte nøjagtigt til hinanden, ville de sammenstødende Poler ophæve hinanden og forsvinde, saa at der kun bliver Polerne ved Enderne tilbage. Dersom en Magnet blev knust til Pulver, vilde hvert lille Korn dog være en Magnet og have to Poler. En Magnet

kan derfor betragtes som sammensat af en Mængde smaa Magneter, der ere ordnede saaledes, at de ensartede Poler vende samme Vej. Dette er vist i Fig. 41, af hvilken det ogsaa vil fremgaa, at dersom Magneten brækkes i Stykker paa et hvilket som helst Sted, vil der paa den ene Side af Bruddet altid kun være Nordpoler, paa den anden kun Sydpoler. Dette vil være Tilfældet, hvor smaa de enkelte Dele end ere.

N		S' N'								S	
n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
N		S' N'								S	

Fig. 41.

Dersom Staalets indre Magnetisering i enhver Del af Magneten var ens, vilde de fri Poler kun findes ved Enderne, men da den fri Magnetisme ikke alene findes ved Enderne, men aftager fra disse ind imod Midten, viser det os, at den indre Magnetiserings Styrke maa være mindre henimod og ved Enderne end i Midten af Stangen.

107. Magnetismens Fordeling paa Flader. Magnetiske Plader. Hidtil have vi kun beskæftiget os med den almindelige Fordeling af Magnetismen langs en Stang, men det er ogsaa muligt at have den fordelt paa en tynd Flade, saaledes at hele den ene Side er nordmagnetisk, hele den anden sydmagnetisk. Dersom en uendelig Mængde smaa Magneter bleve stillede Side om Side, ligesom Cellerne i en Bikage, med alle Nordpolene opefter og Sydpolene nedefter, vilde der derved dannes en Skive, hvis øverste Flade er en stor Nordpol, medens den nederste er en Sydpol. En saadan Fordeling af Magnetismen kaldes Flade-Fordeling, for at skelne den fra den sædvanlige Fordeling langs en Stang, den saakaldte solenoïdale Fordeling. En Magnet med Flade-Fordeling af Magnetismen kaldes jævnlig en magnetisk Plade (magnetic

shell). Disse magnetiske Pladers Egenskaber have navnlig stor Betydning paa Grund af deres Overensstemmelse med sluttede Volta-Strømmes.

108. Magnetiske Figurer. Gilbert paaviste*), at Jernfilspaaner, der strøs paa et Stykke Papir eller tyndt Pap, som anbringes oven over en Magnet, ville ordne sig i krumme Linier, hvorved de danne magnetiske Figurer, hvis almindelige Form er vist i Fig. 42.

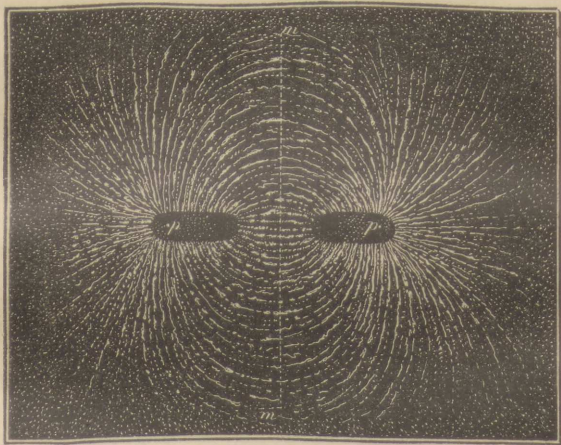


Fig. 42.

Filspaanerne skulle være meget fine og sigtes derfor bekvemt gennem et Stykke Musselin. For lettere at faa dem til at ordne sig i Figurer, skal man give Papiret nogle smaa lette Slag med Fingeren. De magnetiske Figurer kunne paa forskellige Maader fæstnes, saa at de ikke udslettes igen. Den bedste er i Stedet for Papir at benytte en Glasplade, der er overstrøget med en Gummiopløsning og derefter tørret. Filspaanerne strøs nu jævnt ud over Glaspladen, der

*) Magnetiske Figurer vare kendte af Lucretius.

er anbragt over en Magnet, og man banker lidt paa Pladen; derefter ledes en Dampstraale forsigtig hen over Pladen, hvorved Gummien bliver blød, og naar den igen bliver haard, ville Filspaanerne sidde fast paa Glaspladen. Ved at betragte Figuren vil man se, at Linierne sprede sig nogenlunde ligeligt til alle Sider fra hver Pol og danne krumme Linier, der gaa fra Pol til Pol, saa at Linierne fra de to Poler mødes. Faraday, der gjorde en udstrakt Anvendelse af disse Figurer for at undersøge den magnetiske Fordeling i forskellige »Felter«, kaldte Linierne Kraftlinier. Da de smaa magnetiske Partikler ordnes under Paavirkning af Tiltrækningerne og Frastødningerne i Feltet, gengive Linierne Resultanten af Kræfternes Retning paa ethvert Punkt; enhver Partikkel søger at indtage Retningen for den magnetiske Fordeling, der skyldes begge Polernes samtidige Virkning, og derfor ville Kraftlinierne gengive Linierne for den magnetiske Fordeling*). Faraday fastslog, at disse »Kraftlinier« give et Billede af det magnetiske Felt, idet de ved deres Stilling angive Retningen af den magnetiske Kraft og ved deres Antal dens Størrelse. Hvis det var muligt at anbringe en lille, enkelt Magnetpol paa en af disse Kraftlinier, vilde en Nordpol søge at bevæge sig langs denne Linie fra Feltets Nordpol til dets Sydpol, medens en enkelt Sydpol vilde søge at bevæge sig i den modsatte Retning. Faraday tillagde ogsaa disse Kraftlinier visse fysiske Egenskaber, nemlig, at de søge at trække sig sammen efter Længden, og at de frastøde hinanden, naar de ligge Side om Side. Disse Egenskaber kunne dog ikke direkte godtgøres, og nu om Stunder, hvor man mener, at Magnetismen skyldes »Æteren« i Rummet, indskrænker man sig til at sige, at der i hvert magnetisk Felt er en vis Kraft,

*) eller rettere den fordelende Krafts Komposant i Papirets Plan; selve Kraften har en derfra temmelig forskellig Retning og er over Polerne omtrent vinkelret paa Papirets Plan.

som frembringer Spænding langs Kraftlinierne og et Tryk paa tværs af dem.

109. Ved Hjælp af Jernfilspaaner kan man paavise Tilstedeværelsen af »Følgepunkter« i en Staalstang, og de magnetiske Figurer, der i saa Fald fremkomme, ville vise sig omtrent som angivet i Fig. 43. Følgepunkter kunne frembringes forsætlig ved at magnetisere

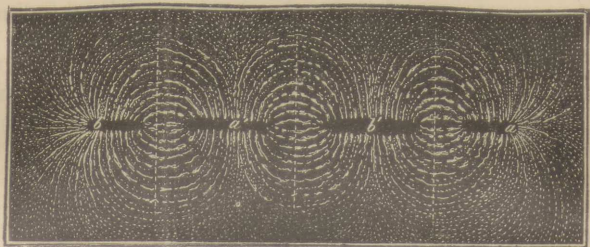


Fig. 43.

et meget haardt Stykke Staal uregelmæssigt, idet det berøres med stærke Magneter paa forskellige Steder. En saadan Magnet vil i Virkeligheden bestaa af flere Magneter, der ere ordnede i Række, men med deres ensartede Poler afvekslende ere vendte til modsatte Sider, S-N, N-S o. s. v.

110. De Kræfter, der bevirke, at to uensartede Poler tiltrække hinanden, medens to ensartede Poler



Fig. 44.

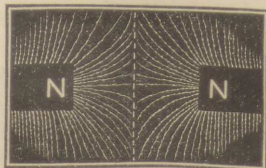


Fig. 45.

frastøde hinanden, kunne meget smukt gengives billedligt ved Hjælp af de magnetiske Figurer, som for de

to Tilfældes Vedkommende ere fremstillede i Fig. 44 og 45. I Fig. 44 ere Polerne af modsat Art, og Kraftlinierne, der komme fra den ene Pol, fortsætte deres Vej ind i den anden. Fig. 45 viser Virkningen af to ensartede Poler, der bevirke, at Kraftlinierne dreje til Siden, som om de frastøde hinanden, og bøje om i rette Vinkler. Musschenbroek var den første, der viste den store Forskel mellem disse to Figurer.

111. Magnetisk Skrift. De Haldat frembragte magnetiske Figurer paa en anden Maade, idet han skrev med en Magnetpol paa en tynd Staalplade (et Savblad f. Eks.), hvorefter han strøede Jernfilspaaner over den. Skriften, som i sig selv er usynlig, traadte nu frem som Linier, dannede af Filspaaner, der sad fast paa de magnetiserede Dele af Pladen. Denne magnetiske Skrift kan holde sig i Pladen i mange Maaneder.

Forfatteren af denne Bog har frembragt lignende Figurer af Filspaaner ved at skrive paa en Staalplade med en Ledning fra et kraftigt Volta-Batteri.

112. Overflade-Magnetisering. Den Magnetisme, der bibringes en Magnet, vil i mange Tilfælde væsentlig være begrænset til Staalets ydre Lag. Lægges saaledes en Magnet i Syre, saa at de ydre Lag opløses, vil det vise sig, at Magnetismen er forsvunden, selv om det kun er et tyndt Lag, der paa denne Maade er fjernet. Ere Magneter blevne meget stærkt magnetiserede, vil det Indre af dem dog altid vise Tilstedeværelsen af nogen Magnetisme. Et hult Staalrør vil, naar det er magnetiseret, vise sig at være omtrent lige saa stærkt magnetisk som en massiv Stang af samme Størrelse. Magnetiseres et Bundt Staalplader, medens de ligge sammen, ville kun de yderste blive stærkt magnetiske; de inderste kunne endog blive modsatartet magnetiserede.

113. Mekaniske Virkninger af Magnetisering. Magnetiseres en Staal- eller Jernstang stærkt, vil den blive en Smule længere end oprindeligt, og da

dens Rumfang er det samme som tidligere, vil den samtidig blive tyndere. Joule fandt, at en Jernstang forøges $\frac{1}{720000}$ i Længde ved at blive magnetiseret saa stærkt som muligt. Man antager, at dette Fænomen skyldes Magnetiseringen af de enkelte Dele, som, efter at de ere blevne magnetiserede, søge at stille sig parallelt med Stangens Længdeakse. Denne Antagelse bestyrkes ved den af Page gjorte Iagttagelse, at der høres en svag metallisk Klang, i det Øjeblik en Stang bliver magnetiseret eller afmagnetiseret. Sir W. Grove paaviste, at naar Vandet i et Rør gøres uklart, ved at blandes med findelt magnetisk Jernilte, og derefter magnetiseres, bliver det klarere i Magnetiserings-Retningen, idet Smaadelene synes at ordne sig i Rækker og derved skaffe en lettere Gennemgang for Lyset. En snoet Jerntraad søger at sno sig op, naar den magnetiseres. Et Stykke Jern bliver varmt, naar det hurtigt afvekslende magnetiseres kraftigt og atter afmagnetiseres, saa at det synes, som om Magnetisering var ledsaget af en indre Gnidning.

114. Magnetismens Indvirkning paa Lys. Faraday opdagede, at naar man anbragte visse Stoffer i et kraftigt magnetisk Felt, og lod en polariseret Lysstraale gaa igennem dem, vilde Lysets Svingningsplan blive forandret. Dette Fænomen, som undertiden kaldes »Lysets Magnetisering«, kaldes rettere »Drejning af Lysets Polarisationsplan ved Magnetisme«. Drejningens Størrelse veksler med de forskellige Medier og med den magnetiserende Kraft. Kerr har fornylig vist, at en polariseret Lysstraales Svingningsplan ogsaa bliver drejet ved Tilbagekastning fra Enden eller Siden af en kraftigt Magnet. Dette er udførligere omtalt i Afsnit XXXV i Kapitlet om Elektro-Optik.

115. Magnetismens fysiske Teori. Alle disse forskellige Fænomener pege hen paa en Magnetismens Teori, der afviger i betydelig Grad fra den ældre Antagelse om Fluidier. Det synes, som om hver Del af en Magnet selv er en Magnet, og at Magnetten kun bliver en Magnet som Helhed, ved at de enkelte Dele dreje sig, saa at de pege i samme Retning. Denne Anskuelse bekræftes ved den Iagttagelse, at Jernfilspaaner, der er fyldte i et Glasrør, ordne sig i Rækker, naar Røret magnetiseres, og at Røret, efter at Filspaanerne have indtaget denne Stilling, optræder som en Magnet, saa længe indtil de rystes sammen. Det synes, at de enkelte Molekyler ere forholdsvis vanskelige at dreje i en

massiv Staalstang, men at de, naar de først ere drejede, forblive i denne Stilling, indtil Stangen udsættes for kraftige Slag eller opvarmes.

Det følger af denne Teori, at Grænsen for Magnetisering er naaet, naar alle Smaadelene ere drejede saaledes, at deres magnetiske Akser ligge i hinandens Forlængelse. Beetz har ved omhyggelige Forsøg med Jern, der var udfældet ad elektrisk Vej, fuldstændig bekræftet denne Antagelse og derved bestyrket Teorien. Af de optiske Fænomener drog Clerk Maxwell fremdeles den Slutning, at disse paa langs stillede Molekyler rotere om en Længdeakse, og at Æteren i det magnetiske Felt er i en Hvirvelbevægelse langs de magnetiske Kraftlinier. Dersom denne Bevægelse fremkommer i et fuldkomment Medium (hvad »Æteren« maa anses for), vil den frembringe Spænding langs Linierne og Tryk vinkelret paa dem, og herved vilde der gives en fyldestgørende Forklaring paa Forplantningen af den magnetiske Frastødning og Tiltrækning gennem det tomme Rum. Hughes har for nylig paavist, at Magnetismen i Jern og Staal er nøje knyttet til Materialets molekyllære Haardhed. Hans Forsøg med »Induktionsvægten« (Pkt. 438) og den »magnetiske Vægt« (Pkt. 439) gaa ud paa at vise, at hvert Molekyle i et magnetisk Metal har en absolut konstant, fra den uadskillelig magnetisk Polaritet, og at Molekylerne i et Stykke Jern eller Staal, der tilsyneladende er umagnetisk, ligge saaledes, at de ophæve hinandens Polaritet, idet de indbyrdes slutte sig sammen til lukkede magnetiske Kredsløb. Gaar man ud herfra, vil Magnetiseringen af et Stykke Jern kun bevirke, at Molekylerne dreje sig, saa at de indtage nye, symetriske Stillinger.

XI. Lovene for magnetisk Kraft.

116. Lovene for magnetisk Kraft.

Første Lov. Ensartede magnetiske Poler frastøde hinanden; uensartede Poler tiltrække hinanden.

Anden Lov. Kraften, der virker mellem to Magnetpoler, staar i ligefremt Forhold til Produktet af deres Styrke og i omvendt Forhold til Kvadratet paa Afstanden imellem dem.

117. Loven om de omvendte Kvadrater. Den anden af ovenstaaende Love er almindelig bekendt under Navn af de omvendte Kvadraters Lov. Den tilsvarende Lov for elektrisk Tiltrækning er bleven ud-

viklet og forklaret i det foregaaende (Pkt. 16). Loven forklarer os den tidligere omtalte Kendsgerning (Pkt. 77), at smaa Jernstykker tiltrækkes af en Magnetpol. Ophænges et lille Stykke Jerntraad (a b) i en Traad, og nærmes en Magnets Nordpol (A) til den, vil Jerntraaden blive magnetiseret ved Fordeling; den vil derfor dreje sig rundt og pege mod Magnetpolen, idet den saa vidt muligt vil stille sig langs en Kraftlinie. Den nærmeste Ende af den (b) bliver en Sydpol, medens den fjerneste Ende (a) bliver en Nordpol, og Sydpolen vil blive tiltrukken, medens Nordpolen vil blive frastødt af Magneten. Kraften, der virker paa enhver af Polerne, vil imidlertid være forskellig, da Afstandene ere ulige store. Frastødningen vil i Henhold til den anden Lov være proportional med $\frac{1}{(Aa)^2}$, medens Tiltrækningen vil være proportional med $\frac{1}{(Ab)^2}$, og derfor vil Traaden blive paavirket af et Kraftpar, der søger at dreje den i en bestemt Retning, og desuden af en enkelt Kraft, der drager den hen imod A. Kun de Legemer, der blive magnetiske ved Fordeling, kunne tiltrækkes af Magneter, og de tiltrækkes udelukkende paa Grund af den Magnetisme, der er frembragt i dem.

Vi have omtalt i Punkt 83, at en Magnetnaal, der flyder paa et Stykke Kork paa Overfladen af en Vædske, vil paavirkes af Kræfter, der stille Naalen i en bestemt Retning, men som i Modsætning til foregaaende Tilfælde hverken søge at bevæge den mod Nord eller Syd. Den er underkastet en Drejning, fordi Tiltrækningen og Frastødningen af Jordens magnetiske Poler virke i en bestemt Retning, men da Afstanden fra Jordens magnetiske Poler er uhyre stor i Forhold til Afstanden mellem den flydende Magnets Poler, kan man i Praksis godt gaa ud fra, at begge Magnetens Poler have samme Afstand fra Jordens Nordpol. Som en Følge heraf er Tiltrækningskraften, der virker paa Naalens Nordpol, praktisk talt lige saa stor som Frastødningskraften, der virker paa Naalens Sydpol, og det er Grunden til, at Magneten ikke flytter sig.

118. Maaling af magnetiske Kræfter. Loven om de omvendte Kvadrater kan bevises ved at maale Tiltrækningen mellem to Magnetpoler i en kendt Afstand, forudsat at vi ere i Stand til nøjagtigt at maale Størrelsen af den magnetiske Tiltræknings- og Frastødningskraft. Den magnetiske Kraft kan maales paa en af følgende fire Maader: 1) ved at holde Kraften i Ligevægt med den Kraft, der fordres til at sno en elastisk Traad; 2) ved at iagttage Svingningstiden af en Magnetnaal, der svinger under Paavirkning af Kraften; 3) ved at iagttage den Afvigelse, Kraften frembringer paa en Magnetnaal, som desuden paavirkes i en anden Retning af en magnetisk Kraft af kendt Styrke; 4) ved at tilvejebringe Ligevægt mellem den magnetiske Kraft og Tyngdekraften, der kommer til at virke som Modkraft mod Drejning af en Magnetnaal, som er ophængt i to parallele Snore (den saakaldte bifilare Ophængning); de to Snore kunne nemlig ikke drejes ud af deres parallele Stilling, uden at Magnetnaalens Tyngdepunkt løftes.

De tre første Metoder ville nedenfor blive nærmere forklarede.

119. Snonings-Vægten. Coulombs Snonings-Vægt, som han anvendte til Maaling af de elektriske Kræfter (se Pkt. 15, S. 14), anvendte han ogsaa til Maaling af magnetiske Kræfter. Fig. 46 viser, hvorledes Vægten indrettes, naar den skal benyttes til at maale magnetisk Frastødningskraft. Ved Hjælp af Vægten kunne vi enten bevise Loven om de omvendte Kvadrater, eller vi kunne gaa ud fra denne Lov som given, og da maale Magnetpolers Styrke ved at maale den Kraft, hvormed de virke i kendte Afstande.

For at bevise de omvendte Kvadraters Lov gjorde Coulomb følgende Forsøg: Instrumentet blev først indstillet saaledes, at Magnetnaalen, der hviler i en Kobberbøjle og er ophængt i en tynd Sølvtraad, ligger i den magnetiske Meridian, uden at Traaden er snoet. Dette opnaas ved først at bringe Magnetnaalen paa

Plads, indstille den omtrent i den magnetiske Meridian og derpaa ombytte den med en Kobberstang af samme Vægt; denne indstiles derefter i samme Stilling som Magnetnaalen, ombyttes igen med denne, o. s. v., indtil Magnet og Kobberstang stille sig ens.

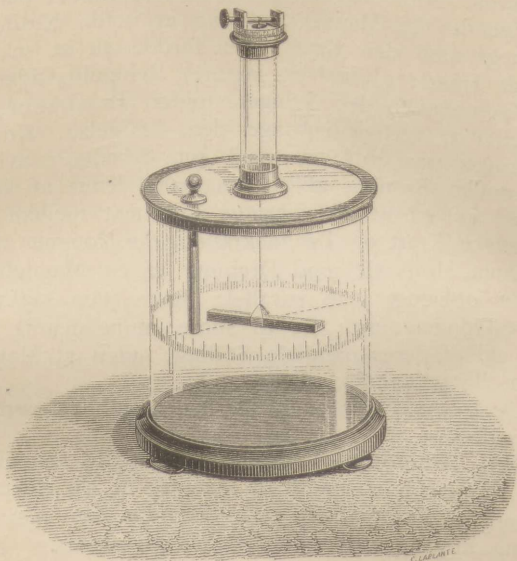


Fig. 46.

Ved Undersøgelsen af den magnetiske Kraft skal Traadens Snoning tjene til Maal for Kraftens Størrelse; men da Magnetnaalen, naar den drejes ud af sin Stilling, baade paavirkes af Snoningskraften og af Jordmagnetismen, maa man til at begynde med finde, hvor mange Graders Snoning der svarer til den Kraft, hvorved Magnetnaalen paavirkes af Jordmagnetismen, naar den er drejet 1^0 ud af den magnetiske Meridian. Coulomb fandt nu ved de her omtalte Forsøg, at en

Snoning af Traaden paa 35^0 svarede til 1^0 Afvigning, idet han maatte dreje Snoningsknappen foroven 35^0 for at bringe Magnetnaalen 1^0 ud af Meridianen. En Magnet blev derpaa indført i Instrumentet med den Pol nedad, som frastøder den nærmeste Pol af den ophængte Naal, og Coulomb fandt da, at den frastødte Magnetpolen saa stærkt, at Magnetnaalen drejede sig en Vinkel paa 24^0 . Fra de indledende Forsøg vide vi nu, at der til Jordmagnetismens Retningskraft i denne Stilling svarer en Snoning af Traaden paa $24^0 \cdot 35^0$, og hertil maa lægges Traadens virkelige Snoning, d. e. 24^0 ; Summen af disse to Størrelser, 864^0 , som vi ville kalde den frastødende Krafts Snonings-Ækvivalent, er Maal for Frastødningen, naar Polerne ere fjernede 24^0 fra hinanden. Endelig blev Snoningsknappen drejet rundt for at dreje den ophængte Magnetnaal saaledes, at den kom nærmere til den faste Pol, indtil Afstanden mellem de frastødende Poler var halvt saa stor som tidligere. Det viste sig, at Snoningsknappen maatte drejes 8 hele Omdrejninger rundt for at formindske Polernes Afstand til 12^0 , hvilket altsaa svarer til en Snoning paa $8^0 \cdot 360^0$ eller 2880^0 ; men den nederste Ende af Traaden var endnu snoet 12^0 i Forhold til den øverste Ende, saa at den hele Snoning var 2892^0 ; hertil maa nu lægges den til Jordmagnetismens Paavirkning svarende Snoning af $12 \cdot 35^0$ eller 420^0 , saa at Snonings-Ækvivalentet for en Polafstand af 12^0 er $2892^0 + 420^0$ eller 3312^0 . For at formindske Afstanden mellem Magnetpolerne til det halve er Kraften altsaa bleven forøget til det firdobbelte, idet 3312 nærlig er fire Gange saa meget som 864 . Var Afstanden mellem Polerne bleven formindsket til $\frac{1}{3}$, vilde Kraften være bleven 9 Gange saa stor*).

*) Ved nøjagtige Maalinger maa der tages Hensyn til, at den retliniede Afstand mellem Polerne ikke er proportional med deres Vinkelafstand, og at Kraften ikke virker i Omdrejningsretningen; men for smaa Vinkler ere disse Unøjagtigheder forsvindende.

120. Svingnings-Metoden *). Ophænges en Magnet-naal i en fin Traad, eller hviler den paa en fin Spids, vil den, naar den bringes ud af sin Hvilestilling, svinge frem og tilbage, og disse Svingninger ville, skønt Udslagets Størrelse efterhaanden formindskes, meget nær blive udførte i lige store Tider. De følge en lignende Lov som Svingningerne af et Pendul, der svinger under Paavirkning af Tyngdekraften. Loven for Pendulsvingningerne er, at Kvadratet paa Antallet af Svingningerne, der udføres i en given Tid, er proportionalt med Kraften. Derfor kunne vi maale magnetiske Kræfter ved at tælle de Svingninger, en Magnet gør i en Minut. Det maa imidlertid erindres, at Antallet af Svingninger, en given Magnet gør, vil afhænge af dens Vægt, Længde og Form, saa vel som af Styrken af dens Poler og af det »Felt«, i hvilket den er anbragt.

121. Vi kunne paa denne Maade sammenligne Styrken af Jordmagnetismen **) paa to vilkaarlige Punkter af Jordens Overflade, ved at lade en Magnet svinge paa det ene Sted og derpaa lade den svinge paa det andet. Dersom den paa det første Sted gør a Svingninger i en Minut og paa det andet b Svingninger i Minutten, ville de magnetiske Kræfter paa de to Steder forholde sig til hinanden som a^2 til b^2 .

Ligeledes kunne vi bruge denne Metode til at sammenligne den Kraft, hvormed en Magnet virker paa et eller andet Punkt i dens Nærhed, med Jordmagnetismens Kraft paa det samme Sted. Dersom vi nemlig lade en lille Magnetnaal svinge der og finde, at den gør m Svingninger i Minutten under den forenede Paavirkning ***) af Jordmagnetismen og Magneten,

*) Man er ligeledes i Stand til at maale elektriske Kræfter ved en »Svingningsmetode«, idet en lille ladet Kugle, der er anbragt paa Enden af en vandret ophængt Stang, bringes til at svinge under Paavirkning af Tiltrækningen fra en ladet Konduktor, som holdes i Nærheden af den; »Kraften« i denne Afstand vil da være proportional med Kvadratet paa Antallet af Svingningerne i en given Tid.

**) eller rettere af dens vandrette Komposant.

***) Vi gaa ud fra, at dens Kraft virker i samme Retning som Jord-

der er anbragt i dens Nærhed, men at den, naar Magneten er fjernet, under Paavirkning af Jordmagnetismen gør n Svingninger i Minutten, vil m^2 være proportional med de forenede Kræfter, n^2 med Kraften, der skyldes Jordmagnetismen, og Forskellen mellem dem, eller $m^2 - n^2$, vil være proportional med Kraften, der skyldes Magneten.

122. Vi ville nu anvende Svingnings-Metoden til at sammenligne Mængden af fri Magnetisme paa forskellige Steder langs en Stangmagnet. Magneten, der skal undersøges, anbringes lodret (Fig. 47). En lille Magnetaal, der kan svinge i den vandrette Plan, nærmes til den yderste Ende af Magneten og bringes derpaa til at svinge, idet Svingningerne tælles. Lad os antage, at Naalen, naar den kun udsættes for Jordmagnetismens Paavirkning, vil gøre 3 fuldstændige Svingninger i Minutten, og at den, naar den svinger tæt ved den lodrette Magnets Ende, vil gøre 14 Svingninger i Minutten, saa vil den Kraft, der skyldes Magneten, være proportional med $14^2 - 3^2 = 196 - 9 = 187$. Derpaa anbringes den svingende Naal i samme Afstand, men ud for et Punkt, der ligger længere nede paa den lodrette Magnet, og naar den her gør 12 Svingninger i Minutten, vide vi, at Kraften er proportional med $12^2 - 3^2 = 144 - 9 = 135$. Paa denne Maade ville vi se, at efterhaanden som Kraften bliver mindre, faa vi færre Svingninger i Minutten, og naar den svingende Naal er anbragt ud for Midten af den lodrette Magnet, vil den kun gøre 3 Svingninger i Minutten, det vil sige, at Jordmagnetismen nu er den eneste Kraft, der paavirker Svingningerne. I Fig. 47

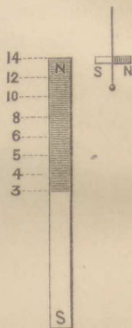


Fig. 47.

magnetismen, og at Magnetens anden Pol er saa langt borte, at den ikke paavirker den svingende Naal.

have vi angivet Antallet af Svingninger i forskellige Punkter langs med Stangen til 14, 12, 10, 8, 6, 5, 4 og 3, og dersom vi kvadrere disse Tal og trække 9 fra hvert af dem, vil Kraften i de forskellige Punkter være: 187, 135, 91, 55, 27, 16, 7 og 0. Disse Kræfter give et Maal for Styrken af fri Magnetisme i de forskellige Punkter, og de kunne fremstilles grafisk som vist i Fig. 48, hvor Højderne af de punkterede Linier med en vilkaarlig Skala ere afsatte proportionalt

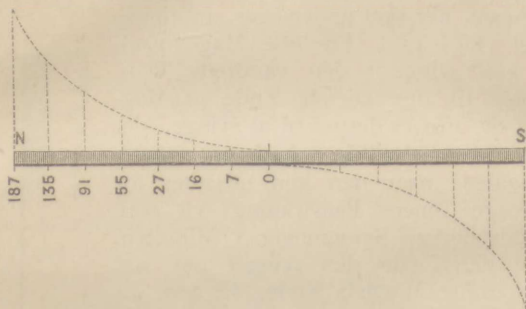


Fig. 48.

med Kræfterne. Kurven, som forbinder Endepunkterne af disse »Ordinater«, viser grafisk, hvorledes Kraften, der er størst ved Magnetens Ende, bliver mindre og mindre hen imod Midten. Disse Kræfter, der ere repræsenterede ved denne Trekant, hvis ene Side er Kurven, ville virke paa en fjerntliggende Magnetpol, som om de vare koncentrerede i det Punkt af Magneten, der ligger lige ud for Trekantens »Tyngdepunkt«, saa at »Polen«, som er Centret for disse Kræfter, ikke ligger i Enden af Magneten. I tynde, magnetiserede Staalstænger ligger den omtrent i $\frac{1}{10}$ af Magnetens Længde fra Enden.

123. Afvignings-Metoden. Der gives en Mængde forskellige Maader, paa hvilke den Afvigelse, en Magnet faar ved at blive paavirket af en anden Magnet, kan

benyttes til Maaling af magnetiske Kræfter*), og vi skulle her kun give en kort Oversigt over de vigtigste Principper for saadanne Maalinger.

Naar to lige store og modsat rettede Kræfter virke paa Enden af en Stang, søge de simpelthen at dreje den rundt. Saadanne to Kræfter danne, hvad vi kalde et »Kraftpar«, og dettes virkende Kraft, eller »Moment«, faas ved at multiplicere den ene af de to Kræfter med den vinkelrette Afstand mellem Kræfternes Retning. Et saadant Kraftpar søger at frembringe en omdrejende Bevægelse, men ikke nogen fremadskridende Bevægelse. En Magnetnaal, som er anbragt paa tværs af Kraftlinierne i Jordens magnetiske Felt, vil blive paavirket af et Kraftpar, der vil søge at dreje den ind i den magnetiske Meridian, thi Nordpolen tvinges mod Nord og Sydpolen mod Syd af lige store og modsat rettede Kræfter. Den Kraft, der virker paa hver Pol, er Produktet af Polens Styrke og »Feltets« Styrke, det vil sige Jordmagnetismens vandrette Komposant paa Stedet.

Vi ville kalde Nordpolens Styrke m og benytte Bogstavet H for at betegne den Kraft, Jordmagnetismen udøver i vandret Retning. (Værdien af H er forskellig paa de forskellige Steder af Jorden.) Kraften, der paavirker Polen A (se Fig. 49), vil da være $m \cdot H$, og den, der virker paa Polen B , vil være lige saa stor, men modsat. Er NS Retningen af den magnetiske Meridian, ville Kræfterne være parallelle med denne Retning. Naalen AB ligger

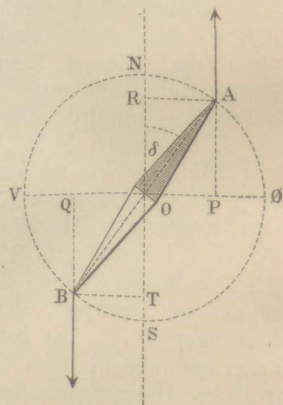


Fig. 49.

*) Se Sir G. Airy's Treatise on Magnetism.

skraat i det magnetiske Felt, og den magnetiske Kraft, der virker paa A, gaar i Retning af Linien P A, og paa B i Retningen Q B, som angivet ved Pilene. P Q er den vinkelrette Afstand imellem disse Kræfter, og som en Følge heraf faas »Momentet« af Kraftparret ved at multiplicere Længden af P Q med Kraften, der virker paa en af Polerne.

Er G Momentet af Kraftparret faa vi:

$$G = P Q \cdot m H.$$

Men P Q er lig Længden af Magneten multipliceret med Sinus*) af Vinklen A O R, der er Afvigningsvinklen, og som vi ville kalde δ . Betegner l Afstanden mellem Magnetpolerne, er Ligningen for Momentet af Kraftparret:

$$G = m \cdot l \cdot H \sin \delta.$$

Udtrykt i Ord har man: »Momentet af det Kraftpar«, der virker paa en Naal, er proportionalt med dens »magnetiske Moment« ($m \cdot l$), med Jordmagnetismens vandrette Kraft og med Sinus af Afvigningsvinklen.

Man vil af Figuren se, at dersom Naalen ligger mere skraat, vil Afstanden P Q blive længere, og at den vil være størst, naar Naalen er drejet i Retningen Øst - Vest, eller i Retningen Ø V. »Momentet« af Kraftparret, der søger at dreje Magneten, vil blive mindre og mindre, efterhaanden som Naalen nærmer sig til Retningen N S.

124. Lad os nu antage, at Afvigelsen δ er frembragt af en magnetisk Kraft, der virker vinkelret paa den magnetiske Meridian, og som søger at bevæge Polen A i Retningen R A, da vil Længden af Linien T R, multipliceret med den ny Kraft, være »Momentet« af det ny Kraftpar, der søger at stille Magneten i Retningen Ø V. Er Naalen nu kommen til Ro ved Ligevægt mellem disse to Kræfter, er det klart, at de modsatte Drejningskræfter netop ere lige store og mod-

*) Den Læser, der er ukendt med trigonometriske Betegnelser, henviser vi til de i Slutningen af Afsnittet givne Oplysninger om Vinkel-Maalning.

satte, eller at det ene Kraftpars Møment er lig det andet Kraftpars Moment; Kraften i Retningen $\emptyset V$ vil forholde sig til Kraften i Retningen $N S$ som $Q P$ forholder sig til $T R$, eller som $O P$ til $O R$.

Kalde vi Kraften, der virker vinkelret paa Meridianen, f , faa vi altsaa:

$$f : H = O P : O R$$

$$\text{eller } f = H \frac{O P}{O R};$$

men nu er $O P = R A$ og $\frac{R A}{O R} = \text{tang } \delta$, hvoraf følger

$$f = H \text{ tang } \delta,$$

eller med Ord: Den magnetiske Kraft, der virker vinkelret paa Meridianen, og som giver Magnetnaalen en Afvigelse δ , er lig Jordmagnetismens horisontale Kraft paa Stedet, multipliceret med Tangenten til Afvigningsvinklen.

Derfor ville ogsaa to forskellige magnetiske Kræfter, der virke vinkelret paa Meridianen, hver for sig give Naalen en Afvigelse, hvis Tangenter ere proportionale med Kræfterne.

Denne meget vigtige Sætning er anvendt ved Konstruktionen af visse Galvanometre (se Pkt. 199).

Navnet **Magnetometer** anvendes om enhver Magnet, der er særligt indrettet som et Instrument til at maale magnetiske Kræfter ved den Afvigelse, de frembringe. Maaden, paa hvilken absolute Værdier af magnetiske Kræfter kunne maales i Dyn eller andre abstrakte Kraftenheder, vil blive forklaret i Slutningen af Afsnit XXV. (Yderligere Oplysninger findes i Sir G. Airy's Treatise on Magnetism.)

125. Enhed for Styrke af en Magnetpol. I Coulomb's Snonings-Vægt have vi et bekvemt Middel til at sammenligne Styrken af forskellige Magnetpoler, idet den Kraft, med hvilken en Magnetpol virker, er proportional med Styrken af Polen.

Den anden Lov om magnetiske Kræfter (se Pkt. 116) siger os, at den Kraft, med hvilken to Magnetpoler paavirke hinanden, er proportional med deres Styrke og omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden imellem dem. Man er i Stand til at vælge sit Maal for Styrken af en Magnetpol saaledes, at denne Proportionalitet bliver en Ligestorhed. For at opnaa dette maa vi fastslaa følgende Enhed for Styrken af en Magnetpol, eller Enhed for en Magnetpol: Enhedspolen har en saadan Styrke, at den i en Cm.'s Afstand fra en ensartet Pol af samme Styrke frastøder denne med en Kraft af en Dyn (se Pkt. 255). Antage vi denne Enhed, kunne vi derfor udtrykke den anden magnetiske Lov ved følgende Ligning:

$$f = \frac{m \cdot m^1}{d^2},$$

hvor f er Kraften i Dyn, m og m^1 Styrken af de to Poler, og d Afstanden imellem dem i Centimeter. Ovenstaaende er nærmere behandlet i Afsnit XXV, Pkt. 310, under Teorien om magnetisk Potential.

126. Teorien om magnetiske Kurver. Vi have set (i Pkt. 108), at magnetiske Figurer frembringes, ved at Jernfilspaaner ordne sig i bestemte Retninger i et magnetisk Felt, og vi kunne nu anvende den anden magnetiske Lov til at bestemme Retningen, i hvilken Filspaanerne ville stille sig i et hvilket som helst Punkt af Feltet. Er N S (Fig. 50) en lang, tynd Magnet og P et vilkaarligt Punkt i dens magnetiske Felt, vil Nordpolen af en lille Magnet, der anbringes i P, blive tiltrukken af S og frastødt af N. Retningen af disse to Kræfter vil være langs Linierne P S og N P, og Størrelsen af Kræfterne kan angives ved Længden af Linier, der afsættes i disse Retninger. Lad os antage, at Afstanden N P er dobbelt saa stor som P S, saa vil den frastødende Kraft langs N P være $\frac{1}{4}$ af den tiltrækkende Kraft langs P S. Afsætte vi derfor paa Linien P S et Stykke, P A, der er fire

Gange saa langt som Stykket P B, der afsættes i Forlængelse af Linien N P, og findes Resultanten efter den sædvanlige Regel for mekaniske Kræfters Sammen-sætning, nemlig ved at tegne Parallelogrammet P A R B og dets Diagonal P R, vil denne ved sin Længde og Retning angive Størrelsen og Retningen af den magne-tiske Kraft i Punktet P, og en lille Magnet eller en Jernfilspaan vil stille sig i denne Retning. Paa lignende Maade kunne vi finde Retningerne af Kraftlinierne i

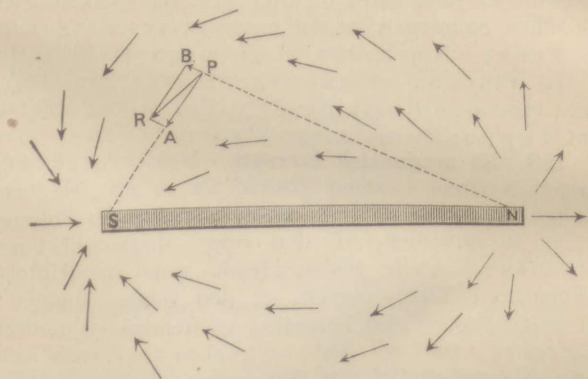


Fig 50.

et hvilket som helst Punkt af Feltet. De smaa Pile i Fig. 50 vise, hvorledes Kraftlinierne spredes fra N-Polen og derefter bøje sig mod hinanden for at mødes i S-Polen. Læseren bør sammenligne denne Figur med Jernfilspaanernes Linier i Fig. 42.

127. En Magnetplades magnetiske Kraft. En magnetisk Plade (se Pkt. 107) udøver en magnetisk Kraft paa en Magnetpol, der er anbragt i et Punkt i Nærheden af den. Er Pladen flad og meget stor i Sammenligning med Afstanden til Punktet, vil Kraften være uafhængig af denne Afstand, være rettet vinkelret paa Pladen og kun være afhængig af Mængden af Magnetisme paa Pladen, idet den vil være 2π Gange

Mængden af Magnetisme pr. Kvadrat-Centimeter*). ($2\pi\sigma$, naar σ er Magnetismens »Overfladetæthed« paa Pladens Overflade.)

Har Pladen derimod en begrænset Udstrækning, vil Kraften, der frembringes af Pladen i et Punkt udenfor denne, være større tættere ved Pladen end fjernere fra den. I saa Tilfælde vil det være bekvemmere i Stedet for Kraften at maale det Potential, der skyldes Pladen. Forklaringen paa »magnetisk Potential« er først givet i Punkt 310, og vi skulle her kun anføre Sætningen, at det magnetiske Potential i et Punkt i Nærheden af en magnetisk Plade er lig Pladens magnetiske Styrke multipliceret med den Rumvinkel**), der med Punktet som Toppunkt omfatter Pladen.

128. Et magnetisk Særsyn. Holdes en kraftig Magnets Nordpol i nogen Afstand fra en svag Magnets Nordpol, vil denne blive frastødt, men bringes Polerne tæt op til hinanden, vil den svage Magnetpol blive tiltrukken. Dette tilsyneladende urimelige Udfald af Forsøget forklares derved, at den stærke Magnet i den svage Magnet ved Fordeling vil frembringe modsat Magnetisme, som vil blive tiltrukken, og naar den stærke Magnet er tæt ved den svage, vil den saaledes frembragte Magnetisme faa Overvægt over den svage Magnets oprindelige Magnetisme. Man maa derfor ved Forsøg med Magnetpoler erindre, at lignende forstyrrende Virkninger let indtræde. Magnetismen i en Magnet er ikke en fuldstændigt uforanderlig Størrelse, men dens Fordeling vil let blive paavirket af andre Magnetpoler i dens Nærhed; intet Staal er saa haardt, at det ikke bliver midlertidigt paavirket af magnetisk Fordeling. Loven om de omvendte Kvadrater er derfor kun rigtig, naar Afstanden mellem de to Poler er saa

*) Beviset for denne Sætning er det samme, som det, der er givet i Slutningen af Afsnit XX for den tilsvarende Sætning om den Kraft, der uøves af en flad Plade, ladet med Elektricitet

**) Se Pkt. 133. Side 112.

stor, at den Forandring i deres Magnetisme, som deres gensidige Paavirkning frembringer, er saa ringe, at den kan lades ude af Betragtning.

Om Maaling af plane Vinkler og Rumvinkler.

129. Beregning i Grader. Naar to rette Linier skære hinanden, danne de en Vinkel, hvis Størrelse kan bestemmes ved den Omdrejning, den ene Linie har gjort om et fast Punkt i den anden. Vi ville saaledes antage, at Linien CP i Fig. 51 oprindelig har ligget langs CO og derpaa er drejet til sin nuværende Stilling. Drejningens Størrelse, der er en vis Brøk af en hel Omdrejning rundt, kaldes »Vinklen, som CP danner med CO «, eller blot »Vinkel PCO «. Der er mange forskellige Maader, paa hvilke denne Vinkels Størrelse kan beregnes, men i Almindelighed beregnes den i »Grader« af en Bue. Beskrives en Cirkel rundt om C , og deles dens Omkreds i 360 lige store Dele, kaldes hver Del »en Grad« (1^0), og Vinklen bestemmes ved Antallet af saadanne Grader langs den krumme Linie OP . I Figuren er Buen omtrent $57\frac{1}{4}^0$ eller $\frac{57\frac{1}{4}}{360}$ af hele Omkredsen uden Hensyn til, hvilken Størrelse Cirklen har.

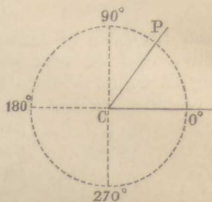


Fig. 51.

130. Beregning i Buemaal. En nøjagtigere, men ikke saa almindelig Maade at beregne en Vinkel paa, er at udtrykke den ved Forholdet mellem Længden af den Bue, som Vinklen indeslutter eller rummer, og Længden af Cirkelens Radius. Have vi saaledes omkring Centret C slaet en Cirkel, hvis Radius er en Centimeter, vil Diameteren være to Centimeter. Længden af hele Omkredsen, vide vi, er omtrent Diameterens Længde multipliceret med $3\frac{1}{2}$ eller nøjagtigere med 3,14159, det Tal, som vi for Bequemmeligheds Skyld betegne med det græske Bogstav π . Længden af en Cirkels Omkreds, hvis Radius er en Centimeter, vil derfor være 6,28318 Centimeter eller 2π Centimeter, og vi kunne angive en hvilken som helst Vinkel ved at opgive Længden af den Bue, den rummer i en Cirkel, hvis Radius er en Centimeter.

Vælg vi Vinklen PCO saaledes, at Buen OP netop bliver een Centimeter lang, vil denne Vinkel være lig een, og være Enheden for Vinkler maalt i Buemaal (en »radian« som den kaldes paa Engelsk). I Grademaal er denne Vinkel $= \frac{360^0}{2\pi} = c. 57^0 17'$. Hele Cirkelens Omkreds, maalt i Buemaal, vil være 2π (»2 π radians«). En ret Vinkel, maalt i Buemaal, er $\frac{\pi}{2}$ (» $\frac{\pi}{2}$ radians«).

131. Beregning ved Sinus eller Cosinus. I Trigonometrien benyttes andre Maader til at beregne Vinkler paa, idet man ikke

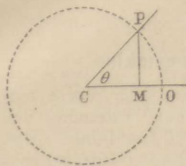


Fig. 52.

regner med selve Vinklen, men med visse »Funktioner« af den, der kaldes »Sinus«, »Cosinus«, »Tangens« o. s. v. For dem, der ikke kende disse Funktioner, ville vi her give en kort Forklaring af deres geometriske Egenskaber. Beskrive vi som tidligere en Cirkel omkring Centret C (Fig. 52) og nedfælde en Linie P M vinkelret paa Linien C O, kunne vi i Stedet for at beregne

Vinklen ved Hjælp af Buen beregne den ved Længden af Linien P M. Det er klart, at naar Vinklen er lille, vil P M være kort, men efterhaanden som Vinklen nærmer sig til en ret Vinkel (Fig. 53), vil P M blive længere og længere. Forholdet mellem Længden af denne Linie og Cirkelns Radius kaldes »Sinus« af Vinklen, og dersom Radius er lig 1, vil P M være Værdien af Sinus. Den kan aldrig blive større end 1, men kan have alle Værdier mellem $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{4}$. — Længden af Linien C M vil ogsaa være afhængig af Vinklens Størrelse. Er Vinklen lille, vil C M være næsten lige saa lang som C O, medens den vil blive meget kort, naar

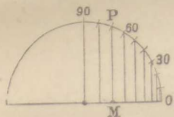


Fig. 53.

Vinklen nærmer sig til en ret Vinkel. Længden af C M (naar Radius er 1) kaldes »Cosinus« af Vinklen.

Kaldes Vinklen θ , kunne vi for Kortheds Skyld skrive Funktionerne op paa følgende Maade:

$$\text{Sin. } \theta = \frac{PM}{CP}$$

$$\text{Cos. } \theta = \frac{CM}{CO}$$

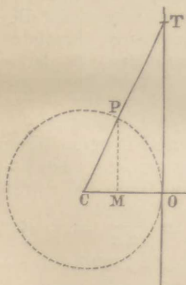


Fig. 54.

132. Beregning ved Tangenter. Beskrive vi atter en Cirkel om Punktet C med Radius = 1 (Fig. 54), og trække vi en ret Linie, Tangenten, der berører Cirklen i O, og forlænge vi derpaa Linien C P, til den skærer Tangenten i T, kunne vi maale Vinklen mellem C O og C P ved Forholdet mellem Længden af Tangenten O T og Længden af Radius. Da Radius er lig 1, er dette Forholds Talværdi lig Længden af O T, og vi kalde derfor Længden af O T »Tangens« af Vinkel O C P. Det er klart, at smaa Vinkler have smaa Tangenter, men at disse blive større, jo større Vinklen er. Naar C P danner en ret Vinkel med C O, vil Tan-

Tabel over naturlige*) Sinus'er og Tangenter.

Buen	Sinus	Tangens	
0 ⁰	0.000	0.000	90 ⁰
1	0.017	0.017	89
2	0.035	0.035	88
3	0.052	0.052	87
4	0.070	0.070	86
5	0.087	0.087	85
6	0.105	0.105	84
7	0.122	0.132	83
8	0.139	0.141	82
9	0.156	0.158	81
10	0.174	0.176	80
15	0.259	0.268	75
20	0.342	0.364	70
25	0.423	0.466	65
30	0.500	0.577	60
35	0.574	0.700	55
40	0.643	0.839	50
45	0.707	1.000	45
50	0.766	1.192	40
55	0.819	1.428	35
60	0.866	1.732	30
65	0.906	2.145	25
70	0.940	2.747	20
75	0.966	3.732	15
80	0.985	5.671	10
81	0.988	6.314	9
82	0.990	7.115	8
83	0.993	8.144	7
84	0.995	9.514	6
85	0.996	11.43	5
86	0.998	14.30	4
87	0.999	19.08	3
88	0.999	28.64	2
89	0.999	57.29	1
90	1.000	uendelig	0
	Cosinus	Cotangens	Buen

*) Saaledes kaldet i Modsætning til Logaritmen af disse Funktioner.

de nyeste og bedste Skibskompasser anvendes flere magnetiserede Naale ved Siden af hinanden, idet det har vist sig, at en saadan sammensat Naal er mere paalidelig. I Træskibe ville Jerndelene, og i Jernskibe

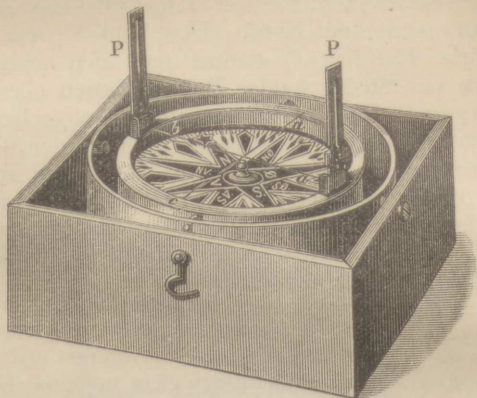


Fig. 56.

vil selve Skibet indvirke paa Kompasset, som derfor maa rettes, ved at man anbringer modvirkende («compenserende») Jernmasser i Nærheden af det, eller ved at man anbringer det paa en høj Pæl.

135. Jorden er en Magnet. Gilbert gjorde den store Opdagelse, at Kompasnaalen peger mod Nord og Syd, fordi Jorden selv er en stor Magnet. Jordens magnetiske Poler falde imidlertid ikke nøjagtigt sammen med den geografiske Nord- og Syd-Pol. Den magnetiske Nordpol ligger saaledes mere end 250 Mil fjernet fra den geografiske Pol, idet den ligger paa $70^{\circ} 5'$ nordlig Bredde og $96^{\circ} 46'$ vestlig Længde. I 1831 fandt Sir J. C. Ross den i Boothia Felix, lige indenfor Polarkredsen. Jordens magnetiske Sydpol er man derimod aldrig naaet frem til. Paa Grund af Uregelmæssigheder ved den magnetiske Fordeling synes der at være to sydlige magnetiske Polaregne.

136. Deklinationen eller Misvisningen. Som en Følge af de magnetiske Polers Beliggenhed vil Kompasnaalen ikke paa alle Steder af Jorden vise ret Nord og Syd. Saaledes pegede i Januar 1892 Kompasnaalen i København mod et Punkt, der laa $10^0 56'$ Vest for retvisende Nord. Den Vinkel, som »den magnetiske Meridian«^{*)} danner med den geografiske Meridian paa Stedet, kaldes **Deklinationen** eller **Misvisningen**. Dens Tilstedeværelse blev opdaget af Columbus i 1492, men det synes, som om den tidligere har været kendt af Kineserne, og den siges at være bleven paavist i Evropa i Begyndelsen af det 13de Aarhundrede af Peter Pellegrinus. Man har ogsaa, skønt med tvivlsom Ret villet hævde denne Opdagelse for Sebastian Cabot fra Bristol.

Den Kendsgerning, at Deklinationen er forskellig paa forskellige Steder af Jorden, er utvivlsomt Columbus's Opdagelse. For at Skibe kunne navigeres ved Hjælp af Kompasset, maa Deklinationen være nøjagtigt bestemt paa forskellige Steder. De to lodrette Opstandere P P' paa »Azimuth-Kompasset« (Fig. 56) ere anbragte, for at man ved at sigte over dem paa Solen eller en Stjerne, hvis Plads er opgivet i astronomiske Tabeller, kan finde Vinklen mellem Stedets magnetiske Meridian og den geografiske Meridian.

137. Inklinationen eller Heldningen. En Instrumentmager ved Navn Norman opdagede i 1576, at en om en vandret Akse afbalanceret Naal peger nedefter med sin Nordende, naar den bliver magnetiseret. Han konstruerede derfor en **Heldnings-Naal**, der var i Stand til at dreje sig i en lodret Plan omkring en vandret Akse, og ved Hjælp af denne fandt han, at »Heldningen« i London var $71^0 50'$. Fig. 57 viser en simpel Konstruktion af en Heldningsnaal med

*) Den magnetiske Meridian, paa et Sted er en tænkt Plan, der gaar igennem Zenith og de to Punkter af Horisonten, som en paa Stedet vandret ophængt Kompasnaal peger imod.

Ophængningsstativ og inddelte Gradebuer; men de Instrumenter, der benyttes paa de magnetiske Observatorier til Iagttagelse af Inklinationen, ere meget finere og nøjagtigere. Man har iagttaget, at Heldningen ligesom Misvisningen er forskellig paa de forskellige Steder af Jorden, og at ogsaa den forandrer sig fra

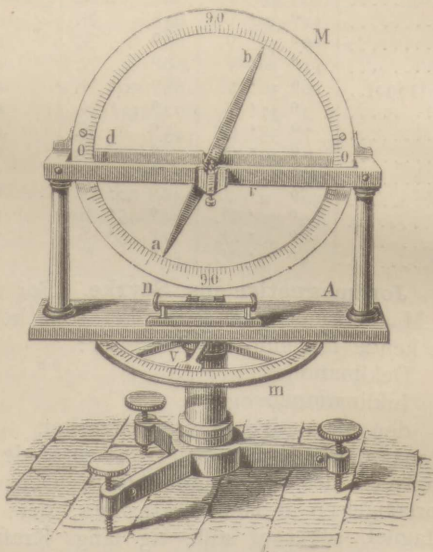


Fig. 57.

Aar til Aar. Heldningen var i København den 1ste Januar 1892 $68^{\circ} 50'$. Ved den magnetiske Nordpol staar Heldnignsnaalen lodret.

I omstaaende Tabel ere Deklinationen, Inklinationen og den totale magnetiske Kraft angivne for nogle af de vigtigste Steder paa Jorden. Værdierne ere angivne for Aaret 1880.

Tabel over den magnetiske Deklination og Inklination
(for Aaret 1880).

	Deklination	Inklination	Total-Kraft i C. G. S. Enheder
Boothia Felix.....	(Ingen)	90 ⁰ N.	0.65
London.....	18 ⁰ 40' V.	67 ⁰ 40' N.	0.47
St. Petersborg.....	0 ⁰ 40' V.	70 ⁰ N.	0.48
Berlin.....	11 ⁰ 30' V.	64 ⁰ N.	0.48
Paris.....	16 ⁰ 45' V.	66 ⁰ N.	0.47
Rom.....	11 ⁰ 30' V.	60 ⁰ N.	0.45
København (1892)..	10 ⁰ 56' V.	68 ⁰ 50' N.	0.5
New-York.....	7 ⁰ 57' V.	72 ⁰ 12' N.	0.61
Mexiko.....	7 ⁰ 55' Ø.	45 ⁰ ? N.	0.48
Quito.....	7 ⁰ 40' Ø.	25 ⁰ ? N.	0.35
St. Helena.....	26 ⁰ 25' V.	28 ⁰ S.	0.31
Cap-Staden.....	30 ⁰ 2' V.	56 ⁰ 30' S.	0.36
Sydney.....	9 ⁰ 30' Ø.	62 ⁰ 45' S.	0.57
Hobarton.....	8 ⁰ 49' Ø.	71 ⁰ 5' S.	0.64
Tokio.....	4 ⁰ 5' V.	50 ⁰ N.	0.45

138. Jordmagnetismens Styrke. For nøjagtigt at kende Magnetismen paa et hvilket som helst Sted, maa man kende følgende tre Størrelser:

Deklinationen,

Inklinationen og

den magnetiske Krafts Intensitet.

Den magnetiske Kraft maales paa en af de Maader, der er angivet i det foregaaende Afsnit. Dens Retning gaar i Forlængelsen af Heldningsnaalen, der, ligesom enhver Magnet, søger at stille sig langs Kraftlinierne. Man maaler imidlertid ikke den i Heldningsnaalens Retning virkende totale Intensitet, men derimod denne Krafts vandrette Komposant, det vil sige Kraften i Retningen af en vandret Kompasnaal, og derved er man i Stand til at beregne den totale Intensitet, naar Heldningen er kendt*). Eller ogsaa kan den totale Kraft og Heldningen beregnes, naar man kender saa vel den vandrette

*) Er H = Kraftens vandrette Komposant, I = den totale Kraft og θ = Heldningsvinklen, er $I = \frac{H}{\cos. \theta}$

som den lodrette Komposant*). Kraftens vandrette Komposant, den »vandrette Intensitet«, kan findes enten ved Svingnings- eller ved Afvignings-Metoden. Jordmagnetismens vandrette Intensitet var i 1892 i København c. 0.18 Dyn, og den totale Kraft i Inklinationsnaalens Retning c. 0.5 Dyn. Den magnetiske Kraft er uregelmæssigt fordelt paa Jordens Overflade og veksler med forskellige Breddeparalleler, idet den tilnærmelsesvis følger en af Biot opstillet Lov, efter hvilken Kraften er proportional med $\sqrt{1 + 3 \sin^2 b}$, hvor b er den magnetiske Bredde.

139. Magnetiske Kort. For paa en let Maade at skaffe sig en Oversigt over de magnetiske Forhold paa de forskellige Steder af Jorden, kan man paa forskellig Maade konstruere magnetiske Kort. Man kunde saaledes paa et almindeligt Kort tegne smaa Kompassnaale, som ved deres Retning angav, hvorledes en virkelig Kompassnaal stiller sig paa hvert enkelt Sted, hvorved altsaa Kortet kom til at angive Jordens magnetiske Kraftlinier. Men man kunde ogsaa trække Linier gennem de Steder paa Jorden, der have samme Deklination, de saakaldte isogone Linier. Forbinder man paa samme Maade de Punkter, i hvilke Heldningen er den samme, med Linier, faas de saakaldte isokline Linier. De isogone Linier løbe for største Delen fra den magnetiske Nordpol til den magnetiske Sydpol, men paa Grund af Jordmagnetismens uregelmæssige Fordeling er deres Form uregelmæssig. De isokline Linier løbe rundt som Breddeparalleler, men deres Form er ligeledes uregelmæssig. Saaledes vil den Linie, hvor Heldningen er 70^0 , løbe tværs over England, Wales og den sydlige Del af Irland, derpaa krydse Atlanterhavet i sydvestlig Retning, gaa igennem de forenede Stater, drejende sig mod Nord, og netop skære Sydspidsen af Alaska. Den bøjer derefter igen noget af mod Syd igennem Kina, men drejer igen mod

*) $H^2 + V^2 = I^2$, naar V er Kraftens lodrette Komposant,

Nord, naar den kommer ind i det russiske Territorium, gaar endelig tværs over den sydlige Del af Østersøen, og naar over Nordsøen tilbage til England. Det i Fig. 58 gængivne Kort (fra Sir G. Airys Treat. on Magnt.) viser de isokline Linier og de magnetiske Meridianer for den nordlige Halvkugle.

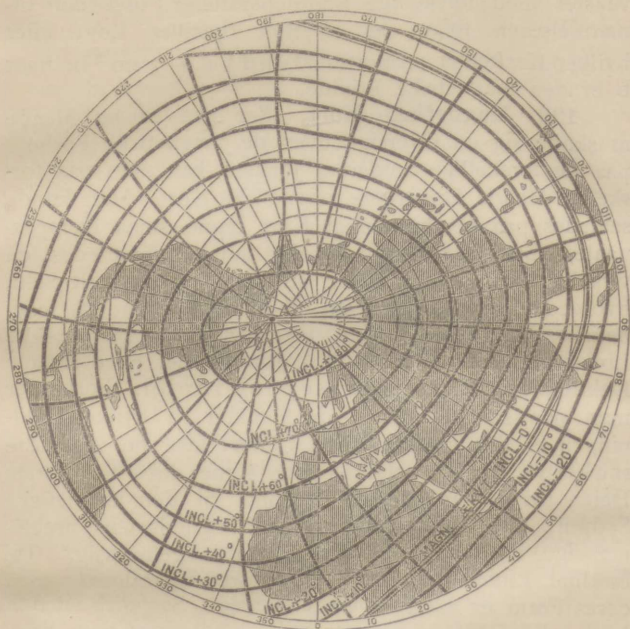


Fig. 58.

140. Forandringer i Jordmagnetismen. Vi have allerede tidligere omtalt, at saa vel Deklinationen som Inklinationen ere underkastede Forandringer; nogle af disse foregaa meget langsomt, medens andre indtræffe hvert Aar og andre igen hver Dag.

141. Sekulære Forandringer. De Forandringer, hvis Periode er mange Aar, kaldes sekulære Forandringer.

Forandringerne i Deklinationen ere ikke blevne iagttagne i England førend 1580, og da var Deklinationen 11° østlig; i 1657 var den 0° ; den naaede et vestligt Maksimum af c. 24° i 1816, aftog derefter og er nu c. 18° . I København var Deklinationen førend 1660 østlig, men i dette Aar viste Magnetnaalen lige mod Nord, og efter den Tid har Deklinationen stadigt været vestlig. Den naaede sin største Værdi i Aarene 1806—11, omtrent $18\frac{1}{2}^{\circ}$, men er siden den Tid taget af til sin nuværende Værdi, der omtrent er 11° . Den formindskes 5—7 Minutter aarlig.

Inklinationen forandrer sig ogsaa langsomt. I 1576 var den i London $71^{\circ} 50'$ og forøgedes langsomt til 1720, da Heldningsvinklen naaede sin største Værdi, $74^{\circ} 42'$. Siden den Tid er den stadigt bleven mindre og er nu $67^{\circ} 39'$.

Medens Perioden for Deklinationens Forandringer, 5: den Tid, det tager, fra Deklinationen er Nul, til den igen bliver Nul, omtrent er 300 Aar, ved man ikke, hvor lang Perioden er for Inklinationens Forandringer; men den forandrer sig langsommere nu end for 50 Aar siden.

Saa vel Deklinationen som Inklinationen forandrer sig paa lignende Maade overalt paa Jorden.

Omstaaende Tabel angiver de sekulære Forandringer i London.

Den totale magnetiske Kraft eller »Intensiteten« forandrer sig ogsaa langsomt. Maalt i Nærheden af London var den i 1848 0.4791 Dyn, i 1866 0.4740 Dyn og i Begyndelsen af 1880 0.4736 Dyn*). Som en Følge af, at Heldningsvinklen stadigt formindskes, vil Størrelsen af den vandrette Komposant (den hori-

*) Det vil med andre Ord sige, at en Nordpol med Enhed af Styrke paa virkes i Heldningsnaalens Retning af en mekanisk Kraft, der er lidt mindre end $\frac{1}{2}$ Dyn.

sontale Intensitet) forøges ubetydeligt. Den var 0.1716 Dyn i 1848 og 0.1797 Dyn i Begyndelsen af 1880.

Tabel over de sekulære magnetiske Forandringer.

Aar	Deklination	Inklination
1576	11° 17' Ø.	71° 50'
1580		72° 0'
1600		
1622	6° 12'	73° 30'
1634	4° 0'	
1657	0° 0' Min.	
1676	3° 0' V.	
1705	9° 0'	
1720	13° 0'	74° 42' Maks.
1760	19° 30'	
1780	24° 6'	72° 8'
1800		70° 35'
1816		69° 3'
1830		
1855		
1868	20° 33'	68° 2'
1878	19° 14'	67° 43'
1880	18° 40'	67° 40'
1888	17° 40'	67° 25' (?)

142. **Daglige Forandringer.** Baade Kompas- og Heldningsnaalen foretage ubetydelige daglige Svingninger. Omtrent Kl. 7 om Formiddagen begynder Kompasnaalen at bevæge sig mod Vest, hvilken Bevægelse omtrent varer til Kl. 1. Om Eftermiddagen og Aftenen bevæger Naalen sig igen tilbage mod Øst indtil omtrent Kl. 10, hvorefter den holder sig rolig. Om Sommeren begynder imidlertid Naalen ved Midnat at bevæge sig langsomt mod Vest, men vender atter tilbage førend Kl. 7 om Formiddagen. Disse smaa Svingninger — aldrig større end 10' — vise sig at staa i Forbindelse med Solens Stilling. Maanen paavirker ogsaa Naalens Stilling ubetydeligt.

143. Aarlige Forandringer. Der findes ogsaa aarlige Forandringer, og disse staa i Forbindelse med Jordens Bevægelse omkring Solen. Paa de britiske Øer er den totale Kraft størst i Juni og mindst i Februar, men paa den sydlige Halvkugle, i Tasmania, er det omvendte Tilfældet.

Inklinationen forandrer sig ogsaa med Aarstiden, idet den (i England) er mindre i de fire Sommermaaneder end i den øvrige Del af Aaret.

144. Elleve-Aars-Perioden. General Sabine opdagede, at en Gang hvert ellefte Aar er Deklinationen underkastet større Forandringer.

Schwabe bemærkede, at disse Perioder falde sammen med de elleve-aarige Perioder, i hvilke der findes Maksimum af Solpletter. Professor Balfour Stewart og andre have forsøgt at paavise lignende Perioder for Hyppigheden af Nordlys*) og andre Fænomener.

145. Magnetiske Storme. Det iagttages undertiden, at en pludselig (men meget ringe) uregelmæssig Forstyrrelse af Magnetnaalens Stilling indtræder samtidigt over en betydelig Del af Jordkuglen.

Saadanne Forstyrrelser gaa under Navn af magnetiske Storme, og de indtræffe hyppigst, naar Nordlys ere synlige.

146. Selvregistrerende magnetiske Apparater. Paa forskellige magnetiske Observatorier findes selv-virkende Apparater, som uafbrudt optegne Jordmagnetismens daglige Forandringer. Hertil kan anvendes en Lysstraale, som fra en Lampe kastes paa et lille Spejl, der er fastgjort til den Magnet, hvis Bevægelser skulle iagttages. Ved Spejlets Tilbagekastning frembringes en Lysplet paa en Strimmel fotografisk Papir, der er følsomt for Lys. Papiret bevæges stadigt fremad ved Hjælp af et Urværk, og dersom Magneten er i Ro, vil den mørke Stribe, der kommer paa Papiret, vise sig som en lige Linie, hvorimod den fotograferede

*) Se Afsnit XXIV om atmosfærisk Elektricitet.

Linie vil være bugtet, dersom Magneten bevæger sig, idet den fra Spejlet tilbagekastede Lysplet stadigt vil flytte sig paa Papiret.

En Sammenligning mellem Optegnelser fra saadanne Apparater, de saakaldte »Magnetografer«, der ere opstillede paa Stationer langt fra hinanden paa Jordens Overflade, vil ventelig kunne give gode Oplysninger om Grunden til Jordmagnetismen og dens Forandringer, hvorom man hidtil ikke har kunnet faa nogen paalidelig Oplysning.

Tilstedeværelsen af Jordstrømme (Pkt. 403) viser sig at være knyttet til Forandringer i Jordmagnetismen, og kan iagttages hver Gang, der viser sig Nordlys, eller under en magnetisk Storm; men man er endnu ikke paa det rene med, hvorvidt disse Strømme skyldes Forandringerne i Jordmagnetismen, eller om Forandringerne skyldes Strømmene.

Man ved, at Fordampningen (se Pkt. 63), der altid foregaar i Troperne, forårsager, at de opadstigende Strømme af varm Luft blive positivt elektriserede i Forhold til Jorden. Disse Luftstrømme bevæge sig mod Nord og Syd henimod de koldere Polaregne, hvor de synke ned. Disse elektriserede Luftstrømme ville virke (se Pkt. 337) ligesom virkelige elektriske Strømme, og da Jorden roterer inden for dem, vil den blive paavirket magnetisk. Hvorvidt der heri haves en tilstrækkelig Grund til Jordmagnetismens gradvise Forøgelse, er endnu et aabent Spørgsmaal.

Den Tiltrækning, som Solen og Maanen udøve paa Atmosfæren, og hvorved de frembringe Strømninger, der svare til Havets Ebbe og Flod, have muligvis ogsaa noget at gøre med de Svingninger, der ere omtalte i Pkt. 142. Det er vigtigt at bemærke, at i alle magnetiske Storme ere Forstyrrelserne størst i de Egne, der ligge nærmest Polerne, og at de magnetiske Poler meget nær falde sammen med de Egne, hvor der findes den største Kulde, samt at de Egne, hvor der viser sig flest Nordlys (Pkt. 309), ligge omtrent symmetrisk rundt om den magnetiske Pol. Det skal tilføjes, at Hovedretningen af de svage daglige Jordstrømme (Pkt. 403) gaar fra Polerne hen imod Ækvator.

TREDIE KAPITEL.

STRØMMENDE ELEKTRICITET.

XIII. Det simple Volta-Element.

147. Det er allerede bleven omtalt i Afsnit IV, at Elektriciteten strømmer bort fra et ladet Legeme gennem ethvert ledende Stof, som f. Eks. en Metaltraad

eller en fugtig Snor. Dersom Legemet paa en eller anden Maade kan blive forsynet med Elektricitet, lige saa hurtigt som den strømmer bort, vil der frembringes en stadig **Strøm**. En saadan Strøm vil altid gaa igennem en ledende Traad, dersom der vedligeholdes en elektrisk Spændingsforskel — »Potentialforskel« — mellem Enderne af den. Paa lignende Maade strømmer Varme igennem en Metalstang, naar der ved Enderne af den vedligeholdes en forskellig Varmegrad, idet Strømmen altid vil gaa fra den højeste Varmegrad til den laveste. Det er bleven Vedtægt, at betragte Elektriciteten som strømmende fra positiv til negativ, eller med andre Ord, den elektriske Strøms Retning er fra det højeste Potential til det laveste. Det er klart, at en saadan Strøm søger at udligne Potentialforskellen. Undertiden betragtes »Strømmen« som en dobbelt Overførelse af Elektricitet, saaledes at der strømmer positiv Elektricitet i een Retning og negativ i den modsatte. Det eneste, der støtter denne temmelig unødvendige Antagelse, er den Kendsgerning, at naar Strømmen frembringer kemisk Adskillelse af en Vædske, udskilles nogle af dennes Bestanddele dér, hvor Potentialet er højest, andre paa det Sted, hvor Potentialet er lavest.

De her omtalte vedvarende elektriske Strømme frembringes i Almindelighed ved Hjælp af Volta-Elementer eller de af saadanne Elementer sammensatte Batterier, men der findes ogsaa andre Maader paa hvilke saadanne Strømme kunne frembringes, hvad der senere skal blive omtalt.

148. Galvanis og Voltas Opdagelser. Opdagelsen af de elektriske Strømme skyldes Galvani, en Fysiker fra Bologna, som omtrent i Aaret 1786 gjorde en Række vigtige Iagttagelser angaaende krampagtige Bevægelser, som Bagslag (Pkt. 26) og andre elektriske Udladninger frembragte i et Frøben. Han kom ved disse Iagttagelser til det Resultat, at det ikke var nødvendigt at benytte en Elektrisermaskine for at frembringe disse Virkninger, men at Frøbenet vilde gøre lignende

krampagtige Trækninger, naar to forskellige Metaller f. Eks. Jern og Kobber bleve bragte i Berøring henholdsvis med en Nerve og en Muskel og derpaa bleve bragte i Berøring med hinanden. Galvani antog, at denne Virkning skyldtes Elektricitet, der blev udviklet i selve Frøbenet, men Volta, der var Professor ved Universitetet i Pavia, beviste, at hverken Musklen eller Nerven frembragte Elektricitet, men at denne skyldtes de to Metaller's Berøring. Naar to Metaller, der begge ere i Berøring med Luften eller et andet iltende Stof, bringes i Berøring med hinanden, vil Overfladen af det ene Metal blive positivt, og det andet Metals Overflade vil blive negativt elektrisk, som anført Side 67. Skønt disse Ladninger ere meget smaa, beviste Volta deres Tilstedeværelse paa to forskellige Maader.

149. Berørings-Elektricitet: Bevis ved Kondensator-Elektroskopet. Det første Bevis, Volta førte for

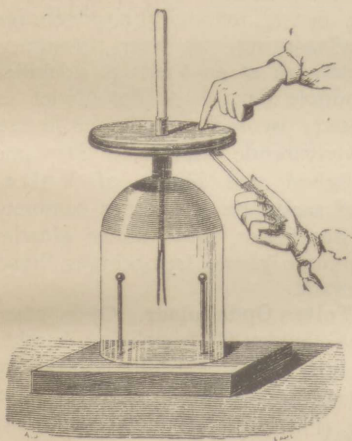


Fig. 59.

Tilstedeværelsen af Berørings Elektricitet, var grundet paa Benyttelsen af Kondensator-Elektroskopet, som kortelig er omtalt i Pkt. 71. Det kan paa følgende Maade benyttes til Paavisning af, at der fremkommer Elektricitet. En lille Stang af to forskellige Metaller, Zink og Kobber, der ere lodede sammen, holdes i Haanden, og den ene Ende af Stangen bringes i

Berøring med den underste Plade, medens den øverste Plade samtidigt sættes i ledende Forbindelse med Jorden,

f. Eks. ved at berøre den med Haanden (Fig. 59). Medens Berøringen finder Sted, opstaar der elektrisk Adskillelse i det Punkt, hvor de to forskellige Metaller berøre hinanden, og de modsatte Ladninger ville samles paa Kondensator-Pladerne. Naar den øverste Plade løftes op, vil Kondensatorens Kapacitet blive i høj Grad formindsket, og den lille Elektricitetsmængde er nu i Stand til at forhøje Pladernes Potential, og Guldbladerne ville som en Følge heraf gøre et Udslag*).

150. Volta-Søjlen.

Voltas andet Bêvis var mindre direkte, men endnu mere overbevisende, idet han viste, at naar en hel Række af saadanne Berøringer mellem forskellige Metaller kunde ordnes saaledes, at deres elektriske Virkninger bleve summerede sammen, vilde Virkningerne stige i samme Forhold som Berøringsfladernes Antal forøgedes. Med dette

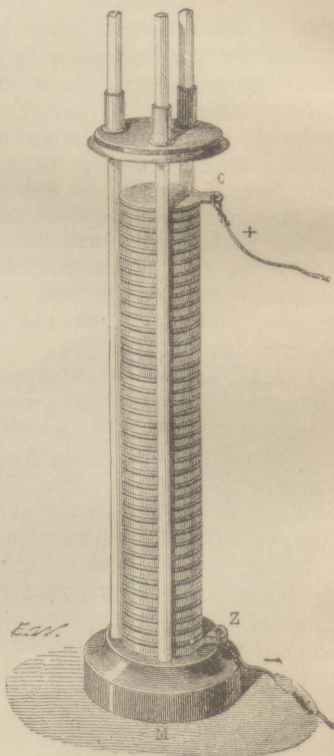


Fig. 60.

*) Tidligere sagde man, at Elektriciteten var »bunden«, naar Kondensator-Pladerne vare tæt sammen, og blev »frie«, naar den øverste Plade blev løftet op; den ovenfor givne Forklaring er imidlertid en mere videnskabelig og nøjagtig Maade at udtrykke det samme paa. Skulde Læseren ikke kunne se, at disse to Maader at forklare Sagen paa stemme indbyrdes overens, bør han atter gennemlæse Pkt. 47 og 48 paa Side 53—55.

for Øje konstruerede han det Apparat, som til Ære for Opfinderen kaldes Volta-Søjlen (Fig. 60). Den konstrueres ved at lægge en Kobberskive oven paa en Zinkske, derpaa et med salt Vand fugtet Stykke Flonel eller Klatpapir oven paa Kobberskiven, oven paa dette en Zink- og en Kobberskive og saa fremdeles, idet der stadig mellem hvert Par Metalplader lægges en fugtig Leder. En saadan Søjle, sammensat af et større Antal Pladepar, vil frembringe tilstrækkelig Elektricitet til at give et føleligt Stød, naar Endepladerne eller Metaltraade, der ere forbundne med disse, samtidigt berøres med fugtige Fingre. Naar et enkelt Par Metalplader berører hinanden, vil den ene Plade blive svagt positivt elektrisk, den anden svagt negativt elektrisk, og der opstaar saaledes mellem de to Plader en bestemt elektrisk Potentialforskul (se Side 69). Anbringes imidlertid en Mængde Pladepar oven paa hinanden, adskilte ved fugtige Ledere, vil Forskellen mellem den øverste Zinkplades og den nederste Kobberplades Potential blive forøget i samme Forhold, som Antallet af Pladepar forøges, idet nemlig nu alle de smaa Potentialforskelle adderes sammen.

151. Voltas Bæger-Apparat. I Stedet for Volta-Søjlen anvendte Volta ogsaa et andet Apparat*), der bestod af en Kreds af Glas (Fig. 61), som indeholdt enten en Saltopløsning eller en fortyndet Syre, og i hvilke der var anbragt et Antal Plader, halvt af Zink og halvt af Kobber, saaledes at Zinken var anbragt i et Glas, og det dermed forbundne Kobber blev stukket ned i det næste Glas. Potentialforskellen mellem det første og det sidste Glas er ogsaa her proportional med Antallet af Metalpladeparrene. Et saadant Apparat vil, skønt det ikke egner sig dertil, være kraftigt nok til at bringe en elektrisk Klokke til at ringe, naar dens

*) Apparatet, der nu sædvanlig kaldes et galvanisk Batteri, er sammen med Volta-Søjlen første Gang beskrevet af Volta under Navn af *couronne de tasses* i et Como d. 20. Marts 1800 dateret Brev, som han sendte Præsidenten for Videnskabernes Selskab i London, Sir Joseph Banks.

Ledninger forbindes med den første Zinkplade og den sidste Kobberplade. Den elektriske Virkning af denne

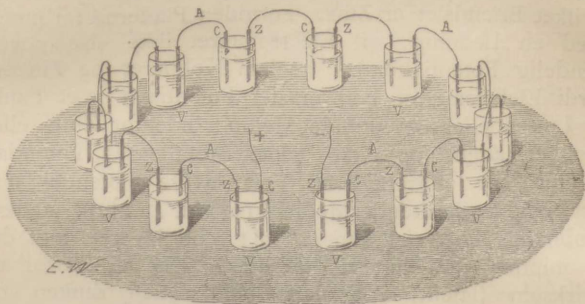


Fig. 61.

Kombination forstaas imidlertid bedst ved at undersøge, hvad der foregaar i et enkelt Glas eller Element.

152. Det simple Volta-Element. Dersom man i et Glas hælder noget Vand, blandet med lidt Svovlsyre eller en anden iltende Syre, og deri anbringer to rene Plader, saaledes at de ikke røre ved hinanden, den ene af Zink, Z, den anden af Kobber, C, vil et saadant Element være i Stand til at vedligeholde en vedvarende elektrisk Strøm gennem en Metaltraad, hvis Ender forbindes med Pladerne (Fig. 62). Medens

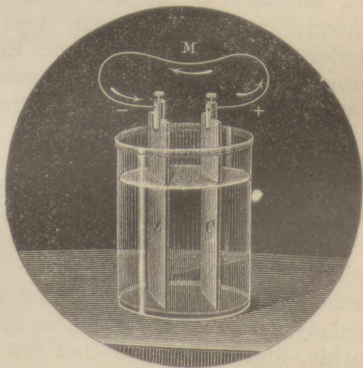


Fig. 62.

Strømmen gaar igennem Ledningen, viser det sig, at Zinken fortæres, og det er denne Fortæring, som i Virkeligheden

frembringer den Energi, der fordres til at drive Strømmen gennem Elementet og Forbindelsestraaden. Elementet kan derfor betragtes som et Slags kemisk Ildsted, i hvilket Brændslet er Zink. Forinden Pladerne forbindes med en Ledning, vil Elektrometret ikke vise nogen kendelig Potentialforskel mellem Kobberet og Zinken, fordi Elektrometret kun maaler Potentialet i et Punkt af Luften eller det iltende Medium udenfor Zink- eller Kobberpladen, og ikke selve Metallernes Potential. Zinken har omtrent 1.86 Volt lavere Potential end det omgivende iltende Medium (se Pkt. 422 (2)), medens Kobberets Potential kun er 0.81 Volt lavere, idet det er mindre tilbøjeligt til at iltes. Der er derfor en uvirksom (latent) Potentialforskel mellem Zinken og Kobberet af omtrent 1.05 Volt, men den frembringer ingen Strøm, saa længe der ingen metallisk Berøring finder Sted. Bringes Pladerne til at berøre hinanden, eller forbindes de ved et Par Metaltraade, vil der øjeblikkelig strømme Elektricitet gennem Metallet fra Kobberpladen til Zinkpladen, og noget af Zinken vil paa samme Tid opløses; Zinken udvikler sin skjulte Energi, efterhaanden som dens Atomer gaa i Forbindelse med Syren. Denne Energi anvendes til at tvinge en elektrisk Udladning gennem Syren til Kobberpladen og derfra gennem Metaltraaden tilbage til Zinkpladen. Kobberpladen, hvorfra Strømmen udgaar til det ydre Kredsløb, kaldes den positive Pol og Zinkpladen den negative Pol. Fastgøres to Kobbertraade til den øverste Ende af de to Plader, saa vil der ingen Strøm gaa igennem dem, saa længe Traadene holdes fra hinanden, men ikke desto mindre vil den Traad, der er forbunden med Zinken, være negativ, medens den, der er forbunden med Kobberet, vil være positiv, idet Zinken, selv om den ikke opløses, alligevel vil være tilbøjelig til at iltes og drive Elektricitet gennem Elementet fra Zink til Kobber. Denne Potential-Fordeling er Grunden til, at man undertiden betragter Forbindelsesstedet mellem Zinken og Kobber-

traaden for Strømmens Udgangspunkt. Det virkelige Udgangspunkt er imidlertid nede i Elementet, paa Zinkens Overflade, hvor den kemiske Virksomhed udvikler Energi; thi fra dette Sted forplante visse elektro-kemiske Virkninger (udførligere forklarede i Kapitel XI) sig gennem Vædsken, hvorved Potentialforskellen bestandigt fornyes, og den positive Pol forsynes med Elektricitet lige saa hurtigt, som Elektriciteten strømmer bort fra den gennem Ledningen til den negative Pol. Samtidigt vil der vise sig smaa Brintbobler paa Kobberpladen. Begge Virkninger fortsættes, saa længe Traadene ere forbundne, saa at der dannes et sluttet Kredsløb.

153. Virkninger frembragte af Strømmen. Man kan ikke se selve Strømmen gaa igennem Ledningen, og man kan derfor kun bevise, at et Element eller en Samling af Elementer frembringer en Strøm, naar man kender nogle af de Virkninger, som en Strøm kan frembringe. Disse ere af forskellig Art. En Strøm, der gaar igennem en tynd Traad, vil opvarme den; gaar den forbi en Magnetnaal, drejer den Naalen ud af sin Stilling, og dersom den strømmer gennem Vand eller andre Vædske, vil den adskille dem i deres Bestanddele. Endelig vil den, naar den strømmer igennem det menneskelige Legeme eller en hvilken som helst følsom Del af dette, frembringe visse Fornemmelser. Disse Virkninger — Varmeudvikling, magnetiske, kemiske og fysiologiske Virkninger — ville blive omtalte i særlige Afsnit.

154. Volta-Batterier. Dersom flere saadanne enkelte Elementer samles i Række, saaledes at Zinkpladen i det ene forbindes med Kobberpladen i det næste og saa fremdeles, vil der frembringes en større Potentialforskel mellem Kobber-»Polen« i den ene Ende af Rækken og Zink-»Polen« i den anden Ende. Der vil derfor frembringes en kraftigere Strøm, naar de to Poler forbindes ved Hjælp af en Traad, end hvis der kun var anvendt et enkelt Element. En saaledes

forbunden Række af Volta-Elementer kaldes et Volta-Batteri*).

155. Elektromotorisk Kraft. Betegnelsen »elektromotorisk Kraft« benyttes for at betegne det, der bevæger eller søger at bevæge Elektricitet fra et Sted til et andet**). For Kortheds Skyld skrives elektromotorisk Kraft undertiden E. M. K. I det her omtalte Tilfælde er den øjensynlig Resultatet af Potentialforskellen og proportional med den. Paa samme Maade som Højdeforskellen af Vand-Overfladen i Rør frembringer et Tryk, og Trykket frembringer en Strøm, saa snart Vandhanen lukkes op, saaledes frembringer Potentialforskellen elektromotorisk Kraft, og denne frembringer en Strøm, saa snart man ved at slutte Kredsløbet aabner Elektriciteten en Vej. Det kan derfor ofte være bekvemt at udtrykke elektromotorisk Kraft som en Potentialforskel og omvendt, men Læseren maa ikke glemme Forskellen imellem dem.

156. Voltas Love. Volta viste (Pkt. 71), at Potentialforskellen mellem to Metaller, der ere i Berøring med hinanden, kun er afhængig af, hvilke de to Metaller ere, og hverken af Metalpladernes eller af Berøringsfladernes Størrelse. Han paaviste ogsaa, at naar flere Metaller berøre hinanden, saa at de danne en Række, saa vil Potentialforskellen mellem det første og sidste Led i Rækken være den samme, som om de

*) Nogle Forfattere kalde det et galvanisk Batteri til Ære for Galvani, men Æren tilkommer utvivlsomt Volta. Elektriciteten, som bevæger sig i Strømme, kaldes undertiden Volta-Elektricitet eller galvanisk Elektricitet, ja undertiden Galvanisme (!), men, som vi skulle se, adskiller den sig kun ved en Gradsforskel fra Gnidnings-Elektricitet eller enhver anden Elektricitet; begge kunne strømme gennem Ledninger, magnetisere Jern og adskille kemiske Forbindelser.

**) Man maa vel vogte sig for at forveksle »elektromotorisk Kraft« eller det, der søger at bevæge Elektriciteten, med »elektrisk Kraft« eller den Kraft, med hvilken Elektriciteten søger at bevæge et Legeme. Newton har een Gang for alle bestemt »Kraft« som det, der bevæger eller søger at bevæge Legemerne. Naar et Legeme bevæges af en Magnet, have vi Ret til at kalde Aarsagen en magnetisk Kraft, og naar Elektricitet bevæger et Legeme, have vi en elektrisk Kraft. Men elektromotorisk Kraft er en ganske anden Ting, aldeles ingen »Kraft«, for den virker ikke paa Legemerne, men paa Elektricitet, og søger at bevæge den.

havde berørt hinanden direkte. Sætningen kan oplyses med Taleksempler ved Hjælp af den i Pkt. 72 givne Tabel, der er taget fra Ayrton & Perrys Undersøgelser. En Række Elementer er imidlertid ikke det samme som en Række Metaller, thi vi have set, at naar to Metaller nedsænkes i en ledende Vædske, bliver deres Potentialforskel helt eller næsten udjævnet. Hvis derfor Zink- og Kobberpladerne i en Række Elementer ere saaledes ordnede, at de alle frembringe en elektromotorisk Kraft i samme Retning, vil hele Rækkens samlede elektromotoriske Kraft være saa stor som eet Elements elektromotoriske Kraft, multipliceret med Antallet af Elementer.

157. Vi have hidtil kun omtalt, at Zink og Kobber kunne anvendes i Batterier, men man kan anvende to hvilke som helst andre Metaller. Batteriet vil faa den største elektromotoriske Kraft, være »stærkest«, naar der anvendes de Stoffer, som give den største Potentialforskel ved Berøring, eller som staa længst fra hinanden i »Berørings-Rækken«, der er opstillet i Pkt. 72. Zink og Kobber stille sig i den Henseende heldigt, men hvis det ikke var for Bekostningens Skyld, vilde Zink og Sølv være bedre. Til kraftigere Batterier bør man anvende Zink-Platin eller Zink-Kul.

158. Modstand. Den samme elektromotoriske Kraft frembringer imidlertid ikke altid en Strøm af samme Styrke. Strømstyrken afhænger ikke alene af den Kraft, der søger at drive Elektriciteten rundt i Kredsløbet, men ogsaa af den **Modstand**, Elektriciteten møder og skal overvinde. Dersom Elementerne bleve delvis fyldte med Sand eller Savsmuld, (hvad der gøres i de undertiden anvendte »Savsmuld-Batterier«, for at forhindre, at Vædsken spildes,) eller dersom den Traad, der udgør en Del af Kredsløbet, er meget lang og tynd, vil Virkningen til Dels blive standset, og Strømmen vil blive svagere, skønt den E. M. K. er uforandret. En Sammenligning med Vandrør, vil atter her kunne hjælpe os til Forstaaelse af Sammenhængen. Det Tryk, der

driver Vandet gennem Røret, er afhængigt af Højdeforskellen mellem Vandbeholderen, fra hvilken Vandet kommer, og Hanen, det strømmer ud af; men den Vandmængde, som løber gennem Røret, vil ikke alene være afhængig af Trykket, men ogsaa af den Modstand, den møder, thi dersom Røret er meget snævert, eller fyldt med Sand eller Savsmuld, vil Vandet kun løbe langsomt igennem det.

I Almindelighed lede Metallerne godt, c: deres Modstand er ringe; men Metaltraadene maa ikke være for tynde eller for lange, thi i saa Tilfælde ville de gøre for megen Modstand og ville kun lade en svag Strøm gaa igennem sig. Vædsken i Batteriet leder ikke nær saa godt som Metallerne, og forskellige Vædsker have forskellig Modstand. Rent Vand leder næsten slet ikke og er saa godt som en fuldstændig Isolator for Volta-Batteriets svage Elektricitet, skønt det er en god Leder for Elektricitet af høj Spænding fra en Gnidnings-Maskine. Kogsalt og Salpeter, opløste i Vand, ere gode Ledere lige saa vel som fortyndede Syrer, skønt stærk Svovlsyre er en daarlig Leder. Vædskens Modstand i Batteriet kan formindskes efter Forgodtbeholdende ved at bruge store Metalplader og ved at anbringe dem tæt ved hinanden.

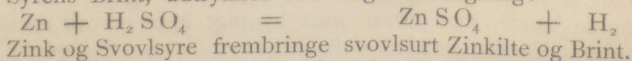
Luftarter ere daarlige Ledere, og derfor forøge ogsaa Brintboblerne, som udskilles ved Kobberpladen, naar Elementet er i Brug, og som sætte sig fast paa dens Overflade, Elementets indre Modstand ved at formindske Pladernes virksomme Overflade.

XIV. Kemiske Virkninger i Elementet.

159. Frembringelsen af en elektrisk Strøm i et Element er altid ledsaget af kemiske Virkninger i Elementet. I det mindste eet af Metallerne maa kunne iltes, og Vædsken maa være af en saadan Beskaffenhed, at den kan virke paa Metallet. Det er en Kendsgerning, at Zink og de andre Metaller, som ere opførte i den

elektropositive Ende af Berørings-Rækken (Pkt. 72), kunne iltes, medens de elektronegative Stoffer — Kobber, Sølv, Guld, Platin og Grafit — ere mindre tilbøjelige til at iltes, og de tre sidstnævnte Stoffer modstaa Virkningen af enhver enkelt Syre. Det er ikke bevist, at deres elektriske Forhold skyldes deres kemiske Forhold, eller at deres kemiske Forhold skyldes de elektriske. Sandsynligvis skyldes begge en fælles Aarsag. (Se Pkt. 422 (2) og Side 71).

160. Dyppes et Stykke fuldstændig ren Zink i fortyndet Svovlsyre, angribes det ikke af Syren, men den Zink, som i Almindelighed gaar i Handelen, er ikke ren, og naar den dyppes i fortyndet Svovlsyre, vil den opløses, idet en stor Mængde Brintbobler udvikle sig paa Metallens Overflade. Svovlsyre er et sammensat Stof, i hvilket ethvert Molekyle er dannet af en Atomgruppe, der indeholder 2 Brint-, 1 Svovl- og 4 Iltatomer, hvad der er udtrykt ved Hjælp af Formlen H_2SO_4 . Den kemiske Virkning, ved hvilken Zinken gaar i Forbindelse med Syrens Radikal og erstatter Syrens Brint, udtrykkes ved følgende Ligning:



Det svovlsure Zinkilte (»Zinksulfatet«) bliver opløst i Vædsken.

Naar en Plade af ren Zink og en Plade af et eller andet Metal, som iltes mindre let, f. Eks. Kobber eller Platin, eller endnu bedre af Kul (Kul fra Gasretorterne, 3: Kokes) anbringes ved Siden af hinanden i et Element med Syre, vil der ingen kendelig kemisk Virkning finde Sted, førend Kredsløbet sluttes, ved at man forener de to Plader ved Hjælp af en Metaltraad eller lader dem berøre hinanden. I samme Øjeblik, Kredsløbet sluttes, frembringes den elektriske Strøm, og den kemiske Virksomhed begynder, idet Zinken opløses af Syren, medens denne afgiver sin Brint som en Række Luftbobler. Man vil imidlertid se, at Brintboblerne ikke udvikles paa Zinkpladen eller rundt om i Vædsken,

men paa Overfladen af Kobberpladen (eller Kulpladen, hvis der anvendes Kul). Denne tilsyneladende Overførelse af Brinten gennem Vædsken fra Zinkpladens Overflade til Kobberpladens Overflade er meget mærkelig. Den sindrige Teori derfor, som er opstillet af Grotthuss, er forklaret i Afsnit XXXVIII om Elektro-Kemi.

Denne kemiske Virkning fortsættes, saa længe Strømmen vedvarer. Mængden af Zink, der opløses i hvert Element, er proportional med Mængden af Elektricitet, som strømmer rundt i Kredsløbet, medens Batteriet arbejder, eller er med andre Ord proportional med Strømstyrken. Mængden af Brint, der udvikles, er ogsaa proportional med Mængden af Zink, som fortæres, og med Strømstyrken. Efter at Syren har opløst Zinken i sig, vil Syren ikke længer virke som et fortærende Opløsningsmiddel; den er bleven »afstumpet« og omdannet til svovlsurt Zinkilte eller Zinksulfat. Batteriet vil derfor ophøre at virke, enten naar Zinken er fuldstændig opløst, eller naar Syrens Kraft er udtømt, det vil sige, naar den fuldstændig er bleven til svovlsurt Zinkilte. Tykke Zinkplader ville holde længe, men Syren maa hyppigt fornyes, og den brugte Vædske heldes væk.

161. Lokal Virkning. Naar Kredsløbet ikke er sluttet, er Strømmen standset, og der skulde ingen kemisk Virkning finde Sted, saalænge Batteriet ikke frembringer nogen Strøm. Den urene Handels-Zink bliver imidlertid ikke upaavirket af Syren, men opløses stadigt og afgiver Brintbobler. Denne **lokale Virkning**, som den kaldes, forklares paa følgende Maade: Urenhederne i Zinken bestaa af Jern, Arsen og andre Metaller. Er nu f. Eks. en lille Jerndel paa et eller andet Sted af Overfladen i Berøring med Syren, vil den i Forhold til de Zinkdele, der ere i Nærheden af den, optræde som Kobberpladen i et Batteri, idet der vil opstaa en lokal Potentialforskul, hvor Metallerne ere i Berøring med hinanden; herved vil der frembringes en Strøm, som gaar fra Zinkdelene gennem Vædsken

til Jernet, og Zinken vil saaledes stadigt blive fortaeret, hvad enten Batteriets Kredsløb er sluttet eller aabent.

162. Amalgamering. Vi se saaledes, hvorfor et Stykke almindelig Handels-Zink angribes ved at blive sænket ned i Syre; der opstaar en lokal Virkning over hele dets Overflade som Følge af de Urenheder, det indeholder. For at forhindre denne lokale Virkning og forhindre, at Zinken forbruges, naar Batteriet er i Hvile, plejer man at **amalgamere** Zinkpladens Overflade, og overtrække den med Kviksølv. Den Overflade, der skal amalgameres, maa renses ved Neddypning i en Syre, hvorefter der heldes nogle faa Draaber Kviksølv paa den, og Kviksølvet gnides ud med en Lærredsklud paa en Pind. Kviksølvet forener sig med det yderste Lag Zink og danner et halvflydende Amalgam. Jerndelene opløses ikke af Kviksølvet, men udskilles paa Overfladen, hvor de hurtigt rives bort af de Brintbobler, der kunne udvikles. Efterhaanden som Zinken i dette bløde Amalgam opløses af Syren, vil Kviksølvlaget forene sig med en ny Mængde Zink, hvorved Syren altid kommer i Berøring med en ren, blank Overflade.

En nyere og bedre Fremgangsmaade bestaar i at sætte 4 % Kviksølv til den smeltede Zink, inden den støbes i Plader eller Stænger. Ere Batteriets Zinkplader godt amalgamerede, skulde der ikke udvikles Brintbobler, naar Kredsløbet er aabent, men der vil saa godt som altid foregaa en lille lokal Virkning i Batteriet, naar det er i Virksomhed. Jacobi fandt, at naar der blev udviklet een Del Brint ved den positive Pol, blev der opløst 33.6 Dele Zink ved den negative Pol, i Stedet for 32.5 Dele, som er det til Brinten svarende kemiske Ækvivalent af Zink.

163. Polarisation. Af Brintboblerne, der udvikles paa Kobberpladens Overflade, sætter et betydeligt Antal sig fast paa Kobberpladen og danner et sammenhængende Lag paa dens Overflade, og derved formindskes hurtigt Størrelsen af Kobberpladens virksomme Overflade meget betydeligt. Naar et enkelt af disse Elementer eller et Batteri af saadanne Elementer benyttes til at frembringe en Strøm, viser det sig, at

Strømstyrken i Løbet af faa Minutter eller Sekunder formindskes meget stærkt, eller at Strømmen endog fuldstændigt standser. Denne øjeblikkelige Formindskelse af Strømstyrken, som kan iagttages ved Hjælp af et hvilket som helst Galvanometer og et Pladepar af Zink og Kobber, der er dyppet i Syre, skyldes næsten udelukkende det Lag af Brintbobler, som sidder fast paa Kobberpladen. Et Batteri siges i saa Fald at være »polariseret«.

164. Polarisationens Virkninger. Laget af Brintbobler indvirker paa Elementets Strømstyrke paa to Maader. 1) Det svækker Strømmen ved at forøge Modstanden, som gøres imod den, idet Luftbobler ere daarlige Ledere; og 2) det svækker Strømmen ved at frembringe en modsat rettet elektromotorisk Kraft, idet Brint næsten er lige saa tilbøjelig til at iltes som Zink, især naar det lige er udviklet (»in statu nascenti«), og det er elektropositivt, da det staar højt i Rækken paa Side 69. Derfor frembringer Brinten selv en Potentialforskel, som vil søge at udvikle en Strøm i modsat Retning af den virkelige Strøm, hvis Retning er fra Zink gennem Vædske til Kobber. Det er derfor meget vigtigt, at denne Polarisation ophæves, da den Strøm, der frembringes af Batteriet, i modsat Fald ikke vil være konstant.

165. Midler imod indre Polarisation. Der er bleven anvendt forskellige Midler til at formindskes eller forhindre Polarisationen i Elementer. Midlerne kunne inddeles i mekaniske, kemiske og elektro-kemiske.

1. Mekaniske Midler. Dersom Brintboblerne simpelthen børstes bort fra Overfladen af den positive Pol, vil den Modstand, de foraarsage, blive formindsket. Blæses Luft gennem et Rør ned i den fortyndede Syre, eller holdes Vædsken i Bevægelse eller bestandig Cirkulation ved Hjælp af en Hævert, vil Modstanden ligeledes blive formindsket. Er Overfladen ru eller besat med Spidser, ville Boblerne hovedsagelig samle sig paa Spidserne, hvorfra de hurtigt løsrives og skaffes af

Vejen ved at føres op til Overfladen af Vædsken. Dette Middel blev anvendt i Smees Element, som bestod af en Zinkplade og en platineret Sølvplade, der vare anbragte i fortyndet Svovlsyre. Sølvpladen, hvis Overflade var dækket af et ujævnt Lag fint fordelt Platin, lod let Brintboblerne slippe bort, men ikke desto mindre bliver Strømmen i Smees Element stærkt svækket efter nogle faa Minutters Forløb.

2. Kemiske Midler. Sætter man til Syren et stærkt iltende Stof, vil dette tilintetgøre Brintboblerne, medens de endnu ere i deres Udvikling, og det vil saaledes forhindre Forøgelsen af den indre Modstand og Udviklingen af en modsat elektromotorisk Kraft. Saadanne Stoffer ere tvekromsurt Kali («Kalium-Bikromat»), Salpetersyre og Klorkalk. Disse Stoffer angribe imidlertid Kobberet i et Zink-Kobber-Element, og de kunne derfor kun anvendes i et Zink-Kul- eller Zink-Platin-Element. Salpetersyre angriber Zinken, naar Kredsløbet er aabent, og den maa derfor ikke være i direkte Berøring med Zinken i Elementet. I Bikromat-Elementet, der er konstrueret af Pogendorff, er der opløst tvekromsurt Kali i Svovlsyren. Elementet, der hyppigt kaldes Flaske-Elementet, bestaar i Almindelighed af en Flaske (Fig. 63) med en Zinkplade, der er den negative Pol, og to Kulplader, anbragte en paa hver Side af Zinkpladen og indbyrdes forbundne foroven, som den positive Pol. Da Opløsningen ogsaa angriber Zinken, naar Kredsløbet er aabent, er Zinkpladen anbragt paa

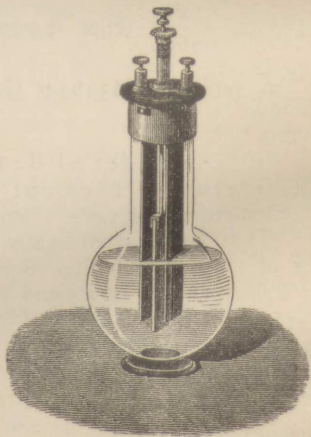


Fig. 63.

en Stang, ved Hjælp af hvilken den kan løftes ud af Syren, naar Elementet ikke benyttes. Andre kemiske Midler til Forhindring af Polarisationen ere omtalte i Beskrivelsen af andre Former af Batterier.

3. Elektro-kemiske Midler. Man er i Stand til ved at anvende Elementer med to Rum, som forklaret i næste Afsnit, at udskille et Metal, som f. Eks. Kobber i Stedet for Brintbobler paa det Sted, hvor Strømmen forlader Vædsken. Denne elektro-kemiske Ombytning forhindrer fuldstændigt Polarisationen.

166. Simple Love for kemiske Virkninger i Elementet. Vi ville slutte dette Afsnit med at nævne de to simple Love for kemiske Virkninger i Elementet.

1. Omfanget af den kemiske Virkning i et Element er proportional med Mængden af Elektricitet, som gaar igennem det, — det vil sige, er proportional med Strømstyrken.

Gaar en Coulomb*) Elektricitet gennem Elementet, udvikles $\frac{1}{96600}$ (eller 0.000010352) Gram Brint, og $\frac{32.5}{96600}$ (eller 0.00033644) Gram Zink vil blive opløst i Syren.

2. Omfanget af den kemiske Virkning er ens i ethvert Element af et Batteri, der bestaar af Elementer, forenede i Række.

Den første af disse Love blev udtænkt af Faraday for at modbevise Voltas Berøringsteori. Han forudsaa, at Principet om Energiens Bevaring vilde forhindre en slet og ret Berøringskraft i at frembringe en vedvarende Strøm, og udledede derfor Strømmen af de kemiske Virkninger, som i Mængde vare proportionale med den. Hvorledes Voltas og Faradays Synspunkter kunne bringes i Overensstemmelse med hverandre er vist i Slutningen af Pkt. 72.

*) Angaaende Definitionen af en Coulomb eller praktisk Enhed for Elektricitetsmængde se Pkt. 323.

XV. Volta-Batterier.

167. Et godt Volta-Batteri skal opfylde alle eller de fleste af følgende Betingelser:

1. Dets elektromotoriske Kraft skal være høj og konstant.
2. Dets indre Modstand skal være lille.
3. Det skal give en konstant Strøm og maa derfor være frit for Polarisation, ligesom det ikke maa være tilbøjeligt til i kort Tid at opbruge de Stoffer, hvoraf det bestaar, saa at en hyppig Fornyelse af Syren bliver nødvendig.
4. Der maa ikke foregaa nogen som helst kemisk Virkning i det, naar Kredsløbet er aabent.
5. Det skal være billigt og af holdbart Materiale.
6. Det skal være let at haandtere og maa om muligt ikke udvikle Dampe, som angribe Omgivelserne.

168. Intet Batteri opfylder paa een Gang alle disse Betingelser, og nogle Batterier egne sig særlig til en bestemt Anvendelse, medens andre egne sig til en anden. Saaledes vil f. Eks. en stor indre Modstand i et Batteri, der anvendes ved Telegrafering gennem lange Ledninger, ikke være en stor Mislighed, medens stor indre Modstand gør et Batteri ubrugeligt til Frembringelse af elektrisk Lys. Et Batteris elektromotoriske Kraft afhænger af Materialerne i Elementet og af Antallet af Elementer, der ere forbundne med hinanden, og man kan derfor opnaa en høj E. M. K. ved at vælge de rigtige Stoffer og tage en stor Mængde Elementer. Modstanden i Batteriet kan formindskes ved at forøge Pladernes Størrelse, ved at bringe dem tæt sammen, saa at Vædskelaget imellem dem bliver saa tyndt som muligt, og ved at vælge Vædske, som ere gode Ledere. Af alle de utallige Former af Batterier, der ere blevne opfundne, ville kun de aller vigtigste blive gjorte til Genstand for Beskrivelse.

Batterier kunne inddeles i to Grupper, efter som de indeholde een eller to Vædske eller Elektrolyter.

Elementer med een Vædske.

169. Det almindelige Volta-Element med dets Zink- og Kobberplader er allerede bleven beskrevet. Cruickshank foreslog at anbringe Pladerne lodret i et Trug, hvorved der blev frembragt en kraftigere Kombination. Wollaston anvendte en Kobberplade, der var dobbelt saa stor som Zinkpladen og bøjet udenom den, saaledes at Kobberpladen var tæt ved begge Sider af Zinkpladen, og Modstanden derved formindskedes. Smee erstattede, som vi have set, Kobberpladen med en platineret Sølvplade, og Walker foreslog at bruge haarde Kulplader, i Stedet for Kobber og Sølv, hvorved Elementet blev billigere, medens samtidigt den elektromotoriske Kraft blev større. Bikromat-Elementet (Fig. 63) er næsten det eneste Element med een Vædske, som er frit for Polarisation, men ikke desto mindre bliver Strømmen efter nogle Minutters Forløb svagere som en Følge af Vædskens kemiske Reduktion. Pabst brugte et Jern-Kul-Element med Jernteklor som Vædske; Jernet opløses, og der udvikles til at begynde med Klor, men uden Polarisation, idet Vædsken fornyer sig selv ved at optage Ilt fra Luften. Det er meget konstant, men har en lav elektromotorisk Kraft.

Fuldstændig Ophævelse af Polarisationen opnaas sædvanlig ved at anvende to Vædsker i Elementet, eller ved at man i Berøring med Kul-Polen af et Element med een Vædske anbringer et depolariserende fast Legeme som Manganoverilte, Kobberilte eller Blyoverilte. Saadanne Elementer kunne i Virkeligheden ikke henregnes til Elementerne med een Vædske, og de ere derfor opførte i den Gruppe af Elementer, der have to Elektrolyter.

Elementer med to Vædsker.

170. Daniells Element. Ethvert Element i et Daniells Batteri bestaar af et indre og et ydre Rum, adskilte ved en porøs Væg for at forhindre Vædskerne i de to Rum fra at blande sig med hinanden. Det bestaar (se Fig. 64) af en amalgameret Zinkcylinder, Z, der staar i et Glas med fortyndet Svovlsyre. Inden i Zinkcylinderen staar en porøs, uglaseret Lerkrukke (en Krukke af Pergament eller Karduspapir vil gøre samme Nytte), der indeholder en koncentreret Opløsning af svovlsurt Kobberilte (Kobbersulfat, Kobbervitriol, Blaasten), og hvori en Cylinder eller Plade af Kobber (C) er anbragt. Kobberet er den positive Pol og Zinken den negative. Undertiden er Glasset erstattet af en Kobberbeholder, der indeholder Opløs-

ningen af svovlsurt Kobberilte, og heri staar en porøs Krukke med den fortyndede Svovlsyre og Zinkstykket. I det Rum, hvori Kobberet er, anbringes i Reglen foroven en gennemhullet Plade, hvorpaa der ligger nogle Krystaller af svovlsurt Kobberilte, som ere i Berøring med Vædsken, og som tjene til Erstatning for det ved Elementets Benyttelse forbrugte Salt.

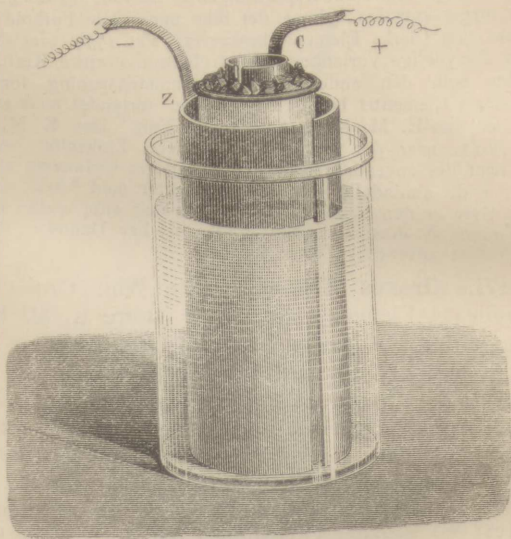


Fig. 64.

Naar Kredsløbet slutes, opløser Zinken sig i den fortyndede Syre, idet der dannes Zinksulfat og frigøres Brint, som imidlertid ikke viser sig paa Overfladen af Kobberet; thi da Lerkrukken er porøs, ville de molekulære Virkninger (ved hvilke de frigjorte Brintatomer, som forklaret ved Fig. 139, føres igennem Syren) forplante sig ind i denne, og der ville Brintatomerne blive ombytte med Kobberatomer i det svovlsure Kobberilte, saa at der vil udskilles rent Kobber og ikke Brint paa Kobberpladen.

Man kan betragte den kemiske Virkning som Resultatet af to Omsætninger; en, hvorved

Zink og Svovlsyre frembringe Zinksulfat og Brint

$$\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$$
 og en anden, hvorved

Brint og Kobbersulfat frembringe Svovlsyre og Kobber

$$\text{H}_2 + \text{CuSO}_4 = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Cu}$$

Brinten er, som det synes, elektro-kemisk omdannet til Kobber under denne Proces, og medens Zinken opløses, vil Kobberet forøges; den fortyndede Svovlsyre omdannes gradevis til Zinksulfat, og Kobbersulfatet til Svovlsyre. Der finder ingen Polarisation Sted, saalænge som Kobberopløsningen er mættet, og Elementet er derfor meget konstant, skønt det ikke under alle Forhold er saa konstant som Clarks Element (beskrevet i Pkt. 177), idet der indtræder ubetydelige Variationer i den elektromotoriske Kraft, efterhaanden som den anden Vædskes Sammensætning forandres. Naar der i Elementet benyttes Svovlsyre, fortyndet med 12 Dele Vand, er den E. M. K. 1.181 (legale) Volt. Den E. M. K. er 1.047 Volt, naar der benyttes koncentreret Zinksulfat, og 1.07 Volt, naar der anvendes en halvt koncentreret Opløsning af Zinksulfat; i de almindelig anvendte Elementer med Vand eller fortyndet Syre er den E. M. K. kun 1.028 Volt eller endnu mindre. Paa Grund af dets konstante E. M. K. har Daniells Element været meget anvendt i Telegrafien.

171. Groves Element. Sir Wm. Grove konstruerede et Element, der havde større E. M. K. og mindre indre Modstand end Daniells Element. Det bestaar af et Glas, en glaseret Lerkrukke eller en Ebonitkrukke, hvori en amalgameret Zink-Cylinder er anbragt i fortyndet Svovlsyre. I den porøse Lerkrukke er en Platinplade, der tjener som den negative Pol, anbragt i den stærkest koncentrerede Salpetersyre. Der er ingen Polarisation i dette Element, thi Brinten, der frigøres ved Zinkens Opløsning i den fortyndede Svovlsyre, vil, idet den passerer gennem Salpetersyren for at naa Platinpladen, dekomponere Salpetersyren og blive iltet, hvorved der dannes Vand og udvikles røde Dampe af Salpetersyring og Salpeterundersyre. Disse Dampe frembringe imidlertid ingen Polarisation, thi da de ere let opløselige i Salpetersyre, ville de ikke danne noget Lag paa Overfladen af Platinpladen, og de ville heller ikke som Brinten i Forbindelse med Zinken frembringe en modsat elektromotorisk Kraft. Groves Element kan gives en flad Form, idet Zinkpladen bøjes op omkring

en flad Lerkrukke, og herved formindskes den indre Modstand, der allerede er lille paa Grund af Salpetersyrens gode Ledeevne. Groves Element vil derfor kunne give en konstant, kraftig Strøm i Løbet af tre eller fire Timer. Den E. M. K. af Elementet er omtrent 1.9 Volt. Et enkelt Element vil med Lethed kunne gløde en tynd Platintraad paa to, tre Tommers

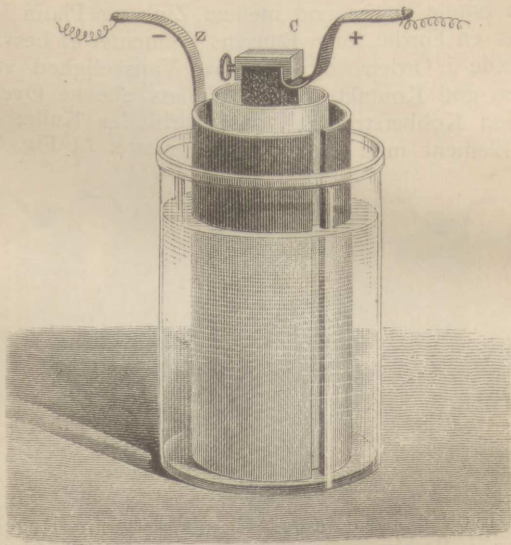


Fig. 65.

Længde eller drive en lille elektro-magnetisk Maskine. Skal der frembringes større Virkning, maa flere Elementer forenes i »Række«, idet det ene Elements Platinplade forbindes med det næste Elements Zinkcylinder o. s. v. 50 saadanne Elementer, hvert med omtrent en Pot Syre, ville rigelig være i Stand til at frembringe et elektrisk Lys, hvad der senere vil blive forklaret i Afsnit XXXII.

172. Bunsens Element. Det Element, som bærer Bunsens Navn, er en Omdannelse af Groves og blev oprindelig ogsaa udtænkt af ham. I Bunsens Element er den kostbare Platinplade*) ombyttet med en Stang af haardt Kokes. Da det er vanskeligt at save Kokes ud i tynde Plader, er Elementets Form som Regel ikke flad, men cylindrisk med en Kulstang i Midten, som vist i Fig. 65. Potentialforskellen mellem Zink og Kul er en Smule højere end mellem Zink og Platin, hvad der er en Fordel, men Bunsens Elementet er besværligt at holde i Orden, og man har Vanskelighed ved at faa en god Kontakt mellem Kullets ujævne Overflade og den Kobberstrimmel, som forbinder Kullet i det ene Element med Zinken i det næste. I Fig. 66 er

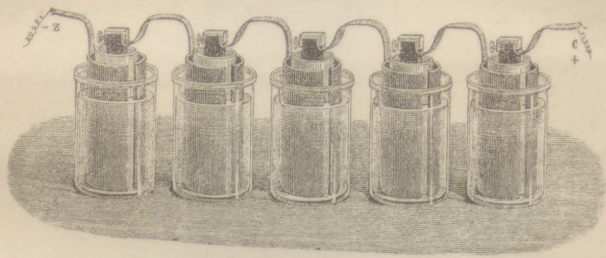


Fig. 66.

vist, hvorledes saadanne Elementer som Regel forbindes i Række. Bunsens Element vil vedligeholde Strømmen længere end et fladt Groves Element, paa Grund af den større Mængde Syre det cylindriske Glas kan rumme**).

*) Platin koster 600—700 Kroner Pundet, eller omtrent halvt saa meget som Guld, medens hundrede Gange saa stor Vægt af Kokes, saa godt som Intet koster, undertiden kun Ulejligheden af at bære det hjem. Prisen paa Platin er iøvrigt i de sidste Aar meget vekslende.

**) Callan har konstrueret et stort Batteri, i hvilket Støbejern, der er den positive Pol, staar i koncentreret Salpetersyre, medens Zinken staar i fortyndet Syre. Jernet paavirkes under disse Omstændigheder ikke af Syren, men gaar over i en saakaldet »passiv Tilstand«. I denne Tilstand synes dets Overflade at være dækket med et Lag magnetisk Jernilte eller Ilt.

173. Leclanchés Element; Niaudets Element.

Til Betjening af elektriske Klokker og Telefoner og tildels i Telegrafien anvendes et af Leclanché opfundet Zink-Kul-Element, i hvilket Vædsken ikke er fortyndet Syre men en Salmiakopløsning (Fig. 67). I denne op-

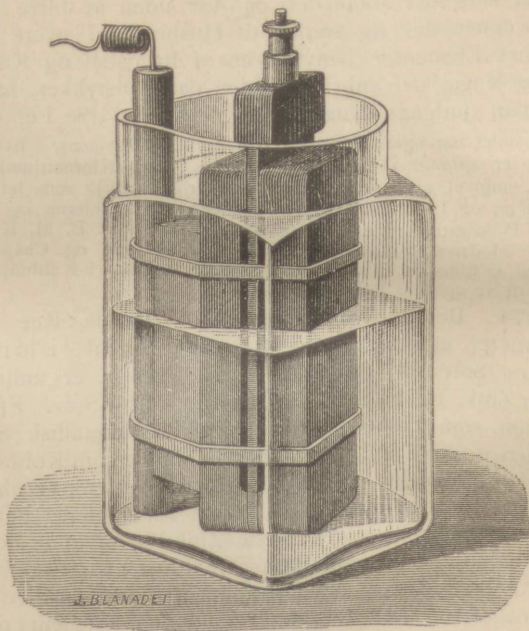


Fig. 67.

løses Zinken, idet der dannes et Dobbeltsalt af Klorzink og Salmiak, medens Ammoniak og Brint frigøres ved Kul-Polen. For at forhindre Polarisation er Kulstangen anbragt i en porøs Lerkrukke, fyldt med en Blanding af Kul og Brunsten (Manganoverilte), et Stof, der langsomt afgiver Ilt, og tilintetgør Brintboblerne.

Benyttes Elementet til at afgive en vedvarende Strøm i mange Minuter i Træk, svækkes det betydeligt, da der dannes en Mængde Brintbobler; men overlades det derefter til sig selv i nogen Tid, genvinder det sin Kraft, idet Brunstenen lidt efter lidt ophæver Polarisationen. Da Elementet iøvrigt er fuldstændig konstant, og det kan staa Maaneder og Aar uden at blive fornyet, egner det sig særlig til Husbrug. I nyere Leclanchés Elementer benyttes en af Brunsten og Kokes presset Kage, der anbringes uden paa Kulstykket, hvorved man undgaar Brugen af Lerkrukken. (Se Fig. 67).

Niaudet har ogsaa konstrueret et Zink-Kul-Element, i hvilket Zinken er anbragt i en Opløsning af Kogsalt (Klornatrium) og Kullet omgivet af Klorkalk (Klorundersyrligt Kalk), som let afgiver Klor og Ilt, hvilke Stoffer ødelægge Brintboblerne og forhindre Polarisation. Dette Element har en højere E. M. K. og mindre Modstand end Leclanchés. De Lalande og Chaperon foreslaa et Element, i hvilket Kobberilte, anbragt i Kalilud, benyttes til at ophæve Polarisationen.

174. De la Rues Element. De la Rue har konstrueret et fuldstændig konstant Element, i hvilket Zink og Sølv ere de to Metaller. Zinken er anbragt i Klor-Zink, og Sølv et er indsmeltet i Klor-Sølv. Efterhaanden som Zinken opløses, udvikles metallisk Sølv paa den positive Pol, paa lignende Maade som Kobberet i Daniells Element. De la Rue har konstrueret et uhyre stort Batteri paa over 11000 smaa Elementer. Potentialforskellen mellem den første Zink-Pol og den sidste Sølv-Pol i dette Kæmpe-Batteri var over 11000 Volt, og dog kunde Gnisten ikke springe fra den positive til den negative Pol, forinden Afstanden imellem dem blev bragt ned til $\frac{1}{4}$ Tomme. Med 8040 Elementer var Længden af Gnisten kun 0.08 Tomme.

175. Marié Davys Element. I dette Element er Zinken anbragt i svovlsurt Zinkilte, medens Kulpladen staar i en Deig af svovlsurt Kviksølvforilte. Naar Elementet er i Virksomhed, udskilles der Kviksølv paa Kuloverfladen, saaledes at Elementet i Virkeligheden er et Zink-Kviksølv-Element. Det blev tid-

ligere anvendt meget i Frankrig til Telegrafering, forinden Leclanchés Element blev indført.

176. Vægtfylde-Elementer. I Stedet for at anvende en porøs Lerkrukke til at holde de to Vædsker adskilte, kan man, naar den ene af Vædskerne er tungere end den anden, anbringe den tungere Vædske som et Lag paa Bunden af Elementet og lade den lettere flyde oven paa den. Et saadant Element kaldes et Vægtfylde-Element. Adskillelsen mellem de to Vædsker er imidlertid aldrig fuldstændig, idet den tungere efterhaanden diffunderes opefter. Daniells Element er indrettet som Vægtfylde-Element af Meidinger, Minotto, Callaud og Sir Wm. Thomson. I Siemens's Modifikation af Daniells Element benyttes en blød Papirmasse til at adskille de to Vædsker fra hinanden. Sir Wm. Thomsons »Savsmuld-Element« er et Daniells Element, der er fyldt med Savsmuld, for at Vædsken ikke skal spildes og for at gøre det transportabelt.

177. Latimer Clarks Normal-Element. Et Normal-Element (»standard cell«), hvis E. M. K. er konstantere end Daniells, er konstrueret af Latimer Clark. Elementet er dannet af rent Kviksølv, paa hvilket flyder en Deig af svovlsurt Kviksølvforilte, der bærer en Zinkplade. Med Kviksølvet, der er den positive Pol, tilvejebringes Kontakten ved Hjælp af en Platintraad. Elementets E. M. K. er 1.436 legale Volt.

178. Omstaaende Tabel (Side 148) angiver den elektromotoriske Kraft for forskellige Elementer.

179. Strømstyrke. Læseren maa imidlertid ikke tro, at de omstaaende Tal angive den Strømstyrke, de forskellige Elementer kunne udvikle, thi den afhænger, som vi have omtalt i Afsnit XIII, lige saa vel af Elementets indre Modstand som af dets E. M. K.

Et Elements E. M. K. er uafhængig af dets Størrelse og er kun bestemt ved de valgte Stoffer og deres Tilstand. Modstanden afhænger af Elementets Størrelse,

Elementets Navn o. s. v.	E. M. K. i (legale) Volt.
Elementer med een Vædske:	
Volta (Wollaston o. s. v.)	1.036—0.81
Smee	0.64 ?
Poggendorff (Grenet, Trouvé o. s. v.)	2.27—1.77
Pabst	0.78
Elementer med to Vædske:	
Daniell (Meidinger, Minotto, Thom- son o. s. v.)	1.122—1.07—1.047—1.028
Grove	1.934—1.76
Bunsen	1.942—1.73
Leclanché	1.59—1.46—1.402
Niaudet	1.63
Lalande og Chaperon	0.66
De la Rue	1.046
Marié Davy	1.50
Latimer Clark (Normal-E.)	1.436
Sekundære Elementer:	
Ritter	2.22—1.47
Planté (Faure, Sellon o. s. v.)	2.22—1.96

Vædskernes Lednings-Evne, samt Tykkelsen af det Vædskeleg, Strømmen skal gennemløbe, o. s. v.

Den nøjagtige Definition af **Strømstyrke** er følgende:

En Strøms Styrke er den Mængde af Elektricitet, som i eet Sekund*) passerer et hvilket som helst Punkt (Snit) af Kredsløbet.

Strømmer der f. Eks. 25 Coulomb Elektricitet i 10 Sekunder gennem et Kredsløb, er Middelstyrken af denne stærke Strøm i ovennævnte Tidsrum $2\frac{1}{2}$ Cou-

*) Naar den i hvert Sekund gennemgaaende Elektricitetsmængde er stor, siger man, at man har en stor Strømstyrke, en kraftig Strøm, en stærk Strøm, og man bruger saaledes en anden Betegnelse, end naar man taler om Vandets Bevægelse, hvor »stærk Strøm» betyder stor Vandhastighed, uden at derved siges noget om Vandmængden. Tidligere, inden Ohm's Lov var fuldstændig forstaaet, plejede Elektrikere at tale om »Kvantitet-Strømme» og »Intensitet-Strømme», idet de ved den første Betegnelse mente en Strøm, der gik gennem et Kredsløb, i hvilket der var en meget lille indre og ydre Modstand, medens de ved det sidste Udtryk betegnede en Strøm, som skyldtes en høj elektromotorisk Kraft. Udtrykkene vare bekvemme, men de ere vildledende og bør undgaaes.

lomb pr. Sekundt eller $2\frac{1}{2}$ Ampère. Den sædvanlige Strømstyrke, der benyttes ved Telegrafering gennem Hovedlinier, er kun fra 5 til 10 Tusindedele af en Ampère.

Dersom Elektricitetsmængden Q er strømmet igennem et Kredsløb i t Sekunder, kan Strømstyrken, C , i den Tid altsaa udtrykkes ved Ligningen

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

Sammenhængen mellem disse tre Størrelser kan ogsaa udtrykkes saaledes, at naar C betegner Strømstyrken, kan den Elektricitetsmængde, som i en given Tid, t , er strømmet igennem Kredsløbet, findes ved at multiplicere Strømstyrken med Tiden; eller

$$Q = C t,$$

thi Mængden af Elektricitet, der er gaaet igennem Lederen, er proportional med Strømmens Styrke og med den Tid, den har været.

De Love, som bestemme Strømstyrken i et Kredsløb, blev først fremsatte af Dr. G. S. Ohm, som sammenfattede dem i følgende Lov.

180. Ohms Lov. Strømstyrken er ligefrem proportional med den elektromotoriske Kraft og omvendt proportional med Modstanden i Kredsløbet; eller med andre Ord, alt hvad der forøger Elementets E. M. K., vil ogsaa forøge Strømstyrken, medens alt, hvad der forøger Modstanden (enten den indre Modstand i selve Elementerne eller Modstanden i det ydre Kredsløb), vil formindske Strømstyrken. (Se videre angaaende Ohms Lov i Afsnit XXIX).

Den indre Modstand i de Elementer, vi have nævnt, er meget forskellig og forandrer sig med deres Størrelse. I al Almindelighed kan man sige, at Modstanden i et Daniells Element er fem Gange saa stor som i et Groves Element af samme Størrelse. Groves Element har altsaa baade højere E. M. K. og mindre indre Modstand. Det vil i Virkeligheden gennem en

kort, tyk Traad sende en Strøm, der omtrent er 8 Gange saa stærk, som Strømmen fra et Daniells Element af samme Størrelse.

181. Vi kunne derfor forøge et Batteris Styrke paa to Maader:

1. Ved at forøge dets elektromotoriske Kraft.
2. Ved at formindske dets indre Modstand.

Da den E. M. K. i Elementet er bestemt af de Stoffer, af hvilke det er sammensat, har man kun eet Middel til at forøge den samlede E. M. K. i et Batteri af givet Materiale, nemlig at forøge Antallet af Elementer, der ere forbundne i Række.

I Telegraftjenesten anvender man hyppigt Samlinger paa to til tre Hundrede Daniells Elementer, indsatte i Række efter hinanden, og sædvanligvis ere de anbragte i lange Kasser, der hver indeholder en Række paa 10 flade Elementer.

For at formindske den indvendige Modstand i et Element, maa man tage sin Tilflugt til følgende Midler:

1. Pladerne kunne bringes nærmere sammen, saa at Strømmen ikke kommer til at gaa igennem saa tykt et Vædskeleg.

2. Størrelsen af Pladerne kan forøges, da der derved tilbydes Strømmen flere jævnsides liggende Veje gennem Vædskeleg.

3. Zinken i flere Elementer kan forbindes indbyrdes, hvorved der dannes ligesom een stor Zinkplade, og paa samme Maade forbindes da de tilsvarende Kobberplader, saa at de danne een stor Kobberplade. Elementer, der ere forenede paa denne Maade, siges at være forbundne i »parallel Forbindelse« eller »til Mængde« (»efter Kvantitet«) for at skelne denne Forbindelsesmaade fra den simple Rækkeforbindelse. Ere saaledes fire lige store Elementer forbundne i parallel Forbindelse, har Strømmen fire Gange saa mange Veje, ad hvilke den kan komme igennem Vædsken fra Zink til Kobber, som i et enkelt af Elementerne, og den

samlede indre Modstand vil kun være $\frac{1}{4}$ af et enkelt Elements. Derimod vil den E. M. K. ikke være større end et enkelt Elements.

Det er meget vigtigt at erindre, at Strømstyrken ogsaa paavirkes af Modstanden i Ledningstraaden, som danner »det ydre Kredsløb«, og naar den ydre Modstand allerede er stor, som ved Telegrafering gennem lange Linier, er det ingen Nytte til at formindske den indre Modstand, dersom denne allerede er meget mindre end Modstanden i Linietraaden.

Den elektromotoriske Kraft i Voltas og Smees Elementer med een Vædske er betegnet som tvivlsom, thi Polarisationens modsatte E. M. K. gør sig næsten altid gældende, inden Elementets virkelige E. M. K. kan blive maalt. De forskellige Værdier, der ere anførte for andre Elementer, afhænge af, om Vædskerne ere mer eller mindre koncentrerede. I Daniells Element blev der saaledes til Telegrafering først anvendt Vand i det Rum, hvori Zinken staar; den E. M. K. er i saa Tilfælde mindre, end hvis Vandet indeholder Syre eller Zinksulfat.

182. Andre Elementer. Talrige andre Former af Elementer ere blevne opfundne af forskellige Elektrikere. Der ere tre, som have teoretisk Interesse, fordi den E. M. K. ikke skyldes Spændingsforskel ved Berøring mellem forskellige Metaller, men Spændingsforskel ved Berøring mellem eet eller flere Metaller og Vædsker. Det første af disse blev opfundet af Kejser Napoleon III. Begge Pladerne vare af Kobber og vare hver for sig sænkede henholdsvis i fortyndet Svovlsyre og i Natronlud, adskilte ved en porøs Lervæg. Den anden af disse Kombinationer skyldes Wöhler, der anvendte Plader af Aluminium, nedsænkede i koncentreret Salpetersyre og i Natronlud. I det tredje, opfundet af Dr. Fleming, ere de to Vædsker ikke en Gang i Berøring med hinanden, men Forbindelsen mellem dem sker ved Hjælp af et andet Metal. De anvendte Vædsker ere en Opløsning af Svovlnatrium og Salpetersyre, og de to Metaller ere Kobber og Bly.

Et lignende Batteri kan konstrueres med Kobber og Zink, hvortil man som Vædsker benytter en Opløsning af Svovlnatrium og fortyndet Svovlsyre, idet hver andet Glas fyldes med den ene Vædske, hver andet med den anden. En bøjet Zinkplade stikkes ned i det første og andet Element, en bøjet Kobberplade i det

andet og tredje o. s. fr., thi den elektromotoriske Kraft i en Kobber-Svovlnatrium-Zink Kombination er modsat rettet af den E. M. K. i en Kobber-Svovlsyre-Zink Kombination.

Bennett har for nylig beskrevet et billigt og meget virksomt Element, i hvilket Metallerne ere Jern og Zink, og Vædsken er stærk Natronlud. Gamle Daaser til henkogt Kød, fyldte med Jernfilspaaner, ville kunne benyttes som det positive Element, og heri fyldes Opløsningen, medens Zinkstumper i en flad Porcellæns Skaal med Kviksølv danner den negative Pol.

Skrivanoff har modificeret Latimer Clarks Zink-Kul-Element ved at anvende en fast Masse af Klorammonium, Klorkviksølv og almindelig Kogsalt, hvorved Elementet er blevet tørt og transportabelt.

Jablochhoff har foreslaaet et Element, i hvilket Kul- og Jernplader ere anbragte i smeltet Salpeter. Kullet er her det elektropositive Element, der hurtigt fortæres af Vædsken.

Plantés og Faures sekundære Batterier og Groves Gas-Batteri ville blive beskrevne i Punkterne 415 og 416.

Zambonis saakaldte tørre Søjle fortjener ogsaa Omtale. Den bestaar af en Mængde Papirsskiver, belagte med Zinkfolie paa den ene Side og med Brunsten (Manganoverilte) paa den anden Side, stablede oven paa hinanden i et Antal af nogle Tusinder og indesluttede i et Glasrør. Den indvendige Modstand er uhyre stor, da den indvendige Leder er Papirets Fugtighed, der er meget ubetydelig, men den E. M. K. er meget stor, og en god tør Søjle vil kunne frembringe Gnister. Der vil hengaa mange Aar, førend Zinken er fuldstændig iltet eller Brunstenen udtømt. I Clarendon-Laboratoriet i Oxford findes der en tør Søjle, hvis Poler ere to Metalklokker. Imellem disse hænger en lille Kobberkugle, som ved at svinge frem og tilbage langsomt udlader Elektriciteten. Apparatet har nu ringet uafbrudt i over 40 Aar.

183. Virkningen af Varme paa Elementer. Opvarmes et Element, giver det en kraftigere Strøm, end naar det er koldt. Dette ligger for en stor Del i, at Vædsken lede bedre, naar de ere varme, saa at den indre Modstand formindskes i Elementet. Man har ligeledes bemærket en ubetydelig Forandring af den

E. M. K., naar Elementet opvarmes. Den E. M. K. i et Daniells Element er omtrent $1\frac{1}{2}\%$ højere, naar det er opvarmet til kogende Vands Varmegrad, medens Bikromat-Elementets E. M. K. under samme Omstændigheder næsten formindskes med 2% .

XVI. Strømmens magnetiske Virkninger.

184. Omtrent i Aaret 1802 opdagede Romagnosi i Trient, at en Volta-Søjle paavirker en Magnetnaal og faar den til at dreje sig ud fra sin oprindelige Retning. Denne Opdagelse gik imidlertid i Glemmebogen, da den aldrig var bleven offentliggjort*). Man havde imidlertid længe tænkt sig, at der herskede en Forbindelse mellem Magnetisme og Elektricitet, idet man havde set, at Lynet kunde magnetisere Knive og andre Staalgenstande; men alle de Forsøg, man gjorde paa at efterligne disse Virkninger ved Hjælp af kraftige elektriske Ladninger eller ved at sende elektriske Strømme gennem Staalstænger, mislykkedes**). Den virkelige Forbindelse mellem Magnetisme og Elektricitet var endnu ikke opdaget.

I 1820 opdagede den danske Fysiker H. C. Ørsted, at en Magnetnaal søger at stille sig vinkelret paa en Traad, hvorigennem der gaar en elektrisk Strøm. Han opdagede endvidere, at den Vej, Naalen drejer sig, om den bevæger sig til Højre eller Venstre af sin oprindelige Stilling, afhænger af den Traads Stilling, der leder Strømmen — om den er oven over eller under Naalen — og af den Retning, i hvilken Strømmen gaar igennem Traaden.

*) Forfatteren sigter her til en Artikel af den italienske Advokat R. i et italiensk Blad d. 3. Aug. 1802, hvori han gør Rede for nogle Forsøg, han har anstillet med Voltas Søjle, og paa Grundlag af hvilke man senere — men uden tilstrækkelig Grund — har villet hævde, at R. var Elektromagnetismens egentlige Opfinder. O. A.

**) Lige til dette Afsnit har der ikke været Tale om nogen Forbindelse mellem Magnetisme og Elektricitet, skønt der er bleven talt om dem begge. Læseren, som ikke erindrer, hvorvidt en Ladning af Elektricitet paavirker en Magnet eller ej, bør gennemlæse, hvad der er anført i Pkt. 91.

185. Ørsteds Forsøg. Et meget simpelt Apparat er tilstrækkeligt til at gentage Grund-Forsøget. Man ophænger en Magnetnaal paa en fin Spids (se Fig. 68), og anbringer over den og parallelt med den en stiv Kobbertraad, hvis ene Ende er i Forbindelse med den ene Pol af et Batteri paa et Par Elementer; saasnart nu den anden Ende af Kobbertraaden sættes i Forbindelse med Batteriets anden Pol, vil den elektriske Strøm gaa igennem Kobbertraaden og øjeblikkelig dreje Naalen ud til Siden.

Gaar Strømmen gennem en Traad over Naalen i Retningen fra Nord til Syd, vil Naalens Nordende dreje sig mod Øst, hvorimod den vil dreje sig mod

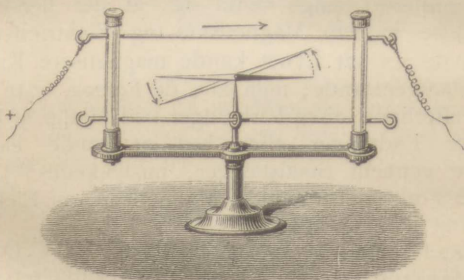


Fig. 68.

Vest, hvis Strømmen gaar i Retningen fra Syd til Nord. Ligger Traaden derimod under Naalen, vil Bevægelsen være den modsatte, og en Strøm, der gaar fra Nord til Syd, vil da dreje Nordpolen mod Vest.

186. Ampères Regel. For at fæstne Bevægelsesretningen i Erindringen har Ampère fremsat følgende, lidt dristige men nyttige Regel: Tænk man sig, at en i Traaden liggende Mand svømmer med Strømmen og vender Ansigtet imod Naalen, vildennes Nordende afvige mod hans **venstre** Haand. Med andre Ord: Afgangelsen af en Magnetnaals Nordende, set fra Lederen, gaar altid til Venstre af Strømmen.

I visse særlige Tilfælde, i hvilke en fast Magnetpol paa-virker et bevægeligt Kredsløb, kan Ampères Regel, udtrykt omvendt, være ganske bekvem. Tænker man sig, at en Mand svømmer med Strømmen og drejer sig saaledes, at han ser ud langs Retningen af Polens Kraftlinier (o: som Kraftlinierne løbe, fra Polen, hvis det er en Nordpol, og henimod Polen, hvis det er en Sydpol), saa vil han og Ledningstraaden blive ført til Venstre.

187. Man vil let overtøye sig om, at dersom man fører en Strøm over en Magnetnaal i en Retning og tilbage i den modsatte Retning under Naalen, idet man bøjer Traaden om, som vist i Fig. 69, saa ville de Naalen paa-virkende Kræfter, der udgaa fra Strømmens to Grene, begge gaa i samme Retning. Er saaledes a den ophængte Magnetnaals Nordpol og

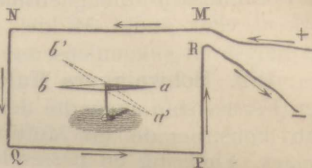


Fig. 69.

b dens Sydpol, vil Strømmen i den underste Del af Lederen dreje Naalen saaledes, at a drejer sig ud fra Papiret, medens b drejes indefter. Strømmen over Naalen vil ligeledes bevæge Nordpolen til venstre Side af sig og altsaa ogsaa dreje a ud fra Papiret, b indefter. Naalen vil imidlertid ikke stille sig fuldstændig vinkelret paa Traaden, men vil indtage en skraa Stilling i Forhold til den. Jordmagnetismen vil nemlig søge at stille Naalen i Retningen Nord-Syd, medens den elektriske Strøm, der paa-virker Naalen, vil søge at stille den i Retningen Øst-Vest, og Naalen vil derfor stille sig efter Resultanten af disse Kræfter, saa at den indtager en skraa Stilling i Forhold til Lederen, afhængig af Forholdet mellem de to Kræfter, der modarbejde hinanden. Dersom Strømmen er meget stærk, vil Naalen gøre et stort Udslag, men den vil kun kunne stille sig vinkelret paa Lederen, hvis Strømmen er uendelig stærk. Er Strømmen derimod meget svag i Forhold til Jordmagnetismen, vil Naalen kun gøre et meget lille Udslag.

188. Det ovenfor beskrevne Apparat vil derfor kunne benyttes som et simpelt **Galvanoskop** eller en Strømviser, idet Naalens Drejning angiver Strømmens Retning, og Udslagets Størrelse angiver, om Strømmen er stærk eller svag. Dette Apparat er imidlertid ikke fint nok til at kunne vise meget svage Strømme. For at faa et mere følsomt Apparat, er der to Veje at gaa: 1) Forøg Strømmens effektive Virkning ved at lede Traaden mere end een Gang rundt om Naalen, 2) Formindsk Jordmagnetismens Indflydelse paa Naalen ved et eller andet Middel, der formindsker Naalens Retningskraft («kompenserer» denne).

189. **Schweiggers Multiplikator.** Schweigger var den Første, som anvendte den først nævnte Maade, idet han konstruerede en Multiplikator med mange Vindinger. Omkring en passende Ramme af Træ, Messing eller Ebonit vikles Traaden, der maa være »isoleret«, d. overtrukken med Silke, Bomuld eller Guttaperka, for at forhindre, at de enkelte Traadvindinger komme i Berøring med hinanden. Inden i Rammen, der kan være cirkelformet, elliptisk eller, som i Almindelighed, rektangulær, er Naalen ophængt, og Rammen stilles saaledes, at Traadvindingerne ligge i den magnetiske Meridian. Jo større Antallet af Vindinger er, desto større vil den magnetiske Afvigelse være, der frembringes ved, at en Strøm af bestemt Styrke gaar igennem Traadvindingerne. Er Traaden imidlertid tynd og Antallet af Vindinger meget stort, vil Modstanden imod Strømmen i høj Grad formindske Strømstyrken.

Læseren vil fuldt forstaa Vigtigheden af denne Bemærkning, naar han har læst Kapitlet om Ohms Lov. (Kpt. VI).

190. **Astatiske Kombinationer.** Den Retningskraft, hvormed Jordmagnetismen virker paa Magnetnaalen, vil kunne formindskes eller ophæves paa en af de to nedenfor angivne Maader:

a) Ved at anvende en kompenserende Magnet. En almindelig lang Stangmagnet, der lægges i den

magnetiske Meridian, med sin Nordende pegende mod Nord, vil, dersom den i vandret Stilling anbringes oven over eller neden under den ophængte Magnetnaal, søge at dreje dennes Sydpol mod Nord. Er Magneten tæt ved Naalen, vil den kunne overvinde Jordmagnetismens Kraft, hvoved Naalen vil dreje sig modsat af sin sædvanlige Stilling. Er den længere borte fra Naalen, er alt, hvad den kan gøre, kun at formindske Jordmagnetismens Retningskraft. I en bestemt Afstand vil den netop ophæve denne Kraft, og Naalen vil derfor være neutral.

Denne Maade at ophæve Jordmagnetismen paa er anvendt ved det i Fig. 79 afbildede Spejl-Galvanometer, hvor den ovenpaa anbragte krumme Magnet ved at hæves eller sænkes kan meddele Instrumentet den Grad af Følsomhed, man ønsker.

b) Ved at anvende et astatisk Naalepar. Dersom to lige store og lige stærkt magnetiserede Naale, ved Hjælp af en let Traad af Kobber eller Aluminium forbindes i omvendte Stillinger, saaledes at den enes Nordende og den andens Sydende pege samme Vej, saa vil den Kraft, der virker paa den ene Naal, og som søger at stille den i den magnetiske Meridian, netop blive ophævet af den Kraft, der virker paa den anden Naal. Som en Følge heraf ville disse to Naale kunne stilles i en hvilken som helst Stilling, idet de ere fuldstændig uafhængige af Jordmagnetismen. En saadan Forbindelse af to Naale kaldes et **astatisk Naalepar**. Det er imidlertid vanskeligt i Praksis at faa et Naalepar, der er fuldstændig astatisk, thi det er ikke let at magnetisere to Naale nøjagtigt lige stærkt, og det er heller ikke let at anbringe dem fuldstændigt parallelt med hinanden. Skønt et astatisk Naalepar ikke paavirkes af Jordmagnetismen, vil det blive drejet rundt af en Strøm, der gaar igennem en Traad, som er viklet omkring den ene af Naalene, thi, som det fremgaar af Fig. 70, vil Strømmen, som gaar over den ene Naal og under den anden, dreje dem begge i

samme Retning, fordi de indtage modsatte Stillinger. Man kan ogsaa føre Traaden rundt om begge Naalene, naar Vindingerne omkring den øverste Naal vikles modsat af Vindingerne omkring den underste Naal.

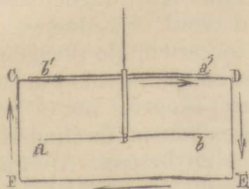


Fig. 70.

Nobili anvendte et astatisk Naalepar i Schweiggers Multiplikator og konstruerede derved et meget følsomt Instrument, det astatiske Galvanometer (Fig. 76). De sær-

lige Former af Galvanometre, der benyttes til Maaling af Strømstyrke, ere beskrevne i næste Afsnit.

191. En Strømleders magnetiske Felt. Arago opdagede, at et Stykke Kobbertraad, igennem hvilket der gaar en Strøm, er i Stand til at tiltrække Jernfilspaaner, saa længe Strømmen varer. Filspaanerne stille sig vinkelret paa Traaden og klynge sig om den, men falde af, saasnart Strømmen brydes. Der er altsaa et magnetisk Felt omkring den Traad, som leder Strømmen, og det er vigtigt at vide, hvorledes Kraftlinierne gaa i dette Felt.

Forestiller den sorte Prik midt i Fig. 71 Gennemsnittet af en Ledningstraad, og antage vi, at Strømmen i dette Punkt gaar ind igennem Papiret, saa vil en Magnetnaal, der er anbragt underneden Traaden, efter Ampères Regel stille sig i den paa Tegningen angivne Retning, med Nordpolen visende til Venstre*). Strømmen vil drive en Naal, der er over Traaden, i modsat Retning. En Naal, som er anbragt paa højre Side af Strømmen,

*) Har Læseren vanskeligt ved at anvende Ampères Regel paa dette og det efterfølgende Tilfælde, maa han omhyggelig gøre følgende Tankeeksperiment. Antag, at Pletten, der er mærket »ind«, er et Hul i Jorden, gennem hvilket Strømmen gaar, og i hvilket han dykker ned paa Hovedet. Naar han er i Hullet skal han dreje sig rundt, med Ansigtet mod enhver af Magneterne, og huske paa, at i ethvert Tilfælde vil Nordpolen blive ført til hans venstre Side. I Fig. 72 maa han tænke sig kommende ud af det Hul i Jorden, som Strømmen gaar ud af.

vil stille sig selv vinkelret paa Strømmen (o: i Papirets Plan) og med Nordpolen pegende nedad, medens



Fig. 71.

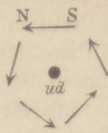


Fig. 72.

Nordpolen af en Naal til Venstre for Strømmen vil pege opefter. Den virkende Kraft vil i Virkeligheden søge at bevæge Nordpolen rundt om Lederen i samme Retning som Urviserens Gang, og Sydpolen modsat Vej rundt af Urviserens Gang. Bliver Strømmens Retning vendt, saa at den kommer ud af Papirets Plan, som i Fig. 72, vil Bevægelsen blive akkurat den modsatte. Det skulde synes at følge af ovenstaaende, at en Magnets Nordpol vilde komme til at udføre en uafbrudt Bevægelse omkring en Strøm; men da der ikke gives Magneter med een Pol, og da Sydpolen

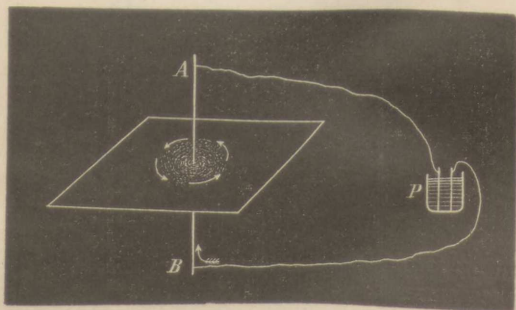


Fig. 73.

skulde bevæge sig rundt i modsat Retning, vil der ikke ske andet, end at Naalen stiller sig som Tangent til en kredsformet Kurve omkring Lederen. Det var dette, Ørsted mente, da han beskrev den elektriske

Strøm som virkende »paa en omdrejende Maade« paa Magnetnaalen. Vil man ved Hjælp af Filspaaner undersøge det magnetiske Felt, der omgiver en lige Leder, gennem hvilken der gaar en Strøm, kan man paavise de cirkulære Kraftlinier i Feltet paa følgende Maade: Igennem et Stykke stivt Papir, der er anbragt vandret, stikker man en stiv Kobbertraad (Fig. 73), og strør derefter Jernfilspaaner paa Papiret (som forklaret i Pkt. 108). En stærk Strøm fra et Batteri paa tre, fire store Elementer ledes igennem Traaden, og naar man banker let paa Papiret, ville Filspaanerne i Nærheden af Traaden ordne sig i koncentriske Ringe omkring den.

192. En ækvivalent magnetisk Plade. Ampères Sætning. I mange Tilfælde er nedenstaaende Maade at betragte de elektriske Strømmes magnetiske Virkning paa, bekvemmere end den foregaaende. Tage vi et

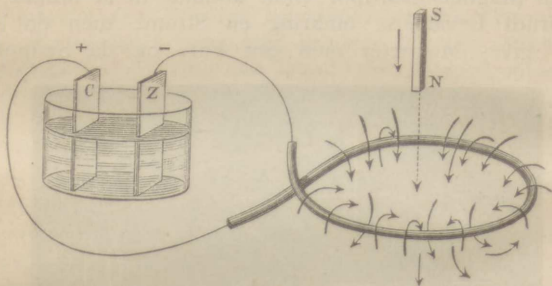


Fig. 74.

Element og forbinde dets Poler med en Ledning, hvoraf et Stykke formes til en lukket Ring, som vist i Fig. 74, viser det sig, at hele den af Ringen begrænsede Del af Rummet har magnetiske Egenskaber. Paa Tegningen er Strømmen tænkt gaaende gennem Ledningen, set ovenfra, i samme Retning som Urvisernes Gang; en Mand, der tænkes at svømme rundt i Kredsløbet og stedse ser ind imod Centrum, vil have sin venstre Side

nedad. Efter Ampères Regel vil en Nordpol altsaa blive dreven nedad gennem Ringen, medens en Sydpol vil blive dreven opad. Rummet, der omsluttet af den kredsformede Leder, optræder i Virkeligheden som en magnetisk Plade (se Pkt. 107), hvis opadvendte Flade har Sydmagnetisme, medens den nedadvendte Flade har Nordmagnetisme. Det kan som en almen-gyldig Sætning godtgøres, at et sluttet elektrisk Kredsløb fuldstændig forholder sig som en magnetisk Plade, hvis Omkreds falder sammen med Kredsløbet, og som har en saadan magnetisk Styrke, at Antallet af dens Kraftlinier er det samme som det Antal af Kraftlinier, der skyldes Strømmen i Kredsløbet. Kredsløbet virker paa en Magnet, idet det tiltrækker og frastøder den, og det tiltrækkes og frastødes af Magneten, fuldstændig som dets ækvivalente magnetiske Plade vilde det. Kredsløbet vil ligeledes, naar det anbringes i et magnetisk Felt, blive paavirket af den samme Kraft, som dets ækvivalente magnetiske Plade.

193. Maxwells Regel. Professor Clerk Maxwell har givet følgende smukke Regel for at bestemme den gensidige Paavirkning af et elektrisk Kredsløb og en Magnet, der er anbragt i Nærheden af det. Enhver Del af Kredsløbet paavirkes af en Kraft, der vil søge at bevæge den i en saadan Retning, at den kommer til at indeslutte det størst mulige Antal Kraftlinier. Er Kredsløbet fast, men Magneten bevægelig, vil den Kraft, der virker paa Magneten, ligeledes søge at faa Maksimum af Kraftlinier til at gaa igennem Kredsløbet. (Se endvidere Pkt. 317).

194. De la Rives flydende Element. Ovenstaaende Bemærkninger kunne illustreres ved Hjælp af et lille flydende Element. En Zink- og en Kobberplade fastgøres ved Siden af hinanden til en stor Prop (Fig. 75) og forbindes foroven ved en isoleret Kobbertraad, viklet op som en Ring af flere jævnsides liggende

Vindinger. Korkproppen flyder i en Beholder med fortyndet Svovlsyre. Holdes den ene Pol af en Stangmagnet hen imod Ringen, vil denne blive tiltrukken eller frastødt, eftersom man anvender den ene eller den anden Pol. Det flydende Kredsløb vil opføre sig paa lignende Maade som den i Pkt. 83 omtalte flydende Magnet, med Undtagelse af, at Kredsløbet svarer til en flydende magnetisk Plade. Holdes Magnetens Sydpol mod den Side af Ringen, der virker som en Sydpol

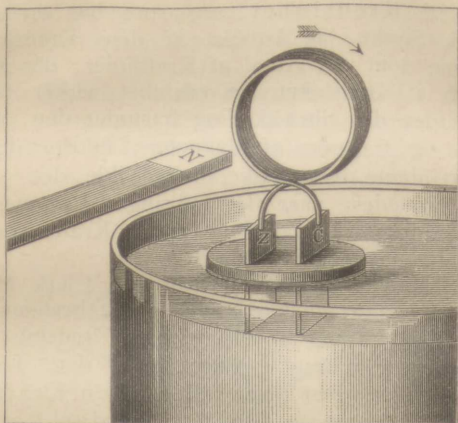


Fig. 75.

(den Side, omkring hvilken Strømmen løber i samme Retning som Urvisernes Gang), vil Ringen frastødes. Stikkes Magneten lige ind i Ringen og holdes roligt, vil Elementet blive stærkt frastødt, vil skyde sig ud over Magneten, flyde bort, dreje sig rundt og vende den Side imod Magneten, der virker som en Nordpol, hvorpaa det vil blive tiltrukket og skyde sig ind over Magneten, indtil det er kommet midt ind paa Magneten, i hvilken Stilling Maksimum af Kraftlinier vil gaa igennem Ringens Areal.

Det kan ligeledes vises, at to Kredsløb, der gennemløbes af elektriske Strømme, tiltrække og frastøde hinanden ligesom to magnetiske Plader.

Det vil blive forklaret i Afsnit XXVI om Elektromagneter, hvorledes et Stykke Jern eller Staal kan magnetiseres ved, at en Strøm gaar igennem en Ledningstraad, der er viklet udenom det.

195. Strømstyrke i magnetisk Maal. Naar en Strøm paavirker en i Nærheden anbragt Magnetpol, vil den Kraft, f , hvormed den virker, være proportional med Strømstyrken, i , og med Magnetpolens Styrke, m , samt med Længden, l , af den anvendte Ledningstraad, og desuden vil den være omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden, r , fra Kredsløbet til Magnetpolen, saa at man har $f = \frac{i \cdot l \cdot m}{r^2}$ Dyn. Er Traaden bøjet i en Cirkel omkring Magnetpolen, er $l = 2 \pi r$ og $f = \frac{2 \pi i}{r} m$ Dyn. Dersom Cirkelns Radius er een Centimeter, og Magnetpolen har Enhed af Styrke (se Pkt. 125), vil den Kraft, der udøves af Strømstyrken i være $\frac{2 \pi i}{1} \cdot 1$ eller $2 \pi i$ Dyn. Skal altsaa en Strøm af Styrken i udøve en Kraft af een Dyn paa en Magnetpol med Enhed af Styrke, maa Strømmen kun gennemløbe $\frac{1}{2 \pi}$ af Cirklen, d: en Del af Omkredsen, der er lig Længden af Radius.

196. Enhed af Strømstyrke. En Strøm har en Styrke af en »absolut« Enhed, naar Strømmen i en Leder paa 1 Cm.s Længde, der er bøjet i en Bue med en Radius paa 1 Cm., udøver en Kraft af en Dyn paa en Magnetpol med Enhed af Styrke, der er anbragt i Centrum af Buen. Den praktiske Enhed, »en Ampère«, er kun $\frac{1}{10}$ af denne teoretiske Enhed. (Se endvidere Pkt. 323).

XVII. Galvanometre.

197. Navnet **Galvanometer** anvendes som Betegnelse for et Instrument, der maaler Styrken af en elektrisk Strøm ved Hjælp af det Udslag, som en Magnetnaal gør, naar Strømmen ledes gennem en Traadrulle omkring Magneten. Det simple Apparat, der blev beskrevet i Pkt. 188, blev benævnt »Galvanoskop« eller Strøm-Viser, og det vilde ikke være korrekt at kalde det »Galvanometer«^{*)} eller Strøm-Maaler, fordi dets Angivelser kun ere kvalitative og ikke kvantitative; Naalens Angivelser give ikke nøjagtig Kendskab til den bestemte Strømstyrke, der gaar igennem Instrumentet. Et godt Galvanometer maa opfylde den væsentlige Betingelse, at dets Aflæsninger virkelig ere Maal for Strømstyrken paa en eller anden bestemt Maade. Det maa ogsaa være tilstrækkelig følsomt til, at de Strømme, der skulle maales, kunne paavirke det. Det Galvanometer, der skal benyttes til at maale meget svage Strømme (f. Eks. en Strøm paa ikke mere end een eller to Milliontedele af en Ampère), vil ikke kunne anvendes til at maale de meget stærke Strømme, som bruges til Frembringelsen af elektrisk Lys. Fremdeles maa man lægge Mærke til, at hvis den Strøm, der skal maales, først er gaaet igennem et Kredsløb med stor Modstand (som f. Eks. nogle Mil Telegraftraad), vil et Galvanometer med en kort Traad og nogle faa Vindinger ikke være til nogen Nytte, men man maa anvende et Galvanometer med mange Vindinger omkring Naalen. Grunden hertil vil senere blive forklaret (Pkt. 352). Det fremgaar heraf, at det er nødvendigt at have forskelligt konstruerede Instrumenter til forskelligt Brug, men de Fordringer, der absolut maa stilles til dem alle, ere, at de skulle give

^{*)} Betegnelsen »Rheoskop« og »Rheometer« anvendes lejlighedsvis om disse Instrumenter. En Strømafbryder kaldes undertiden en »Rheotom« og en Kommutator eller Strømvender, som den, der er vist i Fig. 131—32, kaldes i nogle Bøger en »Rheotrop«, men disse Betegnelser gaa efterhaanden af Brug.

kvantitative Maalinger, og at de skulle være tilstrækkelig følsomme til at kunne paavirkes af de Strømme, der skulle maales.

198. Nobilis astatiske Galvanometer. Det Instrument, der er konstrueret af Nobili, bestaar af et astatisk Naalepar, der er meget let bevægeligt op-hængt, og en med Traad omviklet Elfenbensramme

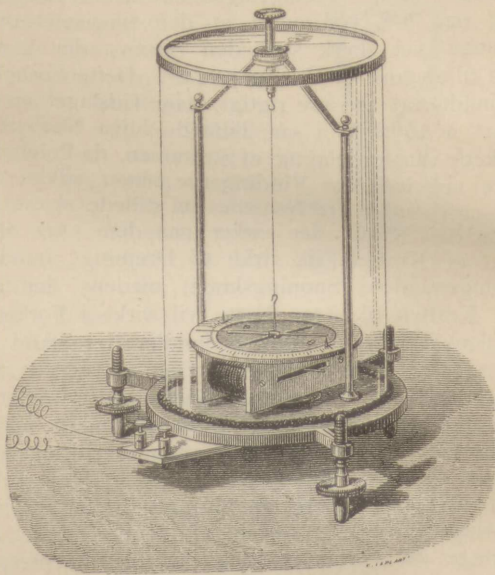


Fig. 76.

(Fig. 76), i hvilken den underste Naal hænger. Det var i lang Tid den mest yndede Form af et følsomt Galvanometer. Naalene i Instrumentet blive ikke paa-virkede af Jordmagnetismen og ville derfor stille sig i den Retning, som Snoningen af Ophængningstraaden bestemmer. Rammen, omkring hvilken Traaden er viklet, maa stilles nøjagtig parallelt med Naalene, og

tre Fodskruer tjene til at indstille Instrumentet vandret. For at forhindre Paavirkningen af Luftstrømme er Apparatet forsynet med en Glasklokke. Naar der sendes en Strøm igennem Traadene, ville Naalene bevæge sig til Højre eller Venstre over en inddelt Cirkel. Ere Udslagene smaa (5: mindre end 10^0 à 15^0), ere de meget nær proportionale med de Strømstyrker, der frembringe dem. Frembringer en Strøm saaledes et Udslag paa 6^0 , ved man, at den tilnærmelsesvis er tre Gange saa stærk som den Strøm, der kun faar Naalen til at gøre et Udslag paa 2^0 . Dette Forhold opfører imidlertid at være rigtigt, naar Udslaget er større end 15^0 à 20^0 , thi i saa Tilfælde blive Naalene ikke paavirkede saa fordelagtigt af Strømmen, da Polerne ikke længere ere indenfor Vindingerne, men stikke ud til Siden, og desuden ere Naalene nu stillede skævt i Forhold til den Kraft, der virker paa dem, saa at kun en Del af Kraften vil virke til Drejning, imod Op-hængningstraadens Snoningskraft, medens den anden Del af Kraften til ingen Nytte vil virke i Forlængelse af Naalens Retning. Man er imidlertid i Stand til at »kalibrere« Galvanometret — det vil sige at undersøge ved Hjælp af særlige Instrumenter eller ved Sammenligning med et Normal-Instrument, hvilken Strømstyrke der svarer til bestemte Udslagsvinkler. Ved man saaledes, at et Udslag paa f. Eks. 32^0 paa et bestemt Galvanometer frembringes af en Strøm paa $\frac{1}{100}$ Ampère, vil en Strøm af denne Styrke altid frembringe det samme Udslag paa Instrumentet, med mindre Snoningskraften eller Styrken af det magnetiske Felt af en eller anden Grund skulde være bleven forandret.

199. Tangent-Galvanometret. Det er umuligt — af de ovenfor nævnte Grunde — at konstruere et Galvanometer, i hvilket den Vinkel (maalt i Grader), som Naalen drejer sig, overalt er proportional med Strømstyrken; men det er muligt at konstruere et

meget simpelt Galvanometer, i hvilket Tangenten*) af Afvigningsvinklen er nøjagtig proportional med Strømstyrken. Fig. 77 viser os en hyppigt anvendt Form af et **Tangent-Galvanometer** eller Tangensboussole. Traadrullen i dette Instrument bestaar af en Ring af tyk Kobbertraad, ti til femten Tommer i Diameter. I Ringens Centrum er meget let bevægelig ophængt en magnetiseret Staalnaal, der ikke er mere end en Tomme lang, og som sædvanligvis bærer en lang Viser af Aluminium. Apparatet indstilles ved at stille Ringen i den magnetiske Meridian, og den lille Naal vil da ligge i Ringens Plan. En meget

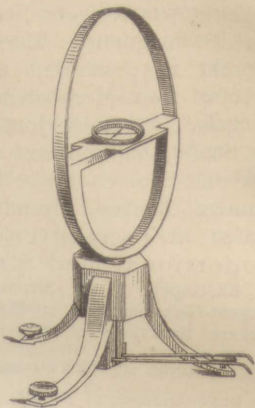


Fig. 77.

vigtig Ting ved dette Apparat er, at Kobberringens Diameter er stor, medens Naalen er forholdsvis meget lille. Feltet, der skyldes Strømmen igennem Ringen, er meget ensformigt i og nær ved Centrum, og Kraftlinierne gaa virkelig der vinkelret paa Ringens Plan**). Dette er imidlertid ikke Tilfældet paa andre Steder af Rummet indenfor Ringen, idet hverken Feltet er ensformigt eller Kraften vinkelret paa Planen, undtagen netop i Ringens Plan og i dens Centrum. Da Naalen er meget lille, ere dens Poler aldrig fjernede langt fra Centret, og ville som en Følge heraf aldrig komme

*) Se Bemærkningen om Beregning af Vinkler Side 110.

**) For at faa et ensformigt Felt foreslog Gaugain at ophænge Naalen i et Punkt af Ringens Akse, der laa i en Afstand fra Centret, lig Halvdelen af Ringens Radius. Det af Helmholtz konstruerede Galvanometer med to parallelle Ringe, der staa symetrisk paa hver Side af Naalen, er bedre; men det bedste er et Galvanometer med tre Ringe, af hvilke den midterste er større i Diameter end de to andre, saaledes at alle tre Ringe ligge i Overfladen af en Kugle, i hvis Centrum den lille Naal er anbragt, da man derved bedst sikrer sig, at Feltet i Centrum er ensformigt.

ind paa Steder, hvor den magnetiske Kraft er uregelmæssig. Hvilken som helst magnetisk Kraft Strømmen i Ringen end udøver paa Naalen, vil Kraften altid være vinkelret paa Ringens Plan og vil derfor staa vinkelret paa den magnetiske Meridian. Vi have imidlertid vist i Punkt 124, at den magnetiske Kraft, som virker vinkelret paa Meridianen og giver Magnetnaalen en Afvigelse, δ , er lig Jordmagnetismens vandrette Kraft paa Stedet, multipliceret med Tangens af Afvigningsvinklen. Som en Følge heraf vil Strømmen, som gaar igennem Ringen, frembringe et saadant Udslag af Naalen, at Tangenten til Afvigningsvinklen er proportional med Strømstyrken.

Eksempel. Giver Strømmen fra et Batteri Naalen paa et Tangent-Galvanometer et Udslag paa 15^0 , medens et andet stærkere Batteri giver den et Udslag paa 30^0 , saa forholde Strømstyrkerne sig ikke som $\frac{15}{30}$ men som $\frac{\text{tg } 15^0}{\text{tg } 30^0}$. Disse Værdier kunne udtages af Tabellen over naturlige Tangenter (se S. 111), og man vil da se, at Forholdet mellem de to Batteriers Strømstyrker er som $\frac{0.268}{0.577}$ eller omtrent som $\frac{10}{22}$.

Dette kan i al Almindelighed udtrykkes saaledes: Dersom Strømmen C frembringer Udslaget δ , og Strømmen C' Udslaget δ' , har man $\frac{C}{C'} = \frac{\text{tg } \delta}{\text{tg } \delta'}$.

For at undgaa Brugen af en Tangenttabel er Instrumentets Skala undertiden inddelt i Tangent-Vær-

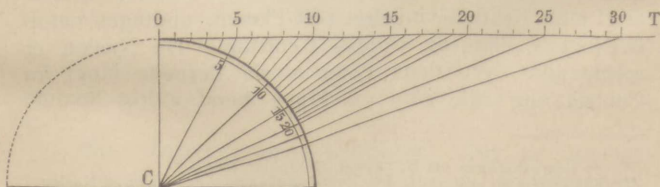


Fig. 78.

dierne i Stedet for i Buegrader. Trækkes en Tangent O T til en Cirkel, som i Fig. 78, og afsættes langs

denne Linie fra O lige store Dele, og trækkes derpaa Linier fra Delingspunkterne til Centret, saa vil Cirklen derved blive delt i Stykker, der i Nærheden af O næsten ere lige store, men som blive mindre og mindre, efterhaanden som de ligge fjernere fra O. Disse ulige store Dele svare til lige store Forøgelser af Tangenterne. Er Skalaen inddelt paa denne Maade, ere Aflesningerne proportionale med Tangenterne. Det er imidlertid vanskeligere at forsyne en Bue med en nøjagtig Tangent-Inddeling end at inddele den i lige store Grader, og derfor bruges Tangent-Inddelinger ikke, naar der fordres stor Nøjagtighed, skønt den er meget bekvem.

200. Absolut Maal for Strøm ved Tangent-Galvanometret.

Strømstyrken kan bestemmes i »absolute« Enheder ved Hjælp af Tangent-Galvanometret, dersom Instrumentets »Konstant« er bekendt. Tangens af Afvigningsvinklen er (se Pkt. 124) Forholdet mellem den magnetiske Kraft, der skyldes Strømmen, og Jordmagnetismens vandrette Komposant. Begge disse Kræfter virke paa Naalen og ere begge lige afhængige af Naalens magnetiske Moment, som vi derfor i denne Sammenhæng ikke behøve at kende. Vi vide imidlertid, at den Kraft, der udøves af Strømmen i Ringens Centrum, er proportional men Jordmagnetismens vandrette Kraft, multipliceret med Tangens af Afvigningsvinklen; disse to Værdier kunne udtages af Tabeller, og ved Hjælp af dem beregne vi Strømmens absolute Værdi paa følgende Maade: Kaldes Galvanometerringens Radius (maalt i Centimeter) r , vil Ringens Længde (dersom den kun bestaar af een Vinding) være $2\pi r$. Afstanden fra Centret til ethvert Punkt i Ringen er selvfølgelig r . I Henhold til Definitionen paa Enheden af Strømstyrke (Pkt. 196) have vi

$$i \cdot \frac{2\pi r}{r^2} = \text{Kraften (i Dyn) i Centret}$$

$$\text{eller } i \cdot \frac{2\pi}{r} = H \operatorname{tg} \delta,$$

$$\text{hvoraf følger } i = \frac{r}{2\pi} \cdot H \operatorname{tg} \delta.$$

Størrelsen $\frac{r}{2\pi}$ kaldes Galvanometrets »Konstant«. Vi faa derfor Værdien af Strømstyrken udtrykt i absolute (elektromagne-

tiske) Enheder *) ved at multiplicere Galvanometerkonstanten med Stedets vandrette magnetiske Kraft og Tangens af Afvigningsvinklen. Tangent-Galvanometret konstrueres undertiden med flere

Vindinger Traad, og Konstanten er i saa Tilfælde $\frac{r}{2\pi n}$, hvor n er Antallet af Vindinger i Ringen.

Anm. **Ampèremeter** (Am-Meter). Ayrton og Perry have konstrueret nogle Galvanometre til Brug ved elektriske Lysanlæg, der ved en Viser, fastgjort til en Magnetaal, angiver Strømstyrken i Ampère (Pkt. 323). I disse Instrumenter, der ere transportable og aperiodiske **), er Naalen anbragt mellem Polerne af en kraftig permanent Magnet, der give Naalen dens Retningsevne og ophæve Jordmagnetismens Virkning paa den. Ved en særlig Konstruktion af Polstykkerne, Naalen og Vindingerne bliver Udslaget proportionalt med Strømstyrken. Vindingerne ere inddelte i ti Afdelinger, som kunne forbindes enten i »Række« eller i »Parallelforbindelse« ved at dreje paa en særegen Strømvender (Kommutator), og derved er man i Stand til at kontrollere Instrumentets Angivelser med et almindeligt Element. Disse Ampèremetre laves med faa Vindinger og meget ringe Modstand. Ayrton og Perry have paa lignende Maade lavet Voltmetre (se Pkt. 360 d) med mange Vindinger og stor Modstand.

201. Sinus-Galvanometer. Manglen ved det ovenfor beskrevne Tangentgalvanometer er navnlig, at det ikke er særlig følsomt, fordi Ringen nødvendigvis er meget stor i Forhold til Naalen og derfor langt fra den.

Et Galvanometer med en mindre Ring og større Naal kan ikke anvendes som Tangent-Galvanometer, skønt det vilde være mere følsomt. Et hvilket som helst følsomt Galvanometer, i hvilket Jordmagnetismen giver Naalen dens Retning, kan imidlertid benyttes som **Sinus-Galvanometer**, forudsat, at Rammen, paa hvilken Traaden er viklet op, kan drejes rundt om en Midter-Akse. Er Instrumentet saaledes indrettet, kan Strømstyrken maales paa følgende Maade: Ringen stilles først parallelt med Naalen (c: i den magnetiske Meridian), hvorpaa Strømmen ledes igennem Ringen, og Naalen gør derved et Udslag. Ringen drejes derefter samme Vej som Naalens Udslag, og er den drejet en tilstrækkelig stor Vinkel, vil den indhente Naalen og igen være parallel med den. I denne Stilling ville to

*) Den praktiske Enhed for Strømstyrke kalde vi »en Ampère«. Den er $\frac{1}{10}$ af den »absolute« Enhed i Centimeter-Gram-Sekund-Systemet (se Pkt. 196 og 323).

**) Et Galvanometer kaldes aperiodisk, paa engelsk dead-beat, naar Naalen indtager sin Ligevægtsstilling uden at svinge frem og tilbage. O. A.

Kræfter virke paa Naalen: Jordmagnetismens Retningskraft, der virker langs den magnetiske Meridian, og den Kraft, der skyldes Strømmen igennem Ringen, og som søger at stille Naalen vinkelret paa Ringens Retning; der opstaar med andre Ord et »Kraftpar«, som nøjagtigt holder Ligevægt mod det »Kraftpar«, der skyldes Jordens Magnetisme. I Afsnittet om Lovene for magnetisk Kraft (Pkt. 123) have vi set, at naar en Magnetnaal gør et Udslag, er Kraftparrets »Moment« proportionalt med Sinus af Udslagsvinklen, og følgelig vil i Sinus-Galvanometret, naar Ringen er drejet saaledes, at den atter staar parallelt med Naalen, Strømstyrken i Ringen være proportional med Sinus af den Vinkel, Ringen er bleven drejet*).

202. Spejl-Galvanometer. Har man Brug for et meget fintfølede Galvanometer, maa de bevægelige Dele gøres meget lette og smaa. For at man kan aflæse en meget lille Naals Udslag, maa den forsynes med en eller anden Indeks, og, som vi have set, forsynes ogsaa den korte Naal i Tangent-Galvanometret med en fin, stiv Viser af Aluminium. Langt bedre er det imidlertid til Naalen at fastgøre et meget let Spejl af forsolvet Glas, ved Hjælp af hvilket en Lysstraale kan kastes tilbage paa en Skala, saa at selv den mindste Bevægelse af Naalen bliver forstørret og gjort synlig. Spejl-Galvanometret, opfundet af Sir Wm. Thomson til Signalering gennem undersøiske Kabler, er en udmærket Type paa denne Art af Instrumenter.

*) For at kunne sammenligne Styrken af to Strømme maa man atter her tage sin Tilflugt til en Tabel over naturlige Sinusser (se Side 111). Er Ringen ved en Strøm, C , bleven drejet en Vinkel paa θ Grader, og ved en anden Strøm, C^1 , en Vinkel paa θ^1 Grader, staa de to Strømstyrker i samme Forhold til hinanden, som Sinus af Udslagsvinklerne, 2:

$$\frac{C}{C^1} = \frac{\sin \theta}{\sin \theta^1}$$

Det er selvfølgelig forudsat, at Instrumentet er forsynet med Skala, paa hvilken man kan aflæse den Vinkel, Ringen er bleven drejet. Skulle Maalingerne ikke være særlig nøjagtige, kan man ogsaa her, i Stedet for at dele Cirklen i Grader, dele den i Stykker, der svare til lige store Tilvækster af Sinus.

Læseren bør forsøge denne Maade at dele en Cirkel paa, naar han har læst Bemærkningerne om Maaling af Vinkler Side 109 ff.

Fig. 79 gengiver Apparatet i sine almindelige Træk. Det egentlige Galvanometer hviler paa tre Fodskruer, ved Hjælp af hvilke det kan indstilles. Magneten bestaar af eet eller flere Smaastykker af Staal, — sædvanlig Urfjeder, — der ere fastgjorte til Bagsiden af et let, forsølvet Hulspejl af Glas, omtrent saa stort som en 10-Øre. Spejlet er ophængt i et enkelt Silkespind inden i Traadrullen, og en buet Mag-

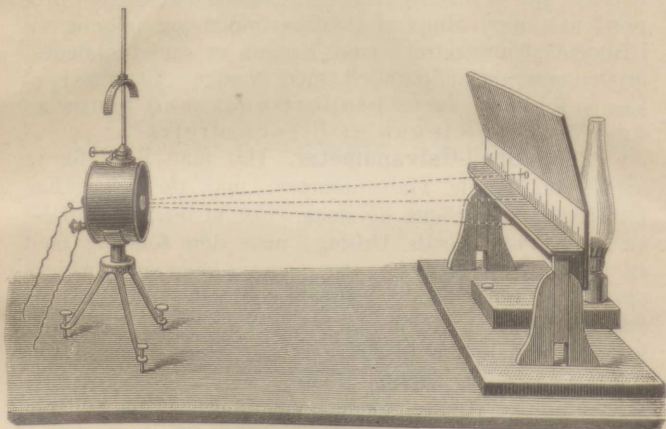


Fig. 79.

net, der tjener til at modvirke Jordmagnetismen eller til at indstille Naalen, er anbragt paa en lodret Stang oven over Spejlet. Lige over for Galvanometret er Skalaen opstillet. En Lysstraale fra en Stenolielampe gaar gennem en snæver Spalte under Skalaen, træffer Spejlet og bliver derfra kastet tilbage paa Skalaen. Spejlet er lidt hulslebet, hvorfor det tilbagekastede Lys vil vise sig som en skarpt begrænset Plet paa Skalaen, hvis dennes Afstand er afpasset efter Spejlets Brændvidde*).

*) Et hulslebet Spejl er dyrt, og man kan godt anvende et plant Spejl, foran hvilket der opstilles en Linse med passende Brændvidde. Et for-

Ved Hjælp af Retnings-Magneten er man i Stand til at lade den tilbagekastede Lysplet falde sammen med Nulpunktet paa Skalaens Midte. Den svageste Strøm, der gaar igennem Galvanometret, vil bevirke, at Lyspletten bevæger sig til Højre eller Venstre. Den overmaade svage Strøm, der frembringes ved at dyppe Spidserne af en Kobbertraad og af en Staalnaal (forbundne ved Ledninger med Galvanometrets Klem-skruer) i en Draabe salt Vand, vil kunne faa Lyspletten til at svinge tværs over Skalaen. Ved Hjælp af et kraftigt Kalklys vil Naalens Bevægelser kunne vises for tusinde Mennesker paa een Gang. Til særlig fine Maa-linger, kan man anvende et astatisk Naalepar, hvis Naale ere omgivne hver af sin Traadrulle, medens Spej-let er fastgjort til den ene af Naalene.

Stærke Strømme maa ikke sendes igennem meget fine Galvanometre, thi selv om de ikke blive ødelagte, ville Naalens Udslag være for store til at kunne give nøjagtige Maalinger. Man maa da i saadanne Tilfælde forbinde Galvanometret med en »Shunt« γ : en Traad-rulle, der er indsat saaledes, at den største Del af Strømmen gaar igennem denne, udenom Galvanometret, og kun en ringe Del af Strømmen sendes igennem Galvanometrets Vindinger. Modstanden i Shunten maa staa i et bekendt Forhold til Modstanden i Instrumentet, i Overensstemmelse med de i Pkt. 353 givne Regler for grendelte Ledere.

203. Differential-Galvanometer. For at kunne sammenligne to Strømme anvendes undertiden et Galvanometer, i hvilket Traadrullerne have to særskilte Traade, viklete ved Siden af hinanden. Sendes to lige stærke Strømme i modsat Retning gennem hver sin af disse Traade, vil Naalen blive staaende

sølvet Dækglass, af dem, der bruges til mikroskopiske Præparater, er et fortræffeligt Spejl til dette Brug. Naar der fordres stor Nøjagtighed i Aflesningen, kan man anbringe en fin Traad i Aabningen, hvorigennem Lysstraalen gaar, og Billedet af Traaden vil da vise sig som en mørk Linie i Lyspletten paa Skalaen.

rolig. Ere Strømmene derimod ulige stærke, vil Naalen blive bevæget af den stærkeste af dem, med en Kraft, der svarer til Differentsten mellem de to Strømmes Styrke.

204. Ballistisk Galvanometer. For at kunne maale Styrken af Strømme, som kun vare et Øjeblik, benyttes Galvanometre, hvis Naal har en forholdsvis lang Svingningstid*). Dette er Tilfældet med en lang og tung Naal, eller med en Naal, der er gjort tung ved at indesluttet i et Blyhylster. Idet Naalen udfører sin langsomme Svingning, ligesom opsummerer den de forskellige Impulser, som en øjeblikkelig Strøm bibringer den.

Sinus af det halve af den første Udslagsvinkel er proportional med den Mængde Elektricitet, som er gaaet igennem Vindingerne. Ladningen i en Kondensator vil saaledes kunne maales ved at udlade den gennem et ballistisk Galvanometer.

XVIII. Strømmens kemiske Virkninger; Voltametre.

205. I Forbindelse med de inden i et Batteris Elementer foregaaende kemiske Virkninger, som altid ledsage Frembringelsen af en Strøm, opstaar der ogsaa kemiske Virkninger udenfor Batteriet, naar Strømmen ledes igennem visse Vædske. Vædskerne kunne deles i tre Klasser: 1) de, som slet ikke lede, som Terpentint og mange Olier, navnlig Petroleum; 2) de, som lede uden at blive adskilte, f. Eks. Kviksølv og andre flydende Metaller, der lede Strømmen paa samme Maade som de faste Metaller; 3) de, som adskilles, naar de lede en Strøm, nemlig fortyndede Syrer, Opløsninger af Metalsalte og visse faste, sammensatte Stoffer i smeltet Tilstand.

*) Svingningstiden er den Tid, Naalen bruger til en enkelt Svingning.

206. Vands Adskillelse. I Aaret 1800 opdagede Carlisle og Nicholson, at en elektrisk Strøm kunde ledes gennem Vand, og at den derved adskilte (dekomponerede) en Del af Vædsken i de Luftarter, hvoraf den er sammensat. De to Luftarter viste sig som Bobler paa Enderne af Ledningerne, der førte Strømmen ind i og ud af Vædsken, idet Iltboblerne viste sig paa det Sted, hvor Strømmen gik ind i Vædsken, medens Brintboblerne opstod, hvor den gik ud af Vædsken. Man opdagede snart, at en stor Mængde andre Vædsker, især fortyndede Syrer og Opløsninger af Metalsalte, paa lignende Maade bleve adskilte, naar en Strøm gik igennem dem.

207. Elektrolyse. Faraday gav det, der foregaar, naar man adskiller en Vædske ved Hjælp af en elektrisk Strøm, Navn af **Elektrolyse** (3: elektrisk Analyse), og de Stoffer, som paa denne Maade kunne adskilles eller »elektrolyseres«, kaldte han **Elektrolyter**.

Traadenderne, der føre fra og til Batteriet, kaldes **Elektroder**, og for at skelne dem fra hinanden, benævnes den, gennem hvilken Strømmen træder ind, **Anoden**, medens den, gennem hvilken Strømmen gaar ud af Vædsken, kaldes **Kathoden**. Den Beholder, i hvilken en Vædske anbringes for at elektrolyseres, kaldes en elektrolytisk Celle.

208. Elektrolyse af Vand. Idet vi igen vende tilbage til Adskillelsen af Vand, maa vi gøre den Bemærkning, at rent Vand ikke synes at lede, men dets Modstand formindskes i høj Grad ved at tilsætte nogle faa Draaber Svovl- eller Saltsyre. Det Apparat, der er fremstillet i Fig. 80, benyttes til Adskillelse af Vand. Polerne af et Par Bunsenske Elementer forbindes med Klemstrimlerne f og f^1 og derigennem med to Platinstrimler, Elektroderne, som ere anbragte i en Beholder, A, der er fyldt med syreholdigt Vand. To Rør, h og o , der ere lukkede i den ene Ende, og som ere fyldte med Vand, anbringes over hver sin Elektrode, og tjene til at opsamle de ved disse udviklede Luft-

arter. Platin egner sig bedre end alle andre Metaller, saasom Kobber eller Jern, til Elektroder, fordi det iltes vanskeligere og ikke angribes af nogen som helst (enkelt) Syre. Det viser sig, at der udvikles meget nær to Gange saa meget Brint (i Rumfang) ved

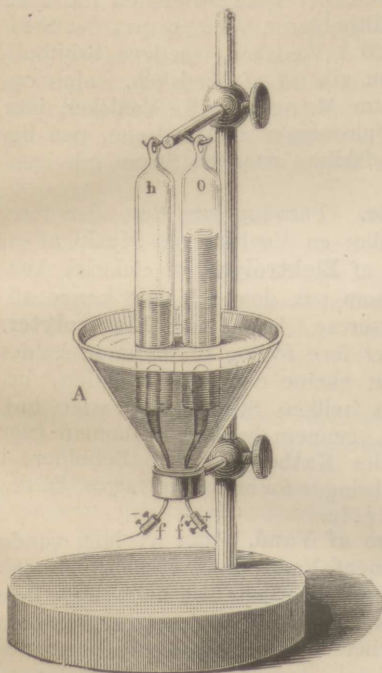


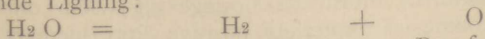
Fig. 80.

Kathoden som Ilt ved Anoden. Dette stemmer med Vandets kendte, kemiske Sammensætning, idet Vand kan fremstilles ved at lade to Rumfang Brint forbinde sig med eet Rumfang Ilt. Forholdet mellem de udviklede Luftarter er imidlertid ikke nøjagtigt to til een; thi for det første indsuges en meget ringe Del af Brinten af Platinets Overflade, og dernæst udskilles en noget større Del af Ilt — omtrent 1 % — i den tættere, allotrope Form, som kaldes Ozon; denne indtager et mindre Rumfang

end Ilt, og er desuden svagt opløselig i Vand. Naar der er bleven udviklet en tilstrækkelig Mængde af de to Luftarter, kan man prøve dem, idet Brinten vil vise sig at kunne brænde, medens Ilt vil bevirke, at en glødende Spaan bryder i Brand. Opsamles de to

Luftarter i samme Glas, vil Blandingen, den saakaldte Knaldluft, have de vel bekendte eskplosive Egenskaber.

Den kemiske Adskillelse kan udtrykkes ved følgende Ligning:



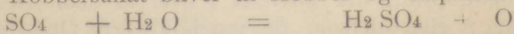
Vand giver 2 Rumfang Brint og 1 Rumfang Ilt.

209. Elektrolyse af Kobbersulfat. Vi ville derpaa, som et andet Eksempel, omtale Elektrolysen af en Opløsning af det vel bekendte »Kobbervitriol« (Blaasten) eller Kobbersulfat. Opløses nogle faa Krystaller af dette Stof i Vand, faar man en blaa Vædske, som ved Anvendelse af Elektroder af Platin let elektrolyseres af Strømmen fra et almindeligt Element. Den kemiske Formel for Kobbersulfat er CuSO_4 . Ved Elektrolysen skilles det ad i rent Kobber, der udfældes paa Kathoden, og »Sulphion«, en Forbindelse af Svovl og Ilt, der let adskilles, og som sammen med Vandet vil danne Svovlsyre og Ilt. Ilten frigøres som Bobler ved Anoden.

De kemiske Virkninger kunne udtrykkes saaledes:



Kobbersulfat bliver til Kobber og Sulphion.



Sulphion og Vand frembringe Svovlsyre og Ilt.

Paa denne Maade vil der, saa længe Strømmen vedvarer, bestandig udfældes Kobber paa Kathoden, medens Vædsken bliver mere og mere syreholdig. Anvender man Kobberelektroder i Stedet for Platinelektroder, vil der ikke udvikles Ilt ved Anoden, men Kobberanoden vil opløses i Vædsken, nøjagtig i samme Forhold, som Kobberet i Vædsken udskilles paa Kathoden.

210. Anioner og Kathioner. Atomerne, som saaledes adskilles fra hverandre, og som usynligt føres af Strømmen til Elektroderne, hvor de udskilles, kunne øjensynlig deles i to Klasser: en Slags, som gaar til Anoden, og en anden Slags, som gaar til Kathoden.

Faraday gav disse vandrende Atomer Navn af **Ioner**, og de, der gaa til Anoden, kaldte han **Anioner**, medens de, der gaa til Kathoden, kaldtes **Kathioner**. De først nævnte betragtes undertiden som værende »elektronegative«, fordi de bevæge sig, som om de bleve tiltrukne af Batteriets positive Pol, medens de sidst nævnte betragtes som »elektro-positive«. Brint og Metallerne ere Kathioner, idet de bevæge sig i samme Retning, som Strømmen antages at have, og udskilles der, hvor Strømmen forlader den elektrolytiske Celle. Ilt, Klor o. s. v. ere Anioner. Naar f. Ex Klortin elektrolyseres, udfældes metallisk Tin paa Kathoden, og Klor udvikles ved Anoden.

211. Elektrolysens kvantitative Love.

I. Omfanget af den kemiske Virkning er det samme paa ethvert Sted i Kredsløbet. Indsættes to eller flere elektrolytiske Celler paa forskellige Steder i et Kredsløb, vil Omfanget af den kemiske Virkning være det samme i dem alle, paa Grund af, at den samme Mængde Elektricitet passerer hvert Punkt i Kredsløbet i samme Tidsrum. Indeholde alle Cellerne syreholdigt Vand, vil f. Eks. den Mængde Brint, der udvikles i hver af dem, være den samme; eller dersom de indeholde en Opløsning af Kobbersulfat, vil der udfældes lige store Mængder Kobber i hver af dem. Findes der i nogle Celler syreholdigt Vand og i andre en Opløsning af Kobbersulfat, vil Vægten af Brinten ikke være lige saa stor som Vægten af Kobberet, men Vægtmængderne ville være kemiske Ækvivalenter for hinanden.

II. Mængden af Ioner, der ere frigjorte ved en Elektrode i en given Tid, er proportional med Strømstyrken. En Strøm paa 2 Ampère vil frembringe en kemisk Udskillelse af dobbelt saa meget som en Strøm paa 1 Ampère i samme Tid.

III. Vægten af de Ioner, der ere frigjorte ved en Elektrode i et Sekund, er lig Strømstyrken, multipliceret med Ionernes elek-

tro-kemiske Ækvivalent. Ved Forsøg har man fundet, at naar 1 Coulomb Elektricitet gaar igennem Vand, udskilles der 0.000 010 352 Gram *) Brint, og som en Følge heraf vil en Strøm paa C Ampère udskille C . 0.000 010 352 Gram Brint pr. Sekund. Størrelsen 0.000 010 352 kaldes Brintens »elektro-kemiske Ækvivalent«.

Andre Stoffers »elektro-kemiske Ækvivalent« **) kan let beregnes, naar deres »kemiske Ækvivalent« kendes. Det kemiske Ækvivalent for Kobber er saaledes 31.5, og ved at multiplicere dette Tal med 0.000 010 352 faa vi Kobberets elektro-kemiske Ækvivalent = 0.000 326 1 (Gram).

212. Tabel over elektro-kemiske Ækvivalenter o. s. v.

	Atom- Vægt.	Gyl- dig- hed.	Kemisk Ækviva- lent.	Elektro-kemisk Ækvivalent. (Grm.pr.Coulomb.)
Elektropositive:				
Brint.....	1.0	1	1	0.000 010 352
Kalium.....	39.1	1	39.1	0.000 404 7
Natrium.....	23.0	1	23.0	0.000 238 1
Guld.....	196.6	3	65.5	0.000 678 0
Sølv.....	108.0	1	108.0	0.001 118 0
Kobber (Tveilte)..	63.0	2	31.5	0.000 326 1
— (Forilte) ..	63.0	1	63.0	0.000 652 2
Kviksølv (Tveilte)	200.0	2	100.0	0.001 035 1
— (Forilte)	200.0	1	200.0	0.002 070 2
Tin (Tveilte).....	118.0	4	29.5	0.000 305 4
— (Forilte).....	118.0	2	59.0	0.000 610 8
Jern (Tveilte)	56.0	3	18.6	0.000 193 2
— (Forilte)	56.0	2	28.0	0.000 289 8
Nikkel.....	59.0	2	29.5	0.000 305 4
Zink.....	65.0	2	32.5	0.000 336 4
Bly.....	207.0	2	103.5	0.001 068 4
Elektronegative:				
Ilt.....	16.0	2	8.0	0.000 082 8
Klor.....	35.5	1	35.5	0.000 367 5
Jod.....	127.0	1	127.0	0.001 314 7
Brom.....	80.0	1	80.0	0.000 828 2
Kvælstof.....	14.0	3	4.3	0.000 044 5

*) Lord Rayleigh har faaet 0.000 010 352; Mascart 0.000 010 415; F. og W. Kohlrausch 0.000 010 354.

**) Det kemiske »Ækvivalent« maa ikke forveksles med »Atom-Vægt«.

213. For at finde den Vægt af et hvilket som helst Grundstof, som en Strøm af bekendt Styrke udskiller af en elektrolytisk Opløsning i en kendt Tid, kan man benytte sig af nedenstaaende Ligning, hvor C er Strømstyrken (i Ampère), t Tiden (i Sekunder), z Stoffets elektro-kemiske Ækvivalent og w Vægten af det udskilte Grundstof:

$$w = z C t$$

o: udtrykt i Ord: Vægten (i Gram) af et Grundstof, udviklet ved Elektrolyse, findes ved at multiplicere dets elektro-kemiske Ækvivalent med Strømstyrken (i Ampère) og Tiden (i Sekunder), i hvilken Strømmen har virket.

Eksempel. Strømmen fra 5 Daniells Elementer er i ti Minutter gaaet igennem to elektrolytiske Celler, af hvilke den ene indeholder en Sølvopløsning, den anden syreholdigt Vand. Et i Kredsløbet indsat Tangent-Galvanometer viser, at Strømstyrken er 0.5 Ampère. Vægten af det udfældede Sølv vil være $0.001118 \cdot 0.5 \cdot 10 \cdot 60 = 0.3354$ Gram, medens Vægten af den i den anden Celle udviklede Brint vil være $0.000010352 \cdot 0.5 \cdot 10 \cdot 60 = 0.0031056$ Gram.

214. Voltametre. Den anden af de ovenfor nævnte Love, at Vægtmængden af de Ioner, der udskilles i en given Tid, er proportional med Strømstyrken, kaldes undertiden, efter dens Opdager, Faradays Lov. Faraday paaviste, at Loven sætter os i Stand til at maale Strømstyrken ved kemiske Midler, og han kaldte en elektrolytisk Celle, der er indrettet til at bestemme Styrken af en elektrisk Strøm ved dens kemiske Virkning, et **Voltameter**.

215. Vand-Voltametre. Det Apparat, der er vist i Fig. 80, kan passende kaldes et Vand-Voltameter, naar Rørene, der opsamle Luftarterne, blive inddelte

ten. Kobberets Atomvægt er 63, det vil sige, at dets Atomere ere 63 Gange tungere end Brintens. Men i kemiske Forbindelser erstatter eet Atom Kobber to Atomer Brint eller gælder for to Atomer Brint; derfor gælder $\frac{63}{2}$ eller 31.5 Vægtdele Kobber det samme som 1 Vægtdele Brint.

I alle Tilfælde er det kemiske »Ækvivalent» Brøken $\frac{\text{Atomvægten}}{\text{Gyldigheden}}$. Gyldighed kaldes ogsaa Valens. Omstaaende Tabel giver de nødvendige Oplysninger.

i Rumfang, saa at man kan maale de Luftmængder, der udvikles. Vægten af hver Kub. Cm. Brint (ved 0°C og 760 Mm. Tryk) er 0.000 089 6 Gram, og følgende vil man, ved at aflæse hvor mange Kub. Cm. Brint, en Strøm af ukendt Styrke har udviklet i en given Tid, kunne beregne Strømstyrken ved først at omsætte Rumfang til Vægt og derpaa dividere med det elektro-kemiske Ækvivalent og Tiden. Hver Coulomb Elektricitet udvikler ved at gaa igennem Vand 0.1157 Kub. Cm. Brint og 0.0579 Kub. Cm. Ilt. Der- som disse Luftarter udvikles i samme Beholder, vil der blive udviklet 0.1736 Kub. Cm. Knaldluft for hver Coulomb Elektricitet. For at adskille 9 Gram Vand, hvorved der udvikles 1 Gram Brint og 8 Gram Ilt, behøves 96 600 Coulomb.

216. Kobber- og Sølv-Voltametre. Elektrolyseres Kobbersulfat imellem to Kobberelektroder, vil, som ovenfor omtalt, Anoden langsomt opløses, medens der udfældes en tilsvarende Mængde Kobber paa Kathodens Overflade. En Coulomb Elektricitet vil udfælde 0.000 326 1 Gram, og for at udfælde 1 Gram skulle 3066 Coulomb passere Elektroderne. En Strøm paa een Ampère udfælder i en Time 1.174 Gram Kobber eller 4.025 Gram Sølv.

Vejes en af Elektroderne før og efter Strømmen er gaaet igennem den, vil Tabet (eller Tilvæksten) være proportionalt med den Mængde Elektricitet, der har gennemstrømmet Vædsken. I 1879 foreslog Opfinderen Edison at anvende denne Metode for at maale den Mængde Elektricitet, der er benyttet i Husene til elektrisk Belysning, idet der i hvert Hus blev indsat et lille Kobber-Voltameter i Ledningen for at tjene som Elektricitetsmaaler. En Mængde forskellige Slags Coulomb metre ere blevne foreslaaede, forsynede med Urværk-Tællemaskiner, roterende Papirruller med Skrivestift eller andre mekaniske Konstruktioner, der skulle opsummere den hele Mængde Elektricitet, der er forbrugt.

217. Sammenligning mellem Voltametre og Galvanometre. Af ovenstaaende fremgaar det, at baade Galvanometre og Voltametre ere bestemte til at maale Strømstyrke, de først nævnte ved magnetiske, de sidst nævnte ved kemiske Midler. Faraday beviste, at en Strøms magnetiske og kemiske Virkninger ere proportionale med hinanden. Galvanometret angiver imidlertid ved Naalens Stilling Strømstyrken i et hvilket som helst Øjeblik og dens Forandringer fra det ene Øjeblik til det andet. I Voltametret derimod vil en Strøm af vekslende Styrke udvikle Luftboblerne

eller frigøre Kobberatomerne hurtigere i det ene Øjeblik, langsommere i det næste, men alle de vekslende Mængder ville simpelthen blive adderede sammen til en samlet Ydelse. Voltametret giver os i Virkeligheden Strømmens Tids-Sum («Tids-Integral»). Det siger os, hvor stor en Mængde Elektricitet, der er gaaet igennem det under Forsøget, og ikke hvor stærk Strømmen har været i et hvilket som helst Øjeblik.

218. Kemisk Prøve for svage Strømme. En meget svag Strøm er tilstrækkelig til at frembringe en kendelig Forandring i visse kemiske Stoffer. Opløses nogle faa Krystaller af det hvide Salt, Jodkalium, i Vand, og tilsættes en Smule Stivelse-Klister, faar man derved en meget følsom Elektrolyt, som farves indigoblaa ved Anoden, naar der gaar en meget svag Strøm igennem den. Ved Saltets Adskillelse udvikles Jod ved Anoden, som, idet det virker paa Stivelsen, danner en farvet Forbindelse. En bekvem Maade at undersøge den Farveskiftning paa, som Strømmen frembringer, er at lægge hvidt Klatpapir, dyppet i ovennævnte Opløsning, paa Kathoden, og derpaa berøre det med Anoden. En Opløsning af gult Cyanjernkalium (Blodludsalt) frembringer paa lignende Maade ved at elektrolyseres den velbekendte Farve Berlinerblaat. Bain foreslog at benytte dette i en kemisk Skrive-Telegraf, idet kortvarige og langvarige Strømme, der bleve sendte langs Linien fra et Batteri, bleve optegnede som kortere eller længere blaa Mærker paa en Strimmel præpareret Papir, der ved Hjælp af et Urværk førtes under Enden af den positive Ledningstraad. — Faraday viste, at den kemiske Farveskiftning af Papir, der var fugtet med en Opløsning af Jodkaliumklister, blev frembragt af alle forskellige Arter Elektricitet — Gnidnings-, Volta-, thermo-elektrisk og magneto-elektrisk — ja selv den, der frembringes af den elektriske Rokke og den elektriske Aal, og han benyttede den

kemiske Prøve som et Bevis for Indentiteten af de forskellige Arter Elektricitet.

219. Indre og ydre Virkninger. Det er tidligere anført, at den kemiske Virkning inden i Batteriets Elementer er proportional med Strømstyrken, og Loven (1) i Pkt. 211 vil derfor kunne anvendes baade paa den Del af Kredsløbet, der er inden i Batteriet og den, der er udenfor det.

Benyttes 3 Daniells Elementer til at adskille Vand i et Voltameter, vil der, naar der udvikles et Gram (11200 Kub. Cm.) Brint og 8 Gram (5600 Kub. Cm.) Ilt i Voltametret, blive udfældet 31.5 Gram Kobber i hvert af Batteriets Elementer, medens der vil blive opløst (idet der ikke tages Hensyn til Tab ved lokal Virkning) 32.5 Gram Zink i hvert Element.

220. Det er derfor klart, at den elektrolytiske Celle er det omvendte af Volta-Elementet. Den kemiske Virksomhed, der foregaar i Volta-Elementet, udvikler Energi-Mængden i den Strøm, der herfra sendes ud i Kredsløbet. I den elektrolytiske Celle udføres derimod et kemisk Arbejde, idet den hertil nødvendige Energi ydes af den elektriske Strøm, som ledes ind i Cellen fra et Batteri eller en anden Elektricitetskilde.

Elektrolysens Teori og nogle Eksempler paa dens Anvendelse vil blive givet i Afsnit XXXVIII om Elektro-Kemi.

XIX. Strømmens fysiske og fysiologiske Virkninger.

221. Molekylære Virkninger. Metalledere undergaa langsomt molekylære Forandringer, naar de underkastes langvarige Paavirkninger af Strømmen. Kobber og Messingtraade blive efterhaanden skøre ved denne Paavirkning. Medens Strømmen gaar igennem Metaltraade, bliver deres Sammenhængskraft forbigaaende forringet, og Elasticitets-Koefficienten viser sig ogsaa at være mindre. Edlund har ment at kunne iagttage en vedvarende Forlængelse af stramme Traade, naar en

Strøm gik igennem dem; men det er endnu ikke bleven tilfredsstillende bevist, at denne Forlængelse er uafhængig af den, der skyldes Traadens Opvarming paa Grund af Modstanden, den gør imod Strømmen.

222. Elektrisk Osmose. Porret lagde Mærke til, at naar en stærk Strøm ledes igennem visse Vædsker, paa samme Maade som naar man elektrolyserer dem, og der anbringes en porøs Væg imellem Elektroderne, vil Strømmen mekanisk føre en Del af Vædsken gennem den porøse Væg, saaledes at Vædskens Overflade kommer til at ligge højere paa den ene Side af denne end paa den anden. Dette Fænomen, der er kendt under Navn af elektrisk Osmose, viser sig tydeligst, naar der anvendes daarligt ledende Vædsker, som Alkohol eller Svovlkulstof. Overførelsen gennem Væggen finder Sted i Strømmens Retning, det vil sige, Vædsken staar højere ved Kathoden end omkring Anoden.

223. Elektrisk Destillation. Vædskers elektriske Destillation staar i nøje Forbindelse med det ovenfor beskrevne Fænomen. Beccaria opdagede, at en elektriceret Vædske fordampede hurtigere end en ikke elektriceret. I et bøjet, lukket Rør med Vædske, der er delt i to Dele, af hvilke den ene er gjort stærk positivt, den anden stærk negativt elektrisk, vil, efter hvad Gernez for nylig har vist, Vædskedele lidt efter lidt gaa over fra den positive til den negative Side. Denne tilsyneladende Destillation skyldes ikke Forskel i Varmegraden, og den afhænger heller ikke af den ydre Overflades Udstrækning, men den fremkommer ved en langsom Kryben af Vædsken langs Glasrørets indre Overflade. Daarlige Ledere, som Terpentin, overføres ikke paa denne Maade.

224. Diaphragma-Strømme. Professor Quincke gjorde den Opdagelse, at der opstaar en elektrisk Strøm i en Vædske, naar den presses igennem en porøs Væg (»et Diaphragma«). Dette Fænomen maa betragtes som det omvendte af elektrisk Osmose. Den E. M. K. veksler med Trykket og med Skillevæggens

Beskaffenhed. Presses Vand ved et Tryk af 1 Atmosfære gennem Svovl, bliver Spændingsforskellen over 9 Volt. Ved Skillevægge af Porcellæn og Blære bliver Forskellen kun henholdsvis 0.35 og 0.01 Volt.

225. Elektro-kapilære Fænomener*). Dersom et vandret Glasrør, hvis Ender ere bøjede til Vejrs, fyldes med fortyndet Syre, og en enkelt Draabe Kviksølv anbringes omtrent i Midten af Røret, vil en Strøm, der gaar igennem Røret, bevirke, at Kviksølvdraaben bevæger sig hen imod den negative Pol. Man antager, at Udviklingen af meget smaa Mængder Luft ved Elektrolyse paa Overfladen, hvor Kviksølvet og Syren mødes, forandrer Overflade-Spændingen meget betydeligt, og at der saaledes frembringes en Bevægelse som

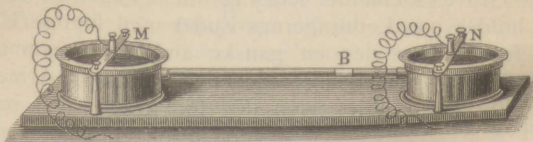


Fig. 81.

Følge af Haarrørskraftens Forandring. Lippmann, Dewar og andre have paa Grundlag heraf konstrueret Haarrørs-Elektrometre, i hvilke Trykket af en Vædskesøjle holder Ligevægt med Elektro-Haarrørskraften, der udvikles i Berøringsfladen mellem Kviksølvet og den fortyndede Syre, idet Elektro-Haarrørskraften nærlig er proportional med den elektromotoriske Kraft, naar denne ikke overstiger een Volt. Fig. 81 forestiller det af Dewar konstruerede Haarrørs-Elektrometer. Et Glasrør er anbragt vandret mellem to Glasbeholdere, der ere forsynede med Huller, i hvilke Enderne af Røret ere fæstede. Røret er fyldt med Kviksølv, men indeholder en enkelt Draabe fortyndet Syre. Enderne af to Platintraade, der tjene som Elek-

*) Kapilær = Haarrør.

troder, ere stukne ned i Kviksølvet i Beholderne. En E. M. K. paa $\frac{1}{300}$ Volt er tilstrækkelig til at frembringe en kendelig Forskydning af Draaben. Retningen, i hvilken Forskydningen foregaar, er afhængig af Strømretningen.

226. Fysiologiske Virkninger. Elektriske Strømme, der gaa igennem vore Lemmer, paavirke Nerverne og frembringe visse smertefulde Fornemmelser og ufrivillige Muskel-Sammentrækninger. Naar en Ladning Elektricitet fra en Leydnerflaske, der er ladet med Elektricitet af høj Spænding, eller fra en Induktionsrulle (Fig. 130) pludselig farer igennem Legemet, bibringes der, selv om Ladningen kun er lille, Nervesystemet et kortvarigt og smerteligt Stød. Naar Strømmen fra nogle faa, stærke Groves Elementer ledes igennem Legemet, ved at man holder paa Ledningernes Ender med fugtige Hænder, frembringer den en ganske anden Fornemmelse, alt andet end behagelig, idet det stikker i Armenes og Skuldrenes Ledde, men den foraarsager dog ingen krampagtige Sammentrækninger, undtagen paa nervøse og svage Mennesker i det Øjeblik, da Kredsløbet sluttes eller brydes. Forskellen mellem de to Tilfælde ligger i, at Legemets Væv frembyde en meget betydelig Modstand, og at Potentialforskellen i det første Tilfælde kan være mange tusinde Volt; som en Følge heraf vil, skønt den Elektricitets-Mængde, der er opsamlet i Leydnerflasken er meget lille, den meget høje E. M. K. være i Stand til paa een Gang at overvinde Modstanden. Skønt Batteriet, naar det arbejder gennem en god Leder, vil kunne udvikle tusinde Gange saa megen Elektricitet i et Sekund, vil det, naar det skal arbejde gennem Legemets store Modstand, ikke kunne føre mere end en lille Brøkdel igennem Legemet paa Grund af Batteriets begrænsede elektromotoriske Kraft.

Efter at Cunæus i 1745 havde opdaget det Stød, Leydnerflasken kan bibringe, ere mange Forsøg blevne udførte. Ludvig XV af Frankrig lod 700 Kartheuser-Munke, der holdt hinanden i Hænderne, faa et Stød

fra et Leydner-Batteri, og Virkningen var overordentlig. Franklin dræbte en Kalkun ved et Stød fra en Leydner-flaske.

227. I 1752 bemærkede Sulzer, at, »dersom Du holder to Stykker Bly og Sølv sammen og derpaa lægger dem paa Tungen, vil Du bemærke en særlig Smag, der minder om Jern-Vitriol, medens de enkelte Stykker for sig ikke frembringe en saadan Fornemmelse.« Denne **galvaniske Smag**, som dengang ikke blev antaget for at have noget med Elektricitet at gøre, kan man let iagttage ved at lægge en Sølv mønt paa Tungen og en Staalpen under den, hvorpaa Kanterne af Mønten og Pennen bringes i metallisk Berøring med hinanden. Den samme Smag vil bemærkes, naar to Traade fra Polerne af et Element bringes i Berøring med Tungen.

228. Ritter opdagede, at en svag Strøm, der ledes gennem Øjeæblet, frembringer en Fornemmelse som af et klart Lysglimt, paa Grund af Synsnervens pludselige Stimulering. En stærkere Strøm, der ved Hjælp af fugtige Ledere, knyttede til Batteriets Poltraade, blev ledet fra Panden til Haanden, frembragte Indtrykket af blaa og grønne Farver. Helmholtz, der gentog dette Forsøg, iagttog kun en uordentlig, hurtig Strøm af Farver. Dr. Hunter saa Lysglimt, naar et Stykke Metal, der var anbragt under Tungen, blev bragt i Berøring med et andet Stykke Metal, der rørte ved Øjets fugtige Væv. Volta og Ritter hørte musikalske Lyde, naar Strømmen gik igennem Ørerne, og Humboldt mærkede en Fornemmelse i Lugteorganerne, naar Strømmen gik fra Næseboret til den bløde Gane. Enhver af de særlige Sanser kan blive stimuleret ved Paavirkning af en Strøm. Mennesket har ikke nogen særlig Sans, der er modtagelig for elektriske Kræfter, saaledes som det har for Lys og for Lyd; men der er ingen Grund til at betvivle Muligheden af, at nogle af de lavere Dyr kunne være begavede med en særlig elektrisk Sans.

Følgende Forsøg viser Virkningen af svage Strømme paa koldblodige Dyr. Lægges en Kobber- (eller Sølv-) Mønt paa et Stykke Zinkplade, og lader man derpaa en almindelig Have-Snegl krybe paa Zinken, saa vil den, i det Øjeblik den kommer i Berøring med Kobberet, pludselig trække Følehornene til sig og trække hele Kroppen sammen. Lader man den krybe over to Kobbertraade og sætter dem i Forbindelse med et svagt Element, vil den øjeblikkelig tilkendegive Strømmens Slutning ved lignende Sammentrækninger *).

229. Muskel-Sammentrækninger. I 1678 viste Swammerdam Storhertugen af Toscana, at naar et Stykke af en Muskel af et Frølaar med vedhængende Nerve blev bundet til en Sølvtraad, og derefter blev holdt over en Kobberopstander, saaledes at saa vel Nerven som Traaden berørte Kobberet, vilde Musklen øjeblikkelig trække sig sammen. Mere end et Aarhundrede senere blev Galvanis Opmærksomhed henvendt derpaa ved hans Iagttagelse af de krampagtige Sammentrækninger i nylig dræbte Frørs Laar, som under Paavirkning af »Bagslag« opstod hver Gang en Elektricermaskine, der var anbragt i Nærheden, blev udladet. Uden at kende Swammerdams Forsøg opdagede han i 1786 den Kendsgerning, (som vi have hentydet til i Pkt. 148, idet den sluttelig førte til Opdagelsen af Volta-Søjlen,) at naar Nerve og Muskel røre ved to uensartede Metaller, der ere i Berøring med hinanden, vil der finde en Sammentrækning af Musklen Sted. Frølaar, præparerede efter Galvanis Anvisning, er vist i Fig. 82. Efter at Dyret er dræbt, skæres Baglemmerne af og flaas; Laarnerverne og deres Forbindelse med Ryghvirvlerne borttages ikke. Laarene bibeholde deres Sammentrækningskraft nogle Timer efter Døden. Frølaar, der ere tilberedte paa denne Maade, kunne tjene som et overordentlig fint

*) Man vil næppe tro, at en vis Jules Alix for Alvor en Gang har foreslaaet et Telegrafsystem, grundet paa disse fysiologiske Fænomener.

Galvanoskop. Telefonens overordentlige svage Induktionsstrømme (Afsnit XL) kunne paavises ved dem, skønt de mest følsomme Galvanometre næppe angive dem. Galvani og Aldini beviste, at andre Dyr paavirktes paa samme Maade. Aldini eksperimenterede med et Batteri paa 100 Elementer med nylig slagtede Faar, Okser og Kaniner, og var paa dem alle i Stand til at frem-

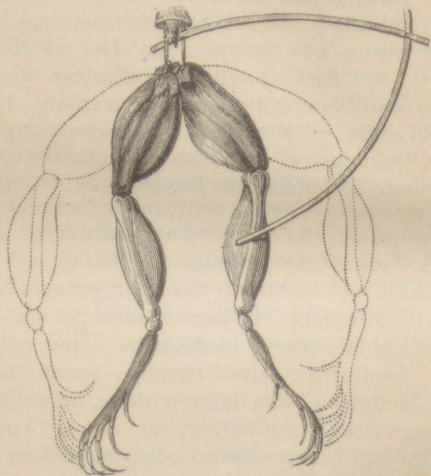


Fig. 82.

bringe krampagtige Muskel-Sammentrækninger. Humboldt viste, at det samme var Tilfældet med Fisk; og Zanotti fik en nylig dræbt Græshoppe til at frembringe dens bekendte »Sang«, ved at sende en Strøm gennem den. Aldini, og senere Dr. Ure fra Glasgow, have gjort Forsøg med dræbte Forbryderes Legemer, men Resultatet var frygteligt at se paa. Ansigtsmusklerne undergik forfærdelige Forvridninger, og Brystet hævede sig ved Mellemgulvets Sammentrækning. Man har derfor

tænkt sig at benytte elektriske Strømme som et Hjælpe-middel ved Druknedes Genoplivelse, idet Brystmusklernes Sammentrækning skulde tjene til at sætte Aandedrættet i Virksomhed. De smaa Muskler, der ere forbundne med Hovedets Haarrødder, synes at være i høj Grad følsomme for elektriske Paavirkninger, naar man ser hen til den Lethed, med hvilken Elektrisering bringer Haarene til at rejse sig.

230. Betingelser for Muskel-Sammentrækninger.

For at frembringe Muskel-Sammentrækning maa den elektriske Strøm gaa igennem en Del af Nerven paa langs. I et frisk præpareret Frølaar frembringer Strømmen kun Sammentrækning momentant, hver Gang Kredsløbet sluttes eller brydes. En Række hurtige Afbrydninger og Slutninger af en Strøm vil foraarage en ny Sammentrækning, forinden den foregaaende er ophørt, og Musklen vil derfor vise en vedvarende Sammentrækning, der minder om Stivkrampe. Den præparerede Frø bliver efter kort Tids Forløb mindre følsom, og en »direkte« Strøm (det vil sige en Strøm, der gaar gennem Nerven fra Hjernen til Musklen) vil kun frembringe en Virkning, naar Kredsløbet sluttes, medens en »omvendt« Strøm, kun vil frembringe en Virkning, naar Kredsløbet brydes. Matteucci, som iagttog dette, opdagede ogsaa ved Forsøg paa levende Dyr, at der er Forskel paa Føle- og Bevægelsesnervernes Ledeevne, idet en »direkte« Strøm paavirker Bevægelsesnerven, naar Kredsløbet sluttes, og Følenerven, naar det brydes, medens en »omvendt« Strøm frembringer det modsatte Resultat. Der kendes imidlertid ikke meget til Betingelserne for Nervernes Ledeevne; de lede bedre end Muskelfibre, Brusk eller Ben; men af alle de Stoffer, der findes i Legemet, leder Blod bedst. Utvivlsomt elektrolysere stærke Strømme Blodet noget, idet det og Albuminen, som det indeholder, bringes til at størkne. Evnen til at trække sig sammen under Paavirkning af Strømmen synes at være en Egenskab, der udmærker Celleslimen (Protoplasmaen) i alle dens forskellige Former; Amøben,

den mest formløse Organisme, viser Sammentrækninger. Ritter opdagede, at den følsomme Mimose trækker sig sammen, naar den elektriseres, og Burdon Sanderson har godtgjort, at denne Egenskab ogsaa findes hos andre Planter, idet han har paavist den hos den kødædende Plante, Fluefangeren (*Dionæa* *).

231. Dyrisk Elektricitet. Endskønt Galvani i sine sidste Skrifter endelig indrømmede, at den Elektricitet, der virker paa denne Maade, havde sin Oprindelse fra de anvendte Metaller, hævdede han dog, at der fandtes dyrisk Elektricitet i Muskler og Nerver. Han paaviste, at man kunde frembringe Sammentrækninger uden at benytte noget Metal, ved kun at berøre Nerven paa to forskellige Steder efter Længden med et lille Stykke Muskel, der var skaaret af en levende Frø, og at en Leder af eet Metal, der forbandt en Nerve med en Muskel, ligeledes var tilstrækkelig til at frembringe Sammentrækninger i denne. Galvani og Aldini betragtede dette som et Modbevis mod Voltas Berørings-Teori. Volta betragtede det derimod som et Bevis for, at Berøringen mellem Nerve og Muskel selv frembragte modsatte elektriske Tilstande paa samme Maade som to uensartede Metaller.

Nobili viste senere, at naar Nerven og Musklen af en Frø ved en Vandkontakt forbindes med hver sin Klemskrue paa et følsomt Galvanometer, frembringes der en Strøm, som varer i flere Timer. Han anbragte flere Frølaar i Række efter hinanden, ligesom Elementerne i et Batteri, hvorved han forøgede Strømmen. Matteucci paaviste, at der findes en E. M. K. i Musklen alene. Du Bois Reymond har paavist, at naar Enden af en Muskel skæres tværs over, ville Enderne af Muskelfibrene i Snittet være negative og Siderne af Muskelfibrene positive, og at denne Potentialforskel vil frembringe en Strøm, selv om

*) En nordamerikansk Plante af samme Familie som den indenlandske Plante Soldug, hvis Blade ligeledes klemme sammen om Insekter o. l. og udsuge dem. O. A.

Musklen er i Hvile. For at vise dette, anvendte han et fint, astatisk Galvanometer med 20000 Traadvindinger, og for at undgaa de Fejl, der kunde opstaa ved at Traadenderne kom i Berøring med Fibrene, anvendte han Elektroder, der ikke kunde polariseres; de bleve lavede ved at anvende Poltraade af Zink, der bleve dyppede ned i en mættet Opløsning af Zinksulfat, indesluttet i et fint Glasrør, hvis Ende var lukket med en porøs Prop af fugtet Pibeler.

Musklernes Sammentrækning frembringer ogsaa Strømme. Dette opdagede Du Bois Reymond ved Hjælp af sine egne Muskler, idet han dyppede Spidsen af sine Pegefingre i to Kopper med salt Vand, der stod i Forbindelse med Klemskruerne paa et Galvanometer. En pludselig Sammentrækning af Musklerne paa den ene eller anden Arm frembragte en Strøm, der gik fra de sammentrukne til de ikke sammentrukne Muskler. Dewar har paavist, at naar Lyset falder paa Nethinden i Øjet, opstaar der en elektrisk Strøm i Synsnerven.

232. Medicinsk Anvendelse. Elektriske Strømme ere med Held blevne anvendte ved Druknedes Genoplivelse, idet Mellemgulvets og Brystmuskulernes Sammentrækning atter bringer Aandedrættet i Gang. Lige siden Opdagelsen af Leydnerflasken er der gjort mange Forsøg paa at iværksætte en elektro-medicinsk Behandling. Strømme, der uafsladelig sluttet og brydes (»diskontinuerlige Str.«), navnlig de, der frembringes ved smaa Induktionsruller og magneto-elektriske Maskiner, anvendes af Lægerne til at stimulere lammede Nerver, eller Nerver, der lide af andre Fejl. Elektriske Strømme maa imidlertid benyttes med stor Forsigtighed og kun under Ledelse af vel øvede Læger *).

*) Det vil her være paa sin Plads at fremkomme med en alvorlig Advarsel imod de talrige Kvaksalvere, som bedrage uvidende Folk med galvaniske og magnetiske Kure. I mange Tilfælde have disse Bedragerier gjort ubodelig Skade; i de meget faa Tilfælde, hvor Patienten har troet at føle Bedring, har den virksomste Aarsag hertil efter al Rimelighed ikke været Magnetisme, men Flonell!

FJERDE KAPITEL.

ELEKTROSTATIK.

XX. Potential-Teorien.

233. I Afsnittene i 1ste Kapitel har Læseren faaet nogle elementære Begreber om Tilstedeværelsen og Maalingen af bestemte elektriske Størrelser. I dette Afsnit, som er et af de vanskeligste, men ogsaa et af de vigtigste for Begynderen, og som han derfor maa studere omhyggeligt igennem, ville Lovene, som omhandle de elektriske Størrelser og deres Maaling, blive omstændeligere forklarede. I ingen Gren af Videnskaben er det sandere end i Elektricitetslæren, at Videnskab er Maaling. Den Del af den elektriske Videnskab, som omhandler Maaling af Elektricitets-Ladninger, kaldes **Elektrostatik**. Vi ville først begynde med at diskutere de simple Love for elektrisk Kraft, hvis Tilstedeværelse blev vist i 1ste Kapitel ved Hjælp af simple Forsøg.

234. 1ste elektrostatiske Lov. Ensartede elektriske Ladninger frastøde hinanden, uensartede tiltrække hinanden. De fundamentale Kendsgerninger, der ere udtrykte i denne Lov, ere forklarede fuldstændig i Afsnit I. Skønt Læseren nu er fortrolig med denne Lov, og skønt den synes meget simpel, saa fordres der dog, for at give en fuldstændig Forklaring af den, vidtgaende matematisk Analyse, som vi ikke her skulle komme ind paa; vi ville betragte den som en ved Forsøg godtgjort Kendsgerning.

235. 2den elektrostatiske Lov. Den Kraft, med hvilken to elektriske Ladninger paa-virke hinanden (idet vi antage, at de ere opsamlede i to Punkter eller paa to smaa Kugler), er ligefrem

proportional med Produktet af dem, og omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden imellem dem. Denne Lov, der er opdaget af Coulomb, og som kaldes Coulombs Lov, er kortelig bleven omtalt (Side 17) ved Beskrivelsen af de Forsøg, der ere gjorte med Snonings-Vægten, og vi have samtidig anført nogle Eksempler, som skulle illustrere begge Dele af Loven. Vi have ligeledes set, at en lignende Lov gælder for de Kræfter, med hvilke to Magnetpoler paavirke hinanden. Coulomb anvendte ogsaa Svingningsmetoden for at kontrollere Snonings-Vægtens Angivelser, og fandt dens Resultater fuldstændig bekræftede. Vi kunne udtrykke de to Dele af Coulombs Lov paa følgende Maade. Betegner f Kraften, q Mængden af Elektricitet i den ene af de to Ladninger, og q^1 Mængden af Elektricitet i den anden, og er d Afstanden imellem dem, er

1) f proportional med $q \cdot q^1$

2) f proportional med $\frac{1}{d^2}$.

Disse to Udtryk kunne samles i eet, og det er bekvemlest at vælge de Enheder, hvormed vi maale, saaledes, at vi kunne udtrykke Loven i Ligningen:

$$f = \frac{q \cdot q^1}{d^2}.$$

236. Enhed for Elektricitets-Mængde. Dersom den ovenstaaende Ligning skal være gældende, er det tydeligt, at vi maa vælge vor Elektricitetsenhed overensstemmende med de Enheder, der allerede ere fastsatte for Maaling af Kraft og Afstand. Alle Elektrikere ere nu i Virkeligheden gaaet ind paa at antage et System, som er baseret paa tre Grund-Enheder: **Centimeter** som Enhed for Længde, **Gram** som Enhed for Masse, **Sekund** som Enhed for Tid. Alle andre Enheder kunne udledes af disse, hvad der vil blive forklaret i Slutningen af dette Afsnit (se Side 112). Iblandt dette Systems afledede Enheder er Enhed for Kraft, som kaldes **Dyn**, og som er den Kraft, der

ved at virke paa en Masse af eet Gram i eet Sekund giver den en Hastighed af een Centimeter pr. Sekund. Tage vi derfor Dyn som Enhed for Kraft, og Centimeter som Enhed for Længde (eller Afstand), maa vi i vor Ligning benytte en Enhed for Elektricitets-Mængde, som stemmer hermed. Det er klart, at dersom q , q^1 og d hver vare lig 1 (det vil sige, dersom vi toge to Ladninger, der hver havde Værdien 1, og anbragte dem i en indbyrdes Afstand af een Centimeter), vilde Værdien af $\frac{q \cdot q^1}{d^2}$ være $\frac{1 \cdot 1}{1 \cdot 1}$, som er

lig 1. **Definitionen** paa Enhed af Elektricitet bliver da den, vi kortelig have anført i Slutningen af Afsnit II: En Enhed af Elektricitet er den Mængde, som, anbragt i en Afstand af een Centimeter (i Luft) fra en ensartet og lige saa stor Mængde, frastøder denne med en Kraft af een Dyn.

Et Eksempel vil gøre det lettere for Læseren at forstaa Anvendelsen af Coulombs Lov.

Eksempel. 2 smaa Kugler, der ere ladede henholdsvis med 6 Enheder og 8 Enheder af positiv Elektricitet, anbringes i 4 Cm.s Afstand fra hinanden. Find den Kraft, med hvilken de gensidig paavirke hinanden. Ved Formlen $f = \frac{q \cdot q^1}{d^2}$ finde vi

$$f = \frac{6 \cdot 8}{4^2} = \frac{48}{16} = 3 \text{ Dyn.}$$

Kraften i det ovenfor nævnte Eksempel vil selvfølgelig være en Frastødningskraft. Hvis en af Ladningerne havde været negativ, vilde Produktet $q \cdot q^1$ have faaet en negativ Værdi, og Resultatet vilde da have været $\div 3$ Dyn. Dersom Kraften har negativt Fortegn, betyder det altsaa, at den er en Tiltrækningskraft, medens positivt Fortegn betegner en Frastødningskraft.

237. Potential. Vi skulle derefter definere Begrebet **Potential**, i dets Anvendelse paa elektriske Kræfter; men for at lette Forstaaelsen, er en lille ind-

ledende Forklaring nødvendig. En lille isoleret Kugle A (se Fig. 83), som er ladet med positiv Elektricitet, og som er anbragt for sig, fjern fra alle andre elektriske Ladninger og elektriske Ledere, vil frastøde et andet Legeme B, der ligeledes er ladet med positiv Elektricitet, naar det bringes hen i Nærheden af den. Den frastødende Kraft vil afhænge af Mængden af den ny Ladning og af Afstanden, i hvilken den er anbragt. Vi ville antage, at den ny Ladning er lig en Enhed af positiv Elektricitet. Dersom B var langt fra A, vilde den kun blive frastødt med en meget ringe Kraft, og der vilde kun fordres et meget lille Arbejde for at bringe den nærmere og overvinde den frastødende Kraft, som A udøver; men efterhaanden som

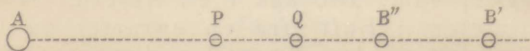


Fig. 83.

B bringes nærmere og nærmere til A, vil den frastødende Kraft blive større og større, og der fordres mere og mere Arbejde for at bringe B frem imod Frastødningskraften. Have vi saaledes begyndt uendelig fjernt, og efterhaanden flyttet den lille Ladning B til B', hvorfra vi flytte den til B'', til Q og endelig til Punktet P imod den Kraft, som udgaar fra A, have vi udført et vist Arbejde, og dette Arbejde repræsenterer det fra A hidrørende Potential*) i Punktet P. Definitionen paa **elektrostatisk Potential** er nemlig: Potentialet i et hvilket som helst Punkt er det Arbejde, der maa udføres

*) I sin videste Betydning maa Betegnelsen »Potential« forstaas som »Evne til at udrette et Arbejde«; thi, dersom vi maa udføre en vis Mængde Arbejde imod en Ladnings frastødende Kraft, ved at bevæge en Enhed af Elektricitet fra en uendelig lang Afstand op imod den, saa kan Ladningen udføre netop det samme Arbejde, idet den nemlig vil afgive denne Arbejdsmængde ved at drive Enheden af Elektricitet tilbage til en uendelig stor Afstand. Løfte vi et Pund fem Fod op imod Tyngdekraften, saa vil Vægten af Pundet til Gengæld kunne udføre et Arbejde paa fem Fodpund ved at falde ned paa Jorden igen.

for at bringe en Enhed af positiv Elektricitet ind til Punktet fra en uendelig Afstand. Havde A's Ladning været negativ, vilde Kraften have været en Tiltrækningskraft, i hvilket Tilfælde vi teoretisk skulde have maalt Potentialet i P enten ved den omvendte Fremgangsmaade, nemlig ved at anbringe en positiv Enhed i P og derpaa imod Tiltrækningskraften fjerne den til en uendelig lang Afstand, eller ved at maale det Arbejde, som en positiv Enhed vil afgive ved at tiltrækkes ind til P fra en uendelig lang Afstand.

Det kan vises, at naar der er flere end eet elektriseret Legeme, der skal tages i Betragtning, er Potentialet, som skyldes dem alle, i et hvilket som helst Punkt lig Summen af Potentialerne (i det paagældende Punkt) af hver af dem for sig.

238. Det kan ogsaa vises, at Potentialet i et Punkt P, i Nærheden af et elektriseret Legeme A, er lig Mængden af Elektricitet i A, divideret med Afstanden mellem A og P, eller: hvis vi kalde Mængden af Elektricitet for q og Afstanden for r , bliver Potentialet $\frac{q}{r}$ *). Findes der et vist Antal elektriserede Legemer i forskellige Afstande fra P, kan man beregne den særlige Værdi af Potentialet $\frac{q}{r}$, der skyldes hvert af de elektriserede Legemer for sig, og derfor kan Potentialet i P findes ved at dividere Mængden af hver Ladning med dens Afstand fra Punktet P, og derpaa addere de saaledes fundne Størrelser sammen. Bogstavet V benyttes som Regel for at betegne Potentialet. Potentialet i et Punkt P ville vi kalde V_P , og vi have da

*) Det fuldstændige Bevis fordrer en elementær Anvendelse af Integralregning, men et simpelt geometrisk Bevis, tilstrækkeligt til vort Brug, er givet nedenfor.

$$V_P = \frac{q'}{r'} + \frac{q''}{r''} + \frac{q'''}{r'''} \dots \dots \dots \text{O. S. V.}$$

eller
$$V_P = \sum \frac{q}{r}.$$

Udtrykket $\sum \frac{q}{r}$ angiver det Arbejde, som en Enhed af positiv Elektricitet, der bevæges op til et givet Punkt P fra en uendelig Afstand, modtager eller afgiver, eftersom Potentialet i P er positivt eller negativt.

Bevis. Bestem først den Potentialforskel mellem Punkterne P og Q, som skyldes en Elektricitetsladning, q , paa en lille Kugle i Punktet A.

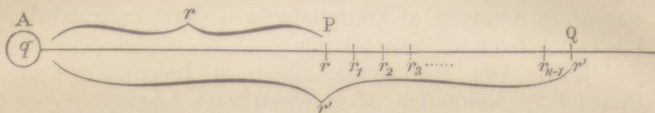


Fig. 84.

Sættes Afstanden $AP = r$ og $AQ = r'$, saa er $PQ = r' - r$. Potentialforskellen mellem P og Q er det Arbejde, der udfordres for at flytte en positiv Enhed fra Q til P imod Kraften, og da

Arbejde = Kraft . Afstand, gennem hvilken Kraften virker,
er $V_P - V_Q = f(r' - r)$.

Den Kraft, der i P udøves af q paa en positiv Enhed, er $= \frac{q}{r^2}$

og Kraften, der i Q udøves af q paa en positiv Enhed, er $= \frac{q}{r'^2}$.

Tænke vi os derpaa Afstanden PQ delt i et vilkaarligt Antal (n) lige store Dele, $r_1, r_1 r_2, r_2 r_3 \dots \dots \dots r_{n-1} r'$, har man, idet Afstanden Ar_1 betegnes ved r_1 , Afstanden Ar_2 ved r_2 o. s. v. (samtidig med at PQ's Delingspunkter ere betegnede med r_1, r_2 o. s. v.):

$$\text{Kraften i } r = \frac{q}{r^2}$$

$$- - r_1 = \frac{q}{r_1^2} \dots \dots \text{O. S. V.}$$

Da vi imidlertid kunne gøre r_1 saa lidet forskellig fra r , som vi ville, $\therefore$ vælge n saa stor, vi ville, begaa vi ingen stor Fejl ved at betragte r, r_1 som Middeltallet imellem r^2 og r_1^2 , hvorfor vi

kunne gaa ud fra, at Middel-Kraften paa den korte Længde fra r til r_1 er $\frac{q}{rr_1}$.

Følgelig vil det Arbejde, der udføres ved at gaa fra r_1 til r , være

$$= \frac{q}{rr_1} (r_1 - r) \\ = q \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right).$$

Paa lignende Maade vil det Arbejde, der udføres ved at gaa fra r_2 til r_1 , være

$$= q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \text{ og det, der udføres fra}$$

r_3 til r_2 , vil være

$$= q \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) \text{ o. s. v., hvorved vi faa } n$$

Ligninger, af hvilke den sidste, der angiver det Arbejde, som udføres ved at gaa fra r' til r_{n-1} , vil være

$$= q \left(\frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r'} \right).$$

Addere vi alle disse Dele af Arbejdet sammen, gaa de mellemliggende Værdier af r ud, og vi faa som Udtryk for hele Arbejdet, der er udført ved at gaa fra Q til P ,

$$V_P - V_Q = q \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right).$$

Ligger nu Q uendeligt langt fra A , er $r' = \infty$ og $\frac{1}{r'} = 0$.

I dette Tilfælde bliver Ligningen

$$V_P = \frac{q}{r}, \text{ hvorved den ovenstaaende Sæt-}$$

ning er bevist.

Havde der i Stedet for een Elektricitetsmængde, q , været et stort Antal elektriserede Legemer med Ladningerne q' , q'' , q''' ... o. s. v., henholdsvis i Afstandene r' , r'' , r''' ... o. s. v. fra P , have vi

$$V_P = \frac{q'}{r'} + \frac{q''}{r''} + \frac{q'''}{r'''} + \dots \text{ o. s. v. } \therefore$$

$$V_P = \sum \frac{q}{r}.$$

239. Nul-Potentialet. Paa et Sted, der ligger uendelig langt fra alle elektriserede Legemer, vil der ingen elektriske Kræfter findes, og Potentialet vil være Nul. Af Bekvemmelighedshensyn plejer man dog

sædvanligvis at betragte Jordens Potential som et vilkaarligt Nulpunkt, ligesom man betragter Havets Overflade som Nulpunkt, naar man maaler Højder eller Dybder.

240. Potentialforskæl. Da Potentialet repræsenterer det Arbejde, der skal udføres for at nærme en positiv Elektricitets-Enheden fra en uendelig Afstand, er Potentialforskællen mellem to Punkter det Arbejde, der skal afgives eller modtages af en positiv Elektricitets-Enheden, naar den flyttes fra det ene Punkt til det andet. Er V_P saaledes P's Potential og V_Q det andet Punkts Q : Q's Potential, angiver Potentialforskællen $V_P - V_Q$ det Arbejde, der skal udrettes for at flytte den positive Enheden fra Q til P . Man maa lægge Mærke til, at da Værdien kun afhænger af Værdien af Potentialet i P og Q og ikke af Potentialværdierne i mellemliggende Punkter, vil det Arbejde, der udrettes, være det samme, hvilken Vej Enheden tilbagelægger fra Q til P . Paa samme Maade vil det Energiforbrug, der fordres for at løfte et Pund imod Jordens Tiltrækningskraft fra et lavere Sted til et højere, være det samme, hvilken Vej Pundet tilbagelægger.

241. Elektrisk Kraft. Definitionen paa »Arbejde« er Produktet af den Kraft, der anvendes, og Afstanden, gennem hvilken Kraften virker, eller **Arbejde = Kraft . Afstand**, gennem hvilken den virker.

Er derfor Potentialforskællen mellem to Punkter det Arbejde, der udrettes for at bevæge den positive Enheden fra et Punkt til et andet, følger heraf, at den elektriske Kraft ($\therefore$ Middelkraften) imellem disse Punkter findes ved at dividere det udførte Arbejde

med Afstanden mellem Punkterne, eller $\frac{V_P - V_Q}{PQ} = f$

= den elektriske (Middel-) Kraft langs Linien PQ . Den elektriske (Middel-) Kraft er derfor Potentialforandringen pr. Enheden af Længde. Ligge P og Q tæt ved hinanden, vil Kraften praktisk talt være jævn imellem dem.

242. Overflader med samme Potential. En Elektricitets-Ladning, der er opsamlet paa en lille Kugle, virker paa udenfor liggende Legemer, som om hele Ladningen var samlet i eet Punkt, i Centret *). Vi have set, at den Kraft, en saadan Ladning udøver, bliver mindre længere borte fra Kuglen, idet Kraften formindskes i samme Forhold som Kvadratet paa Afstanden forøges. Men Kraften er den samme i alle Punkter, der ligge i lige stor Afstand fra den lille ladede Kugle, hvilket ogsaa er Tilfældet med Poten-

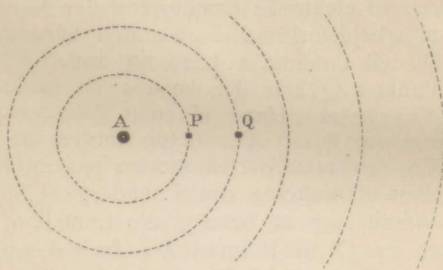


Fig. 85.

tialet. Forestiller i Fig. 85 Punktet A Kuglen, der er ladet med q Enheder af Elektricitet, vil Potentialet i P, som vi ville kalde V_P , være lig $\frac{q}{r}$, naar r er Afstanden fra A til P. Tage vi et hvilket som helst andet Punkt, der ligger i samme Afstand fra A, vil dets Potential ogsaa være $\frac{q}{r}$. Alle de Punkter, der ligge i samme Afstand fra A som P, ligge paa Over-

*) Man maa imidlertid erindre, at dette ophører at være rigtigt, naar andre Ladninger bringes meget tæt til Kuglen, thi saa vil Elektriciteten ikke længere være jævnt fordelt over dens Overflade. Det er af den Grund, at vi ved Beskrivelsen af Maaling af elektriske Kræfter med Snonings-Vægten sagde, at »Kuglerne maa være meget smaa i Forhold til Afstanden imellem dem«.

fladen af en Kugle, hvis Centrum er i A, og som i Fig. 85 er repræsenteret ved Cirklen, der er trukken gennem P. I alle Punkter af denne Cirkel vil Potentialet have samme Værdi, og denne Cirkel repræsenterer derfor en Overflade med samme Potential, $\therefore$ **en ækvipotentiale Overflade**. Det Arbejde, der skal udføres for at bevæge en positiv Enhed af Elektricitet fra en uendelig Afstand til et hvilket som helst Punkt paa denne Overflade, vil være det samme, og for at flytte den fra et Punkt til et andet paa samme ækvipotentiale Overflade, fordres altsaa ingen yderligere Overvindelse af elektriske Kræfter, og der følger altsaa deraf intet Arbejdsforbrug. I en anden Afstand, f. Eks. i Punkt Q, vil Potentialet have en anden Værdi, og gennem Punktet Q kan der lægges en anden ækvipotentiale Overflade. Have vi valgt Beliggenheden af Q saa langt fra P, at der netop fordres et Arbejde paa een Erg (angaaende Definitionen paa en Erg henvises til Bemærkningerne om Enhederne i Slutningen af dette Afsnit) for at bevæge en Enhed af positiv Elektricitet fra Q til P imod A's frastødende Kraft, vil der være Enhed af Potentialforskel imellem Kugleoverfladen, der er lagt gennem Q, og den, der er lagt gennem P, og der vil udfordres et Arbejde paa een Erg for at bevæge en positiv Enhed fra et hvilket som helst Punkt paa den ene Overflade til et hvilket som helst Punkt paa den anden. Vi kunne paa lignende Maade konstruere os et helt System af ækvipotentiale Overflader omkring Punktet A, og lægge dem i saadanne Afstande fra hinanden, at der er Enhed af Potentialforskel mellem to paa hinanden følgende. Afstanden imellem dem vil blive større og større, thi da Kraften formindskes, efterhaanden som man kommer længere fra A, maa man, for at udføre et Arbejde paa een Erg, bevæge den positive Enhed gennem en længere Afstand imod den svagere Kraft.

De ækvipotentiale Overflader omkring to smaa elektriserede Legemer, der ere anbragte tæt ved

hinanden, ville ikke være kugleformede, og omkring flere elektriserede Legemer, der ere anbragte i Nærheden af hinanden, ville de ækvipotentiale Overflader have meget uregelmæssige Former.

243. Kraftlinier. Den elektriske Kraft, hvad enten det er Tiltrækning eller Frastødning, virker altid igennem de ækvipotentiale Overflader i en Retning, der er vinkelret paa Overfladen. De Linier, som betegne Retningen af de elektriske Kræfters Resultant, kaldes undertiden elektriske Induktions-Linier. Fra en enkelt, elektriseret Kugle ville Kraftlinierne være rette Linier, Radier til Systemet af ækvipotentiale Kugleflader. Kraftlinierne ere imidlertid som Regel krumme Linier, og i saa Tilfælde er Retningen af den resulterende Kraft i ethvert Punkt Tangent til Kurven gennem Punktet. To Kraftlinier kunne aldrig komme til at skære hinanden, thi den resulterende Kraft i et Punkt kan ikke virke i to Retninger paa een Gang. Den positive Retning langs en Kraftlinie er den, i hvilken et lille Legeme, ladet med positiv Elektricitet, vilde blive drevet af den elektriske Kraft, dersom det var frit bevægeligt. Et Rum, der er begrænset af Kraftlinier, kaldes undertiden et Krafrør. Hele Rummet omkring en lille isoleret, elektriseret Kugle kan saaledes betragtes som inddelt i et System af kegledannede Rør, med Spidserne liggende i Kuglens Centrum. Den samlede elektriske Kraft, der virker paa tværs af ethvert Snit gennem et Krafrør, er den samme, hvor Snittet end lægges.

244. Potentialet inden i en lukket Konduktor. De Forsøg, der ere omtalte i Punkterne 29 til 32, afgive et fuldstændig tvingende Bevis for, at der ingen elektrisk Kraft er inden i en lukket Konduktor. Ovenfor have vi vist, at elektrisk Kraft er Potentialforandringen pr. Længdeenhed, og er der ingen elektrisk Kraft til Stede, er der altsaa heller ingen Variation af Potentialet. Potentialet indenfor en lukket Konduktor (en hul Kugle f. Eks.) er derfor det

samme overalt i det Indre, og det samme som Potentialt paa Overfladen. Overfladen af en lukket Konduktor er derfor nødvendigvis en ækvipotential Overflade. Dersom Potentialt ikke var det samme overalt, vilde der fremkomme en elektrisk Strøm fra det højere Potentialt til det lavere, der øjeblikkelig vilde bringe Ligevægt og skaffe hele Overfladen samme Potentialt.

Et elektrisk Systems Evne til at udrette Arbejde er ikke afhængig af den tilfældige Overfladetæthed paa forskellige Punkter. Vi vide saaledes f. Eks., at naar et elektrisk Legeme anbringes i Nærheden af en isoleret Konduktor, saa vil der i de nærmeste og fjerneste Dele af denne ved Fordeling frembringes Ladninger af modsat Art. Forklaringen paa denne tilsyneladende Modsigelse ligger i, at Potentialt i Rummet omkring det ladede Legeme ikke er ens. Er Legemet ladet med en positiv Ladning, er Potentialt i Nærheden af det højere end længere borte fra det. Den Ende af den isolerede Konduktor, der er nærmest Ladningen, befinder sig paa et Sted med højt Potentialt, medens den fjernere Ende ligger paa et Sted med lavere Potentialt. Konduktoren vil, som et Hele, faa et Middelpotentialt, som i Forhold til det omgivende Mediums Potentialt vil være negativt i den nærmeste og positivt i den fjerneste Ende.

245. Loven om de omvendte Kvadrater. Af den Sætning, at der ikke findes nogen elektrisk Kraft inden i en lukket Konduktor, kunne vi uddrage en vigtig Følgeslutning, idet vi herved blive i Stand til at bevise Loven om »de omvendte Kvadrater«, som Coulomb tidligere — om end kun tilnærmelsesvis — har godtgjort ved Forsøg med sin Snoningsvægt. Punktet P (Fig. 86) er et vilkaarligt Punkt inden i en hul Kugle, der er ladet med Elektricitet. Ladningen er jævnt udbredt over det Hele, og Mængden af Elektricitet paa enhver lille Del af Overfladen er proportional med Arealet af vedkommende Del. Betragt vi en lille

Del af Overfladen, AB, saa vil Ladningen paa denne Del frastøde en positiv Enhed, anbragt i P, med en vis Kraft. Trækkes Linierne AD og BC gennem P, saa kunne disse Linier betragtes som Billedet af to Kegleflader med fælles Toppunkt i P. Det lille Areal CD er Grundfladen i

den modstaaende Kegel, og Elektriciteten i CD vil ogsaa paavirke den positive Enhed i P og frastøde den. Overfladerne AB og CD og deres Ladninger ere ligefrem proportionale med Kvadratet paa deres Afstande fra P, og dersom de Kræfter, med hvilke de virke i P, nøjagtigt op-

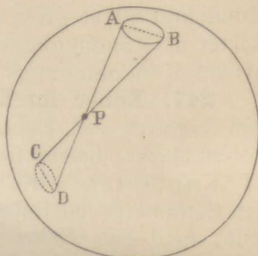


Fig. 86.

hæve hinanden (hvad der er godtgjort ved Forsøg), er det klart, at den elektriske Kraft forholder sig omvendt som Kvadratet paa Afstanden, thi hele Kuglens Overflade kan tænkes sammensat af Grundflader i lignende Kegler med Toppunkt i P. Beviset kan ogsaa udstrækkes til at gælde for hule Konduktorer af en hvilken som helst Form.

246. Kapacitet. I Afsnit IV have vi gjort nogle elementære Bemærkninger om Konduktors Kapacitet; nu ere vi derimod i Stand til at give en bestemt Definition derpaa. En Konduktors elektrostatiske **Kapacitet** maales ved den Mængde Elektricitet, som maa tilføres den, for at dens Potential skal stige fra Nul til een Enhed. En lille Konduktor, som f. Eks. en isoleret Kugle af Størrelse som en Ært, vil ikke behøve een Enhed af Elektricitet for at dens Potential skal hæves fra 0 til 1, og den har derfor en lille Kapacitet; derimod maa der anvendes en stor Mængde Elektricitet for at hæve en stor Kugles Potential lige saa meget, og man siger derfor, at den har

en stor Kapacitet. Betegner C Kapaciteten og Q Mængden af Elektricitet, har man

$$C = \frac{Q}{V} \text{ og } C \cdot V = Q.$$

Dette er det samme som at sige, at den Mængde Elektricitet, der er nødvendig for at lade en given Konduktor til et givet Potential, er numerisk lig Produktet af Konduktorens Kapacitet og det Potential, til hvilket Konduktoren er bragt op.

247. Enhed for Kapacitet. En Konduktor, som kun behøver een Enhed af Elektricitet, for at dens Potential skal hæves fra 0 til 1, siges at have Enhed af Kapacitet. En Kugle med en Radius paa een Centimeter har Enhed af Kapacitet, thi dersom den lades med een Enhed af Elektricitet, vil Ladningen virke, som om den var samlet i Kuglens Centrum. Paa Overfladen, der ligger i en Afstand af een Centimeter fra Centret, vil Potentialet, som maales ved $\frac{q}{r}$, være lig 1, og følgelig vil Kuglen, da en Enhed af Elektricitets-Mængde bringer dens Potential op til 1, have Enhed af Kapacitet. En Kugles Kapacitet er proportional med dens Radius. En Kugle med en Radius paa en Meter har saaledes en Kapacitet paa 100. Jorden har en Kapacitet paa omtrent 630 Millioner (i elektrostatiske Enheder). Det er saa godt som umuligt at beregne Kapaciteten af Konduktorer af andre Former.

Man maa imidlertid erindre, at den ovenfor givne Værdi for en Kugles Kapacitet kun er gældende, naar den er langt fjernet fra andre Konduktorer eller elektriske Ladninger. En Konduktors Kapacitet forøges ved at nærme den til en Ladning af modsat Art, thi Potentialet paa Konduktorens Overflade er lig Summen af Potentialet, der skyldes dens egen Ladning, og af Potentialet med modsat Fortegn, der skyldes den Ladning, den er i Nærheden af. Derfor maa der tilføres den en større Mængde Elektricitet, for at bringe det

resulterende Potential op til een Enhed, eller med andre Ord, Kapaciteten en større. Dette er den rigtige Opfattelse af den Maade, hvorpaa Leydnerflasker og andre Kondensatorer virke, og Læseren maa ikke glemme den, naar vi senere i Afsnit XXII skulle omtale Teorien for Kondensatorer.

248. Overflade-Tæthed*). Coulomb indførte denne Betegnelse for at angive Mængden af Elektricitet pr. Enhed af Areal paa et vilkaarligt Punkt af en Overflade. Vi omtalte i Afsnit IV, at en elektrisk Ladning aldrig var fordelt jævnt over en Konduktor, undtagen paa en isoleret Kugle. Hvor Fordelingen er ujævn, kan Tætheden paa et vilkaarligt Sted af Overfladen udtrykkes ved den Mængde Elektricitet, som findes paa en lille Enhed af Areal paa det paa-gældende Sted. Er Q Mængden af Elektricitet paa en lille Overflade, og S Arealet af denne lille Overflade, vil Overflade-Tætheden (der betegnes ved det græske Bogstav q) være bestemt ved Ligningen

$$q = \frac{Q}{S}.$$

I tør Luft vil Grænsen for den stærkeste Elektrisering være naaet, naar Tætheden kommer op til en Værdi af omtrent 20 Elektricitets-Enheder pr. Kv-Cm. Lades Legemet yderligere, vil Elektriciteten udlade sig til Luften som Gnister eller Buske. Have vi en jævn Fordeling paa en Overflade (som paa en Kugle, og

*) Ordet Spænding (tension) anvendes undertiden om det, der her er defineret paa samme Maade, som Coulomb gjorde det. »Spænding« er imidlertid et uheldigt Ord, og det misbruges saa ofte i Bøger, idet det ikke blot anvendes som Betegnelse for Overflade-Tæthed, men ogsaa for Potential, ja selv for elektrisk Kraft (d: den mekaniske Kraft, der af Elektriciteten udøves paa et materielt Legeme), at vi her aldeles ikke ville anvende det. Betegnelsen vilde være fortræffelig, dersom vi kun vilde anvende den om det mekaniske Tryk (stress), som opsamlede Ladninger frembringe gennem et dielektrisk Stof; men saa længe der hersker saa stor Uklarhed i Benyttelsen, er det bedre fuldstændig at undgaa Betegnelsen; Læseren vil da have een Ting mindre at lære — og at glemme.

Da Ordet »Spænding« paa Dansk har vundet nogen Hævd for »Potential«, er det i Oversættelsen lejlighedsvis benyttet i denne Betydning med nødvendig Forklaring, men i Reglen er Ordet Potential benyttet.

tilnærmelsesvis paa en flad Plade, naar der anvendes en saakaldet »Beskyttelses-Ring«), findes Tætheden ved at dividere den hele Mængde af Elektricitet med hele Overfladen.

249. Overflade-Tæthed paa en Kugle. Overfladen af en Kugle med Radius r er lig $4\pi r^2$. Følgelig vil Overflade-Tætheden paa en Kugle med Radius r , naar den tilførte Ladning er Q , være $q = \frac{Q}{4\pi r^2}$, og dersom vi kende Overflade-Tætheden, vil Mængden af Ladningen være $Q = 4\pi r^2 q$.

Overflade-Tætheden paa to Kugler, der ere forenede ved en tynd Traad, er vigtig at lægge Mærke til. Ere Kuglerne ulige store, ville de fordele Ladningerne i Forhold til deres Kapaciteter (se Pkt. 37), det vil sige, i Forhold til deres Radier. Ere Kuglernes Radier 2 og 1, vil Forholdet mellem deres Ladninger være som 2 til 1; men Tætheden paa enhver af dem vil findes ved at dividere enhvers Mængde af Elektricitet med dens Overflade, og da Overfladerne ere proportionale med Kvadratet paa Radierne, 5: forholde sig som 4 til 1, ville Tæthederne forholde sig som 1 til 2 eller omvendt som Radierne. Er nu den ene af disse Kugler meget lille — ikke større end et Punkt, — vil Tætheden paa den være relativt umaadelig stor, saa stor, at Luftparklerne, der ere i Berøring med den, hurtig ville bortføre Ladningen. Dette forklarer den Virkning af **Spidser** paa Udladning af Konduktorer, som er omtalt i første Kapitel, Pkt. 35 c, 42 og 43.

250. Elektriske Billeder. Det kan bevises matematisk, at naar q positive Elektricitets-Enheder anbringes i Nærheden af en ikke-elektriseret, ledende Kugle med Radius r , og i en Afstand d fra dens Centrum, vil den negative, inducerede Ladning blive lig $\div \frac{r}{d} q$, og vil blive fordelt over den nærmeste Del af Kuglens Overflade, med en Overflade-Tæthed, der er omvendt

proportional med Kubus paa Afstanden fra denne Del af Kuglen. Sir Wm. Thomson har vist, at i Forhold til alle ydre Punkter vil det Potential, der skyldes denne særlige Fordeling paa Overfladen, være nøjagtig det samme, som hvis den negative Ladning var samlet

i et indvendigt Punkt, der laa i en Afstand af $r - \frac{r^2}{d}$

indenfor Overfladen. Et saadant Punkt kan betragtes som et indbildt Billede af det ydre Punkt, paa samme Maade som vi i Optiken betragte visse Punkter bag Spejle som indbildte Billeder af de udvendige Punkter, fra hvilke Lysstraalerne udgaa. Clerk Maxwell har givet følgende **Definition** paa et elektrisk Billede: Et elektrisk Billede er et elektriseret Punkt eller System af Punkter paa den ene Side af en Overflade, som paa den anden Side af denne vilde frembringe den samme elektriske Virkning, som den eksisterende Elektrisering af denne Overflade virkelig frembringer. En Ladning af positiv Elektricitet, anbragt i et Punkt, der ligger en Tomme fra en flad Metalplade, inducerer en negativ Ladning paa den Del af Pladen, der ligger i Nærheden af Punktet (med en Tæthed, der forholder sig omvendt som Kubus paa Afstanden fra Punktet); men den elektriske Virkning af denne Fordeling vil være nøjagtig repræsenteret af dens »Billede«, nemlig af en lige saa stor Mængde af negativ Elektricitet, anbragt i et Punkt en Tomme bag Pladen. Der er gjort mange, smukke matematiske Anvendelser af denne Metode, hvorved man har været i Stand til at beregne Fordelingen i vanskelige Tilfælde, som f. Eks. en Ladnings Fordeling paa den indre Overflade af en hul Skaal.

251. Den elektriske Kraft, som en ladet Kugle udøver paa et Punkt i Nærheden af den. Vi have ovenfor vist, at Mængden af Elektricitet, Q , paa en ladet Kugle, med Overflade-Tætheden q , er

$$Q = 4\pi r^2 q.$$

Vi skulle nu gaa over til at finde den Kraft, med hvilken denne Ladning paavirker en positiv Enhed af Elektricitet, der findes i et Punkt, som ligger uendelig nær ved Kuglens Overflade. Elektriciteten virker, som om den var samlet i Kuglens Centrum, og Afstanden mellem de to Elektricitetsmængder er altsaa r . Ifølge

$$\text{Coulombs Lov er Kraften } f = \frac{Q \cdot 1}{r^2} = 4 \frac{\pi r^2 q}{r^2} = 4\pi q.$$

Dette vigtige Resultat kan udtrykkes i Ord paa følgende Maade: Den Kraft (i Dyn), med hvilken en ladet Kugle paavirker en Enhed af Elektricitet, anbragt uendelig nær ved Kuglens Overflade, er numerisk lig 4π Gange Ladningens Overflade-Tæthed.

252. Den elektriske Kraft, som en ladet Plade af uendelig stor Udstrækning udøver paa et Punkt i Nærheden af den. Tænke vi os en Plade af uendelig stor Udstrækning ladet saaledes, at Overflade-Tætheden er q , vil denne være jævn, thi Randene af Pladen ligge saa langt borte, at de ikke kunne udøve nogen Indflydelse. Det kan bevises, at den Kraft, med hvilken en saadan Plade paavirker en positiv Enhed, **der ligger hvor som helst i Nærheden af den**, kan udtrykkes numerisk (i Dyn) ved $2\pi q$. Denne Værdi vil have modsat Tegn paa Pladens modsatte Sider, idet den er $+ 2\pi q$ paa den ene Side og $\div 2\pi q$ paa den anden Side, da jo nemlig Kraften i det ene Tilfælde søger at bevæge Enheden fra Højre til Venstre, i det andet fra Venstre til Højre. Kraften forandrer altsaa sin Værdi med Størrelsen $4\pi q$, naar Punktet gaar igennem Overfladen. Det samme er ogsaa Tilfældet ved den ladede Kugle, hvor Kraften udvendig var $4\pi q$, medens den indvendig var Nul, og dette gælder i al Almindelighed for alle ladede Overflader. Disse to Sætninger ere af yderste Vigtighed i Teorien om Elektrostatik.

253. Det elementære, geometriske Bevis for den sidste Sætning er følgende:

Find den elektriske Kraft i et Punkt i vilkaarlig Afstand fra en Plan af uendelig Udstrækning og med Overflade-Tætheden ρ . P er Punktet (Fig. 87) og PX eller a Normalen paa Planen. Tegn en virkaarlig lille Kegel med Toppunkt i P, med Rumvinklen ω , med Længden r, og hvis Akse danner Vinklen Θ med a. Keglen vil da danne en skæv Skæring med Planen, og Vinklen mellem dette Snit og et Snit vinkelret paa Kegle's Akse vil være Θ . Ifølge Definitionen er

Arealet af det vinkelrette Snit $\text{Rumvinklen } \omega = \frac{\text{Arealet af det vinkelrette Snit}}{r^2}$, hvoraf følger, at

Arealet af det skæve Snit $= r^2 \omega \cdot \frac{1}{\cos \Theta}$, og man har altsaa

Ladningen paa det skæve Snit $= \frac{r^2 \omega \rho}{\cos \Theta}$.

Følgelig vil, dersom en positiv Enhed af Elektricitet anbringes i P, den Kraft, med hvilken den paavirkes af den lille Ladning,

$$\text{være} = \frac{r^2 \omega \rho}{\cos \Theta} \cdot 1 : r^2$$

$$\text{eller} = \frac{\omega \rho}{\cos \Theta}.$$

Opløses denne Kraft i to Dele, af hvilke den ene virker langs med Planen, medens den anden virker langs med Normalen

paa Planen, a, vil Komposanten langs a være $\cos \Theta \cdot \frac{\omega \rho}{\cos \Theta} = \omega \rho$.

Hele Planens Overflade kan imidlertid inddeles i Dele, der ere Grundflader i Kegler med Toppunkterne i P, og overspænde vi hele Planen med et uendelig stort Antal af saadanne smaa Kegler og opløse alle de til enhver af Keglerne svarende Kræfter paa lignende Maade som ovenfor, ville vi se, at Komposanterne langs Planen ville ophæve hinanden, medens Komposanterne vinkelret paa Planen, eller de langs a opløste Kræfter, ville have en Resultant, der er Summen af alle Rumvinklerne, multipliceret med Overflade-Tætheden, eller:

den samlede resulterende Kraft langs a er $= \Sigma \omega \rho$.

Men den hele Rumvinkel, der fra et Punkt spænder over en uendelig Plan, er 2π , som er Halvkuglens Rumvinkel. Heraf følger altsaa, at

hele Planens resulterende Kraft er $= 2\pi \rho$.

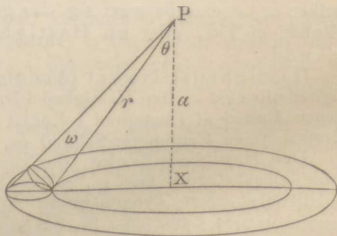


Fig. 87.

Bemærkninger om Grund-Enheder og afledede Enheder.

254. Grund-Enheder. Alle fysiske Størrelser, som Kraft, Hastighed o. s. v. kunne udtrykkes ved de tre Grund-Størrelser: Længde, Masse og Tid. Enhver af disse Størrelser maa maales med sine egne Enheder.

Det System af Enheder, der er antaget saa godt som overalt, og som er brugt i denne Bog, er det saakaldte »Centimeter-Gram-Sekund-System«, i hvilket Grund-Enhederne ere:

Centimeter som Enhed for Længde,
Gram som Enhed for Masse og
Sekund som Enhed for Tid.

En Centimeter er lig 0.3827 Tomme i Længde og repræsenterer nominelt en Tusinde-Millionte-Del eller $\frac{1}{1\,000\,000\,000}$ af en Fjerdedel af en Jordmeridian.

En Meter er 100 Centimeter eller 3.1862 Fod.

En Kilometer er 1000 Meter.

En Millimeter er en Tiendedel af en Centimeter.

Et Gram er lig $\frac{1}{15}$ Kvint, og repræsenterer Massen af en Kubikcentimeter Vand ved 4^0 C.; et Kilogram er 1000 Gram eller 2 $\mathcal{H}$.

255. Afledede Enheder.

Areal. — Enhed for Areal er en Kvadratcentimeter.

Rumfang. — Enhed for Rumfang er en Kubikcentimeter.

Hastighed. — Enhed for Hastighed er den Hastighed, med hvilken et Legeme bevæger sig, der gennemløber Enhed af Længde i Enhed af Tid, eller en Hastighed af en Centimeter pr. Sekund.

Hastighedstilvækst (Acceleration). — Enhed for Hastighedstilvækst er den Hastighedstilvækst, ved hvilken et Legeme opnaar Enhed af Hastighed i Enhed af Tid, eller en Hastighedstilvækst af en Centimeter-Sekund pr. Sekund.

Den Hastighedstilvækst, der skyldes Tyngdekraften, og som almindelig betegnes med g , er betydelig større, idet den Hastighedstilvækst, som Tyngdekraften bibringer et faldende Legeme, omtrent er 981 Centimeter pr. Sekund (eller omtrent 31.256 Fod). Værdien er noget forskellig paa forskellige Bredder. I København er $g = 981.48$; ved Ækvator er $g = 978.1$; ved Nordpolen er $g = 983.1$.

Kraft. — Enhed for Kraft er den Kraft, som i et Sekund giver en Masse af et Gram en Hastighedstilvækst af en Centimeter pr. Sekund. Den kaldes en Dyn. Den Kraft, med hvilken Jorden tiltrækker en hvilken som helst Masse, kaldes sædvanlig »Vægten« af denne Masse, og dens Værdi er øjensynlig forskellig paa de forskellige Steder af Jordens Overflade. Den Kraft, med hvilken et Legeme paa Grund af Tyngden søger indad

mod Jordens Midtpunkt, $\circ$: dets Vægt (i Dyn), findes ved at multiplicere dets Masse (i Gram) med Værdien af g paa det særlige Sted, hvor Kraften udøves.

Arbejde. — Enhed for Arbejde er det Arbejde, der udkræves for at overvinde Enhed af Kraft under Tilbagelæggelsen af Enhed af Afstand, $\circ$: for at føre et Legeme gennem en Afstand af 1 Centimeter imod en Kraft (Modstand) paa 1 Dyn. Den kaldes en Erg. Da »Vægten« af et Gram er 1.981 eller 981 Dyn, er det Arbejde, der udføres ved at løfte et Gram en Centimeter imod Tyngdekraften, 981 Erg.

Energi. — Enhed for Energi er ogsaa Erg; thi et Legemes Energi maales ved det Arbejde, det kan udføre.

Varme. — Enhed for Varme (undertiden kaldet en Kalorie) er den Mængde Varme, der fordres for at opvarme en Gram-Masse Vand fra 0 til 1° (C.). Det mekaniske Ækvivalent for denne Varmemængde er 42 Millioner Erg, som er Værdien af Joules Ækvivalent, udtrykt i absolut (C. G. S.) Maal (se Pkt. 367).

Disse Enheder kaldes undertiden »absolute« Enheder. Betegnelsen absolut er indført af Gauss for derved at angive, at de ere uafhængige baade af Størrelsen af et hvilket som helst særligt Instrument og af Tyngdekraftens Værdi paa et hvilket som helst Sted og af alle andre vilkaarlige Størrelser end de tre Grundmaal for Længde, Masse og Tid. Det er imidlertid hensigtsmæssigere at benytte Betegnelsen »C. G. S.-Enheder«, fordi de ere udledede af Centimeter, Gram og Sekund.

256. Elektriske Enheder. Der er to Systemer af elektriske Enheder, der udledes af de til Grund liggende »C. G. S.-Enheder«, og af hvilke det ene er baseret paa den Kraft, med hvilken to Elektricitetsmængder paavirke hinanden, medens det andet er baseret paa den Kraft, hvormed to Magnetpoler gensidig virke paa hinanden. Enhederne i det første System kaldes elektrostatiske Enheder, i det andet elektromagnetiske Enheder. Den vigtige Forbindelse mellem disse to Systemer er forklaret i Slutningen af Afsnit XXX.

257. Elektrostatiske Enheder. Der findes intet særligt Navn for de elektrostatiske Enheder for Mængde, Potential, Kapacitet o. s. v. Grunden til at antage nedenstaaende Værdier som Enheder er givet enten i første Kapitel eller i dette Kapitel.

Enhed for Mængde. — Enhed for Mængde er den Elektricitetsmængde, som anbragt i en Afstand af en Centimeter (i Luften) fra en lige saa stor og ensartet Mængde frastøder den med en Kraft af en Dyn. (Pkt. 236).

Potential. — Da Potentialet maales ved det Arbejde, der udføres ved at bevæge en Enhed af positiv Elektricitet imod de elektriske Kræfter, maales Enhed for Potential ved Enhed af Arbejde eller Erg.

Enhed for Potentialforskell. — Der findes Enhed af Potentialforskell mellem to Punkter, naar der udfordres et Arbejde paa en Erg for at bringe en Enhed af positiv Elektricitet fra det ene Punkt til det andet imod den elektriske Kraft (Pkt. 242).

Enhed for Kapacitet. — Den Konduktor har Enhed af Kapacitet, som for at bringes op til Enhed af Potential fordrer en Ladning af en Enhed Elektricitet. En Kugle med en Centimeters Radius har Enhed af Kapacitet (Pkt. 247).

Specifisk Fordelingsevne (sp. inductive capacity) er defineret i Pkt. 268 som Forholdet mellem to Elektricitetsmængder. Luftens specifikke Fordelingsevne tages som Enhed.

258. Enhedernes Dimensioner. Det er ovenfor blevet anført, at Hastighed kan udtrykkes i Centimeter pr. Sekund; Hastighed betegner Størrelsen af en Stedforandring pr. Tidsenhed, og det er klart, at dersom Stedforandringen maales som en Længde i Centimeter, saa vil Stedforandringen pr. Tidsenhed findes ved at dividere Antallet af Centimeter, gennem hvilket Legemet har bevæget sig, med Antallet af Sekunder, der er brugt til at tilbagelægge Vejen. Det er i Virkeligheden umuligt at angive en Hastighed uden som et Forhold imellem et vist Antal Længdeenheder og et vist Antal Tidsenheder. Med andre Ord: Hastigheden = $\frac{\text{en Længde}}{\text{en Tid}}$, saa at vi, idet vi lade L betegne Længde

og T Tid, have $V = \frac{L}{T}$, der bekvemmere skrives $V = L \cdot T^{-1}$.

Enheder.		Dimensioner.
(Grund-Enheder).		
l	Længde	L .
m	Masse	M .
t	Tid	T .
(Afledede Enheder.)		
	Areal = $L \cdot L$	L^2 .
	Rumfang = $L \cdot L \cdot L$	L^3 .
v	Hastighed = $L : T$	$L T^{-1}$.
a	Hastighedstilv. = Hastighed : Tid	$L T^{-2}$.
f	Kraft = Masse . Hastighedstilvækst .	$M L T^{-2}$.
	Arbejde = Kraft . Længde	$M L^2 T^{-2}$.
(Elektrostatiske Enheder).		
q	Mængde = $\sqrt{\text{Kraft} \cdot (\text{Afstand})^2}$	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$.
i	Strøm = Mængde . Tid	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$.
V	Potential = Arbejde : Mængde	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$.
R	Modstand = Potential : Strøm	$L^{-1} T^1$.
C	Kapacitet = Mængde : Potential	L .
k	Fordelingsevne = Mængde : en anden Mængde =	et Tal.
	Elektromotorisk Kraft = Kraft : Mængde	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$.

Paa lignende Maade er Accelerationen Hastighedsforandringen pr. Tidsenhed, og vi have $A = \frac{V}{T} = \frac{L}{T \cdot T} = \frac{L}{T^2} = L \cdot T^{-2}$.

Disse fysiske Størrelser, »Hastighed« og »Acceleration«, ere fremdeles altid Størrelser af samme Natur, idet det er ligegyldigt, om Centimeter, Tomme eller Mil tages som Enhed for Længde, og om Sekund eller et hvilket som helst andet Tidsrum tages som Enhed for Tid. Vi sige derfor, at disse Bogstav-Ligninger udtrykke disse Størrelsers »Dimensioner« med Hensyn til Grund-Størrelserne Længde og Tid. Ved at betragte foranstaaende Tabel vil Læseren let indse Rigtigheden af de deri angivne Dimensioner for de forskellige Enheder, vi ovenfor have omtalt.

De magnetiske Enheders Dimensioner ere anførte i Bemærkningen om magnetiske Enheder (Pkt. 324).

XXI. Elektrometre.

259. I Afsnit II have vi beskrevet flere Elektroskoper eller Instrumenter til at paavise Tilstedeværelsen og Arten af en Ladning Elektricitet. Nogle af dem bleve ogsaa benyttede til i grove Træk at angive Størrelsen af disse Ladninger, men ingen af dem, med Undtagelse af Snonings-Vægten, kunde betragtes som værende i Stand til nøjagtigt at maale en given Ladnings Mængde eller Potential. Et Instrument til at maale elektrostatiske Potential-differenser kaldes et **Elektrometer**. Saadanne Instrumenter kunne ogsaa benyttes til indirekte at maale Elektricitets-Mængder, da en Ladnings Mængde kan bestemmes ved at maale det Potential, den kan give en Konduktor, hvis Kapacitet er bekendt. De først konstruerede Elektrometre tilsigtede en direkte Maaling af Mængderne. Lane og Snow Harris have konstrueret »Enheds-Flasker« eller smaa Leydnerflasker, som bleve ladede og afladede et vist Antal Gange, naar der skulde maales en vis Elektricitets-Mængde. Gaugains selvudladende Guldbladelektroskop blev konstrueret med en lignende Anvendelse for Øje.

260. Frastødning-Elektrometre. Snonings-Vægten, der er beskrevet i Pkt. 15, maaler Mængder ved at maale de Kræfter, med hvilke de Ladninger, der meddeles den faste og den bevægelige Kugle, paavirke hinanden. Den kan imidlertid kun anvendes ved Maaling af frastødende Kræfter, idet Ligevægten er udstadig, naar Kuglerne tiltrække hinanden.

Der eksisterer, foruden det i Afsnit II beskrevne Guldblad-Elektroskop, et stort Antal finere Elektrometre, grundede paa Frastødning-Principet; nogle af disse ligne Snonings-Vægten deri, at de ere forsynede med en bevægelig Arm, der drejer sig om en Midter-Akse. Til denne Slags høre saaledes Dellmanns og Peltiers Elektrometre, af hvilke det sidst nævnte er afbildet i Fig. 97 i Afsnittet om atmosfærisk Elektricitet. I dette Apparat bærer en let Arm af Aluminium, der er op-hængt paa en Spids, en lille Magnet, ved Hjælp af hvilken Armen indstiller sig i den magnetiske Meridian. En fast Arm, der er i metallisk Berøring med den bevægelige, ligger ligeledes i den magnetiske Meridian. En Ladning, der bibringes dette Instrument, vil frembringe en Frastødning mellem den faste og den bevægelige Arm, hvorved de ville danne en Vinkel med hinanden. Kraften maales i dette Apparat, ikke ved at lade den virke imod en spændig Traads Snoning, eller mod Tyngdekraften, men derimod ved at lade den virke imod Jordmagnetismens Retningskraft, der paavirker den lille Naal. Kraften er altsaa afhængig af Jordmagnetismens vandrette Komposant paa Stedet, af Naalens magnetiske Moment og af Sinus af Udslagsvinklen; desuden virker Frastødningen ikke her mellem to Ladninger, der ere opsamlede paa smaa Kugler, men derimod mellem den faste og den bevægelige Arm, og det er derfor nødvendigt, for at faa Tal-Værdien for Aflesningerne paa Elektrometret, ved indledende Forsøg nøjagtigt at bestemme Størrelsen af den Kraft, der svarer til de forskellige Vinkelafvigelser (c: at »kalibrere« Instrumentet).

261. Plade-Elektrometre. Snow Harris var den første, som konstruerede et Elektrometer, der maalte Tiltrækningen mellem en elektriseret og en ikke elektriseret Plade, og vi kunne i al Almindelighed betegne hans Instrument som en Vægt til at veje Elektricitets-Ladninger paa. Nærmere bestemt lignede Instrumentet ogsaa i Form en Vægt, idet der i den ene Ende fandtes en lille, let Vægtskaal, medens der i den anden hang en Plade over en fast, isoleret Plade, og denne blev ladet med den Ladning, som skulde maales. Der var mange Mangler ved dette Instrument, men Hovedindvendingen imod det ligger i Ladningens uregelmæssige Fordeling paa Pladen. Kraften, der udøves af et elektriseret Punkt, aftager omvendt med Kvadratet paa Afstanden, da Kraftlinierne udgaa i alle Retninger fra et Centrum; men naar Elektriciteten er jævnt fordelt over en plan Overflade, løbe Kraftlinierne vinkelret paa Overfladen, parallelt med hverandre, og Kraften er uafhængig af Afstanden. Fordelingen paa en lille Kugle opfylder meget nær den første af disse Betingelser, og Fordelingen over en flad Plade vilde meget nær opfylde den sidste Betingelse, hvis ikke Pladens Kanter indvirkede forstyrrende, idet Overflade-Tætheden her er meget større (se Pkt. 35); det er Grunden til, at Snow Harris's Elektrometer var meget ufuldkomment.

Sir Wm. Thomson har indført adskillige meget vigtige Forbedringer ved Konstruktionen af Plade-Elektrometre; de vigtigste af disse Forbedringer ere Anvendelsen af den saakaldte »Beskyttelsesplade« og Indførelsen af Foranstaltninger, hvorved man er i Stand til at henføre sine Maalinger til en nøjagtig bestemt Potential-Enhed. Det vilde føre os for vidt, hvis vi skulde give en fuldstændig Beskrivelse af alle de forskellige Former af Plade-Elektrometre, men de til Grund for dem alle liggende Hovedprincipper kunne let forklares.

Pladen C, hvis Tiltrækning skal maales, er op-
hængt (Fig. 88) inden i en fast »Beskyttelses-Plade« B,
som omgiver den uden at berøre den, og som ved en
tynd Traad er i metallisk Berøring med den. Pla-
den C er ophængt i en Vægtstang L, der er forsynet
med en Modvægt, og den Aluminiumtraad, der tjener som
Omdrejningsakse, kan tillige benyttes til at frembringe
en Snoningskraft. For at kunne undersøge, om Pladen

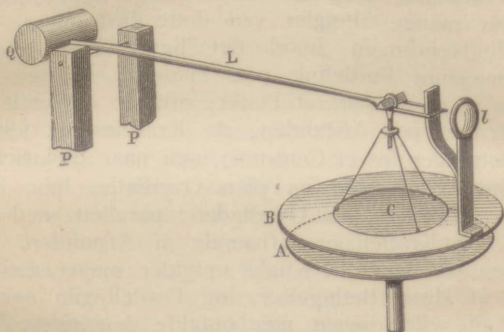


Fig. 88.

ligger nøjagtig i Flugt med Underkanten af Beskyt-
telsespladen, bærer Vægtstangen en lille Viser, hvis
Stilling kan aflæses ved Hjælp af Linsen l. Under
Pladen og Beskyttelsespladen findes en anden Plade A,
der bæres af en isolerende Opstander. Denne Plade
kan hæves og sænkes vilkaarligt ved en Mikrometer-
skrue, og der maa ved Konstruktionen af Apparatet
tages meget Hensyn til, at den altid er parallel med
Beskyttelsespladen. Da Pladen C og Beskyttelses-
pladen ere i metallisk Forbindelse med hinanden, udgøre de i
Virkeligheden een Overflade, og da Uregelmæssighederne
i Fordelingen kun finde Sted ved Overfladens Kanter,

er Fordelingen over Pladens Overflade praktisk talt jævn. Den Tiltrækning, som den nederste Plade udøver paa den bevægelige Plade, kan holdes i Ligevægt ved at forøge Kontravægten eller Snoningen af Traaden, men i Praksis opnaar man lettest Ligevægt ved at forandre den nederste Plades Afstand, indtil den elektriske Tiltrækningskraft nøjagtigt holdes i Ligevægt af de Kræfter (Snoningen eller Tyngdens Indvirkning paa Kontravægten), som søge at løfte Pladen over Beskyttelsespladens Overflade.

Teorien for Instrumentet er ogsaa meget simpel. Kraften F lige udenfor en ladet Konduktor er $4\pi q$ (Pkt. 252), og da elektrisk Kraft er det samme som Potentialforandringen pr. Længdeenhed (Pkt. 241), er

den lig $\frac{V}{D}$, hvor V er Potentialforskellen mellem den øverste og nederste Plade og D Afstanden imellem dem. Følgelig er $q = \frac{V}{4\pi D}$. Er Overfladen af den

bevægelige Plade S , vil Mængden af Ladningen paa den være Sq . Lad os nu antage, at Elektriciteten paa den nederste Plade har samme Tæthed, men modsat Tegn, hvilket vil være Tilfældet, naar enten den ene eller den anden Plade er i Forbindelse med Jorden. Da dens Tæthed er $\div q$, vil den paavirke en positiv Enhed, der er anbragt i Nærheden af Pladen med en Kraft, der er lig $\div 2\pi q$, men da denne Kraft udgaar fra Oversiden af Pladen, maa vi atter forandre dens Tegn og kalde den $+ 2\pi q$, hvor det positive Tegn angiver en Kraft, der søger at bevæge en positiv Enhed nedefter. Paa den bevægelige Plade findes der Sq Enheder af Elektricitet, hvorfor den samlede Tiltrækningskraft, der virker paa Pladen, vil være

$$\begin{aligned} F &= 2\pi q \cdot Sq \\ &= 2\pi Sq^2 \\ &= 2\pi S \frac{V^2}{16\pi^2 D^2} \end{aligned}$$

$$\therefore F = \frac{S V^2}{8 \pi D^2}, \text{ hvoraf faas}$$

$$V = D \sqrt{\frac{8 \pi F}{S}}.$$

Heraf indses, at naar Kraften F er den samme under hele Forsøget, er Potentialforskellen mellem Pladerne ligefrem proportional med Afstanden mellem dem, forudsat at den bevægelige Plade holdes i sin Normalstilling, nøjagtig i samme Plan som Beskyttelsespladen.

Størrelsen $\sqrt{\frac{8 \pi F}{S}}$ kan bestemmes een Gang for alle som Instrumentets »Konstant«. I de fuldstændigste Former af Instrumentet, det »absolute Elektrometer« og det »transportable Elektrometer«, ere Pladerne indesluttede i et Metalbur og ere tillige i Forbindelse med en Kondensator, der meddeler dem et kendt Potential. Herved undgaas Nødvendigheden af ved hver enkelt Maaling at tage Nulpunktet til Udgangspunkt, idet Potentialdifferenserne ville være ligefrem proportionale med Forskellen mellem Mikrometeraflæsningerne, eller:

$$V_1 - V_2 = (D_1 - D_2) \sqrt{\frac{8 \pi F}{S}}.$$

Kondensatoren er i disse Instrumenter forsynet med et Maalemærke, ligeledes en tiltrukken Plade, der angiver, naar Kondensatoren er ladet til det rigtige Potential; der er fremdeles et Fylde-Apparat (replenisher), som tjener til at forøge eller formindske Ladningen, og som bestaar af en lille Overførings-Fordelings-Maskine (se Pkt. 45).

262. Kvadrant-Elektrometret. Wm. Thomsons Kvadrant-Elektrometer er et Eksempel paa en anden Slags Elektrometre, i hvilke der benyttes en Hjælpe-ladning af Elektricitet, som forud bibringes Instrumentets Naal. Naalen, der bestaar af et tyndt, fladt

Aluminiumblad, EE, (Fig. 89 og 90) er ophængt vandret ved Hjælp af to Silkespind *a a* (se Pkt. 118) i en Metal-æske, der er delt i 4 lige store Dele A, B, C, D, de saakaldte Kvadranter, som bæres af Glasfødder. To og to korsvis modsatte Kvadranter ere forbundne ved en Metaltraad. (A er saaledes forbunden med C, og B med D.) Fra A og B føre Ledningen hen til et Par isolerede Klem-skruer, som kaldes Elektrometrets Poler.

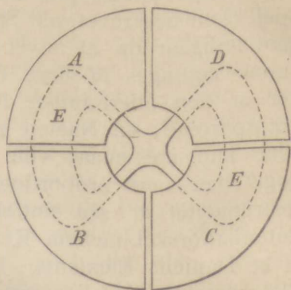


Fig. 89.

Aluminiumbladet bærer ovenover Æsken et Spejl og nedadtil en Platintraad, *b*, der tjener til at lade Aluminiumbladet med Elektricitet, idet den gaar ned i et Glas, FF, fyldt med Svovlsyre, der dels danner den indvendige Belægning af en Leydnerflaske og dels holder Apparatet tørt ved at indsuge Fugtighed; den udvendige Belægning dannes af Tinfole, lagt udenom Glasset. Gennem Traaden *c* lades Svovlsyren og Naalen til et vist Potential. Det Hele indesluttet i en Glasklokke for at holde Luftstrømninger borte, og udenom Glasklokken anbringes et Net af Metaltraade, der beskytter Apparatet mod uvedkommende elektriske Paavirkninger. For at kunne iagttage Naalens ubetydeligste Bevægelser, er der anbragt en Kikkert og en Skala saaledes, at man ved at se i Kikkerten,

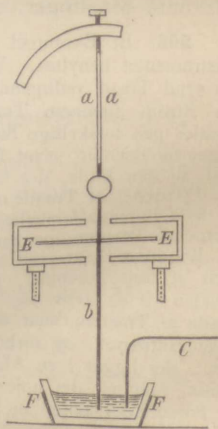


Fig. 90.

ser et Billede af Skalaens Nulpunkt tilbagekastet fra det lille Spejl. Undertiden kastes ogsaa en Lysplet fra en lille Lampe tilbage paa Skalaen ved Hjælp af det lille Spejl (som beskrevet ved Spejlgalvanometret i Pkt. 202); man undgaar da at anvende Kikkerten, og Udslagene kunne iagttages af flere Personer ad Gangen. Naar der er den allermindste Potentialforskel mellem Kvadrantparrerne, vil Naalen gøre Udslag, og naar Udslagene kun ere smaa, ville Aflæsningerne paa Skalaen noget nær være proportionale med Potentialforskellen. Instrumentet er saa fintfølende, at det kan vise en Potentialforskel mellem Kvadranterne, der kun er $\frac{1}{70}$ af et Daniells Elements. De fuldstændigste Kvadrant-Elektrometre have ligesom det »absolute Elektrometer« et Fylde-Apparat (replenisher) og Maale-Skive, saa at man kan lade Leydnerflasken til en bestemt Potential, og i saa Tilfælde kan man ved Forsøg finde Apparatets Konstant een Gang for alle og benytte det til absolute Maalinger.

263. Et Eksempel vil anskuelliggøre Maaden, paa hvilken Instrumentet benyttes. Vi vide, at naar der ved de to Ender af en tynd Traad vedligeholdes et forskelligt Potential, vil der gaa en Strøm igennem Traaden, og at man, dersom Potentialet maales paa forskellige Steder langs Traaden, vil finde, at det aftager fuldstændig jævnt fra den Ende, der har det højeste Potential, til den Ende, der har det laveste Potential. I en Afstand af en Fjerdedel af Traadens Længde vil Potentialet være aftaget $\frac{1}{4}$ af hele Potentialforskellen. Dette kan vises ved at forbinde Enderne af Traaden, gennem hvilken Strømmen gaar, med hver sin af Kvadrant-Elektrometrets Poler, hvorved det ene Kvadrantpar faar et højt Potential, medens det andet faar et lavt Potential. Naalen vil da dreje sig og vise et vist Udslag. Bringes nu den Ende af Traaden med det lave Potential ud af Forbindelse med Kvadrantparret, og forbindes det derpaa med et Sted paa Traaden, der ligger i en Afstand af $\frac{1}{4}$ af Traadens Længde fra den Ende, som har det højeste Potential, vil Naalen øjeblikkelig vise, at Potentialforskellen nu kun er en Fjerdedel af, hvad den var før.

Kvadrant-Elektrometret benyttes undertiden som et meget fintfølende Elektroskop ved Maalinger, hvor en elektrisk Potentialforskel bestemmes ved at afbalancere den mod en lige saa stor og modsatartet Potentialforskel. Den nøjagtige Ligevægt viser sig

ved, at Elektrometrets Naal ingen Udslag gør. Denne Metode til Udførelse af Maalinger gaar under Navnet »Nul-Metoden«.

264. Elektrometret med tør Søjle. Symetri-Princippet, som vi have set anvendt i Kvadrant-Elektrometret, blev ogsaa benyttet i et ældre men meget unøjagtigere Instrument, — Bohnenbergers Elektroskop, — i hvilket den Ladning, der skulde undersøges, blev overført til et enkelt Guldblad, som var symetrisk anbragt mellem Polerne af en tør Søjle (Pkt. 182). Guldbladet vilde efter Ladningens Art tiltrækkes af den ene eller anden Pol. Fechner forbedrede Instrumentet ved at forbinde Søjle's positive Pol med et Guldblad, der hang mellem to Metalplader, af hvilke den, der var mest positiv vilde frastøde Bladet. Da en tør Søjle er en meget ukonstant Elektricitetskilde, erstattede Hankel den med et Batteri paa et meget stort Antal smaa Daniells Elementer.

265. Haarrørs-Elektrometre. Lippmanns Haarrørs-Elektrometer er i den af Dewar modificerede Form beskrevet i Pkt. 225, Side 185.

XXII. Specifisk Fordelingsevne o. s. v.

266. I Afsnit VI have vi omtalt, at en Leydner-flaskes eller andre Kondensatorers Kapacitet afhænger af de ledende Overflader eller Belægninger, af Tykkelsen af Glasset eller de andre dielektriske Stoffer, som adskille Belægningerne, samt af den særlige »Fordelingsevne« af det dielektriske Stof, der er anvendt. Disse Forhold ville vi nu undersøge nærmere. I Pkt. 246 have vi set, at en Konduktors Kapacitet maales ved den Mængde Elektricitet, som er nødvendig for at hæve dens Potential til en Enhed. Dersom en Elektricitetsmængde Q forøger Potentiallet fra V til V^1 , er Konduktorens Kapacitet altsaa

$$C = \frac{Q}{V^1 - V}.$$

En Leydnerflaske eller en anden Kondensator kan imidlertid betragtes som en Konduktor, i hvilken (paa Grund af den særlige Maade, hvorpaa de to modsatte ladede Overflader ere bragte i Nærheden af hinanden) den ledende Overflade er i Stand til at optage en meget stor Mængde Elektricitet, uden at Potentialiet (hvad enten det er det positive eller det negative) hæves meget højt. En Kondensators Kapacitet kan derfor maales ligesom en almindelig Konduktors ved den Mængde Elektricitet, der er nødvendig for at hæve Potentialiet en Enhed.

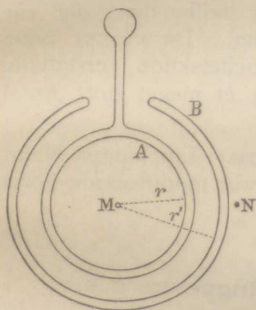


Fig. 91.

267. Teorien for en kugleformet Luftkondensator. Vi ville undersøge Forholdene ved en Leydner-Flaske, der bestaar af to koncentriske Metalkugler, den ene inden i den anden, og hvis Mellemrum er fyldt med Luft. Den inderste, A, (Fig. 91) repræsenterer den indvendige Belægning, og den ydre, B, den udvendige Belægning; Kuglens Radier ere henholdsvis r og r^1 . Lades A med en Ladning paa Q Enheder, vil den inducere en lige saa stor

negativ Ladning, $\div Q$, paa B's indvendige Side, medens en frastødt positiv Ladning, $+ Q$, vil findes paa den udvendige Side. Denne positive Ladning afledes imidlertid ved Berøring til Jorden, og kommer derfor ikke til at spille nogen Rolle. Potentialiet*) i Centret M, beregnet efter den Regel, der er givet i Pkt. 238, vil være

$$V_M = \frac{Q}{r} \div \frac{Q}{r^1}.$$

*) Da der ikke findes nogen elektrisk Kraft inden i en lukket Konduktor, vil Potentialiet i Midten være netop det samme som i ethvert andet indvendigt Punkt, saa at det egentlig kun er en Talemaade, naar man særlig taler om Centrets Potential.

I et Punkt N, der ligger udenfor den ydre Kugle, men ganske tæt ved den, vil Potentialet være det samme, som om disse to Ladninger, $+Q$ og $\div Q$, begge vare koncentrerede i M, og følgelig have vi

$$V_N = \frac{+Q - Q}{r^1} = 0,$$

saa at Potentialforskellen vil blive

$$V_M - V_N = \frac{Q}{r} - \frac{Q}{r^1} = Q \left(\frac{r^1 - r}{r r^1} \right);$$

hvoraf følger, at

$$\frac{Q}{V_M - V_N} = \frac{r r^1}{r^1 - r}.$$

Men i Henhold til, hvad der ovenfor er anført, er

Kapaciteten $C = \frac{Q}{V_M - V_N}$, og følgelig bliver $C = \frac{r r^1}{r^1 - r}$.

Vi se af denne Formel, at Kondensatorens Kapacitet er proportional med Metalkuglernes Størrelse, og dersom Luftlaget imellem Kuglerne er meget tyndt — det vil sige, r og r^1 omtrent ere lige store — hvorved $r^1 - r$ bliver meget lille, bliver Værdien af Brøken $\frac{r r^1}{r^1 - r}$ meget stor, saa at vi derved have et Bevis for,

at en Kondensators Kapacitet bliver desto større, jo tyndere det dielektriske Mellemlag er.

268. Specifisk Fordelingsevne. Cavendish var den første, der opdagede, at en Kondensators Kapacitet ikke alene afhænger af dens Dimensioner, men ogsaa af Fordelingsevnen af det Materiale, der bruges som dielektrisk Stof imellem de to Overflader. Dersom to Kondensatorer (af en af de Former, vi have beskrevet) laves af nøjagtig samme Størrelse, og dersom det dielektriske Mellemlag i den ene er Luft og i den anden et andet isolerende Stof, har man fundet, at man ved at meddele dem lige store Elektricitets-Ladninger ikke frembringer lige store Potentialdifferenser i dem, eller med andre Ord, at de ikke have samme Kapacitet. Er det dielektriske Stof,

der anvendes, f. Eks. Svovl i Stedet for Luft, vil Kapaciteten omtrent blive tre Gange saa stor, thi Svovl er i Besiddelse af en meget stor Fordelingsevne og overfører den elektrostatiske Fordeling igennem sig tre Gange saa godt som Luft. Navnet **specifisk Fordelingsevne** (spec. inductive capacity) anvendtes af Faraday for at betegne, hvor mange Gange Kapaciteten af en med et eller andet bestemt dielektrisk Stof forsynet Kondensator var større end Kapaciteten af en Luftkondensator af samme Størrelse. Den specifikke Fordelingsevne af tør Luft, ved en Varmegrad af 0° C. og 760 Mm. Tryk, tages som Enhed.

Cavendish maalte i Aaret 1775 den specifikke Fordelingsevne af Glas, Voks og andre Stoffer ved at anvende dem i Kondensatorer af to cirkelformede Metalplader og ved at sammenligne disse Kondensatorers Kapacitet med en Luftkondensators (omtrent som den i Fig. 27 afbildede) og med andre Kondensatorers, som han kaldte »Prøveplader«. Han gik endog saa vidt, at han sammenlignede disse »Prøvepladers« Kapacitet med Kapaciteten af en Kugles, der var $12\frac{1}{2}$ " i Diameter, og som var ophængt i Midten af et Værelse.

269. Faradays Forsøg. I 1837 opdagede Faraday, som ikke kendte noget til Cavendish's dengang ikke offentliggjorte Undersøgelser, uafhængigt af disse den specifikke Fordelingsevne, og maalte Værdien af den for forskellige Stoffer, idet han til disse Undersøgelser brugte to Kondensatorer, hvis Form er vist Fig. 92. Hver af dem bestod af en Messingkugle A, der var indesluttet i en hul Messingkugle B og isoleret ved en lang Prop af Skellak, igennem hvilken der gik en Traad, som endte i Kuglen a. Den ydre Kugle bestod af to Halvdele, som kunde skilles fra hinanden, for at det hule Rum kunde fyldes med det Stof, han ønskede at undersøge. Han sammenlignede da Apparaternes Kapaciteter, naar et af dem var fyldt med det Stof, han vilde undersøge, medens det andet var

fyldt med tør Luft. Maaden, paa hvilken Forsøget blev udført, var meget simpel. Den ene af Kondensatorerne blev ladet med Elektricitet, hvorpaa dens Ladning blev fordelt mellem begge Kondensatorerne ved at bringe de to indre Belægninger i metallisk Forbindelse med hinanden, og ligeledes de ydre Belægninger. Vare deres Kapaciteter lige store, vilde Ladningen blive delt i to lige store Dele, og Potentialet vilde efter Berøringen være netop det halve af, hvad det var i den ladede Kondensator før end Berøringen. Var den enes Kapacitet større end den andens, vilde det endelige Potential ikke være nøjagtig det halve af det oprindelige, fordi Ladningen ikke vilde blive ligelig delt, men vilde blive delt i Forhold til Kondensatorernes Kapaciteter. Ladningernes Potentialer maalttes før og efter Berøringen ved Hjælp af en Snonings-Vægt*). Faraday fandt ved sine Forsøg følgende Værdier: Svovl 2.26; Skellak 2.0; Glas 1.76 eller mere.

270. Nyere Undersøgelser.

Efter 1870 er vort Kendskab til disse Stoffer blevet betydelig forøget. Gibson og Barclay

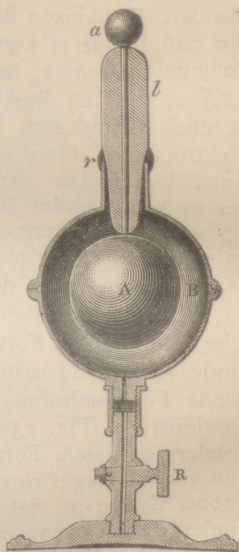


Fig. 92.

*) Værdien af den specifikke Fordelingsevne k kunde beregnes paa følgende Maade:

$$Q = VC = V^1C + V^1Ck$$

(hvor C er det første Apparats Kapacitet, V dets Potential og V^1 Potentialet efter Berøringen med det andet Apparat, hvis Kapacitet er Ck);

følgelig have vi $V = V^1(1+k)$

$$\text{og } k = \frac{V - V^1}{V^1}.$$

maalte Fordelingsevnen af Paraffin, idet de sammenlignede Kapaciteten af en Paraffin- og en Luftkondensator ved Hjælp af en glidende Kondensator og en delt Kondensator, det saakaldte »Platymeter«, og brugte et Kvadrant-Elektrometer som et følsomt Elektroskop for at kontrollere, at de to Kondensatorer fik nøjagtig samme Kapacitet. Wüllner, Boltzmann og andre have ogsaa undersøgt faste Stoffers Fordelingsevne paa forskellige Maader. Hopkinson har undersøgt forskellige Slags Glas, idet han brugte et konstant Batteri til at frembringe de Potentialdifferenser, han ønskede, og en Kondensator, forsynet med en Beskyttelsesring, der blev anvendt af lignende Grund som Beskyttelsesringen i det absolute Elektrometer. Gordon har endnu senere gjort et stort Antal Iagttagelser ved Hjælp af et følsomt Apparat, der er kendt under Navnet statisk »Induktions-Vægt«, og som er en sammensat Kondensator, der er sat i en saadan Forbindelse med et Kvadrant-Elektrometer, at naar Kapaciteten af de enkelte Dele netop er lige stor, vil Elektrometernaalen intet Udslag gøre, hvilken Størrelse eller hvilket Fortegn end den i Øjeblikket eksisterende Elektricitetsladning har. Man er i Stand til ved denne Foranstaltning, naar der tillige benyttes en Induktionsrulle (Fig. 130) og en hurtigt virkende Strømveksler, at maale Fordelingsevnen, selv om Ladningen kun varer i meget ringe Tid, idet Elektriseringen skiftes 12000 Gange pr. Sekund. Et saadant Instrument overvinder derfor ogsaa en stor Vanskelighed, som knytter sig til disse Maalinger, nemlig den, at det dielektriske Stof absorberer en Del af Ladningen (omtalt i Pkt. 53), saa at Stoffets Kapacitet, naar den maales langsomt, ikke er den samme som dets »øjeblikkelige Kapacitet«. Denne elektriske Absorbering er omtalt yderligere i Pkt. 272. Mængden af den Del af Ladningen, som absorberes, er afhængig af den Tid, Ladningen har været opsamlet, og af den Grund variere de Værdier, som forskellige Iagttagere have fundet for forskellige Stoffers Fordelingsevne, meget betydeligt, især ved mindre

fuldkomne Isolatorer. Følgende Tabel er uddraget af Gordons Iagttagelser:

Luft	1.00.
Glas	3.013 til 3.258.
Ebonit	2.284.
Guttaperka	2.462.
Kautsjuk	2.220 til 2.497.
Paraffin (fast)	1.9936.
Skellak	2.74.
Svovl	2.58.

Gordons Værdier vilde sandsynligvis have været korrekte, dersom Pladerne i Induktions-Vægten havde været forsynede med Beskyttelsesringe (Pkt. 248). Hopkinson, der anvendte »den langsomme Metode«, fandt en meget højere Fordelingsevne for Glas, nemlig fra 6.5 til 10.1, idet de vægtfyldigste Glassorter havde den største Fordelingsevne.

Rowland har for nylig undersøgt Fordelingsevnen af Kvarts-Plader, skaarne ud af en homogen Krystal, og har fundet, at de ere fuldstændig fri for elektrisk Absorbering. Cavendish iagttog, at Glassets Fordelingsevne blev betydelig større ved de Temperaturer, ved hvilke det begynder at lede Elektricitet. Boltzmann har vist, at ved to krystallinske Stoffer — Islandsk Dobbelt-Spath og Svovl — er Fordelingsevnen forskellig i forskellige Retninger i Forhold til disses Stillinger til Krystalakserne.

271. Vædske- og Luftarters specifikke Fordelingsevne. Vædske- og Luftarters Fordelingsevne har ogsaa forskellige Værdier. Nedenstaaende Tabel er taget fra Silows og Gordons Undersøgelser:

Terpentin	2.16.
Petroleum	2.03 til 2.07.
Svovlkulstof	1.81.

Faraday undersøgte forskellige Luftarters Fordelingsevne ved Hjælp af sit Apparat (Fig. 92), idet han fyldte den ene af Kondensatorerne med atmosfærisk Luft og den anden med den Luftart, der skulde under-

søges, og som blev ledet ind gennem den under Kuglen anbragte Hane, efter at Kondensatoren var pumpet lufttom med en Luftpumpe. Metoden var imidlertid ikke tilstrækkelig nøjagtig, til at han kunde finde nogen Forskel mellem de forskellige Luftarter, skønt der blev gjort mange Forsøg med forskellige Par af Luftarter ved forskellige Temperaturer og ved forskellige Tryk. I den senere Tid have Boltzmann og uafhængigt af ham Ayrton og Perry maalt forskellige Luftarters specifikke Fordelingsevne ved meget nøjagtige Metoder, og Resultaterne af deres Under søgelser stemme meget godt overens.

	Boltzmann.	Ayrton og Perry.
Atmosfærisk Luft	(1)	(1)
Lufttomt Rum	(0.999410)	(0.9985)
Brint	0.999674	0.9998
Kulsyre	1.000356	1.0008
Tung Kulbrinte (C_2H_4)...	1.000722	
Svovlsyring		1.0037

272. Mekaniske Virkninger af dielektrisk Spænding. At forskellige isolerende Stoffer have forskellig Fordelingsevne, modbeviser tilstrækkeligt den Opfattelse, at Fordeling kun er en »Virkning paa Afstand«, thi det er klart, at det dielektriske Stof selv spiller en Rolle ved Fordelingens Forplantning, og at nogle Stoffer forplante Fordelingen bedre end andre. Tilstedeværelsen af en Restladning (Pkt. 53) kan forklares enten ved at gaa ud fra, at et dielektrisk Stof er sammensat af uligeartede Smaadele med forskellig Ledeevne, hvad Maxwell antog, eller ved at gaa ud fra den Antagelse, at Molekylerne virkelig ere underkastede en Spænding, hvis Virkninger, især hvis Spændingen vedligeholdes længe, ikke straks tabe sig. Kohlrausch og andre have paapeget den Aanalogi, som finder Sted imellem disse Fænomener og den »elastiske

Eftervirkning«, som faste Stoffer udvise, naar de have været underkastet en Bøjning eller Vridning. En Glas- traad f. Eks., der er bleven snoet af en vis Kraft, vil saaledes, naar Kraften ophører, springe tilbage næsten til sin oprindelige Stilling, men den vil dog bibeholde en lille sub-permanent Vridning, der først lidt efter lidt taber sig. Hvor længe dette vil vare, afhænger af Størrelsen og Varigheden af den oprinde- lige Snoning. Hopkinson har vist, at det er muligt oven paa hinanden at ophobe adskillige Restladninger, selv Ladninger med modsat Fortegn, som tilsynela- dende »sive ud«, efterhaanden som det spændte Legeme gaar tilbage til sin oprindelige Tilstand. Perry og Ayr- ton have ogsaa undersøgt Spørgsmaalet og have vist, at Polarisations-Ladningerne i Voltametre vise lignende Eftervirkninger *).

Luftkondensatorer have ingen Restladninger.

Naar en Kondensator udlades, høres der under- tiden en Lyd. Dette blev bemærket af Sir Wm. Thom- son ved Luftkondensatorer, og Varley har endog kon- strueret en Telefon, i hvilken en Kondensators hurtige Ladning og Udladning frembringer tydelige Toner.

Vi vide intet bestemt om de molekulære eller me- kaniske Virkninger Natur i de dielektriske Stoffer, der ere underkastede en fra en elektrostatisk Fordeling hidrørende Spænding. Faraday har gjort et meget vigtigt Forsøg, ved hvilket han har vist, at Fordelin- gen, som han udtrykte sig, er en »Virkning af berø- rende Smaadele«. I et Glaskar heldte han noget Ter- pentinolie, og heri spredte han nogle tørre Silketrevler, skaarne i ganske smaa Stykker. To Ledningstraade vare førte ind i Vædsken, og den ene af disse var i Forbindelse med Jorden, medens den anden var for-

*) Det er derfor sandsynligt, at Maxwells Antagelse, — at det er Uens- artethed i Legemernes indre Bygning, der frembringer en tilbage- blivende Elektrisering paa Grænsefladerne mellem de Smaadele, der have forskellig elektrisk Ledeevne — er den rigtige Forklaring paa »Restladningen«. Den elastiske Eftervirkning skyldes maaske selv Uensartethed i Legemernes indre Bygning.

bunden med Kollektoren paa en Elektrisermaskine. Silketrevlerne samlede sig fra alle Dele af Vædsken og dannede en Kæde fra Ledningstraad til Ledningstraad. Berøres Silketrevlerne med en Glasstang, ville de gøre Modstand mod at blive skubbende til Side, men saa snart Tilførselen af Elektricitet ophører, spredes de rundt om i Vædsken. Faraday antog, at man heri havde en Illustration af, hvad der foregik i alle de Tilfælde, hvor Fordeling foregaar igennem et dielektrisk Stof. Dettets enkelte Dele, antog han, bleve »polariserede«, det vil sige, bleve drejede i bestemte Stillinger, idet hver Del havde en positiv og en negativ Ende. Man vil ikke undgaa at lægge Mærke til den iøjnefaldende Overensstemmelse mellem de Egen-skaber, der saaledes tillægges Smaadelene i et dielektrisk Stof, gennem hvilket, der foregaar en elektrostatiske Fordeling, og Molekylerne i et Stykke Jern eller Staal, som er underkastet en magnetisk Fordeling.

Siemens har paavist, at Glasset i en Leydnerflaske bliver kendelig opvarmet, naar Flasken adskillige Gange hurtigt efter hinanden lades og aflades. Dette vilde øjensynlig ikke være Tilfældet, dersom ikke molekylerne Bevægelser ledsagede Forandringerne af den dielektriske Spænding.

273. Elektrisk Udvidelse. Fontana bemærkede, at det indvendige Rumfang af en Leydnerflaske forøges, naar den lades. Volta søgte at forklare dette ved at antage, at Tiltrækningen mellem de to ladede Overflader trykkede Glasset sammen og fik det til at udvide sig i Sideretningen. Den samme Tanke har Priestley allerede tidligere udtalt. Duter paaviste, at Størrelsen af den tilsyneladende Udvidelse var omvendt proportional med Glassets Tykkelse og forholdt sig som Kvadratet paa Potentialforskellen. Quincke har fornylig paavist, at medens Glas og nogle andre Isolatorer vise elektrisk Udvidelse, finder der en tydelig Sammentrækning Sted i Harpiks og andre Legemer, naar de underkastes en elektrostatiske Spænding. Han

sætter disse Egenskaber i Forbindelse med den Frembringelse af optisk Spænding og Dobbelt-Brydning, som Kerr opdagede (se Afsnittet om Elektro-Optik Pkt. 386).

274. Undersøiske Kabler som Kondensatorer.

Et undersøisk Kabel virker som en Kondensator, idet Havet danner den ydre Belægning og Ledningstraaden den indre, medens det isolerende Guttaperkalag svarer til Glasset i Leydnerflasken. Naar den ene Ende af det i Havet nedsænkede Kabel sættes i Forbindelse med f. Eks. den positive Pol af et kraftigt Batteri, strømmer der positiv Elektricitet ud i det. Forinden der kan modtages noget Signal ved den anden Ende, maa der strømme saa megen Elektricitet ind i Kablet, at det lades til et betydeligt Potential, hvad der ved lange Kabler kan tage flere Sekunder. Faraday forudsagde, at denne Forsinkelse vilde indtræffe. Det er i Virkeligheden en alvorlig Hindring for at kunne signalere hurtigt gennem det transatlantiske og andre Kabler. Professor Fleeming Jenkin har ved følgende Forsøg givet et ligefremt Bevis for Sagen. Skydes et isoleret Kabel paa omtrent 3000 Alens Længde op i et Kar med Vand, og isoleres den ene Ende, medens den anden Ende gennem et Galvanometer med mange Vindinger forbindes med den positive Pol af et Batteri, hvis negative Pol er i Forbindelse med Vandet i Karret, vil Galvanometernaalen, saa snart dette er gjort, gøre et stort Udslag, idet der strømmer positiv Elektricitet gennem Galvanometret til det indre af Kablet, medens der opsamles en negativ Ladning uden om det, der hvor Vandet berører Guttaperkaen. Strømmen vil fortsættes, maaske en hel Time, indtil Kablet er fuldstændig ladet, men den bliver efterhaanden svagere og svagere. Fjerner man derefter Batteriet og fører den Traad, der gik fra Galvanometret til Batteriet, ned i Vandet, vil Ladningen i Kablet strømme ud gennem Galvanometret, der vil vise et Udslag i modsat Ret-

ning, og Restladningen vil vedblive at »sive ud» i lang Tid.

Da Signaleringens Hurtighed og følgelig den økonomiske Benyttelse af Kablet afhænger af dets Kapacitet som Kondensator^{*)}, og da dets Kapacitet er afhængig af det isolerende Stofs specifikke Fordelingsevne, er det af Hooper opfundne Isolationsstof, hvis Kapacitet kun er 1.7, og som tilmed er billigt, at foretrække for Guttaperka, der er kostbart, og hvis specifikke Fordelingsevne er 2.46.

275. Benyttelsen af Kondensatorer. For at undgaa denne Forsinkelse og forøge Signaleringshastigheden i Kabler er der konstrueret forskellige Apparater. Det er heldigt at benytte meget følsomme Modtagerinstrumenter, der kun behøve en svag Strøm, idet nemlig et svagt Batteri kun giver Kablet en lille Ladning. Undertiden anvendes en særlig Nøgle, som efter ethvert Signal øjeblikkelig sender en Ladning af modsat Fortegn ud i Kablet, for ligesom at udslette den tilbageblivende Ladning. Ved Dupleks-Signalering (Afsnit XXXIX) modbalanceres Kablets Modstand og elektrostatiske Kapacitet ved Hjælp af et »kunstigt Kabel«, der bestaar af en Traad med samme Modstand og en Kondensator med samme Kapacitet som Kablet. Muirhead har til Brug ved Dupleks-Telegrafering igennem det transatlantiske Kabel konstrueret en Kondensator, der indeholder 100000 Kvadratfod (c. 2 Tønder Lands Overflade) Tinfoлие. Saadanne Kondensatorer anvendes undertiden ogsaa paa Telegrafinier uden Dupleks-Telegrafering, for at undgaa Jordstrømme. De konstrueres ved at anbringe Tinfoлиеplader imellem Glimmer- eller paraffinerede Papirsplader, idet hveranden af Tinfoлиеpladerne ere forbundne med hinanden. Smaa Kondensatorer af lignende Konstruktion benyttes i Forbindelse med Induktionsapparater (Fig. 130).

^{*)} Kapaciteten af det »direkte« transatlantiske Kabel fra Irland til Amerika er 992 Mikrofara.

276. Praktisk Enhed for Kapacitet. Elektrikerne have antaget en Enhed for Kapacitet, der kaldes en **Farad**, og som er baseret paa det elektromagnetiske System af Enheder. En Elektricitets-Ladning paa en Coulomb *) vil bibringe en Kondensator med en Kapacitet af en Farad et Potential af en Volt. En saadan Kondensator vilde imidlertid være alt for stor til Benyttelse i Praxis. Som praktisk Enhed for Kapacitet vælger man derfor en **Mikrofarad**, eller en Milliontedel af en Farad. Et Sø-kabel paa tre Fjerdingvejs Længde har omtrent en Kapacitet af en Mikrofarad. Kondensatorer paa en Mikrofarad indeholde omtrent 3600 Kvadrattommer Tinfole. Den almindelig benyttede Form af dem er vist i Fig. 93, der forestiller en Kondensator paa $\frac{1}{3}$ Mikrofarad. De to Metalstykker paa Ebonitdækslet forbindes hvert for sig med et af de to indbyrdes isolerede Systemer af Tinfoleplader. Proppen imellem Metalstykkerne tjener til at holde Kondensatoren uladet, naar den ikke skal benyttes.

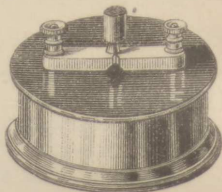


Fig. 93.

Maaden, paa hvilken en Kondensators Kapacitet maales, er angivet i Pkt. 362.

277. Formler for Konduktors og Kondensators Kapacitet. Nedenstaaende Formler angive Kapaciteten af Kondensatorer af alle de almindelig forekommende Former i elektrostatiske Enheder:

Kuglen: (Radius = r . Se Pkt. 247)

$$C = r.$$

To koncentriske Kugler: (Radierne r og r^1 , det dielektriske Stofs specifikke Fordelingsevne = k)

$$C = k \frac{rr^1}{r^1 - r}$$

Cylindren: (Længde = l , Radius = r)

$$C = \frac{l}{2 \log_e \frac{r^1}{r}}$$

*) Se Bemærkningen om elektromagnetiske Enheder Pkt. 321.

To koncentriske Cylindre: (Længde = l ,
det dielektriske Stofs specifikke Fordelingsevne = k ,
indre Radius = r , ydre Radius = r^1)

$$C = k \frac{l}{2 \log_e \frac{r^1}{r}}$$

Cirkulær Plade: (Radius = r , Tykkelsen forsvindende)

$$C = \frac{2r}{\pi}$$

To cirkulære Plader: (Som Luftkondensatoren, Pkt. 48, Radierne = r , Overfladen = S , det dielektriske Stofs Tykkelse = b , dets specifikke Fordelingsevne = k)

$$C = k \frac{r^2}{4b}$$

eller

$$C = k \frac{S}{4\pi b}$$

(Den sidste Formel gælder for hvilke som helst to parallelle Plader med Overfladen S , hvad enten de ere cirkulære eller af anden Form, naar de blot ere store i Forhold til Afstanden b imellem dem).

278. Energien af Udladningen af en Leydnerflaske eller Kondensator. Det følger af Definitionen paa Potential (Pkt. 237), at det Arbejde, der udføres ved at tilføre et Legeme med Potential V en positiv Elektricitets-Enheden, er V Erg. Herved er det imidlertid forudsat, at Legemets Potential vedbliver at være V , og under denne Forudsætning vil det ved Tilførelse af Q Enheder udførte Arbejde være QV . Er Potentialet imidlertid til at begynde med Nul, og bringes det af en Ladning Q op til V , er Middelpotentialet under Tilførelsen af Elektriciteten kun $\frac{1}{2}V$, og derfor udfører man kun Arbejdet $\frac{1}{2}QV$ Erg, naar man tilfører et Legeme Ladningen Q samtidig med, at man herved bringer dets Potential op fra Nul til V . I Henhold til Principperne for Energiens Bevaring er det

Arbejde, der udføres ved at lade en Leydnerflaske eller Kondensator med Elektricitet, lige saa stort som det Arbejde, denne Elektricitetsmængde kan udføre, naar Flasken udlades, og derfor angiver $\frac{1}{2} QV$ Energien af Udladningen, idet V er Potentialforskellen mellem de to Belægninger.

Da $Q = VC$ (hvor C er Kapaciteten), følger deraf, at vi kunne skrive $\frac{1}{2} QV$ som $\frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$, det vil sige, at

dersom en Kondensator med Kapaciteten C , lades med en Elektricitetsmængde Q , er Ladningens Energi ligefrem proportional med Kvadratet paa Mængden og omvendt proportional med Kondensatorens Kapacitet.

Lades to Leydnerflasker til det samme Potential, og forbindes deres indre Belægninger med hinanden, lige saa vel som de ydre med hinanden, vil deres samlede Ladning være den samme som en Flaskes af lige saa stor Tykkelse, men med to Gange saa stor Overflade.

Bringes en ladet Leydnerflaske paa lignende Maade i Berøring med en uladet Flaske, med lige saa stor Kapacitet, vil Ladningen blive delt ligeligt imellem de to Flasker, og Elektricitetens Overgang fra den ene til den anden vil vise sig derved, at der frembringes en Gnist, naar de to Belægninger bringes i Berøring med hinanden. Halvdelen af Ladningens Energi tabes imidlertid ved Ladningens Deling. Ladningens Størrelse i hver Flaske vil være $\frac{1}{2} Q$ og Potentialet $\frac{1}{2} V$, og da enhver af Ladningernes Energi er det halve Produkt af Ladningen og Potentialet, vil følgelig enhver af dem kun have en Fjerdedel af den oprindelige Energi. Gnisten, som frembringes ved Ladningens Deling, er i Virkeligheden et Tegn paa Energitalet; den er omtrent halv saa stærk, som Gnisten vilde have været, hvis den første Leydnerflaske ligefrem var bleven udladet, og den er netop to Gange saa kraftig som de mindre Gnister, der frembringes, naar enhver af Leydnerflaskerne udlades, efter at Ladningen er bleven delt imellem dem.

Energien af en Leydnerflaskes Ladning viser sig tydelig, som ovenfor omtalt, ved Frembringelsen af en Udladnings-Gnist; Lyden, Lyset og Varmen, der frembringes, ere Ækvivalent for den opsamlede Energi. Foretages Udladningen langsomt gennem en lang, tynd Metaltraad med stor Modstand, vil Gnisten blive meget svag, men Traaden vil blive kendelig opvarmet. Igennem en vaad Snor, der er en daarlig Leder, sker Udladningen langsomt og næsten lydløst; Fugtighedens elektrolytiske Forplantning af Elektriciteten ledsages her sandsynligvis af en lignende Virkning, som i de sekundære Batterier (Afsnit XXXVIII), hvorved Udladningens Varighed forlænges.

279. Ladning af Leydnerflasker, anbragte i Række (efter hinanden). Franklin foreslog at forbinde en Række Leydnerflasker saaledes med hinanden, at den ydre Belægning af en Flaske forbindes med den indre Belægning af den næste o. s. fr., idet den sidste Flaskes ydre Belægning sættes i Forbindelse med Jorden. Hensigten med denne Opstilling var, at den anden Flaske skulde lades med den Elektricitet, som blev frastødt fra den første Flaskes ydre Belægning, den tredie med den andens frastødte Elektricitet o. s. v. En saadan Anbringelse af Leydnerflasker vil imidlertid ikke have nogen Fordel, idet hele Ladningen, der opsamles i Rækken, kun er lig en enkelt Flaskes Ladning. Der- som nemlig den første Flaskes indvendige Belægning har Potentiallet V , medens den sidste Flaskes ydre Belægning, som er i Forbindelse med Jorden, har Potentiallet Nul, saa vil Potentialforskellen mellem den indre og ydre Belægning af enhver af Flaskerne kun være $\frac{1}{n} V$, hvor n angiver Antallet af Flasker; og da Ladningen i enhver af Flaskerne er lig med dens Kapacitet, C , multipliceret med dens Potential, er Ladningen i enhver af dem kun $\frac{1}{n} CV$, og den samlede

Ladning i alle n Flasker vil derfor være $n \frac{1}{n} CV$, eller CV , 3: lige saa stor som Ladningen af en Flaske med Kapaciteten C og Potentialet V .

XXIII. Udladnings-Fænomener.

280. En elektriseret Konduktor kan udlades paa i det mindste tre forskellige Maader, der dels ere afhængige af det Medium, gennem hvilket Udladningen foretages, og dels af Omstændighederne ved Udladningen.

281. Eksplisiv Udladning (»Disruptiv U.«). I det foregaaende Afsnit have vi set, at Fordeling igennem et ikke-ledende Stof altid ledsages af en mekanisk Spænding i Mediet. Er denne Spænding meget stor, vil det ikke-ledende Stof pludselig give efter, og der vil bryde en Gnist igennem det. En saadan Udladning kaldes en „**eksplisiv Udladning**“.

En omhyggelig Overvejelse af et meget simpelt Forsøg vil kaste et klart Lys over, hvad der foregaar. Ophænges en Messingkugle, ladet med positiv Elektricitet, i en Silketraad over en Metalplade, der ligger paa Jorden, saa vil der, naar Kuglen sænkes, springe en Gnist over mellem denne og Pladen, saa snart de komme meget tæt til hinanden, og det vil da vise sig, at Kuglen har mistet al sin Elektricitet. Den var ladet med en vis Mængde Elektricitet, og medens den var ophængt udenfor andre Konduktors Rækkeevne, havde den en vis Kapacitet (numerisk lig dens Radius i Centimeter), saa at Elektriciteten paa den havde et vist Potential (nemlig $= \frac{Q}{C}$), og Ladningen var jævnt fordelt over den med en vis Overflade-Tæthed. Pladen, der ligger paa Jorden, vil hele Tiden have Potentialet Nul. Saa snart imidlertid Kuglen blev sænket ned mod Pladen, forandredes de oprindelige Forhold.

Paa Grund af Kuglens positive Ladning vilde Pladens Potential *) stige, dersom der ikke paa Grund af den Virkning, der kaldes Fordeling, fremkom netop saa megen negativ Elektricitet paa den, at dens Potential vedblev at være det samme som Jordens. Den inducerede negative Elektricitet paa Pladen vil trække Kuglens positive Elektricitet nedefter og forandre Elektricitetens Fordeling paa Kuglen, saa at Overflade-Tætheden bliver større paa den nederste Del af Overfladen, og mindre paa den øverste. Kuglens Kapacitet vil forøges, og dens Potential vil falde i Forhold dertil. Luftlaget imellem Kuglen og Pladen vil virke ligesom Glasset i Leydner-Flasken. Jo mere Kuglen sænkes, desto mere ophobes de uensartede Elektriciteter paa hver Side af Luftlaget, og Spændingen gennem dette bliver større og større, indtil Grænsen for den dielektriske Modstandskraft naas; Luften vil da pludselig give efter, og Gnisten baner sig en Vej gennem Luften. Jo større Potentialforskellen er imellem de to Legemer, desto tykkere vil det Lag være, som saaledes kan gennembrydes, og desto længere vil Gnisten være.

282. Udladning ved Ledning. Sker Udladningen derved, at der frembringes en uafbrudt Strøm, som, naar Elektriciteten gaar gennem en tynd Traad fra en Maskines Opsamler tilbage til Gnidetøjet, eller fra et Batteris positive Pol til den negative, siges der at foregaa en **Udladning ved Ledning**. Lovene for en saadan Udladning ere forklarede i Afsnitene XXIX og XXX.

283. Udladning ved Bortførelse («Convectiv U.»). En tredie Slags Udladning, der er forskellig fra de ovenfor omtalte, kan finde Sted, og den indtræffer hovedsagelig, naar Elektricitet af højt Potential udlader sig gennem en spids Konduktor, ved at ophobes der med

*) Læseren maa huske paa, at ifølge Definitionen paa Potential (Pkt. 237) er et Punkts Potential lig Summen af alle de adskilte Elektricitetsmængder i Nærheden af det, divideret hver for sig med deres henholdsvis Afstand fra Punktet.

en saa stor Tæthed, at de omkring liggende Luftdele elektriseres, hvorved de ville blive frastødte og samtidig bortføre en Del af Ladningen. Saadanne Udladninger kunne indtræffe baade i Luftarter og i Vædsker, men fremtræde tydeligst i atmosfærisk Luft og andre Luftarter, naar de ere indesluttede i Rør, hvori Luften er fortyndet ved Hjælp af en Luftpumpe.

Hvad enten en Elektricitetsmængdes Udladning foregaar paa den ene eller den anden af de ovenfor omtalte Maader, vil Udladningen altid være ledsaget af en Overførelse af dens Energi til en anden Form af Energi, idet der frembringes Lyd, Lys, Varme, kemisk Virkning og andre Fænomener. Disse Virkninger ville vi behandle hver for sig.

284. Mekaniske Virkninger. Den vigtigste af Udladnings-Gnistens mekaniske Virkninger er Sønderbrydningen og Gennemboringen af Glas og andre Isolatorer. Glassets dielektriske Modstandsevne er vel meget større end Luftens, men ikke uendelig stor. En tre Tommer tyk Glasskive er bleven gennemboret ved Udladningen af en kraftig Induktionsrulle. Det saakaldte »hærdede« Glas har større dielektrisk Modstandsevne end almindeligt Glas, og er vanskeligere at gennembore. En Glasskive kan med Sikkerhed gennembøres af Gnisten fra en stor Leydner-Flaske eller et Leydner-Batteri, naar der tages følgende Forholdsregler: Glasset, der skal gennembøres, lægges paa en Glas- eller Harpiks-Klods, hvorigennem der er ført en Traad gennem et passende Hul, saaledes at dens ene Ende er skaaret af i Flugt med Klodsens Overflade, medens den anden Ende er forbunden med Leydner-Flaskens ydre Belægning. Paa Oversiden af den Glasplade, der skal gennembøres, fastgøres en anden Traad i lodret Stilling, saaledes at dens nederste Ende ligger nøjagtig lige over Enden af den underste Traad, og den anden Ende af den øverste Traad forsynes med en Metalkugle, der skal modtage Gnisten fra Leydner-Flaskens eller Udladerens Kugle. For at være

sikker paa god Isolation, heldes nogle faa Draaber Stenolie eller Bomolie paa de Steder af Glasset, hvor Ledningerne berøre det. Et Stykke tørt Træ, der behandles paa samme Maade, spaltes af en kraftig Gnist.

Ledes en Gnist gennem et fast tilproppet Glasrør, der er fyldt med Vand, vil Glasset ved den pludselige Udvidelse af Væsken blive sønderdelt i smaa spidse Stykker.

Den mekaniske Virkning, der er en Følge af, at Elektriciteten udlader sig som smaa Pensler, er omtalt i Punkt 43, og den elektriske Strøms mekaniske Virkning er beskrevet i Afsnit XIX.

285. Lullins Forsøg. Gennembores et Kortblad af en elektrisk Gnist imellem to Metalspidser, vil man iagttage to mærkelige Ting. For det første vil Kanten af Hullet være flosset ud til begge Sider, som om Hullet var bleven boret fra Midten udefter. For det andet vil, dersom de to Spidser ikke ere stillede nøjagtig lige over for hinanden, Hullet ligge nærmere ved den negative Spids; foretages Forsøget i lufttomt Rum, vil Hullet ikke blive forrykket, men vil ligge midt imellem Spidserne.

286. Kemiske Virkninger. De kemiske Virkninger, som frembringes af en elektrisk Strøm, ere blevne beskrevne i Afsnitene XIV og XVIII. Lignende Virkninger kunne opstaa ved den elektriske Gnist, samt ved den lydløse Lys-Udladning (Pkt. 290). Faraday paaviste imidlertid, at alle Arter Elektricitet fra forskellige Kilder frembringe de samme kemiske Virkninger, og han betragtede dette som et afgørende Bevis for, at der ikke er nogen Væsens-Forskel mellem al den Elektricitet, der frembringes paa forskellig Maade. Springe Gnisterne fra en Elektriskmaskine over paa et Stykke hvidt Klatpapir, der er fugtet med Jodkaliumklister, vil der vise sig brune Pletter, hvor Gnisten har frembragt en kemisk Adskillelse og frigjort Jod.

Naar en Strøm af Gnister er gaaet igennem fugtig Luft i en Beholder, vil Luften derefter være i Stand til at farve et Stykke blaat Lakmuspapir rødt. Cavendish paaviste, at dette skyldes Tilstedeværelsen af Salpetersyring, der er frembragt ved den kemiske Forbindelse af Luftens Kvælstof og Ilt. Virkningen vises bedst ved at sende en Række af Gnister fra en lille Induktionsrulle (Fig. 130) gennem en Beholder, i hvilken Luften er sammentrykket til mere end een Atmosfæres Tryk.

Gnisten vil dekomponere Ammoniak og tung Kulbrinte, og den vil ogsaa tilvejebringe en af Eksplosion ledsaget kemisk Forbindelse, naar den gaar igennem eksplosive Blandinger af Luftarter. Saaledes bringes en Blanding af lige Rumfang Klor og Brint til at eksplodere ved Hjælp af en Gnist, hvilket ogsaa er Tilfældet med en Blanding af to Rumfang Brint og eet Rumfang Ilt. Ogsaa den eksplosive Blanding af almindelig Belysningsgas og fire til ti Gange saa stort et Rumfang atmosfærisk Luft kan bringes til Eksplosion. Et almindeligt Forsøg med den saakaldte elektriske Pistol bestaar i at fylde en lille Metalbeholder med eksplosive Luftarter, og derpaa bringe dem til Eksplosion ved en Gnist. Gnistudladninger anvendes undertiden ved Stensprængninger og Sprængning af Miner i militære Øjemed, idet en lille Ladning af en Knaldsats anbringes der, hvor Gnisten springer over, og ved sin Eksplosion atter bringer den store Ladning Krudt eller andre Sprængstoffer til Eksplosion. (Se Pkt. 370.)

287. Fysiologiske Virkninger. Strømmens fysiologiske Virkninger ere blevne omtalte i Afsnit XIX. De, der frembringes ved Gnistudladning, ere pludseligere, men i Almindelighed af samme Natur. Paa Liget af Mennesker, der ere dræbte af Lynet, ses hyppigt Mærker af rødlig Farve, hvor Udladningen ved at gaa igennem Vævene har sønderrevet eller ødelagt dem. Undertiden have disse Mærker et besynderligt, forgrenet Udseende, som om Udladningen,

idet den gik ind i Legemet, havde delt sig i Strømme hen over Overfladen.

288. Varme-Virkninger. Naar Elektriciteten gaar gennem et eller andet Medium, der gør Modstand, vil der i alle Tilfælde udvikles Varme. Lovene for den Varmeudvikling, som elektriske Strømme frembringe, ere givne i Punkt 367. Den eksplosive Udladning er en Overførelse af Elektricitet gennem et Medium, der gør stor Modstand, og den er ledsaget af Varmeudvikling. Nogle faa Draaber Æter i en Metalske antændes let af en elektrisk Gnist. Gnisten fra en Elektriser-maskine, eller selv fra en gneden Glasstang, er varm nok til at tænde et almindeligt Gasblus. I visse Egne af Amerika frembringer i den tørreste Aarstid den Gnidning, et Menneske udøver med Støvlerne paa Gulvtæppet, naar han gaar hen over Gulvet, en tilstrækkelig Mængde Elektricitet, til at man kan trække Gnister ud af Vedkommende, og han vil kunne tænde Gassen ved en eneste Gnist fra hans udstrakte Finger. Krudt kan antændes ved Udladningen af en Leydner-Flaske, men Gnisten skal forsinkes ved at ledes gennem en vaaad Traad, da Gnisten ellers blot vil sprede Krudtet til Siden.

Det elektriske Luft-Termometer, opfundet af Kinnersley *), tjener til at undersøge Udladningens Varmeevne. Det bestaar af en Glasbeholder, der indeholder Luft, og som er i Forbindelse med et Rør, der tildels er fyldt med Vand eller en anden Vædske, saa at man kan iagttage Forandringen af Rumfang eller Tryk. I Beholderen er indført to Metalstænger, der forbindes med en tynd Traad af Metal eller Guld-papir; eller ogsaa springer Gnisten ligefrem over fra

*) Instrumentet afviger ikke i nogen væsentlig Grad fra det, der blev konstrueret 90 Aar senere af Riess, hvem der ofte tillægges Æren for Opfindelsen. Riess bestemte imidlertid de udviklede Varmemængder, medens Kinnersley lod sig nøje med at konstatere Varmeudviklingen. Flere af Snow Harris's Undersøgelser ere ogsaa ældre end Riess's tilsvarende Undersøgelser.

den ene Stang til den anden. Naar Udladningen gaar igennem Beholderen, vil Luften i den opvarmes og udvide sig, og den vil derved frembringe en Bevægelse af den som Viser tjenende Vædskesøjle i Røret. Mascart har yderligere forbedret Instrumentet ved at gøre det selvregistrerende. Resultaterne af Iagttagelserne med disse Instrumenter ere følgende: Varmevirkningen, der frembringes af en given Ladning i en Traad af given Længde, er omvendt proportional med Kvadratet af Traadens Tværsnits Areal; Varmevirkningen er desto større, jo langsommere Udladningen foregaar; den hele udviklede Varmemængde er proportional med Ladningen og med Potentialfaldet. Anvendes Udladningens hele Energi til Frembringelse af Varme, og ikke til nogen anden Slags Arbejde, vil den udviklede Varmemængde være Varme-Ækvivalentet for $\frac{1}{2} QV$,

eller vil være lig $\frac{QV}{2J}$ Varmeenheder, hvor J er Varmens mekaniske Ækvivalent ($J = 42$ Millioner, da $42 \cdot 10^6$ Erg = 1 Varmeenhed, maalt i Gram-Grader), og Q og V udtrykkes i C. G. S.-Enheder.

Naar en kraftig Udladning foregaar gennem meget tynde Ledninger, kunne de opvarmes til Rødgloedhede, ja kunne endog smeltes af den udviklede Varme. Van Marum har saaledes en Gang opvarmet 70 Fod Traad ved en kraftig Udladning. En smal Tinfolie-strimmel smeltes let af en stor Leydner-Flaskes eller et Leydner-Batteris Udladning. Et Stykke Guldblad fordampes ved pludselig Opvarmning af en kraftig Ladning, og Franklin benyttede denne Egenskab til en Gengivelse i raa Omrids af Portrætter eller andre Tegninger, der bleve skaarne ud i et Kort, og derefter reproducerede som en Silhuet af Metaldele paa et andet Kort. Over det udskaarne Billede lægges et Sølv- eller Guldblad og derefter et andet Kort eller et Stykke Papir, hvorpaa et Leydner-Batteri udlades gennem Bladet ved at anbringe det imellem Kuglerne paa en Universal-Udlader.

289. Lys-Virkninger. Lys-Virkningerne af en Udladning vise mange smukke og interessante Variationer under forskellige Forhold. Gnisten fra en eksplosiv Udladning er sædvanligvis en tynd, glimrende Lysstribe. Finder Udladningen Sted imellem to Metal-kugler, i ringe Afstand fra hinanden, viser Gnisten sig i Almindelighed som en enkelt, tynd, glimrende Linie; men er Afstanden mellem Kuglerne større — nogle faa Centimeter — antager Gnisten en uregelmæssig Siksak-Form. Gnisten gaar i hvert Tilfælde ad den Vej, hvor Modstanden er mindst, og de i Luften svævende



Fig. 94.

smaa Støvflug ere ved deres Indvirkning i saa Henseende tilstrækkelige til at give Forplantningslinien Siksak-Formen. I mange Tilfælde fremkommer der Gnister med en besynderlig Forgrening og Gaffeldeling, som vist i Fig. 94, der er en Gengivelse i $\frac{1}{8}$ Størrelse af en virkelig Gnist fra en Cuthbertsons Elektrisermaskine. Udladningen fra en Leydner-Flaske giver en meget klarere, kortere og mere larmende Gnist end den, der tages direkte fra Maskinens Konduktor. Længden (se Pkt. 291) afhænger af Potentialet og af Trykket og Temperaturen af Luften, i hvilken Udladningen finder Sted. Lysudviklingen afhænger hovedsagelig af Mængden af Elektricitet, der udlades. Farven af Gnisten veksler med Beskaffenheden af de Metaloverflader, imellem hvilke Udladningen finder Sted. Mellem Kobber og

Sølv antager Gnisten en grønlig Farve, medens den mellem Jern og Jern faar et rødligt Skær. Ved Undersøgelse med Spektroskopet viser det sig, at Gnisten indeholder de karakteristiske Straaler, som findes i de forskellige Metaller hvidglødende Dampe. Gnisten river nemlig smaa Dele af Metaloverfladerne med sig, som bringes til at fordampe.

290. Udladning gennem Pensler og lysende Punkter. Dersom en Elektrisermaskine bringes til at

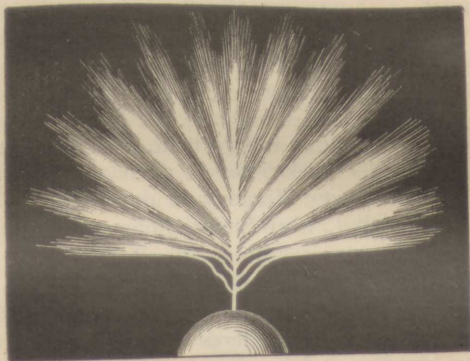


Fig. 95.

arbejde kraftigt, uden at der trækkes Gnister fra Konduktoren, vil man (i et mørkt Værelse) se, at Elektriciteten strømmer ud fra den Metalkugle paa Konduktoren, som findes i den fra Opsamlerspidserne fjerneste Ende, idet der her viser sig en stærkt spredt og fint fordelt Pensel med et blegt, blaat Lys. En saadan Udladning ledsages altid af en hvislende og knyttrende Lyd. Pensel-Udladningen bestaar af utallige, fint forgrenede Straaler, hvis Form er godt gengivet i Fig. 95. Penslens Lysstyrke og Størrelse forøges ved at holde en flad Metalplade lidt borte fra den. Penslen viser sig mindre men tydeligere og mere sammenhængende

fra en mindre Kugle eller en afrundet Traadende. Pensel-Udladningen er større og mere forgrenet, naar en positiv Ladning udlades, end naar det er en negativ Ladning. Wheatstone fandt ved Hjælp af sit omdrejende Spejl, at Pensel-Udladningen i Virkeligheden er en Række af Smaagnister, der følge hurtigt oven paa hinanden.

Dersom den afrundede Konduktor ombyttes med en spids, vil Penslen forsvinde, og der vil nu vise sig et roligt og uafbrudt lysende Punkt, der hvor de elektriserede Luftdele strømme bort fra Spidsen. Forsinkes den ved Luftdelene tilvejebragte Bortførelse af Elektriciteten, vil Penslen atter vise sig i Stedet for det lysende Punkt. Hvor en negativ Ladning udlades fra en Spids, viser det sig ofte, at det lysende Punkt er skilt fra Konduktorens Overflade ved et mørkt Rum, hvor Luften leder Elektriciteten uden at blive lysende. Dette Fænomen, som Faraday kaldte »mørk Udladning«, ses tydeligt, naar Elektriciteten udlades gennem fortyndede Luftarter i udpumpede Rør.

291. Gnistens Længde. I al Almindelighed forøges Længden af Gnisterne mellem to Konduktorer med Forskellen mellem deres Potentialer. Man har endvidere fundet, at Længden forøges, naar Lufttrykket formindskes. Riess har fundet, at Gnistlængden forøges i et Forhold, der er noget større end Forskellen mellem Potentialerne. Wm. Thomson maalte ved Hjælp af et »absolut Elektrometer« (Pkt. 261) den Potentialforskel, der er nødvendig for at frembringe en Gnist-Udladning mellem to parallelle Plader i forskellige Afstande. Hans nøjagtige Forsøg bekræfte Riess's Iagttagelser. For saaledes at frembringe en Gnist i 0.1 Mm. Afstand, maa Potentialforskellen være 2.7 (vilkaarlige) Enheder; i 0.5 Mm. 7.3 Enheder; i 1 Mm. 12.6 Enheder og i 1.5 Mm. 17.3 Enheder. De la Rue og Müller have ved deres store Batteri (Pkt. 174) fundet, at ved en Potentialforskel paa 1000 Volt var den Afstand, som Gnisten kunde gennembryde, kun 0.0127 Cm.,

og ved en Potentialforskel paa 10000 Volt kun 1.369. Deres 11000 Sølv-Elementer gav en Gnist, der var 1.59 Cm. lang. For at frembringe en Gnist paa $\frac{1}{4}$ Mils Længde gennem Luft af almindeligt Tryk, fordres der derfor en Potentialforskel, der er større end den, som kan frembringes af 1 000 000 000 Daniells Elementer!

Længden af Gnisten er forskellig i forskellige Luftarter, idet den omtrent er to Gange saa lang i Brint som i atmosfærisk Luft af samme Tæthed, og længere i atm. Luft end i Kulsyre.

I fortyndet Luft er Gnisten længere. Snow Harris mente at have godtgjort, at Længden af Gnisten er omvendt proportional med Lufttrykket; denne Lov er ikke fuldstændig korrekt, men gælder tilnærmelsesvis for Tryk, der ligge mellem 11 og 29 Tommer Kviksølv (1 Atmosfære). Ved lavere Tryk maa, som Gordon fornylig har paavist, Potentialforskellen være større for at frembringe en Gnist, end den i Følge Harris's Lov skulde være. Af dette synes det at fremgaa, at et tyndt Lag af Luft vil gøre forholdsvis større Modstand mod Gnistens Gennemtrængningskraft end et tykkere Lag af Luft og være i Besiddelse af større dielektrisk Modstandsevne.

Et fuldstændig lufttomt Rum er en komplet Isolator, idet der ingen Gnist vil kunne gaa igennem det. Det er muligt at tømme et Rør saa fuldstændig for Luft, at ingen af vore elektriske Maskiner eller Apparater kan sende en Gnist igennem det, selv om det kun er 1 Cm. langt. Paa den anden Side vil en stor Forøgelse af Trykket ogsaa forøge Luftens dielektriske Modstandsevne, saa at den bedre modstaar Gnistens Gennemgang. Cailletet sammentrykkede tør Luft til 40 à 50 Atmosfærers Tryk og fandt, at selv Gnister fra en kraftig Induktionsrulle ikke vare i Stand til at slaa igennem paa en Afstand af 0.05 Cm. Længden af Gnisten (i Luften) er ogsaa paavirket af

Varmegraden, saa at Gnisterne blive længere og mere lige gennem varm end gennem kold Luft.

Flammer og Strømme af meget varm Luft, som f. Eks. de, der komme fra et rødglødende Stykke Jern, ere overordentlig gode Ledere for Elektriciteten, og virke endnu bedre end Metalspidser til at udlade en Konduktor. Gilbert viste, at et elektriseret Legeme, der anbringes i Nærheden af en Flamme, mister sin Ladning; og den bedste Maade, paa hvilken Overfladen af et ladet Legeme med ringe Ledeevne kan befries for en Ladning, der er bibragt det ved Gnidning eller paa anden Maade, er ved at lade Legemet gaa igennem Flammen af en Spirituslampe. Faraday fandt, at negativ Elektricitet lettere udlades paa denne Maade end positiv. Flammer, der ere kraftigt negativt elektriserede, frastødes af Konduktorer, hvilket ikke er Tilfældet, naar de ere positivt elektriserede. Sir W. Grove har paavist, at der opstaar en Strøm i en Platintraad, naar den ene Ende af den forbindes med Spidsen af en Flamme, den anden med den nederste Del af Flammen.

292. Udladning i delvis lufttomt Rum. Finder Udladningen Sted i Glasrør eller Glasbeholdere, af hvilke Luften tildels er udtømt, frembringes mange mærkelige og smukt lysende Fænomener. En almindelig Form af Beholderen er det »elektriske Æg« (Fig. 133), en Slags aflang Flaske, som kan skrues paa en Luftpumpe, og som er forsynet med Metalkugler til Gnistdannelsen. Ofte anvendes lufttomme Rør som de, der fremstilles af den bekendte Geissler. Det er tynde Glasrør af forskellige Former, i hvilke der er indsmeltet to Elektroder af Platintraad, og som ere lukkede i begge Ender, efter at de omtrent ere tømte for Luft ved Hjælp af en Kviksølv-Luftpumpe. Af disse Geisslers Rør ere de de bedste, der have to Udvidelser, indbyrdes forbundne med et meget tyndt Rør, da Lysvirkningen sædvanlig ere stærkere i den indsnævrede Del. Saadanne Rør oplyses let ved en Gnist fra et Elektrofor eller en Elektriseringsmaskine; men

i Almindelighed benyttes de i Forbindelse med en Induktionsrulle (Fig. 130).

Gnisten vil, inden Rørene gøres lufttomme, gaa igennem dem, uden at der frembringes noget usædvanligt Fænomen. Efterhaanden som Luften udtømmes, blive Gnisterne mindre skarpt begrænsede og udvide sig, saa at de udfylde hele Røret, medens de samtidig blive blege af Farve og antage Form af Taage. Ved den negative Elektrode vil der vise sig et smukt blaaligt eller violet Lys, der er adskilt fra Lederen ved et lille mørkt Mellemrum, medens alt, hvad der viser sig ved den positive Elektrode, er en enkelt, lille, klar Lysstjerne. Hyppigt deler Lyset sig i et Sæt af Striber eller udhulede, tynde Skiver, som svinge frem og tilbage mellem mørkere Rum. I Kvælstof lyser den violette Straalekrans omkring den negative Pol meget klart, medens Resten af Lyset er rødtligt i Farven. I Ilt er Forskellen ikke saa udpræget. I Brint er Farven af Udladningen blaalig, undtagen der hvor Røret er snævert, hvor man vil se en smuk karmesinrød Farve. I Kulsyre er Lyset hvidt. Metaldele afrives af den negative Elektrode og spredes fra dens Overflade. Den negative Elektrode er sædvanlig varmere end den positive, naar den har samme Dimensioner. Man vil ligeledes bemærke, at Lyset af disse Udladninger i lufttomt Rum er rigt paa de Straaler, som frembringe Fosforescens og Fluorescens. Der kan derfor frembringes mange smukke Virkninger, naar Rørene ere forarbejdede af Uranglas, som fluorescerer med et fint grønt Lys, eller naar der er anbragt Opløsninger af Kinin eller andre fluorescerende Vædske i Glasrør, der omslutte det lufttomme Rør.

293. Fænomener i meget luftfortyndet Rum.

Crookes har fundet, at naar Luftfortyndingen drives meget vidt, vil det mørke Rum, som adskiller Lyset fra den negative Pol, vokse, og at elektriserede Molekyler ville bevæge sig i dette Rum i parallelle Linier, vinkelret paa Elektrodens Overflade. Hovedpunktet,

paa hvilket denne Teori støtter sig, er, at dersom Luftfortyndingen bliver dreven saa vidt, at det mørke Rum fylder hele Røret eller Beholderen, og man da anbringer Legemer (gennemsigtige eller ugennemsigtige) foran Elektroden, ville de kaste skarpt begrænsede Skygger paa den modsatte Væg af Beholderen, som om de standsede nogle af de flyvende Molekyler, og forhindrede dem i at ramme den modsatte Væg. Lette Vindfang drives rundt, naar de anbringes i Udladnings-Strømmen. Holtz har fornylig frembragt »elektriske Skygger« ved Hjælp af Udladninger i Luft af almindeligt Tryk imellem Polerne af hans vel bekendte Maskine (Fig. 25), idet Udladningen fandt Sted imellem en Spids og en Plade, bedækket med Silketøj, paa hvilket Skyggerne kastedes.

294. Striber. Striberne og Lagdannelsen ere blevne omhyggelig undersøgte af Gassiot, af Spottiswoode og af De la Rue. Det vigtigste, der hidtil er fremkommet af disse Undersøgelser, er følgende:

Striberne opstaa ved den positive Elektrode ved et vist Tryk og blive talrigere, efterhaanden som Luftfortyndingen skrider fremad, indtil et vist Punkt, da de blive tykkere og formindskes i Antal, indtil Fortyndingen er dreven saa vidt, at der ikke længere kan gaa nogen Udladning igennem. Striberne er varmere end Mellemrummene imellem dem. Antallet og Stillingen af Striberne veksler ikke blot med Luftfortyndingen, men ogsaa med Elektrodernes Potentialforskkel. Frembringes Striberne ved afbrudte Udladninger fra en Induktionsrulle, vil Undersøgelsen af dem i et omdrejende Speil vise, at de bevæge sig fremad fra den positive Elektrode til den negative.

Schuster har fornylig vist, at den elektriske Udladning gennem Luftarter ligner en Elektrolyse (Pkt. 418), idet Luftmolekylerne adskilles, og der finder en vedvarende Udveksling af Atomer Sted imellem dem. Frembringelsen af Ozon (Pkt. 298) og det Fænomen, der viser sig ved den negative Elektrode (Pkt. 292), støtte denne Anskuelse.

Udladninger i udpumpede Rør paavirkes af Magneten ved alle Grader af Luftfortyndingen, idet de optræde som bevægelige Ledere. Under visse Omstændigheder ere Udladningerne ogsaa følsomme for Tilstedeværelsen af en Konduktor paa Ydersiden af Røret, idet de drages bort fra den Side af Røret, der ligger op mod Konduktoren. Denne følsomme Tilstand synes at skyldes en periodisk Afbrydning af Udladningen. En Afbrydning eller

delvis Afbrydning af Strømmen vil sandsynligvis ogsaa være tilstrækkelig Grund til Frembringelsen af Striberne.

295. Elektriske Svingninger. Feddersen har undersøgt Gnisten fra en Leydner-Flaske ved Hjælp af et omdrejende Spejl og har fundet, at den ikke er en enkelt, sammenhængende Udladning, men fremtræder som bestemt begrænsede Svingninger*). Med meget smaa Modstande i Kredsløbet var der en virkelig Svingning af Elektriciteten frem og tilbage i kort Tid, og disse skiftende delvise Udladninger skyldes sandsynligvis Selv-Induktion i Kredsløbet. Med en bestemt, større Modstand blev Udladningen uafbrudt, men ikke øjeblikkelig. Med en endnu større Modstand bestod Udladningen af en Række delvise, afbrudte Udladninger, der fulgte den ene efter den anden i samme Retning. Naar saadanne Gnister ses i det omdrejende Spejl, vise de sig som en Række adskilte Billeder med omtrent lige stor indbyrdes Afstand. Svingningstiden fandtes at være proportional med Kvadratroden af Kondensatorens Kapacitet.

296. Udladningens Forplantningshastighed. Den, der først gjorde Brug af det omdrejende Spejl for at undersøge Fænomener af kort Varighed, var Wheatstone, som paa denne Maade forsøgte at maale »Hastigheden af Elektricitet« i Ledningstraade. Hvad der lykkedes ham at maale, var imidlertid ikke Elektricitetens Hastighed, men Tiden, det tager for en vis Mængde af Elektricitet at bevæge sig gennem en Leder med betydelig Modstand og Kapacitet. En Gnist af en vis Varighed vil i det omdrejende Spejl vise sig trukket ud til en lang Streg. En saadan Forlængelse kunde iagttages, naar en Leydner-Flaske blev udladet gennem en 3000 Fod lang Kobbertraad. Naar Kredsløbet blev afbrudt paa tre Steder, et i Midten og et

*) Dette Fænomen var forudsagt af Sir Wm. Thomson efter rent teoretiske Betragtninger, som han støttede paa Ligningerne for Selv-Induktion.

for hver Ende af Traaden, fik man tre Gnister, som sete i Spejlet viste en saa stor Forrykkelse til Siden, at man (med den benyttede Omdrejningshastighed) heraf kunde regne sig til, at den midterste Gnist først viste sig $\frac{1}{152\ 000}$ Sekund senere end Gnisterne ved Enderne. Wheatstone bestemte derefter Hastigheden til at være 72000 Mil pr. Sekund. Men Faraday beviste, at en Elektricitetsmængdes tilsyneladende Forplantningshastighed maa paavirkes af Lederens Kapacitet; han forudsagde ogsaa, at da et undersøisk isoleret Kabel virker som en Leydner-Flaske (Pkt. 274) og maa lades, inden Potentialet i den fjerneste Ende stiger, formindsker det den elektriske Strøms Hastighed igennem sig. Professor Fleeming Jenkin siger om et af de atlantiske Kabler, at efter at den ene Ende af det er sat i Forbindelse med Batteriet, vil man ikke kunne spore nogen Virkning i den anden Ende før efter $\frac{1}{5}$ Sekunds Forløb, og at den modtagne Strøm derefter gradvis forøges, indtil den omtrent tre Sekunder efter naar sit Maksimum, hvorefter den gradvis forsvinder. Denne Forsinkelse er proportional med Kvadratet af Kablets Længde, saavel som med dets Kapacitet og Modstand; som en Følge heraf bliver den en alvorlig Ulempe ved lange Kabler, da den formindsker Signaleringshastigheden. »Elektricitetens Hastighed« kan altsaa i Virkeligheden slet ikke bestemmes.

Et meget simpelt Forsøg vil sætte Læseren i Stand til at overtøge sig om den overordentlig korte Varighed af Gnisten fra en Leydner-Flaske. Lad en rund Skive af stivt Papir, der er malet med sorte og hvide Sektorer, løbe meget hurtigt rundt, saaledes at den i almindelig Belysning viser sig med en ensfarvet graa Overflade; naar den derefter belyses af en Gnist fra en Leydner-Flaske, synes den at staa fuldstændig stille, hvor hurtigt den end drejes. Lynglimtet er

ligeledes øjeblikkeligt, og det er umuligt at bestemme, ved hvilken Ende Lynet begynder *).

297. Elektriske Støv-Figurer. Elektricitet kan krybe hen over Overfladen af daarlige Ledere. Lichtenberg har opfundet en sindrig Maade, paa hvilken Elektricitetens Spredning kan undersøges ved Hjælp af visse Støvfigurer. Forsøget er meget let at udføre. Tag en ladet Leydner-Flaske og skriv med dens Kugle

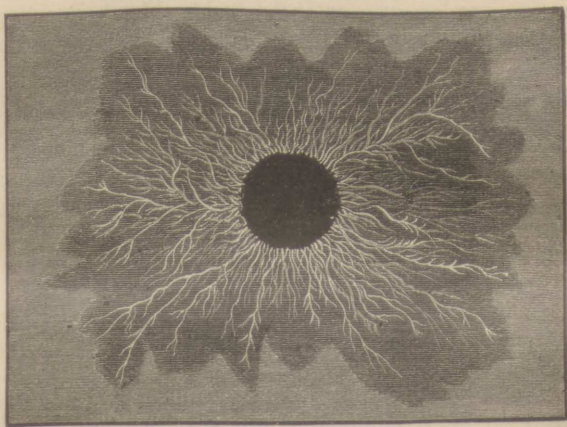


Fig. 96.

paa en Skellakkage eller en tør Glasplade. Drys derpaa gennem et Stykke Musselin en Blanding af pulveriseret Mønne og Svovl (Cinnober og Heksemel kan ogsaa bruges) over Skellakkagen. De pulveriserede Stoffer ville herved blive gnedne mod hinanden, hvorved Mønne bliver positivt, Svovlet negativt elektrisk. Som en Følge heraf vil Svovlet blive trukket af de Dele af Pladen, hvor der findes positiv

*) Undertiden synes Lynet at fare nedefter fra Skyerne, undertiden op-
efter fra Jorden. Det er et optisk Bedrag, der skyldes den Omstændighed,
at Øjets Nethinde ikke er lige følsom for Lys paa forskellige Steder.

Elektricitet og vil sætte sig fast i besynderligt for-grenede gule Striber, som vist i Fig. 96; Mønnien vil derimod sætte sig fast i smaa Bunker, hvor Elektri-seringen er negativ.

Pulveriseret Turmalin, der er opvarmet og derefter drysset gennem et Stykke Musselin over en Glasskive, som forinden er elektriseret uregelmæssigt, vil vise lignende Figurer, skønt ikke saa bestemt udprægede.

Dug-Figurer kunne fremstilles ved at elek-trisere en Mønt eller et andet Stykke Metal, der ligger paa en tør Glasplade; ved derefter at aande paa Glasset, hvor Mønten har ligget, vil der vise sig et svagt Billede af den paa Glassets Overflade.

298. Frembringelse af Ozon. Hver Gang en Elektrisermaskine er i Virksomhed, vil man mærke en særegen Lugt, som man tidligere antog som Bevis for Tilstedeværelsen af et elektrisk Fluidum. Nu ved man imidlertid, at den skyldes Ozon, der er en særlig Form af Ilt, og som adskiller sig fra Ilten derved, at den har større Vægtfylde, virker stærkere kemisk og har en karakteristisk Lugt. Udladningen af en Holtz's Maskine og af en Induktionsrulle er særlig egnet til Frembringelsen af dette Stof.

299. Ladningens Forsvinding. Hvor godt isoleret en ladet Konduktor end er, og hvor tør den omgivende Luft end er, mister Konduktoren dog lidt efter lidt sin Ladning, og i Løbet af nogle faa Dage vil den være fuldstændig afladet. Den Hastighed, hvormed Ladningen forsvinder, er imidlertid forskellig. Den er tilnærmelsesvis proportional med Potentialforskellen mellem Jorden og Legemet, og som en Følge heraf er Tabet større i Begyndelsen end senere, og er større for stærkt ladede Legemer end for svagt ladede. Loven for Ladningens Forsvinding ligner derfor Newtons Lov for Afkøling, i Henhold til hvilken Afkølings-hastigheden af et varmt Legeme er proportional med Temperaturforskellen imellem dette og de omgivende Genstande. Maales Legemets Potential med lige store

Tidsmellemrum, vil man finde, at det er bleven formindsket efter en aftagende geometrisk Række, $\therefore$ Logaritmerne af Potentialerne med lige store Tidsmellemrum ville have lige store Differenser.

Dette kan fremstilles i følgende Ligning:

$$V_t = V_0 e^{-pt}$$

hvor V_0 angiver det oprindelige Potential og V_t Potentialet efter Forløbet af Tiden t ; e er Tallet 2,71828 ... $\therefore$ Grundtallet for de naturlige Logaritmer, og p er »Forsvindings-Koefficienten«, som er afhængig af Luftens Temperatur, Tryk og Fugtighed.

Tabet er imidlertid større ved negativt elektriserede Overflader end ved positivt elektriserede Overflader.

300. Positiv og negativ Elektrisering. Læseren vil ikke i dette Afsnit have undladt at lægge Mærke til den Forskel, som hyppigt finder Sted mellem den positive og negative Elektricitets Optræden. Den slaaende Ulighed i Lichtenbergs Figurer, Forrykkelsen af Gennembrydningspunktet i Lullins Forsøg, den ulige store Tilbøjelighed til at forsvinde fra Overfladerne og den iøjnefaldende Forskel i Formerne af Pensel- og Glødeudladninger ere alle sammen Punkter, der ere værd at lægge Mærke til. Gassiot forklarede Fænomenet i lufttomme Rør som en Kraft, der udgik fra den negative Pol. Crookes's Forsøg i stærkt luftfortyndede Rum vise, at Molekylerne med Kraft blive udladende fra den negative Elektrode, idet et lille Vindfang, som anbringes i Røret, vil blive bevæget af Trykket fra den negative Udladning. Holtz fandt, at naar et tragtformet Rør anbringes inde i et luftomt Rør, er Modstanden meget mindre, naar den vide Ende af Tragten vender imod den negative Elektrode. Disse Tilfælde kunne imidlertid slet ikke forklares ved nogen af de eksisterende Teorier om Elektricitet.

Forfatteren af denne Bog er tilbøjelig til følgende Opfattelse af denne Sag: Dersom Elektriciteten virkelig er eet og ikke to, maa enten den saakaldte positive eller den negative Elektrisering være en Tilstand, i hvilken der er mere Elektricitet end i det omgivende Rum, medens den anden maa være en Til-

stand, i hvilken der er mindre Elektricitet. Læseren ved fra Pkt. 6, at paa Videnskabens nuværende Standpunkt vide vi ikke bestemt, om den positive Elektrisering er et Overskud eller en Mangel af Elektricitet. Nu synes nogle af de Fænomener, vi ovenfor have omtalt, at tyde paa, at den negative Elektrisering virkelig fremkommer ved et Overskud. Den Kendsgerning, at den Hastighed, hvormed en Ladning taber sig, er større for negativ end for positiv Elektricitet, peger i samme Retning; Loven for Ladningstab er nemlig et nøjagtigt Sidestykke til Loven for Varmetab, og her er det sikkert, at for lige store Temperatur-differenser imellem et Legeme og dets Omgivelser, er Varmetabet større ved højere Temperaturer end ved lavere; eller med andre Ord, det Legeme, som virkelig er det varmeste, mister sin Varme hurtigst.

XXIV. Atmosfærisk Elektricitet.

301. Den atmosfæriske Elektricitets Fænomener ere af dobbelt Art. De fremtræde dels i den velbekendte Form som Lynild og Torden, og dels vise de sig under Form af en vedvarende svag Elektrisering af Luften, der bedst iagttages i smukt Vejr. Nordlys-fænomenerne ere en tredje Gren af dette Emne.

302. Tordenvejr er et elektrisk Fænomen. De knaldende Gnister, der kunne frembringes med en Elektrisermaskine og en Leydner-Flaske, bragte tidligt Eksperimentatorer som Hawkesbee, Newton, Wall, Nollet og Gray paa den Tanke, at Lynglimtet og Tordenskraldet skyldes elektriske Udladninger. Benjamin Franklin, som i 1749 opdagede, at Lynet besad næsten de samme Egenskaber, som kunne iagttages ved de elektriske Gnister*), kom derved paa den Tanke, at anvende den af ham opdagede elektriske

*) Franklin har specielt gjort Rede for, at den Lighed, han har fundet mellem Elektricitet og Lyn, gælder i følgende Punkter: Lysudvikling, Lysets Farve, krum Retning, hurtig Bevægelse, de ledes begge af Metaller, gøre Larm, idet de udlades, ledes af Vand og Is, senderrive ufuldkomne Ledere, dræbe Dyr, smelte Metaller, stikke Ild i brændbare Stoffer, have en svovlagtig Lugt (skyldes Ozon, som vi nu vide); og han havde tidligere fundet, at Naale kunne magnetiseres baade af Lynet og den elektriske Gnist. Han henledede ogsaa Opmærksomheden paa Overensstemmelsen mellem den blaalige Flamme, der i Tordenvejr kan ses paa Toppen af Skibsmaster (Sømanden kalder den St. Elms Ild) og paa Gløde-Udladninger fra Spidser.

Virkning af Spidser (Pkt. 43) til at trække en elektrisk Ladning ud af Tordenskyer. Han foreslog derfor at anbringe en spids Jernstang paa et højt Taarn. Forinden hans Forslag blev udført, oprejste Dalibard, — i Marly-la-ville i Nærheden af Paris — der havde optaget Franklins Tanke, en Jernstang paa 40 Fods Højde, med hvilken det i 1752 lykkedes ham at trække Gnister ud af en forbigående Sky. Dette lykkedes ogsaa for Franklin kort Tid efter, men paa en anden Maade. Han sendte en Drage til Vejrs i Tordenvejrs og saa da, at den vaade Snor ledede Elektriciteten til Jorden og frembragte en Mængde Gnister. Disse trak han ud af en Nøgle, som han bandt fast til Snoren, idet han for en Sikkerheds Skyld anbragte et Silkebaand imellem Haanden og Nøglen. Han kunde lade Leydner-Flasker og frembringe alle andre elektriske Virkninger ved Gnister fra Skyerne. Drage-Forsøgene bleve gentagne af Romas, som benyttede en Metaltraad og trak Gnister paa 9 Fods Længde ud af den; ogsaa Cavallo gentog dem og gjorde mange vigtige Iagttagelser over atmosfærisk Elektricitet.

I 1753 blev Richmann i St. Petersborg, som gjorde Forsøg med et Apparat, der lignede Dalibards, ramt af en pludselig Udladning og dræbt.

303. Tordenvejrets Teori. Faste Legemer og Vædske kunne ikke lades igennem hele deres Masse, men Elektriciteten vil, dersom de overhovedet lades, befinde sig paa Overfladen af dem (se Pkt. 29). Luftarter og Dampere derimod, der ere sammensatte af Myriader af adskilte Smaadele, kunne lades helt igennem. Luften i et Værelse, i hvilket en Elektriseringsmaskine er i Virksomhed, vil vise sig at være ladet. Skyerne ere sædvanlig ladede mer eller mindre med Elektricitet, der sandsynligvis opstaar ved Fordampninger*) paa Jordens Overflade. De ganske smaa Vanddele, der svæve i Luften, ere bedre Ledere end

*) Se Pkt. 63.

selve Luften og blive derfor stærkere ladede. Efterhaanden som de falde ned paa Grund af Tyngdekraften og forene sig, forøges Styrken af deres Ladinger. Lad os saaledes antage, at 8 smaa Draaber forene sig til 1, saa vil denne ene have otte Gange saa stor en Elektricitetsmængde fordelt paa Overfladen af en enkelt Kugle med dobbelt saa stor Radius (og derfor dobbelt saa stor Kapacitet, se Pkt. 247) som de oprindelige Draaber, og dens elektriske Potential vil altsaa være fire Gange saa stort. Dersom en Sky-masse nu bestaar af saadanne ladede Kugler, vil dens Potential derfor vokse gradevis ved Draabernes Sammen-smeltning, og Elektriseringen af Skyens nederste Flade vil blive større og større, idet Jordens Overflade under-neden virker som en Kondensatorplade og ved For-delning lades med den modsatte Art af Elektricitet. I et bestemt Øjeblik bliver Potentialforskellen saa stor, at det mellemliggende Luftlag giver efter for Spændingen, og der foregaar en eksplosiv Udladning paa det Sted, hvor Luften gør mindst Modstand. Denne Lyn-gnist, der kan være mere end en Fjerdingvej lang, udlader kun den Elektricitet, som er bleven ophobet paa Skyens Overflade, og de andre Dele af Skyen ville nu indvirke paa den udladede Del, idet de frem-bringe Tiltrækninger og Udladninger indvendig i Sky-massen. Ved disse Vekselvirkninger mellem Skyens enkelte Dele kan man gøre Rede for Tordenvejrets Skydannelser: en bestemt begrænset, nedadtil flad Skymasse, der ser ud, som om den kogte foroven, eller som om der stadig steg Dampmasser op fra den.

304. Lyn og Torden. Arago skelner mellem tre Slags Lyn: 1) Sigsakformede Lysglimt eller »gaffeldelte Lyn« som de sædvanlig forekommende. Sigsak-Formen skyldes sandsynligvis Tilstedeværelsen af faste Smaadele i Luften, eller en spredt Elektrisering omkring i Luften, der bevirker, at den krogede Vej yder den mindste Modstand. 2) Flade-Lyn, ved hvilke hele Overflader lyses op paa een Gang, ere

sandsynligvis kun Genskin paa Skyerne fra et Glimt paa andre Steder af Himlen. De ses ofte i Horisonten om Natten, idet de skyldes fjerne Lyn, der ere saa langt borte, at man ikke kan høre Tordenen, og de kaldes da »Kornmod«. 3) Kuglelyn, i Form af Ildkugler, som bevæge sig langsomt fremad, og derefter gaa itu med en pludselig Eksplosion. Denne Form er meget sjelden, men maa betragtes som et virkeligt eksisterende Fænomen, skønt mange af Beretningerne herom ere meget overdrevne. Lignende Fænomener, men efter en lille Maalestok, ere frembragte (skønt sædvanligvis tilfældigt) med elektriske Apparater. Cavallo giver en Beretning om en Ildkugle, der langsomt krøb op ad Kobbertraaden paa en stor og stærkt ladet Leydner-Flaske og derefter eksploderede, idet den bevægede sig nedefter; og Planté har fornylig iagttaget lignende men mindre Kugleudladninger fra hans »rheostatiske Maskine«, der var ladet ved Hjælp af kraftige sekundære Batterier.

Tordenskraldet veksler med Lygnistens Natur. Gnisten opvarmer Luften paa sin Vej og foraarsager en pludselig Udvidelse og Sammentrækning rundt omkring, hvoraf igen følger, at Luften pludselig styrter ind i det derved frembragte, delvis lufttomme Rum. Er Gnisten lige og kort, vil Iagttageren kun høre et kort, skarpt Knald; men er Banen lang og ikke lige, vil man høre en Række Lyde, der følge efter hinanden, med en karakteristisk Bragen, medens Ekkoet fra andre Skyer vil komme rullende længe efter. Selve Lynglimtet varer aldrig mere end $\frac{1}{100000}$ Sekund.

Den Skade, et Lyn anretter, naar det rammer en ufuldkommen Leder, viser sig undertiden som en sønderbrydende mekanisk Adskillelse, naar f. Eks. Murværket i en Skorstenspipe eller Kirkespir kastes omkuld, og undertiden som en Virkning af Varme, naar f. Eks. Klokkestrænge eller andre Metalgenstande paa Lynets Vej bringes til at smelte. De fysiologiske Virkninger af en pludselig Udladning ere omtalte i

Punkt 226. — Midlet mod Ødelæggelse ved Lynnedslag er at anbringe en god Leder, der er i Forbindelse med et ledende Lag i Jorden.

»Bagslaget«, som de Personer mærke, der opholde sig i Nærheden af det Sted, hvor Lynet slaar ned, er forklaret i Punkt 26.

305. Lynledere. Franklin fremkom i 1749 med det første Forslag til Beskyttelse af Ejendom mod Ødelæggelse ved Lynnedslag. Forslaget lyder saaledes:

»Burde ikke vort Kendskab til den Evne, Spidser ere i Besiddelse af, komme Menneskene til Gode, ved at beskytte Huse, Kirker, Skibe o. s. v. mod Lynnedslaget, idet det giver os Anvisning paa at anbringe lodrette Jernstænger, der ere gjorte spidse som Naale og forgyldte for at forhindre dem i at ruste, paa den højeste Del af disse Bygninger, og fra Foden af disse Stænger føre en Traad udvendig paa Bygningen ned i Jorden eller rundt om et af Skibets Vanter og ned langs Siden til Vandet? Vilde ikke disse spidse Stænger sandsynligvis roligt trække den elektriske Ild ud af Skyen, inden den kom nær nok til at ramme, og derved sikre os imod den pludseligste og frygteligste Ulykke?«

De fire vigtigste Betingelser for en god Lynleder ere: 1) at Enden af den er en fin Spids, der er hævet over det højeste Punkt paa Bygningen; 2) at dens nederste Ende enten er i Forbindelse med rindende Vand eller med Grundvandet; 3) at Lederen imellem Spidsen og Jorden er fuldstændig sammenhængende og har tilstrækkelig Ledeevne; 4) at Blyklædninger og alle Jern- eller Metaldele paa Tag eller Skorstene forbindes med Hovedledningen ved Hjælp af tykke Traade. — Man kan ikke tillægge det andet og tredje Punkt for stor Betydning. Maxwell har foreslaaet at omgive Huset med et Gitter af Ledningstraad, uden nogen Hovedleder, og Tanken, der ligger til Grund for dette Forslag, er den, at det Indre af Bygningen derved, ligesom Faradays hule Tærning (Pkt. 31), skulde være fuldstændig beskyttet mod elektrisk Kraft. Spørgsmaalet om Lynledningerne har imidlertid i den seneste Tid fremkaldt en livlig Meningsudveksling, idet Professor Oliver Lodge har hævdet, at Lynet mere har

Karakteren af elektriske Svingninger (Pkt. 295) end af en Strøm; hvis det er rigtigt, er den Leder, der har den mindste Modstand, ikke nødvendigvis den bedste Lynleder. Professor Lodge og Forfatteren af denne Bog ere uafhængigt af hinanden og af forskellige Grunde komne til det Resultat, at man til Lynledninger skal foretrække Jern for Kobber.

306. Atmosfærens Elektricitet. I 1752 iagttog Lemonnier, at Atmosfæren sædvanlig er elektrisk. Cavallo, Beccaria, Ceca og andre have udvidet vor Kundskab til Sagen, og i den senere Tid have Quetelet og Wm. Thomson gjort Spørgsmaalet til Genstand for en mere omhyggelig Undersøgelse og have deraf kunnet udlede almengældende Resultater. Hovedresultatet er, at Luften over Jordens Overflade sædvanligvis i smukt Vejr er positivt elektrisk, eller at den i det mindste er positiv i Forhold til Jordens Overflade, idet denne i Forhold til Luften er negativ. Den saakaldte Maaling af »Atmosfærens Elektricitet« er i Virkeligheden en Maaling af Potentialforskellen mellem et Punkt paa Jordens Overflade og et Punkt et eller andet Sted i Luften oven over den. I de øvre Luftlag er Luften stærkt fortyndet og leder Elektriciteten som de fortyndede Luftarter i Geisslers Rør (Pkt. 292). De lavere Luftlag ere, naar de ere tørre, Ikke-Ledere. De øvre Lag antages at være ladede med positiv Elektricitet, medens Jordens Overflade er negativt elektrisk ladet, og det tættere Luftlag imellem dem virker ligesom Glasset i Leydner-Flasken til at holde de modsatte Ladninger adskilte. Dersom vi kunde maale det elektriske Potential paa forskellige Steder inden i Glasset af en Leydner-Flaske, vilde vi finde, at Værdierne af Potentialet skifte paa regelmæssig Maade fra en positiv Værdi paa den ene Side til en negativ Værdi paa den anden Side, medens der vilde findes et Punkt omtrent midt imellem dem, hvor Potentialet var Nul. Luften vil nu i smukt Vejr altid vise sig at være positiv, og dens Potential er større, jo højere

oppe vi maale det. Cavallo fandt, at Luften var mere elektrisk lige udenfor Kuplen paa St. Pauls Cathedral end længere nede paa Bygningen. Sir Wm. Thomson iagttog, at Potentiallet paa Øen Arran*) forøges fra 23 til 46 Volt ved en Stigning af 1 Fod; men Potentialforskellen var undertiden 8 à 10 Gange saa stor for samme Højde-Forskel, og den forandrede sig hurtigt, naar Østenvinden blæste Skymasser, ladede med positiv eller negativ Elektricitet, hen over Himlen. Joule og Thomson i Aberdeen fandt, at Potentialforøgelsen var 40 Volt for hver Fod, eller 1.3 Volt for hver Centimeter, man steg til Vejrs.

I smukt Vejr er Luften meget sjældent negativ elektrisk. Beccaria iagttog det kun 6 Gange i 15 Aar, og i saa Tilfælde ledsaget af Vinde. Men i daarligt Vejr, og naar det regner, er den oftere negativ end positiv og er underkastet store Svingninger, idet den skifter fra negativ til positiv og tilbage igen adskillige Gange i en halv Time. Vejrforandring ledsages sædvanlig af en udpræget Forandring i de elektriske Tilstande. »Hvis der, naar Regnen er ophørt (siger Ceca), viser sig et stærkt Overskud af (positiv) Elektricitet, er det Tegn paa, at Vejret vil holde sig smukt i flere Dage.«

307. Iagttagelsesmaader. De ældre Iagttagere lod sig nøje med at forbinde et Elektroskop (med Guldblade eller Hyldemarvskugler) med en isoleret spids Stang, der ragede op i Luften over Jordoverfladen, eller med at sende en Drage til Vejrs, eller med (som Becquerel gjorde) at udskyde en Pil, der stod i Forbindelse med et Elektroskop ved en tynd Traad, hvis Forbindelse med Elektroskopet blev brudt, inden Pilen faldt. Gay Lussac og Biot firede en Traad ned fra en Ballon, og fandt Potentialforskelle mellem de øvre og nedre Luftlag. Ingen af disse Metoder er fuldstændig tilfredsstillende, thi de angive ikke Poten-

*) En Ø i Munden af Clyde.

tialet i noget bestemt Punkt. For at bringe Spidsen af en Stang til at have samme Potential som Luften omkring den, er det nødvendigt, at materielle Partikler udlades fra dette Punkt en kort Tid, saa at hver Partikel, efterhaanden som den gaar bort, fører en

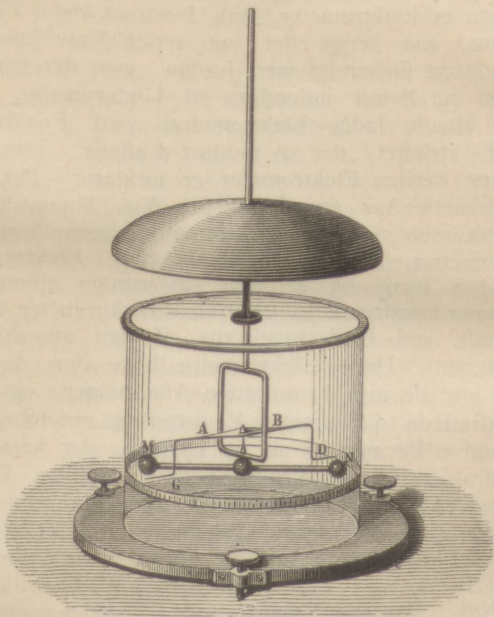


Fig. 97.

positiv eller negativ Ladning med sig, indtil Stangen og Luften paa det paagældende Punkt have antaget samme Potential. Volta udførte dette ved Hjælp af en lille Flamme paa Enden af en Undersøgelses-Stang. Sir Wm. Thomson har anvendt Vanddraaber fra en isoleret Vandbeholder, forsynet med en Hane, der stak ud i Luften, saa at de faldende Draaber udlignede

Potentialerne. (Om Vinteren brugte han ulmende Røgelsepapir.) Dellmann benyttede en anden Maade, idet han udsatte en Kugle for Luftens Fordeling, hvorefter han isolerede den og bragte den indendørs for at undersøge dens Ladning. Peltier optog en lignende Metode, idet han, enten paa eller i Nærheden af Jorden, anbragte et Elektrometer, hvis Form er vist i Fig. 97, og som, saa længe det var under Paavirkning af Luften, var forbundet med Jorden, men derefter blev isoleret og flyttet indendørs til Undersøgelse. Paa denne Maade lades Elektrometret ved Fordeling med Elektricitet, der er modsat Luftens. Princippet for dette særlige Elektrometer er forklaret i Pkt. 260. I de senere Aar ere de af Sir Wm. Thomson konstruerede mere nøjagtige Elektrometre, saasom Kvadrant-Elektrometret (beskrevet i Punkt 262), Elektrometret med delt Ring og et efter de samme almindelige Principper konstrueret transportabelt Elektrometer, blevne benyttede ved Undersøgelserne af den atmosfæriske Elektricitet. Disse Elektrometre have den dobbelte Fordel, at de give kvantitative Aflæsninger, og at de ere indrettede til automatisk Registrering, ved fotografisk at gengive Bevægelsen af en Lysplet, der kastes tilbage fra et lille til Naalen befæstet Spejl. Everett har med en Vanddraabe-Kollektor og et Thomsons Elektrometer gjort en Række Observationer i Ny-Skotland og fundet den største positive Elektrisering i Frostvejr og tør Blæst, naar Luften var fyldt med Ispartikler.

308. Daglige Variationer. Quetelet iagttog, at i Bryssel viste de daglige Angivelser (i smukt Vejr) to Maksima, der om Sommeren indtraf Kl. 8 F. M. og 9 E. M., og om Vinteren Kl. 10 F. M. og 6 E. M., samt to Minima, der om Sommeren indtraf Kl. 3 E. M. og omtrent ved Midnat. Han fandt ogsaa, at Elektriciteten var omtrent 13 Gange saa stærk i Januar som i Juni. Iagttagelser, der ere udførte af Professor B. Stewart i Kew, vise et Maksimum Kl. 8 F. M. om Sommeren og Kl. 10 F. M. om Vinteren, og et

Minimum Kl. 10 E. M. om Sommeren og Kl. 7 E. M. om Vinteren. Maksimum svarer til de Timer, da Temperaturen skifter, Minimum til dem, der have konstant Temperatur. I Paris har M. Mascart kun fundet eet Maksimum, lige før Midnat; ved Solopgang formindskes Elektriciteten indtil omtrent Kl. 3 E. M., da den har naaet et Minimum, hvorefter den igen stiger indtil Nattens Frembrud.

Vort Kendskab til dette vigtige Emne er imidlertid meget ufuldkomment. Vi vide ikke en Gang, om alle Variationerne i Jordens Elektrisering i Forhold til Luftens skyldes Aarsager, der virke over eller under Jordens Overflade. Samtidige Iagttagelser paa forskellige Steder og i forskellige Højder savnes i høj Grad.

309. Nordlys. I alle nordlige Egne paa Jorden indtræffer *Aurora borealis* eller »Nordlys« af og til; indenfor og i Nærheden af Polarkredsen ses de næsten hver Nat. Lignende Lys ses ogsaa i Jordens sydlige Polaregne og kaldes *Aurora australis*. Set paa evropæiske Breddegrader bestaar Nordlyset sædvanlig af et Antal Striber og Streger af ubestemt Form og af bløg Farve (undertiden med røde og andre Farver), der enten gaa straaaleformet ud som en Vifte fra Horisonten i Retning af (magnetisk) Nord eller danne en Bue tværs over den Del af Himlen. En vis blinkende eller strømmende Bevægelse i Striberne kan ofte iagttages. Under meget gunstige Omstændigheder kan Nordlyset udstrække sig over hele Himlen. Tilstedeværelsen af Nordlys er som Regel ledsaget af magnetiske Storme (Pkt. 145), der paavirke Kompasnaalen over udstrakte Egne af Jordkloden. Denne Kendsgerning og Stillingen af Nordlysbuen og Striberne i Forhold til den magnetiske Meridian give en bestemt Anvisning paa at henhøre Lyset til en elektrisk Oprindelse — en Antagelse som bekræftes af mange Overensstemmelser, der ere fundne imellem Nordlysfænomenerne og Udladningsfænomenerne i fortyndet Luft (Pkt. 292 og 294). Paa vore Breddegrader paavirker

Nordlyset dog ikke den elektriske Tilstand i Atmosfærens lavere Lag. Den 1ste September 1859 indtraf et stærkt magnetisk Uvejr, og saa godt som hele Jorden over blev der iagttaget Nordlys; paa samme Tid fandt der et mærkværdigt Udbrud af Energi Sted i Solens Photosfære, men der blev ikke iagttaget nogen samtidig Udvikling af atmosfærisk Elektricitet.

Nordlys viser sig hyppigere i Perioder paa omtrent $11\frac{1}{2}$ Aar, hvad der passer godt med Perioden for Maksimum af magnetiske Storme (se Pkt. 144) og Solpletter.

Spektroskopet viser os, at Lyset i Nordlyset skyldes Luftarter, idet Spektret bestaar af faa klare Linier, som ikke bestemt kunne henføres til noget bekendt Stof paa Jorden, men som have en almindelig Lighed med de Linier, der ses i Spektret af elektriske Udladninger gennem fortyndet, tør Luft.

Den sandsynligste Teori for Nordlys skyldes oprindelig Franklin, idet han antog, at det hidrørte fra elektriske Udladninger i de højere Luftlag som en Følge af Forskellen i elektrisk Tilstand mellem den kolde Luft i Polaregnene og de varmere Luftstrømme eller Dampe, der paa Grund af Solvarmen stige op fra Havets Overflade i de tropiske Egne. Fordampning af Vand, der indeholder saltagtige Stoffer, er nemlig en Kilde til Elektrisering (Pkt. 63), og de udviklede Dampe blive positivt elektriske.

Efter Nordenskjolds Anskuelse er Jordkuglen ved Polerne bestandig omgivet af en enkelt eller dobbelt Ring eller Krone af Lys, som han har givet Navnet »Nordlys-Straalekrandsen«. Den yderste Kant af denne Ring anslaaer han til at ligge 30 Mil over Jordens Overflade, og dens Diameter anslaaer han til omtrent 325 Mil. Nordlys-Straalekrandsens Centrum ligger ikke nøjagtigt i den magnetiske Pol, men paa 81° N. Br. og 80° Ø. Lgd. Denne Nordlys-Straalekrands viser sig sædvanlig som en bleg Lysbue tværs over Himlen

og mangler de radiale Straaler undtagen under magnetiske eller Nordlys-Storme.

Lemstrøm har fremstillet et kunstigt Nordlys, idet han paa et Bjerg i Lapland anbragte et Traadnet med mange Spidser, der ragede op i Luften. Ved at isolere dette Apparat og ved at forbinde det med et Galvanometer ved Foden af Bjerget, ved Hjælp af en Telegraftraad, var han i Stand til at iagttage virkelige elektriske Strømme, naar Nordlysets Straaler viste sig over Bjerget.

FEMTE KAPITEL.

ELEKTROMAGNETISME.

XXV. Teorien om magnetisk Potential.

310. Den Del af den elektriske Videnskab, som omhandler Forbindelsen mellem elektriske Strømme og Magnetisme, kaldes **Elektromagnetisme**. I Pkt. 117 er Loven om de omvendte Kvadrater, saaledes som den anvendes paa Magneter, bleven forklaret, og i Pkt. 125 have vi givet Definitionen paa »den magnetiske Enhedspol«. Læseren har ogsaa lært at udtrykke Magnetpolers Styrke ved Enhedspolen og at anvende Loven paa Maaling af magnetiske Kræfter. Det er imidlertid, naar man studerer Sagen, meget bekvemmere, ikke at udtrykke Vekselvirkningen mellem de magnetiske og elektromagnetiske Systemer ved Benyttelse af Begrebet »Kraft«, men at benytte Begrebet »Potential«, ϕ : Evnen til at udføre Arbejde. I Pkt. 237 har Læseren set, hvorledes det elektriske Potential, der skyldes en Elektricitetsmængde, kan beregnes ved det Arbejde, som udføres ved at tilføre en Enhed af positiv Elektricitet

fra en uendelig lang Afstand. **Magnetisk Potential** kan maales paa lignende Maade, ved at man tænker sig en Magnetpol (Nordpol) paa en Enhed tilført fra en uendelig lang Afstand, og derpaa beregner Størrelsen af det derved udførte Arbejde. Derfor vil ogsaa Størstedelen af det, der er bevist i Afsnit XX angaaende elektrisk Potential, ligeledes gælde for magnetisk Potential. Læseren bør sammenligne følgende Sætninger med de tilsvarende i Pkt. 237 til 243:

a) Det magnetiske Potential i et vilkaarligt Punkt er det Arbejde, der maa udføres for at bevæge en Magnetpol (Nordpol) paa en Enhed fra en uendelig lang Afstand ind til Punktet.

b) Det magnetiske Potential, der i et vilkaarligt Punkt skyldes et System af Magnet-Poler, er Summen af de enkelte magnetiske Potentialer, der skyldes de enkelte Poler.

Læseren maa vel erindre, at Potentialerne, der skyldes Sydpolen, faa modsatte Tegn af dem, der skyldes Nordpolen, og maa regnes negative.

c) Naar et Punkts (magnetiske) Potential skyldes et System af Magnet-Poler, maa det beregnes (sammenlign. med Pkt. 238) ved at tage Summen af de enkelte Polers Styrke, hver for sig divideret med den paagældende Pols Afstand fra Punktet.

Have saaledes Polerne med Styrken m' , m'' , m''' o. s. v. henholdsvis Afstanden r' , r'' , r''' (Centimeter) fra Punktet P, vil nedenstaaende Ligning give Potentialet i P:

$$V_P = \frac{m'}{r'} + \frac{m''}{r''} + \frac{m'''}{r'''} + \dots$$

eller
$$V_P = \sum \frac{m}{r}.$$

d) Potentialforskellen (den magnetiske) mellem to Punkter er det Arbejde, der afgives eller modtages af en Enheds-Pol (Nord-

pol) ved at bevæge den fra det ene Punkt til det andet.

e) Magnetisk Kraft er Tilvæksten (positiv eller negativ) af magnetisk Potential pr. Længdeenhed.

f) Ækvipotentiale Overflader ere (tænkte) Overflader, der omgive en magnetisk Pol eller et System af Poler, og paa hvilke Potentiallet (det magnetiske) overalt har samme Værdi.

For en enkelt Magnetpol vil saaledes, naar vi tænke os al dens Magnetisme samlet i et Punkt, fjernt fra alle andre Poler, Potentiallet være det samme i lige store Afstande rundt omkring Polen, og de ækvi-potentiale Overflader ville være et System af koncentriske Kugleoverflader, der ligge i en saadan Afstand fra hinanden, at der udkræves et Arbejde paa en Erg for at bevæge en Enheds-Pol fra et Punkt paa Overfladen af en Kugle til et hvilket som helst Punkt paa den næste (se Fig. 85). Omkring en virkelig Magnet, der har to Polar-regioner, ville de ækvipotentiale Overflader være meget mere indviklede. Magnetisk Kraft, hvad enten det er en Tiltræknings- eller Frastødningskraft, virker altid tværs paa de ækvipotentiale Overflader i en Retning, der er vinkelret paa Overfladen. De magnetiske Kraftlinier staa overalt vinkelret paa de ækvipotentiale Overflader.

311. Krafrør. Følgende Sætning er ligeledes vigtig: Kraftlinierne ville fra en enkelt magnetisk Pol (som antages at ligge i et Punkt, der er fjernt fra alle andre Poler), spredes straaaleformigt i alle Retninger. Rummet omkring Polen kan man tænke sig delt i en Mængde Kegler, der alle have Toppunktet liggende i Polen. Igennem hver af Keglerne vil der, ligesom gennem et Rør, gaa et vist Antal Kraftlinier. Et saadant kegleformet Rum kaldes et »Krafrør«. Hvor som helst man gennemskærer et Krafrør paa tværs, vil Tvær-

snittet altid overskære alle Rørets Kraftlinier, skønt de spredes mere og mere fra hinanden, jo længere man kommer ud mod Rørets Munding. Heraf følger, at:

g) Den samlede magnetiske Kraft, der virker paa tværs af ethvert Snit i Kraftørret, er konstant, hvor Tværnittet end tages.

I Tilfælde af, at Magnetismen ikke er samlet i eet Punkt, men fordelt over en Overflade, maa vi tale om »Mængde af Magnetisme« og ikke om »Pol-Styrke«, og i saa Tilfælde gælder den Sætning, at

h) magnetisk Tæthed er Mængden af fri Magnetisme paa Enhed af Overflade.

Have vi en almindelig magnetisk Plade, paa hvis Overflade Magnetismen er fordelt med jævn Tæthed, vil Pladens »Styrke« være lig Pladens Tykkelse multipliceret med dens Overflade-Tæthed.

312. Feltets Styrke (Intensitet). Vi have set (Pkt. 105), at enhver Magnet er omgivet af et vist »Felt«, indenfor hvilket der viser sig magnetisk Kraft. Vi ere i Stand til fuldstændig at bestemme Feltets Egenskaber i et hvilket som helst Punkt, ved at maale Styrken og Retningen af denne Kraft, — det vil sige ved at maale »Feltets Intensitet« og Retningen af Kraftlinierne. Feltets Intensitet i et vilkaarligt Punkt maales ved den Kraft, med hvilken det paavirker en Magnetpol med Enhed af Styrke, anbragt i Punktet. Følgelig er Enhed af Intensitet i et Felt den Intensitet, som paavirker en Enheds-Pol med en Kraft paa en Dyn.

Der findes derfor et Felt med Enhed af Intensitet i et Punkt, der ligger en Centimeter fra en Magnetpol med Enhed af Styrke.

Er en Magnetpol, hvis Styrke er m , anbragt i et Felt, hvor Intensiteten er H , vil Kraften være m Gange saa stor, som hvis Polen havde Enhed af Styrke, og man vil have:

$$f = m \cdot H.$$

Vi kunne ogsaa til Maal for Feltets Intensitet i et vilkaarligt Punkt tage det Antal Kraftlinier, som gaar igennem en Overflade paa en Kvadratcentimeter, der igennem det paagældende Punkt lægges tværs paa Feltet. Fra en Magnetpol med Enhed af Styrke vil der udgaa 4π Kraftlinier; thi i Enhed af Afstand findes Enhed af Felt eller een Kraftlinie pr. Kv.-Cm., og der er 4π Kv.-Cm. Overflade paa en Kugle med Radius 1 og Polen som Centrum. I en Magnet, hvis Polstyrke er m , løbe $4\pi m$ Kraftlinier gennem Staalet og sprede sig fra dens Pol.

313. Magnetiseringens Intensitet, magnetisk Susceptibilitet og magnetisk Permeabilitet. Anbringes et Stykke magnetisk Metal i et magnetisk Felt, løbe nogle af de magnetiske Kraftlinier gennem det og magnetisere det. Styrken af dets Magnetisering vil afhænge af det Felts Intensitet, i hvilket det anbringes, og af selve Metallet. Der er to forskellige Maader at betragte Sagen paa, der begge have sine Fordele. Vi kunne enten tænke os Jernets eller Metallets Magnetisme som noget, der findes paa Pol-Overfladerne og derfor udtrykkes i Enheder af Magnetisme; eller ogsaa kunne vi fæste Opmærksomheden paa Metalstykkets indre Tilstand og paa Antallet af de magnetiske Kraftlinier, som løbe igennem det og derfra udgaa til det omgivende Rum. Den sidste Synsmaade er den mest moderne. Den Kendsgerning, at blødt Jern, der anbringes i et magnetisk Felt, bliver stærkt magnetisk, kan altsaa udtrykkes paa to Maader: 1) naar Jern er anbragt i et magnetisk Felt, udvikles der stærke Poler paa dets Endeoverflader, idet det er stærkt modtageligt (»susceptibelt») for Magnetisering; 2) naar Jern anbringes i et magnetisk Felt, samle Kraftlinierne sig og løbe i større Mængde gennem det Rum, der nu er opfyldt af Jernet, da dette er meget gennemtrængeligt (»permeabelt») for de magnetiske Induktionslinier eller »er en god Leder for de magnetiske Linier«.

Enhver af disse Betragtningssmaader kan præciseres ved Indførelsen af betegnende Koefficienter.

Koefficienten for Magnetisering eller Susceptibilitet (Modtagelighed) er baseret paa Enhed af Polstyrke. Tænke vi os en Magnet med m Enheder af Magnetisme i hver Pol, og med Afstanden l mellem dens Poler, kaldes Produktet, $m.l$, dens magnetiske Moment, og det magnetiske Moment divideret med Rumfanget kaldes dens Magnetiserings-Intensitet.

Skønt denne Betegnelse tager sit Udgangspunkt fra Overflade-Enhed af Polstyrke, tilsigter den at give et Begreb om den indre magnetiske Tilstand. Da Rumfang er Produktet af Tværsnit og Længde, følger deraf, at dersom et hvilket som helst Stykke Jern eller Staal af ensformigt Gennemsnit kun har Overflade-Magnetisme paa Enderne, vil dets Magnetiserings-Intensitet være lig Styrken af Polen, divideret med Arealet af Ende-Fladen. Er I Magnetiserings-Intensiteten, have vi

$$I = \frac{\text{magn. Moment}}{\text{Rumfang}} = \frac{m.l}{s.l} = \frac{m}{s}.$$

Antage vi nu, at denne Magnetiserings-Intensitet er fremkommen ved, at Jern er bleven anbragt i et magnetisk Felt med Intensiteten H , kunne vi udtrykke Forholdet mellem den resulterende Magnetiserings-Intensitet I og den magnetiserende Kraft H , der frembringer den, ved en Tal-Koefficient k , som kaldes Magnetiserings-Koefficienten eller Susceptibiliteten. Vi have derfor:

$$I = k.H$$

$$\text{eller} \quad k = \frac{I}{H}.$$

Denne Ligning maa forstaas saaledes, at for hver magnetisk Linie i Feltet er der k Enheder af Magnetisme paa Ende-Overfladen.

I magnetiske Stoffer som Jern, Staal, Nikkel o.s.v. har Susceptibiliteten, k , positive Værdier; men der er mange andre Stoffer, som Vismuth, Kobber, Kviksolv

o. s. v., der have smaa negative Koefficienter. Disse sidstnævnte Stoffer kaldes »diamagnetiske« (Pkt. 339) og frastødes af Magnetpolerne. Værdien af k er meget forskellig i Jern, ikke alene i de forskellige Slags Jern, men veksler ogsaa i ethvert enkelt Stykke med Magnetiserings-Graden. Naar et Stykke Jern er blevet stærkt magnetiseret, er det ikke længer saa modtageligt for Magnetisering som fra først af: det er blevet »mættet«. Barlow fandt, at Værdien af k for Jern var 32.8, Thalen bestemte den til at ligge mellem 32 og 44, Archibald Smith mellem 80 og 90, Stoletoew mellem 21 og 174. Rowland har fundet, at Værdien for norsk Jern naaede op til 366; for tynde, bløde Jerntraade fandt Ewing, at Værdien kunde gaa op til 1300 eller 1400. Stoletoew viste, at i et svagt magnetisk Felt viste Jern en ringe Susceptibilitet, som voksede stærkt, efterhaanden som den magnetiske Kraft i Feltet blev stærkere, men igen formindskes ved endnu større Kræfter, efterhaanden som Jernet blev mættet. Anvendes meget stærke magnetiserende Kræfter, saa at Magnetiserings-Intensiteten er meget stor, formindskes Susceptibiliteten (og Permeabiliteten) praktisk talt til Nul. Det synes, som om Maksimum af Magnetiserings-Intensitet, der kan meddeles Jern og Staal, er omtrent 1500 (Enheder pr. Kv.-Cm. af Tværnittet). Ifølge Rowland er Maksimum for Kobolt 800, for Nikkel 494. Staal beholder ikke al den Magnetisering, som temporært kan meddeles det, idet dets Maksimums-Intensitet efter Webers Angivelser er 400, efter von Waltenhofen 470, efter Rowland 785 og efter Hopkinson 878. Everett har beregnet (efter Gauss's Iagttagelser), at Jordens Magnetiserings-Intensitet kun er 0.0790 eller kun $\frac{1}{17600}$ af, hvad den vilde være, dersom Jordkuglen var helt af Jern. I svage magnetiske Felter er Nikkels Susceptibilitet omtrent fem Gange større end Jernets, men i stærke Felter er Jernet mere modtageligt.

Koefficienten for magnetisk Induktion eller **Permeabilitet** tager sit Udgangspunkt fra de mag-

netiske Induktionslinier. Det Antal af magnetiske Linier, som gaar gennem Enhed af Tværnsnitsareal paa et bestemt Punkt, kaldes »den magnetiske Induktion« i Punktet og betegnes ved Bogstavet B . Forholdet mellem den magnetiske Induktion og den magnetiske Kraft, der frembringer den, udtrykkes ved en Tal-Koefficient, Induktions-Koefficienten eller Permeabiliteten μ .

Vi have derfor

$$B = \mu H$$

eller $\mu = \frac{B}{H}$.

Denne Koefficient er altid positiv: for det tomme Rum er den 1, for Luften praktisk talt 1; for magnetiske Stoffer er den større end 1, for diamagnetiske Stoffer lidt mindre end 1.

Læseren kan opfatte Forholdet saaledes: Antage vi, at en vis magnetiserende Kraft virker i en vis Retning, saa vil der selvfølgelig af denne Virkning fremgaa Induktion langs et vist Antal Induktionslinier (eller saakaldte Kraftlinier), og i lufttomt Rum vilde Antallet af disse Linier give en Talværdi for den magnetiserende Kraft. Men dersom det Rum, vi tale om, var fyldt med Jern, vilde den samme magnetiserende Kraft inducere langt flere Linier. Jern har en Slags mangfoldiggørende Kraft eller specifik inducerende Kapacitet eller Ledningsevne for de magnetiske Linier. Denne Permeabilitet beregnes let ved Hjælp af Susceptibiliteten. Det blev omtalt i Slutningen af Pkt. 312, at der udgaar 4π magnetiske Linier fra hver Pol med Enhed af Magnetisme. Naar nu, som vi have vist ovenfor, hver af det magnetiske Felts Kraftlinier frembringer k Enheder af Magnetisme, vil Jernet føje $4\pi k$ Kraftlinier til hver Linie i Feltet, eller Jernets mangfoldiggørende Kraft, μ , vil være $1 + 4\pi k$.

Værdierne for Permeabiliteten aftage ligesom for Susceptibiliteten, efterhaanden som Magnetiseringen af Jernet forøges henimod Mætning. I nedenstaaende

Tabeller er opført to Rækker af Værdier, af hvilke den ene hidrører fra Stoletows og den anden fra Bidwells senere Undersøgelser.

Stoletows lagttagelser.

H.	k.	I.	μ .	B.
0,43	21,5	9,24	275,6	118,5
0,44	30,5	13,45	390,5	171,8
3,20	174,0	556,6	2222,0	7113,0
30,6	39,4	1206,0	504,2	15427,0

Bidwells lagttagelser.

H.	k.	I.	μ .	B.
3,9	151,0	587	1899,1	7390
10,3	89,1	918	1121,4	11550
40,0	30,7	1226	386,4	15460
115,0	11,9	1370	150,7	17330
208,0	7,0	1452	88,8	18470
427,0	3,5	1504	45,3	19330
585,0	2,6	1530	33,9	19820

Efter Hopkinson er i et Felt, hvor H er 220, Induktionen B for Støbejern omtrent 11000, og den remanente Induktion omtrent 5000. Bosanquet fandt, at Maksimum af Induktionen, B, for blødt Jern (charcoal iron) og Smedejern laa imellem 16800 og omtrent 19000; men det er lykkedes ham at magnetisere en Smedejernstang saa stærkt, at Induktionen paa det midterste Stykke af Stangen kom op til 29388. Staal, der indeholder 12 % Mangan, er mærkværdigt nok ikke magnetisk. Dets Maksimums-Induktion bestemte Hopkinson til ikke mere end 310.

314. Potentiallet, der skyldes en (solenoidal) Magnet. En lang, tynd, ensformigt magnetiseret Mag-

net viser kun fri Magnetisme ved de to Ender og virker paa ydre Genstande, fuldstændig som om man havde to lige store Mængder af modsat Magnetisme samlede i disse to Punkter. En saadan Magnet kaldes undertiden en Solenoïde, for at skelne den fra en magnetisk Plade (Pkt. 107). Almindelige, lige og hesteskoformede Magneter ere ufuldkomne Solenoïder. Det magnetiske Potential, der skyldes en Solenoïde, og alle dennes magnetiske Virkninger afhænge kun af de to Polers Beliggenhed og af deres Styrke, ikke af Stangens Form imellem dem, hvad enten den er lige eller krum. I Pkt. 310 (c) have vi givet en Regel for at finde Potentiallet, der skyldes et System af Poler. Antage vi, at Solenoïdens to Poler henholdsvis have Styrken $+m$ og $-m$ (idet vi regne Værdien af Sydpolens Styrke for negativ), og at Afstanden fra disse Poler til et ydre Punkt, P, er henholdsvis r_1 og r_2 , vil Potentiallet i P være:

$$V_P = m \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Tænke vi os en Magnet bukket sammen, indtil dens Nord- og Sydpol røre hinanden, vil den ikke virke som en Magnet paa en ydre Genstand og vil intet »Felt« have (Pkt. 105), thi naar de to Poler ere i Berøring med hinanden, ville deres Afstande r_1 og r_2 til et ydre Punkt være lige store, og man vil have

$$\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 0.$$

315. Potentiallet, der skyldes en magnetisk Plade. Gauss paaviste, at Potentiallet, der skyldes en magnetisk Plade, i et Punkt i Nærheden af den er lig Pladens Styrke, multipliceret med den Rumvinkel, der med Punktet som Toppunkt spænder over Pladen. »Styrken« af en magnetisk Plade er Produktet af dens Tykkelse og Magnetiseringens Overflade-Tæthed.

Er ω Rumvinklen for Punktet P, og i Pladens Styrke, er

$$V_P = \omega i.$$

Bevis. Dette vilde fordre en let Anvendelse af Integralregning, men nedenstaaende geometriske Bevis er, skønt ikke fuldkomment, dog tilstrækkeligt her.

Lad os betragte Pladen som sammensat af smaa Elementer af Tykkelsen t og med Overfladearealet s som det, der er tegnet i Figuren. Hele Rumvinklen, der med P som Toppunkt spænder over Pladen, tænkes sammensat af en Mængde smaa elementære Kegler, hver med Rumvinklen ω^1 ; r_1 og r_2 ere Afstandene fra Punktet P til

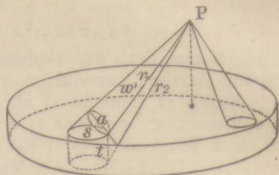


Fig. 98.

de to Overflader af Pladeelementet. Den lille Kegel skæres med et Snit vinkelret paa r_1 , og Snittets Areal kaldes a , medens Vinklen mellem s og a kaldes β . Vi have da $s = \frac{a}{\cos \beta}$.

Er i Pladens »Styrke« (γ = Magnetiseringens Overfladetæthed . Tykkelsen), saa er $\frac{i}{t}$ = Magnetiseringens Overfladetæthed og $s \frac{i}{t}$ = Pol-Styrken, m , af enhver af den lille Magnets Poler.

$$\text{Nu er imidlertid Rumvinklen } \omega^1 = \frac{\text{Arealet af Snittet vinkelret paa } r_1}{r^2} = \frac{a}{r^2},$$

$$\text{hvoraf følger } a = \omega^1 \cdot r^2,$$

$$\text{og } s = \frac{\omega^1 r^2}{\cos \beta},$$

$$\text{saa at man har } \omega^1 i \frac{r^2}{t \cos \beta} = m.$$

Men Potentialet i P, der skyldes Magneten med Polen m , er

$$\begin{aligned} v &= m \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \\ &= \omega^1 i \frac{r^2}{t \cos \beta} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \end{aligned}$$

Men $\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}$, hvilket vi kunne skrive $\frac{r_1 - r_2}{r^2}$, fordi Forskellen mellem r_1 og r_2 kan gøres saa lille, man vil.

$$\text{Da } r_1 - r_2 = t \cos \beta,$$

$$\text{er } v = \omega^1 i \frac{r^2}{t \cos \beta} \left(\frac{t \cos \beta}{r^2} \right) \therefore$$

$$v = \omega^1 i$$

eller: Potentialet, der skyldes et lille Element af Pladen, er lig Pladens Styrke . Rumvinklen fra Punktet til Pladeelementet.

Naar V er Summen af alle Værdierne af v for alle de forskellige Elementer, og naar ω er hele Rumvinklen (Summen af alle de smaa Rumvinkler ω^1), har man altsaa:

$$V_P = \omega i,$$

eller: Potentialet, der skyldes en magnetisk Plade, i et Punkt er lig Pladens Styrke, multipliceret med den Rumvinkel, der med Punktet som Toppunkt spænder over Pladen.

Følgelig repræsenterer ωi det Arbejde, der afgives eller modtages af en Magnetpol med Enhed af Styrke, naar den bevæges fra et uendelig fjernt Punkt til Punktet P , der er Toppunkt for Pladens Rumvinkel ω . I et Punkt Q , hvor Rumvinklen, der rummer Pladen, har en anden Værdi, vil Potentialet være forskelligt, idet Potentialforskellen mellem P og Q vil være

$$V_Q - V_P = i (\omega_Q - \omega_P).$$

Bevæges en Magnetpol, hvis Styrke er m , ind til Punktet P , vil der være udført et m Gange saa stort Arbejde, eller det indbyrdes Potential vil være $= m \omega i$.

316. Potentialet af en Magnetpol i Forhold til en magnetisk Plade. Det er tydeligt, at dersom en Plade med Styrken i skal anbringes i et Punkt, hvor Rumvinklen ω fra Polen m spænder over den, maa der udføres det samme Arbejde for at føre Pladen fra en uendelig lang Afstand til dette Punkt, som det, der fordres for at føre Magnetpolen fra en uendelig lang Afstand til Punktet; følgelig repræsenterer $m \omega i$ baade Polens Potential i Forhold til Pladen og Pladens Potential i Forhold til Polen. Nu maa Antallet af Kraftlinierne fra en Pol betragtes som proportionalt med Polstyrken, og fra en enkelt Pol ville de sprede sig straaaleformigt, ens fordelte i alle Retninger; og dersom

man anbringer en Magnetpol i P, i Toppunktet af en Kegles Rumvinkel, vil Antallet af Kraftlinier, som gaa igennem Rumvinklen, være proportionalt med denne. Det er derfor bekvemt at betragte $m\omega$ som repræsenterende Antallet af de fra Polen udgaaende Kraftlinier, der gaa igennem Pladen, og dette Antal ville vi kalde N. Følgelig er Potentiallet af en Magnetpol i Forhold til en Plade lig Pladens Styrke, multipliceret med Antallet af de (fra Magnetpolen udgaaende) Kraftlinier, som gaa igennem Pladen; eller $V = N i$. Blev enten Pladen eller Polen flyttet til et Punkt, hvor et andet Antal Kraftlinier blev over-
skaaret, vilde Potentialforskellen blive

$$V_Q - V_P = \pm i(N_Q - N_P).$$

Denne Formel er meget vigtig, men Læseren maa passe vel paa ikke at tage Fejl af de forskellige Størrelser Fortegn. En Magnet har to Poler (en Nordpol og en Sydpol), hvis Styrke ere $+m$ og $\div m$, og de to Overflader af en magnetisk Plade have modsat Tegn. For at bevæge en Nord- (eller $+$) Pol imod en magnetisk Plades Nordoverflades frastødende Kraft, skal der udføres et Arbejde af en vis positiv Værdi, og deres gensidige Frastødning vil bevirke, at der bag-
efter kan udføres et Arbejde som en Følge af deres Stilling; i dette Tilfælde er Potentiallet altsaa positivt. Men bevæger man en Nordpol ind imod Pladens Sydoverflade, afgiver Polen et Arbejde, idet den tiltrækkes, og da det, at Polen afgiver et Arbejde, er det samme, som at der tilføres den et negativt Arbejde, vil Potentiallet i dette Tilfælde have en negativ Værdi.

Lad os derefter antage, at vi skulle bevæge en Nordpol med Enhed af Styrke ind imod Frastødningen af Nordoverfladen af en Plade med Styrken i , og at vi skulle bringe den tæt ind til Pladen, saa vil Pladen, i det Øjeblik Polen naaer Pladen, indtage det halve Rum omkring Polen; Rumvinklen vil derfor være $2\pi^*$),

*) Se Bemærkningen om Beregning af Vinkler Pkt. 133.

og Potentialet vil blive $+ 2\pi i$. Havde vi ført N-Polen ind til Pladen fra den modsatte Side, γ : fra Pladens S-Side, vilde Potentialet i Pladens Overflade have været $\div 2\pi i$. Det viser sig altsaa, at Potentialets Størrelseforandring, naar man gaar fra den ene Side af Pladen til den anden, er $4\pi i$.

317. Vekselvirkning mellem en Pol og en magnetisk Plade. Fig. 44 og 45 vise os grafisk, at Kraftlinierne fra to Poler af modsat Art løbe ind i hinanden, medens de, der udgaa fra ensartede Poler, dreje til Siden, som om de gensidig frastøde hinanden. Føres en Nordpol ind til Nordoverfladen af en Plade, vilde faa eller ingen af Magnetens Kraftlinier skære Pladen, hvorimod en stor Mængde Kraftlinier vil blive overskaaret af Pladen, naar en Nordpol bevæges henimod en Plades Sydoverflade, og Polen vil blive tiltrukken henimod Pladen, hvor denne overskærer de fleste Kraftlinier. Vi kunne udtrykke dette saaledes: en magnetisk Plade og en Magnetpol virke saaledes paa hinanden, at de søge at bevæge hinanden i en saadan Retning, at Pladen kommer til at overskære Maksimum af Kraftlinier. (Maxwells Regel. Pkt. 193). Udenfor Pladens tiltrækkende Overflade er Potentialet $\div \omega i$, og Polen bevæger sig saaledes, at denne negative Størrelse bliver saa stor som mulig, eller at Potentialet bliver et Minimum. Dette er kun en anden Udtryks-Maade for et specielt Tilfælde af den almindelige Regel, at Legemerne søge at bevæge sig saaledes, at den Energi, de ere i Besiddelse af som en Følge af deres Stilling, søger at blive til et Minimum.

318. Magnetisk Potential, der skyldes en Strøm. De Sætninger, der ere fremstillede i de foregaaende Paragraffer, angaaende magnetiske Plader, have deres største Betydning paa Grund af den Kendsgering, der er omtalt i Pkt. 192, at Kredsløb, hvorigennem der gaar en elektrisk Strøm, optræde ligesom magnetiske Plader. For ved Hjælp af disse Sætninger at kunne beregne de magnetiske Virkninger, der skyl-

des Strømmen, er det nødvendigt at benytte den elektromagnetiske Enhed for Strømstyrke, der er omtalt i Pkt. 196. Benytte vi denne Enhed, kunne vi gaa tilbage til Pkt. 315 og uden videre anvende de der anførte Sætninger om magnetiske Plader som gældende ogsaa for Volta-Kredsløb.

a) **Potentialet, der skyldes et lukket Kredsløb** (smgl. Pkt. 315). Potentialet V , der skyldes et lukket Volta-Kredsløb (gennemløbet af en Strøm), i et Punkt P i Nærheden af det, er lig Strømstyrken, multipliceret med den Rumvinkel ω , der med P som Toppunkt spænder over Kredsløbet.

Er i Strømstyrken i elektromagnetiske Enheder, have vi:

$$V_P = -\omega i.$$

Grunden til, at man benytter negativt Fortegn er følgende: Potentialet ($\circ$: Arbejdet, der afgives til en Nordpol med Enhed af Styrke) regnes positivt, naar Arbejdet udføres imod en frastødende Kraft. Skal nu en Nordpol bevæges hen til et Punkt, der ligger ud for den frastødende Side af et Kredsløb, maa den (se Fig. 99) bringes ind mod den Side af Kredsløbet, fra hvilken Strømmen ses at gaa rundt mod Urviserens Gang eller i negativ Retning, eller omkring hvilken Strømmen maa betragtes som havende Styrken $\div i$. For lettere at forstaa dette Valg af Fortegn maa Læseren erindre (se Fig. 99), at naar han betragter en Elektromagnets Sydpol, ser han langs de magnetiske Kraftlinier i deres positive Retning, og at Strømmen dér løber rundt gennem Vindingerne i samme Retning som Viseren paa et Ur. Eller: den positive Retning af Kraftlinierne gennem Kredsløbet er knyttet til en bestemt (positiv) Omløbsretning i Kredsløbet, paa samme Maade som man faar en fremadskridende Bevægelse ved at dreje en almindelig højreskaaren Skrue højre om.

b) I et Punkt Q , hvor Rumvinklen, der spænder over Kredsløbet er ω_Q , i Stedet for ω_P , vil Potentialet have en anden Værdi, og Potentialforskellen vil være:

$$V_Q - V_P = -i(\omega_Q - \omega_P).$$

319. c) En Magnetpols og et Kredsløbs gensidige Potential. Dersom en Magnetpol med Styrken m fra en uendelig lang Afstand bliver ført ind til Punktet P , der er Toppunkt for Rumvinklen ω , som

rummer Kredsløbet, imod den magnetiske Kraft, der frembringes af Strømmen, vil der udføres m Gange saa meget Arbejde, som hvis Magnetpolen havde haft Enhed af Styrke, og Arbejdet vil være lige stort, hvad enten Polen m bringes ind til Kredsløbet, eller dette ind til Polen. Følgelig vil det gensidige Potential blive

$$- m \omega i.$$

Men da vi ifølge Pkt. 316 kunne betragte $m \omega$ som repræsenterende det Antal af Polens Kraftlinier, der gaar igennem Kredsløbet, kunne vi, naar N betegner dette Antal, skrive

$$V = - i N,$$

eller: en Magnetpols og et Kredsløbs gensidige Potential er lig Strømstyrken, multipliceret med det Antal af Magnetpolens Kraftlinier, som omslutes af Kredsløbet, taget med modsat Fortegn.

d) Ligesom Tilfældet var med den magnetiske Plade, saaledes forandrer Værdien af Potentiallet sig ogsaa med Størrelsen $4 \pi i$ fra et Punkt paa den ene Side af Kredsløbet til et Punkt paa den anden Side, da det nemlig er $\div 2 \pi i$ paa den ene Side og $+ 2 \pi i$ paa den anden Side, saa at et Arbejde lig $4 \pi i$ maa udføres for at bringe en Enhedspol udenom Kredsløbet fra den ene Side til den anden. Gaar Strømmen n Gange rundt i Kredsen (n Vindinger), vil Arbejdet være $4 n \pi i$.

320. e) To Kredsløbs gensidige Potential. To lukkede Kredsløb ville have et gensidigt Potential, der er afhængigt af deres henholdsvis Strømstyrker, af deres indbyrdes Afstand og af deres Form og Stilling. Er deres Strømstyrke henholdsvis i og i' , er Afstanden mellem to Elementer ds og ds' af Kredsløbet r , og kaldes Vinklen mellem Elementerne ε , kan man vise, at

$$\text{deres gensidige Potential} = \div i i' \iint \frac{\cos \varepsilon}{r} ds. ds'.$$

Dette Udtryk repræsenterer det Arbejde, der skal udføres for at flytte ethvert af Kredslobene fra en uendelig lang Afstand til dets nuværende Stilling i Nærheden af det andet, og det er negativt, dersom de tiltrække hinanden. Antage vi nu, at hvert af Kredslobene har Enhed af Strømstyrke, vil deres gensidige

Potential i dette Tilfælde være $\iint \frac{\cos \varepsilon}{r} ds \cdot ds'$, en Størrelse, der kun er afhængig af Kredslobenes geometriske Form og Beliggenhed, og som vi ville betegne ved M og kalde Koefficienten for det gensidige Potential. Vi kunne derfor sætte det gensidige Potential af to Kredslob, hvis Strømstyrker ere i og $i' = \div i i' M$.

Vi have imidlertid ved et enkelt Kredslob set, at vi kunne fremstille Potentialet mellem et Kredslob og en Enheds-Pol som Produktet af Strømstyrken $\div i$ og Antallet N af de af Magnetpolens Kraftlinier, der omslutes af Kredslobet. Følgelig maa M repræsentere det Antal af Kraftlinier, der udgaar fra enhver af de to Kredslob og omslutes af det andet, naar hvert af dem har Enhed af Strømstyrke. Kalde vi de to Kredslob A og B , vil, naar hvert af dem har Enhed af Strømstyrke, A omslutte M Kraftlinier, der høre til B , og B omslutte M Kraftlinier, der høre til A .

Antage vi nu, at begge Strømmene løbe i samme Retning (som Viseren paa et Ur), vil den forreste eller Sydoverfladen af det ene Kredslob staa lige over for den bageste eller Nordoverfladen af det andet Kredslob; de ville altsaa tiltrække hinanden og ville udføre et Arbejde, naar de nærme sig til hinanden, eller der vil (som det negative Fortegn angiver) blive udført et negativt Arbejde ved at nærme det ene Kredslob til det andet.

Naar de have tiltrukket hinanden saa meget, som det er muligt, ville de to Kredslob falde sammen i Retning og Stilling, saa nær som ske kan. Deres Potential-Energi vil være sunket ned til sit mindste Minimum, idet deres indbyrdes Potential er et negativt

Maksimum, og deres indbyrdes Potential-Koefficient M har sin størst mulige Værdi. To Kredsløb søge altsaa at bevæge hinanden saaledes, at deres indbyrdes Potential-Koefficient M faar sin størst mulige Værdi. Dette bekræfter Maxwells Regel (Pkt. 193), fordi M repræsenterer Antallet af Kraftlinier, som begge Kredsløbene gensidig omslutte. Da hvert Kredsløb i denne Stilling inducerer saa mange Kraftlinier som muligt gennem det andet, kaldes den indbyrdes Potential-Koefficient, M , ogsaa den indbyrdes Induktions-Koefficient.

Om magnetiske og elektromagnetiske Enheder.

321. Magnetiske Enheder. Alle magnetiske Størrelser, Pol-Styrke, Magnetiseringens Intensitet, o. s. v. udtrykkes ved særlige Enheder, der ere udledede af Grund-Enhederne for Længde, Masse og Tid, som forklaret i »Bemærkninger om Grund-Enheder og afledede Enheder« (Side 212). De fleste af nedenstaaende Enheder have været forklarede i det foregaaende Afsnit eller i Afsnit XI; de andre følge deraf.

Enhed for Styrke af en Magnetpol. Enhedspolen har en saadan Styrke, at den i een Cm.s Afstand (i Luften) fra en ensartet Pol af samme Styrke, frastøder den med en Kraft af en Dyn (Pkt. 125).

Magnetisk Potential. Magnetisk Potential maales ved det Arbejde, der udføres ved at bevæge en Magnetpol med Enhed af Styrke imod de magnetiske Kræfter, og Enhed af magnetisk Potential maales derfor ved Enhed af Arbejde eller Erg.

Enhed for magnetisk Potentialforskel. Der er Enhed af magnetisk Potentialforskel mellem to Punkter, naar der skal udføres et Arbejde paa een Erg for at bevæge en (Nord-) Pol med Enhed af Styrke fra det ene Punkt til det andet imod de magnetiske Kræfter.

Et magnetisk Felts Intensitet maales ved den Kraft, det udoøver paa en magnetisk Enhedspol; følgelig er:

Et Felt med Enhed af Intensitet et saadant, som virker paa en Enhedspol (Nordpol) med en Kraft af en Dyn.

322. Elektromagnetiske Enheder. De ovenfor nævnte magnetiske Enheder danne Grundlaget for nedenstaaende elektriske Enheder, ved hvilke Strømstyrke o. s. v. udtrykkes i magnetisk Maal. Forbindelsen mellem disse »elektromagnetiske« Enheder og de i Pkt. 257 omtalte »elektrostatiske« Enheder forklares i Pkt. 365.

Enhed for Strømstyrke. En Strøm har Enhed af Styrke, naar et Stykke af dens Kredsløb paa een Centimeters Længde, der er bøjet i en Bue med een Centimeters Radius (saa at det overalt er een Centimeter fjernet fra Magnetpolen), udøver en Kraft af en Dyn paa en Enhedspol i dets Centrum (Pkt. 196).

Enhed for Elektricitetsmængde er den Mængde, som gennemløber en Enhedsstrøm i eet Sekund.

Enhed for Potentialforskel (eller elektromotorisk Kraft). Potentialet er det Arbejde, der meddeles Enhed af Elektricitet, og følgelig er der Enhed af Potentialforskel mellem to Punkter, naar der udkræves et Arbejde paa een Erg for at bevæge een Enhed af positiv Elektricitet fra det ene Punkt til det andet imod den elektriske Kraft.

Enhed af Modstand. En Leder har Enhed af Modstand, naar Enhed af Potentialforskel mellem Enderne af den frembringer en Strøm gennem den med Enhed af Styrke (3: med en Enhed af Mængde pr. Sekund).

323. Praktiske Enheder. Nogle af de ovenfor nævnte »absolute« Enheder vilde blive for store og andre for smaa til praktisk Brug. Derfor benyttes nedenstaaende Enheder i Stedet for dem som elektromagnetiske Enheder:

Elektromotorisk Kraft. En **Volt** = 10^8 absolute Enheder (en ubetydelig Smule mindre end den E. M. K. af et Daniells Element).

Modstand. En **Ohm** = 10^9 absolute Modstands-Enheder (teoretisk er det den Modstand, der svarer til en Hastighed af een Jordkvadrant i Sekundet. Punkt 364).

Strøm. Som praktisk Enhed for Strøm har man valgt den, der frembringes af et Potential paa een Volt gennem een Ohm, og som er 10^{-1} absolute (elektromagnetiske) Enheder for Strøm; den gaar under Navnet en **Ampère** (tidligere en »Weber«).

Mængde. En **Coulomb** = 10^{-1} absolute Enheder for Mængde i det elektromagnetiske System.

Kapacitet. En **Farad** = 10^{-9} (eller en Tusinde-Millionte-del) absolute Enheder for Kapacitet.

Da det nu imidlertid hænder, at Størrelser, der ere en Million Gange saa store som nogle af disse Enheder, eller en Million Gange saa smaa som andre, skulle maales af Elektrikere, benyttes undertiden Forstavelserne Mega- og Mikro-, for at betegne en Enhed, der er henholdsvis en Million Gange større eller en Million Gange mindre end den paagældende Enhed. En Megohm er saaledes en Modstand paa en Million Ohm, og en

Mikrofarad en Kapacitet paa $\frac{1}{1\,000\,000}$ Farad o. s. v. Forstavelsen Milli- benyttes hyppigt for at angive en Tusindedel; en Milli-Ampère er saaledes en Tusindedel af en Ampère.

Maal-Systemet med de praktiske Enheder er bleven foreslaaet af et af det engelske Videnskabernes Selskab, »British

Association«, nedsat Udvalg, som ogsaa bestemte Værdien af en »Ohm« ved Forsøg og konstruerede Normal-Modstandsruller af Nysølv, som kaldes »B. A.-Enheder« eller »B. A.-Ohm«. Det »praktiske« System kan betragtes som et System af Enheder, der ikke ere udledede af Grund-Enhederne Centimeter, Gram og Sekund, men af et System, i hvilket Enhederne for Længde og Masse henholdsvis ere Jordkvadranten og 10^{-11} Gram.

324. Dimensionsformlerne for magnetiske og elektromagnetiske Enheder. Betydningen af »Dimensioner« er forklaret i Pkt. 258, Læseren vil let være i Stand til at udlede nedenstaaende Tabel.

	Enheder.	Dimensioner.
	(Magnetiske).	
m	{ Polstyrke Mængde af Magntm. } = $\sqrt{\text{Kraft} \cdot (\text{Afstand})^2} =$	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$.
V	Magnetisk Potential = Arbejde : Polstyrke .. =	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$.
H	Intensitet af et Felt = Kraft : Polstyrke =	$M^{1/2} L^{-1/2} T^{-1}$.
	(Elektromagnetiske).	
i	Strøm (Styrke) = Feltets Intensitet . Lgd. . . . =	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$.
Q	Mængde = Strøm . Tid =	$M^{1/2} L^{1/2}$.
V	Potential	
E	{ Elektromotorisk Kraft } = Arbejde : Mængde =	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$.
R	Modstand = E. M. K. : Strøm =	$L T^{-1}$.
C	Kapacitet = Mængde : Potential =	$L^{-1} T^2$.

Om Maaling af Jordens magnetiske Kraft i absolute Enheder.

325 a. Intensiteten af Jordens magnetiske Kraft paa et hvilket som helst Sted er den Kraft, med hvilken en Magnetpol med Enhed af Styrke tiltrækkes. Som forklaret i Pkt. 138 plejer man sædvanligvis at maale Stryken af den vandrette Komposant H og derpaa ved Hjælp af denne og Cosinus af Hældningsvinklen at beregne den totale Kraft I, da det er vanskeligt direkte at bestemme denne. For at bestemme H i absolute (eller C. G. S.-) Enheder, er det nødvendigt at foretage to Observationer med en Magnet, hvis magnetiske Moment er M. (Det magnetiske Moment er, som omtalt i Pkt. 313, Produktet af Magnetens Længde og Styrken af een af dens Poler.) Ved den ene af disse Observa-

tioner bestemmes Produktet MH ved en Svingningsmetode; ved den anden Observation bestemmes Kvotienten $\frac{M}{H}$ ved en særlig Afvigningsmetode. Kvadratroden af den Størrelse, der faas ved at dividere den første af de fundne Størrelser med den sidste, giver selvfølgelig H .

I) Bestemmelse af MH . Tiden t , i hvilken en magnetisk Stang foretager en fuldstændig Svingning frem og tilbage, er bestemt ved Ligningen

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{K}{MH}},$$

hvor K er Magnetens »Inertimoment«. Denne Formel er imidlertid kun rigtig for meget smaa Svingninger.

Ved simpel Udregning faar man:

$$MH = \frac{4\pi^2 K}{t^2}.$$

Af disse Størrelser bestemmes t ved en direkte Observation af Magnetens Svingningstid, naar den er ophængt i en Traad uden Snoring. K kan enten findes ved Forsøg eller ved Hjælp af en af følgende Formler:

$$\text{For en cylindrisk Stang er } K = w \left(\frac{l^2}{12} + \frac{a^2}{4} \right).$$

$$\text{For en rektangulær Stang er } K = w \left(\frac{l^2 + b^2}{12} \right),$$

hvor w er Stangens Masse i Gram, l Længden, a dens Radius (dersom den er cylindrisk), b Bredden i vandret Retning (dersom den er rektangulær).

II) Bestemmelse af $\frac{M}{H}$. Ved Hjælp af Magneten bringes derpaa en lille Magnetnaal til at gøre et Udslag paa følgende Maade: Magneten lægges vandret og vinkelret paa den magnetiske Meridian, saaledes at dens Midtpunkt ligger lige Nord eller Syd (magnetisk N-S) for den lille Naal og i Afstanden r fra dens Centrum. Idet den saaledes ligger tværs paa den lille Naal, vil dens Nordpol frastøde og dens Sydpol tiltrække Naalens Nordpol, medens dens Poler ville paavirke Naalens Sydpol modsat heraf. Hele Virkningen af Magneten paa Naalen vil være, at denne faar en Afvigelse δ , hvis Tangens er ligefrem proportional med $\frac{M}{H}$ og omvendt proportional med 3die Potens af Afstanden r , saa at man har

$$\frac{M}{H} = r^3 \operatorname{tg} \delta.$$

Ved at dividere den første Ligning med denne og uddrage Kvadratroden af den udkomne Kvotient, faa vi

$$H = \frac{2\pi}{t} \sqrt{\frac{K}{r^3 \operatorname{tg} \delta}}.$$

Indeks-Betegnelse.

325 b. Vi have set, at Elektrikerne regne med Størrelser, som undertiden angives ved meget store Tal og til andre Tider ved meget smaa, og der benyttes da et Indeks-System for at undgaa de lange Rækker af Cifre. I dette System skrives kun en Størrelses betydende Cifre, og Endeciffret eller (ved lange Decimalbrøker) Begyndelsesciffret angives ved et som Potenseksponent skrevet Tal. I Henhold hertil kunne vi skrive et Tusinde ($= 10 \cdot 10 \cdot 10$) som 10^3 , og Størrelsen 42 000 kan skrives som $42 \cdot 10^3$. Den engelske Statsgæld paa £ 770 000 000 kan skrives som £ $77 \cdot 10^7$. Den danske Statsgæld paa 185 000 000 Kroner kan skrives som $185 \cdot 10^6$ Kr. Brøker ville faa negative Indekser, naar man benytter Eksponenter;

$\frac{1}{100} (= 0.01) = \frac{1}{10 \cdot 10} = 10^{-2}$. Decimalbrøken 0.00028 kan skrives som $28 \cdot 10^{-5}$ ($= 28 \cdot 0.00001$). Hvor bekvem denne Metode er, kan ses ved et Par Eksempler fra Elektricitetslæren. Jordens elektrostatiske Kapacitet er 630 000 000 Gange saa stor som en Kugles med en Radius paa 1 Centimeter, og er altsaa $63 \cdot 10^7$ (elektrostatiske) Enheder.

Jordens magnetiske Moment er, ifølge Gauss, ikke mindre end 85 000 000 000 000 000 000 000 000 000 Gange saa stor som en Magnets, der har Enhed af Styrke og er en Centimeter lang, o: Jordens magnetiske Moment er $85 \cdot 10^{24}$ Enheder. Modstanden af Selen er omtrent 40 000 000 000 eller $4 \cdot 10^{10}$ Gange saa stor som Kobberets; Luftens Modstand er omtrent 10^{26} eller

100 000 000 000 000 000 000 000 000

Gange saa stor.

Lystets Hustighed er omtrent 30 000 000 000 Centimeter pr. Sekund eller $3 \cdot 10^{10}$. Som et sidste Eksempel skulle vi anføre, at Antallet af Atomer i Universet, saa langt som til den nærmeste Fiksstjerne, kan godtgøres med Bestemthed at være mindre end $7 \cdot 10^{81}$.

XXVI. Elektromagneter.

326. Elektromagneter. I 1820, omtrent umiddelbart efter Ørstedes Opdagelse af den elektriske Strøms Virkning paa en Magnetnaal, opdagede Arago og Davy uafhængigt af hinanden, hvorledes Jern og Staal

kunne magnetiseres ved at man lader elektriske Strømme cirkulere rundt om dem igennem en spiralvunden Traad. Forsøget kan nemt vises ved at vikle en Kobbertraad om en Jernstang og forbinde Enderne af Traaden med Polerne af et Element.

De enkelte Vindinger maa ikke berøre hinanden eller Jernstangen, thi hvis det var Tilfældet, vilde Strømmen gaa den korteste Vej tilbage til Elementet, og vilde derfor ikke gaa igennem alle Vindingerne. For at forhindre denne »Kortslutning« ved Berøringen, maa Ledningstraaden være overspunden med Silke eller Bomuld (i sidste Tilfælde forbedres Isolationen ved at man dypper Overspindingen i smeltet Paraffin) eller overtrukken med et Guttaperka-Lag. Er Stangen af Jern, vil den kun være en Magnet, saa længe som Strømmen gaar igennem Ledningen. En Jernstang, der er omgivet med en Traadrulle, saa at den kan blive magnetiseret af en elektrisk Strøm, kaldes en **Elektromagnet**. Sturgeon, som foreslog dette Navn, benyttede sig af Aragos og Davys Opdagelser til at konstruere Elektromagneter, der vare langt kraftigere end nogen anden tidligere fremstillet Magnet. Henry var den første, som viste, at naar Elektromagneter gennem en Ledning fra et langt borte liggende Sted skulle kunne bringes i Virksomhed, maa de vikles med mange Vindinger af fin Traad.

Ved Hjælp af Ampères Regel (Pkt. 186) kunne vi finde, hvilken Ende af en Elektromagnet der bliver en Nordpol; tænke vi os nemlig, at vi selv svømme i Strømmen og se ind imod Midten af Vindingerne, hvor Jernstangen er anbragt, vil Nordpolen ligge til Venstre af os. Det er bekvemt at huske denne Sammenhæng ved Hjælp af følgende Regler: Ser man paa en Elektromagnets Sydpol, ville de magnetiserende Strømme løbe rundt om den i samme Retning som Ur-Visernes Gang, og naar man ser paa en Nordpol af en Elektromagnet, løbe de magnetiserende Strømme rundt om den i mod-

sat Retning af Ur-Visernes Gang. Fig. 99 viser dette. Disse to Regler passe, hvad enten Begyndelsen af Traadrullen (med eet Lag Vindinger) er nærmest ved Iagttageren eller fjernest fra ham, det vil sige, hvad enten Rullen er viklet som en højreskaaren eller som en venstreskaaren Skrue. Det er, hvad den magnetiske Kraft angaar, ligegyldigt, om Vindingerne begynde i den ene Ende og derpaa løbe langs Stangen til den anden Ende og tilbage igen til Udgangspunktet, eller om de begynde paa Midten af Stangen og derpaa løbe til den ene Ende og saa tilbage til den anden Ende; det eneste, det kommer an paa, er at vide, i hvilken Retning Strømmen løber rundt om Stangen, naar man ser denne fra Enden af.

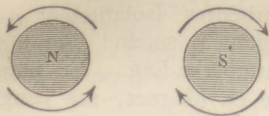


Fig. 99.

327. Konstruktion af Elektromagnet. Den Form af en Elektromagnet, der bedst kan benyttes, er den, der har Jernkærnen bøjet som en Hestesko, saa at begge Polerne kunne virke paa eet Jern-»Anker«. Paa saadanne Magneter deles i Reglen Vindingerne i to Dele, der vindes op paa to Ruller, som vist i Fig. 100. Til Brug ved Forsøg anvendes hyppigt Hestekomagneter, hvis Grene ere fastskruede til et fælles, faststaaende Jernstykke, og hvis Ruller kunne tages af Jernkærnerne. Ruhmkorff har konstrueret en særlig Form af en Elektromagnet til Brug ved Forsøg over Diamagnetismen (se Fig. 110). Den store Anvendelse, der gøres af Elektromagneter til elektriske Klokker og Telegrafinstrumenter, er begrundet paa, at deres Magnetisme beherskes af den elektriske Strøm: naar Strømmen »sluttes«, blive de Magneter, naar Strømmen »brydes«, ophøre de at virke som Magneter.

Der er konstrueret en Mængde forskellige Former af Elektromagneter til særlige Øjemed. For at frembringe en meget kraftig Tiltrækning i meget korte

Afstande, har en kort cylindrisk Elektromagnet, omgivet af et ydre Jernrør, der forneden er forbundet med Jernkærnen ved Hjælp af Jern, vist sig at være den bedste. For at give et mindre Træk paa en længere Strækning benyttes en Solenoïde (Pkt. 329) med en lang bevægelig Jernkerne. For at frembringe en

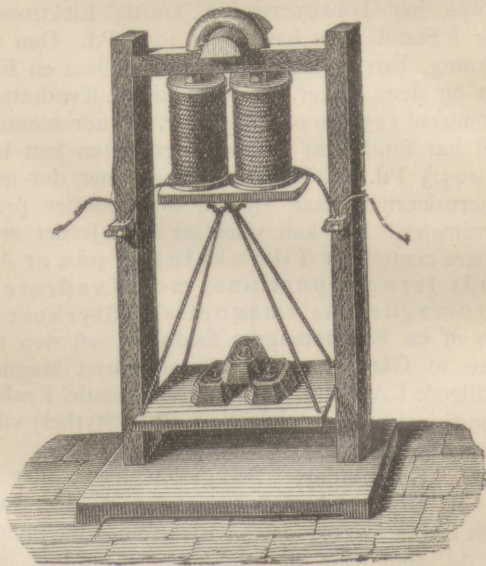


Fig 100.

meget hurtigt virkende Magnet, skulle Vindingerne ikke vikles om hele Jernkærnen, men kun omkring Polerne. Som en almindelig Regel gælder, at Jerndelene, Benene, disses Forbindelsesstykke og Ankeret saa nær som mulig skulle danne et lukket magnetisk Kredsløb. Tværsnittet af Forbindelsesstykket skal være større end Kærnerne.

328. En Elektromagnets Bæreevne. En Elektromagnets Bæreevne afhænger ikke blot af dens »magnetiske Styrke«, men ogsaa af dens Form, af Polernes Form, samt af Formen af det af blødt Jern dannede Anker, som den tiltrækker. Man skal sørge for, at der ledes det størst mulige Antal Kraftlinier gennem Ankeret, og dette skal indeholde en tilstrækkelig Masse Jern.

Joule har konstrueret en kraftig Elektromagnet, der var i Stand til at bære over 2000 Pd. Den største Tiltrækning, han kunde frembringe imellem en Elektromagnet og dens Anker, var 200 Pd. pr. Kvadrattomme, eller omtrent 13 800 000 Dyn pr. Kvadratcentimeter. Bidwell har fundet, at Tiltrækningskraften kan bringes op til 205.3 Pd. pr. Kvadrattomme, naar der gennem Smedejernskærnen gaar 19 820 Magnetlinier pr. Kvadratcentimeter. Det kan vises, at naar Jernet er langt fra at være mættet, er Tiltrækningen paa et Anker af blødt Jern proportional med Kvadratet paa Elektromagnetens »magnetiske Styrke«; bliver Styrken af en Elektromagnet fordoblet, vil den nemlig inducere to Gange saa stærk modsatartet Magnetisme som tidligere i Ankeret, og den resulterende Kraft (som er proportional med Produktet af de to Styrker) vil blive fire Gange saa stor som den oprindelige.

329. Solenoïder. Selv uden Jern- eller Staal-kærne vil en Traadrulle, hvorigennem der gaar en elektrisk Strøm, virke som en Elektromagnet (men ikke saa stærkt, som naar en Jernkærne er anbragt inden i den). En saadan Traadrulle kaldes undertiden en **Solenoïde**. Den har to Poler og et Ligevægtsbælte. Ampère fandt, at den tiltrækkes af og tiltrækker Magneter. Den tiltrækker en anden Solenoïde, og dens magnetiske Felt ligner i det Hele en Stangmagnets. Er den ophængt saaledes, at den kan dreje sig om en lodret Akse, vil den stille sig i Retningen Nord-Syd, langs den magnetiske Meridian. Fig. 101 viser os en Solenoïde, forsynet med Spidser, ved Hjælp af hvilke den kan ophænges paa en Opstander paa lignende

Maade som vist i Fig. 105. Betragte vi Fig. 74 og gennemlæs Pkt. 192, ville vi opfriske i Erindringen, hvorledes en enkelt Vinding af et Kredsløb virker som en med den i Form og Styrke ækvivalent magnetisk Plade. En Solenoïde kan betragtes som sammensat af en Række saadanne magnetiske Plader, der ere anbragte den ene oven paa den anden, med alle Nordoverfladerne vendende samme Vej. Da den samme Mængde

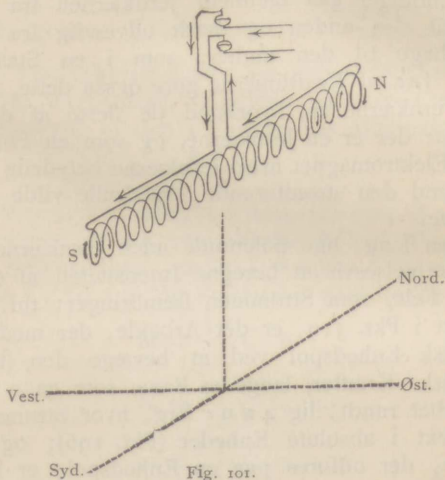


Fig. 101.

Elektricitet løber gennem hver Vinding, ville disse alle have samme magnetiske Styrke, og Solenoïdens samlede magnetiske Styrke vil være proportional med Antallet af Vindinger. Er der n Vindinger i Solenoïden, vil Antallet af magnetiske Kraftlinier gennem den være n Gange saa stort som det Antal, en enkelt Vinding frembringer. Jernkærnen tjener, paa Grund af sin større magnetiske Induktion, til at samle og forøge det virksomme Antal af Kraftlinier i bestemte Poler. Vi have omtalt (Pkt. 191), at Kraftlinierne, der skyldes en igennem en Ledning gaaende Strøm, ere lukkede Kurver,

tilnærmelsesvis Cirkler (se Fig. 73), omkring Ledningen. Hvis der ikke var nogen Jernkærne, vilde mange af disse smaa cirkelformede Kraftlinier simpelthen vedblive at være smaa lukkede Kurver omkring de enkelte Vindinger; men da Jern har en stor magnetisk Induktions-Koefficient, saa ville Kraftlinierne, dér hvor Traaden gaar tæt ved en Jernkærne, forandre Form, og ville i Stedet for at være smaa Cirkler omkring de enkelte Traadvindinger gaa igennem Jernkærnen fra den ene Ende til den anden og rundt udvendig fra den ene Pol tilbage til den anden, som i en Staalmagnet. Nogle faa af Kraftlinierne gøre ogsaa dette, naar der ingen Jernkærne er, hvorimod de fleste af dem gøre det, naar der er en Jernkærne, og som en Følge heraf har en Elektromagnet med Jernkærne betydelig stærkere Poler, end den strømførende Traadrulle vilde have for sig alene.

I en lang, lige Solenoïde uden Jernkærne er det let tilnærmelsesvis at beregne Intensiteten af det magnetiske Felt, som Strømmen frembringer; thi, som vi have set i Pkt. 319, er det Arbejde, der meddeles en magnetisk Enhedspol ved at bevæge den (imod de magnetiske Kræfter) langs en Bane, som gaar n Gange Kredsløbet rundt, lig $4\pi n i$ Erg, hvor Strømstyrken i er udtrykt i absolute Enheder (Pkt. 196); og da det Arbejde, der udføres paa en Enhedspol, er Maal for det magnetiske Potential (Pkt. 310), kunne vi sige, at den magnetiske Potentialforskel imellem den lange Solenoïdes to Ender er lig $4\pi n i$. Men naar det magnetiske Potential gradvis forandrer Værdi fra Punkt til Punkt langs en Linie, er Potentialforandringen pr. Længdeenhed et Maal for den magnetiske Kraft (Pkt. 310, e). Er l Længden af Solenoïden i Centimeter, saa er $4\pi n i : l$ Intensiteten af den magnetiske Kraft inden i Solenoïden; og da Intensiteten af den magnetiske Kraft er det samme som Intensiteten af det magnetiske Felt i Punktet, kunne vi sige, at Tallet angiver Antallet af magnetiske Kraftlinier pr. Kvadrat-

centimeter af Solenoïdens Tværsnit. Er H Intensiteten af Feltet, der saaledes er frembragt inden i Solenoïden, og r Radius af Vindingerne, saa vil hele Antallet af de magnetiske Kraftlinier, N , der løbe gennem Solenoïden fra den ene Ende til den anden, være lig $H \cdot \pi r^2$. Følgelig have vi:

$$H \text{ (inden i Solenoïden)} = \frac{4 \pi n i}{l},$$

$$N \text{ (gennem Solenoïden)} = \pi r^2 \cdot \frac{4 \pi n i}{l};$$

og da (se Pkt. 312) der svarer 4π magnetiske Linier til en Enhed af Magnetisme, vil Solenoïden virke, som om der ved Enderne af den i Polerne var Magnetismen

$$m = \frac{\pi r^2 n i}{l}.$$

Er Strømstyrken udtrykt i Ampère, maa vi erindre, at 10 Ampère er lig een absolut Enhed (Pkt. 196). Betegnes Strømstyrken, maalt i Ampère, ved C , har man altsaa $C : 10 = i$, og Formlerne ville derfor blive:

$$H = \frac{4 \pi}{10 l} C \cdot n.$$

$$N = \frac{4 \pi^2 r^2}{10 l} C \cdot n.$$

$$m = \frac{\pi r^2}{10 l} C \cdot n.$$

Det ses heraf, at for en hvilken som helst Solenoïde af given Længde og Radius ere de tre magnetiske Størrelser, H (indre magnetisk Kraft), N (hele Antallet af magnetiske Linier) og m (Polstyrken) proportionale med Strømstyrken, maalt i Ampère, og med Antallet af Traadvindingerne. Produktet $C \cdot n$, som saaledes forekommer i alle Formler for Solenoïder, kaldes ofte Antallet af Ampère-Vindinger.

330. Lovene for Elektromagneter. De nøjagtige Love angaaende Elektromagneter ere noget udviklede; men det er let at give nogle bestemte Regler, som tilnærmelsesvis passe. Strømmen, der løber gen-

nem Traadvindingerne, udøver en magnetiserende Kraft, og denne magnetiserende Kraft frembringer en vis Mængde Magnetisme i Jernkærnen. Men Mængden af Magnetisme, der frembringes i Jernkærnen, er afhængig af mange andre Ting end den magnetiserende Krafts Intensitet; den er f. Eks. afhængig af Jernets Beskaffenhed, af dets Tværsnits-Areal og af dets Længde og Form. De i Pkt. 313 anførte Kendsgerninger angaaende Jernets magnetiske Permeabilitet og Mætning ere i saa Henseende meget vigtige. Enhver Elektromagnet frembyder de samme almindelige Ejendommeligheder, — at svage

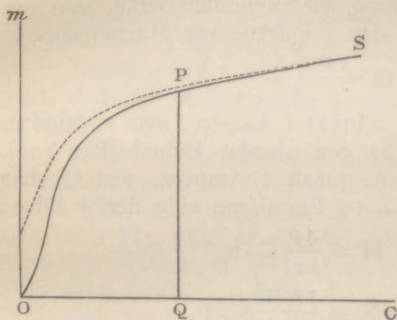


Fig. 102.

Strømme kun frembringe ringe Magnetisme, medens der med stærkere

Strømme frembringes mere Magnetisme, og at Jernet ved meget stærke Strømme praktisk talt bliver mættet, saa at dets Magnetisme kun forøges meget lidt. Kurven i

Fig. 102 angiver

Sammenhængen mellem den magnetiserende Kraft og den derved frembragte Magnetisme. Antallet af Ampère, C, (eller om man vil, Antallet af Ampère-Vindinger C.n) er afsat vandret efter en vilkaarlig Maalestok, medens den tilsvarende Mængde af Magnetisme paa lignende Maade er afsat lodret. Har den magnetiserende Strøm f. Eks. en Værdi, der i den valgte Maalestok angives ved Længden af Linien OQ, saa vil den tilsvarende Mængde af Magnetisme repræsenteres af Linien QP, hvis Længde aflæses paa den for de lodrette Linier valgte Skala. Punktet P er et Punkt af Kurven. Denne begynder i O, — er der

ingen Strøm, frembringes der ingen Magnetisme, — og stiger derpaa et Stykke stejlt i skraa Retning, bøjer derpaa noget af og bliver omtrent vandret i S, hvilket svarer til, at Jernet næsten er mættet. Den punkterede Kurve svarer til Værdierne af Magnetismen, naar den magnetiserende Strøm gradvis formindskes. Man vil lægge Mærke til, at naar Strømstyrken er Nul, er der dog endnu nogen Magnetisme tilbage. Der er gjort mange Forsøg paa ved Hjælp af matematiske Formler at fremstille de Kendsgerninger, vi i Figuren grafisk have vist ved Kurven. Nogle af disse Formler fortjene Omtale:

Lenz's og Jacobis Formel. Efter Lenz og Jacobi er en Elektromagnets Magnetisme proportional med Strømmen og med Antallet af Traadvindinger — med andre Ord proportional med Ampère-Vindingerne, eller udtrykt ved en Ligning:

$$m = a \cdot n \cdot C,$$

hvor a er en Konstant, der er afhængig af Jernets Mængde, Beskaffenhed og Form. Denne Regel passer imidlertid kun, naar Jernkærnen er langt fra at være »mættet«. Er Jernet allerede stærkt magnetiseret, — som i P i Fig. 102, — vil en Strøm, der er dobbelt saa stærk, ikke fordoble Jernets Magnetisme. Joule paaviste i 1847 denne Tilbøjelighed til Afgivelse fra simpel Proportionalitet.

Müllers Formel. Müller har givet følgende Tilnærmelses-Regel: Styrken af en Elektromagnet er proportional med den Vinkel, hvis Tangens er den magnetiserende Strømstyrke; eller

$$m = A \operatorname{arc} . \operatorname{tg} C,$$

hvor C er den magnetiserende Strøm, og A en Konstant, der er afhængig af Konstruktionen af den paa-gældende Magnet. Hvis Læseren vil se tilbage paa Fig. 78 og tænke sig, at Inddelingerne paa den vandrette Tangentlinie OT repræsentere Strømstyrken, medens Antallet af Buegraderne, der afskæres af de skraa Linier, repræsenterer Styrken af Magnetisme, vil han

se, at selv om OT gøres uendelig lang, vil Vinklen aldrig overskride 90^0 .

Lamonts og Frølich's Formel. Et simplere Udtryk, der er lettere anvendeligt ved matematisk Beregning, er i den senere Tid kommet i Brug og danner Grundlaget for Frølich's Beregning af dynamo-elektriske Maskiner.

Udtrykket kan skrives saaledes:

$$m = M \frac{C}{1 + b C},$$

hvori M og b ere Konstanter, der afhænge af Formen, Beskaffenheden og Mængden af Jernet og af Traadvindingerne. Konstanten b er det omvendte af det Antal Ampère, som vilde gøre m halvt saa stor som dens størst mulige Værdi.

En anden Form for denne Ligning er

$$m = B \frac{n C}{1 + \sigma \cdot n \cdot C},$$

hvor B er en Konstant, der er afhængig af Konstruktionen og Beskaffenheden af Jernet, og σ en anden Konstant (en lille Brøk), afhængig af Jernets Beskaffenhed og Mængde, og lig det omvendte af det Antal af Ampère-Vindinger, som vilde bringe Magnetismen saa højt op, at Jernet blev halvt mættet.

For at udtrykke Antallet af magnetiske Linier, N, der udgaar fra Elektromagnetens Pol gives Ligningen ogsaa følgende Form:

$$N = Y \frac{C}{C + C^1},$$

hvor Y angiver Maksimumsantallet af magnetiske Linier, som vilde fremkomme, dersom den magnetiserende Strøm blev forøget uendelig meget, og Jernkærnen blev mættet, medens C^1 betyder det Antal Ampère, som vilde bringe Magnetismen saa højt op, at Jernet blev halvt mættet.

Hopkinson's Formel. Hopkinson har paavist, at det er muligt at beregne N paa en lignende Maade som den, der i Henhold til Ohms Lov anvendes

ved elektriske Kredsløb. Vi kunne betragte Jernkær-
 nerne og Elektromagnetens Anker, i Forbindelse
 med det mellemliggende Rum, som et Slags mag-
 netisk Kredsløb, der er gennemkrydset af magne-
 tiske Linier. Ligesom vi i et elektrisk Kredsløb kunne
 beregne Strømmen, naar vi kende den elektromotoriske
 Kraft og den elektriske Modstand i hele Kredsløbet,
 saaledes kunne vi ogsaa i et magnetisk Kredsløb be-
 regne N , naar vi kende den magnetomotoriske Kraft
 (eller Linie-Integralet af de magnetiserende Kræfter,
 der virke hele Kredsløbet rundt) og de forskellige
 Modstande i de enkelte Dele af Kredsløbet. Den
 magnetomotoriske Kraft er imidlertid lig (se Pkt. 319, d
 og 329) $4 \pi C n : 10$, og den magnetiske Modstand i
 en magnetisk Leder er proportional med dens Længde
 og omvendt proportional med dens Tværsnits-Areal og
 med dens Permeabilitet. Lad os antage, at vi have et
 magnetisk Kredsløb, bestaaende af tre Dele — 1, en bøj-
 et Jernkerne af Længde l_1 ; Tværnit s_1 og Permeabilitet
 μ_1 2, et Anker af Længde l_2 , Tværnit s_2 og Permea-
 bilitet μ_2 og 3, to Luftrum imellem dem af Længde (fra
 Jern til Jern) l_3 , Tværnit (lig Arealet af Polover-
 fladen) s_3 og med Enhed af Permeabilitet (for Luft er
 $\mu = 1$), — saa ville Modstandene af disse tre Dele hen-
 holdsvis være

$$\frac{l_1}{s_1 \mu_1}, \frac{l_2}{s_2 \mu_2} \text{ og } \frac{2 l_3}{s_3}.$$

Ved derpaa at dividere den magnetomotoriske Kraft
 med den hele magnetiske Modstand, faa vi

$$N = \frac{4 \pi C n}{10 \left\{ \frac{l_1}{s_1 \mu_1} + \frac{l_2}{s_2 \mu_2} + \frac{2 l_3}{s_3} \right\}},$$

der giver os Antallet af Magnetens magnetiske Linier,
 bestemt ved Antallet af de magnetiserende Ampère-
 Vindinger. Det er imidlertid nødvendigt at kende Vær-
 dierne af μ for de forskellige Stykker Jern paa de for-
 skellige Magnetiseringsstadier. Hopkinson har anvendt

denne Formel med stort Held ved Beregningen af dynamo-elektriske Maskiner. Analoge Formler ere blevne benyttede af Rowland og af Kapp.

Det maa bemærkes, at naar Elektromagneter bevikles med mange Vindinger af fin Traad, ville disse forøge Kredsløbets elektriske Modstand og bidrage til at formindske Strømstyrken. Dette spiller en stor Rolle ved Konstruktionen af telegrafiske og andre Instrumenter; thi medens Elektromagneter med »lange Traadruller«, *s.* Traadruller med mange Vindinger af fin Traad, maa benyttes i lange Kredsløb, hvor der er stor Modstand, saa vil et saadant Apparat ikke være til nogen Nytte i et Kredsløb med meget lille Modstand, da Modstanden af en lang og tyndtraadet Traadrulle vilde blive uforholdsmæssig stor; her vilde en kort Traadrulle af tyk Traad være passende. (Se Pkt. 352).

Da en Magnets Magnetisme afhænger af Antallet af Ampère-Vindinger, skulde det være ligegyldigt, om Traadrullerne ere videre end Jernkærnen, eller om de passe nøje til den. Dersom der ikke fandt noget »magnetisk Spild« (magnetic leakage^{*)}) Sted, vilde dette paa een Maade være rigtigt; men der fordres en større Batterikraft for at drive Strømmen gennem Vindinger af større Diameter, fordi den større Traadlængde yder større Modstand. I godt konstruerede Elektromagneter ere Traadvindingerne derfor vikledes saa tæt om Jernkærnen, som det af Hensyn til en god Isolation lader sig gøre. Jernet vælges fremdeles saa tykt som muligt og saa magnetisk gennemtrængeligt (permeabelt) som muligt, og det formes saaledes, at det danner et saa sluttet magnetisk Kredsløb som muligt, saaledes at den magnetiske Modstand kan blive saa lille som mulig, idet man derved faar den største Mængde Magnetisme med et givet Antal af Ampère-Vindinger. Dette er Grunden

^{*)} »Magnetisk Spild« kaldes det Tab af Magnetisme, som freikommer derved, at nogle af Kraftlinierne ikke gennemløbe det magnetiske Kredsløb, men spredes i Luften.

til, at hesteskoformede Elektromagneter ere kraftigere end lige Elektromagneter af samme Vægt.

Der fordres en vis Tid til at magnetisere en Jernkærne. Dette skyldes dels den Omstændighed, at Strømmen, naar Kredsløbet sluttet, ikke øjeblikkelig faar sin fulde Styrke, idet den forsinkes ved Selvinduktionens modvirkende elektromotoriske Kraft (Pkt. 404), og dels skyldes det Tilstedeværelsen af forbigaaende, modvirkende Induktionsstrømme (Pkt. 393) i selve Jernet. Faradays store Elektromagnet i »Royal Institution« bruger næsten to Sekunder til at opnaa sin Maksimumsstyrke. Store Dynamo-Maskiners Elektromagneter bruge ofte ti Minutter eller mere, inden de have faaet den Magnetisme, der er nødvendig, for at de kunne virke.

XXVII. Elektrodynamik.

331. Elektrodynamik. I 1821, næsten umiddelbart efter Ørstedes Opdagelse af en Strøms Virkning paa en Magnet, opdagede Ampère, at en Strøm paavirker en anden Strøm, idet den tiltrækker den*) eller frastøder den i Henhold til visse bestemte Love. Disse Virkninger undersøgte han ved Forsøg, og paa disse byggede han en Teori om den Kraft, hvormed en Strøm paavirker en anden. Den Del af Videnskaben, som omhandler den Kraft, hvormed en Strøm paavirker en anden, kaldte han **Elektrodynamik**.

332. Lovene om parallelle og skraatstillede Kredsløb. De af Ampère opdagede Love ere:

I. To parallelle Dele af et Kredsløb tiltrække hinanden, hvis Strømmene gennem dem gaa i samme Retning, og frastøde hinanden, dersom Strømmene gaa i modsatte Retninger.

*) Det vilde være korrektere at tale om, at Kraften virker paa strømførende Ledere, end at tale om, at den virker paa Strømmen. Det er omtvistet, hvorvidt Strømmen i en Leder tiltrækkes; vi vide kun med Sikkerhed, at Lederen selv paavirkes af en Kraft. Se Pkt. 337.

Denne Lov gælder, hvad enten de parallelle Traade ere Dele af to forskellige Kredsløb eller Dele af det samme Kredsløb. De enkelte Traadvindinger i en Solenoïde, som den i Fig. 101 afbildede, tiltrække saaledes hinanden, naar Strømmen gaar igennem dem, fordi Strømmen gaar i samme Retning i Nabovindingerne; en saadan Solenoïde bliver derfor kortere, naar der sendes en Strøm igennem den.

II. Strømførende Ledere, der danne en Vinkel med hinanden, tiltrække hinanden, dersom begge Strømmene enten løbe imod

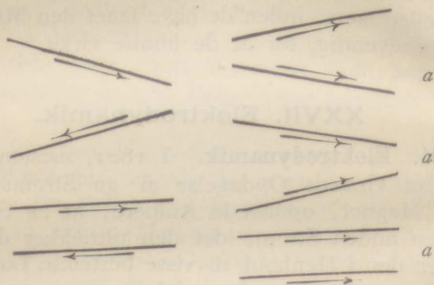


Fig. 103.

eller fra Skæringspunktet, og frastøde hinanden, dersom den ene løber til og den anden fra Skæringspunktet.

Af de 5 i Fig. 103 afbildede Tilfælde vil der i de tre (mærkede med a) være en Tiltrækning, i de to andre en Frastødning.

III. Den Kraft, hvormed et Strømelement paavirker et andet Strømelement, har altid en saadan Retning, at det søger at bevæge dette i en Retning, der er vinkelret paa dets egen Retning.

Tiltrække eller frastøde saaledes to parallelle Kreds-

løb hinanden, vil Tiltræknings- eller Frastødningskraften virke vinkelret paa selve Strømmene.

Et Eksempel paa Lovene II og III er vist i Fig. 104. Her kunne de to Strømledere ab og cd dreje sig om O som Centrum. Der vil finde en Frastødning Sted mellem a og d og mellem c og b, medens der i de andre Kvadranter vil finde en Tiltrækning Sted mellem a og c og mellem b og d.

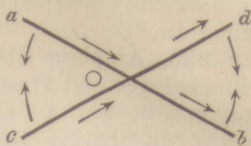


Fig. 104.

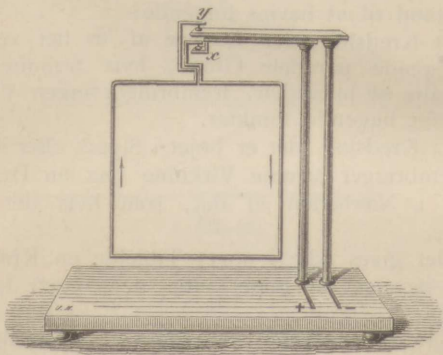


Fig. 105.

De ovenfor nævnte Love kunne sammendrages i een: To Dele af strømførende Ledere ville, hvordan de end ere anbragte, paavirke hinanden med en Kraft, der søger at stille dem saaledes, at Strømmene gennem dem saa vidt muligt falde sammen.

IV. Kraften, med hvilken to parallelle Dele af et Kredsløb paavirke hinanden, er ligefrem proportional med Produktet af de to Strømmes Styrke og med Delenes Længde,

og omvendt proportional med Afstanden mellem dem *).

333. Ampères Stativ. For at kunne iagttage disse Tiltrækninger og Frastødninger konstruerede Ampère et Apparat, som er vist i Fig. 105, og som kaldes Ampères Stativ. Det bestaar af to Opstandere, paa hvilke Strømledere, der ere dannede af Kobbertraad i forskellige Figurer, kunne ophænges saaledes, at de frit kunne dreje sig. Enderne af de bevægelige Traade hvile i smaa Kviksølv-Beholdere, hvorved man sikkrer sig en god Kontakt. Solenoiden i Fig. 101 er indrettet til at kunne ophænges paa dette Stativ.

Ved Hjælp af dette Apparat blev Ampère fremdeles i Stand til at bevise følgende:

a) Et Kredsløb, der bestaar af to tæt ved hinanden liggende parallelle Grene, hvis Strømretninger ere modsatte af hinanden, frembringer ingen Virkning paa udenfor liggende Punkter.

b) Et Kredsløb, der er bøjet i Sigsak eller i Bølgeform, frembringer samme Virkning paa en Del af et Kredsløb i Nærheden af det, som hvis det havde været lige.

c) Der gives ikke i noget Tilfælde en Kraft, som søger at bevæge en Leder efter dens egen Længderetning.

d) Kraften, hvormed to Ledere af vilkaarlig Form paavirke hinanden, er den samme, hvilken Systemets lineære Størrelse end er, forudsat at Ledernes indbyrdes Afstand forøges i samme Forhold som deres Længdedimensioner, og at Strømstyrken ikke forandres.

Det særlige Tilfælde, som Fig. 106 fremstiller, viser os Værdien af disse Forsøg. Lad AB og CD forestille to strømførende Ledninger, som hverken ere parallelle eller ligge i samme Plan. Det følger af Sætning b, at dersom vi erstatte Stykket PQ med den

*) Strømledernes Længde er her forudsat stor i Forhold til Afstanden. For to Strømelementers Vedkommende er Kraften omvendt proportional med Afstandens Kvadrat. O. A.

bøjede Linie PRSQ, vil Kraften blive den samme. I Stykket PR er Strømmen vinkelret paa CD, og da en Strømleder (ifølge c) ikke paavirkes af nogen Kraft i dens Længderetning, vil dette Stykke hverken blive tiltrukket eller frastødt af CD. I Stykket RS løber Strømmen ligeledes vinkelret paa CD, saa at dette Stykke hverken tiltrækkes eller frastødes af CD. I Stykket SQ løber Strømmen parallelt med og i samme Retning som CD, og det vil derfor tiltrækkes nedad. PQ vil derfor i det hele blive trukken henimod CD. Stykkerne PR og RS ville dog blive paavirkede af Drejningskræfter,

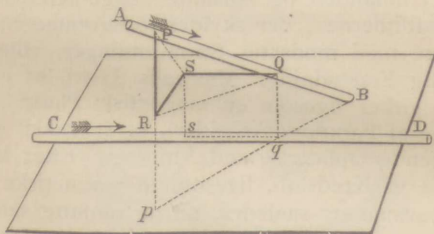


Fig. 106.

der søge at dreje P om R som Centrum henimod C og R i vandret Retning om S henimod C. Disse Virkninger ville søge at stille AB parallelt med CD.

334. Ampères Teori. Paa de fire ovenfor nævnte Forsøgsresultater byggede Ampère en vel gennemtænkt, matematisk Teori, der godtgør, at under Forudsætning af, at disse Kræfter virke paa Afstand gennem det tomme Rum, vil Virkningen finde Sted i rette Linier mellem to Punkter, og den samlede Tiltrækning kan beregnes som Summen af de forskellige Tiltrækninger mellem alle de enkelte Dele. Faradays Undersøgelser have imidlertid ført til andre Betragtningmaader, og vi gaa nu ud fra, at Strømmenes gensidige Tiltrækning og Frastødning skyldes Virkninger, der finde Sted i Mediet, som udfylder Rummet rundt om og imellem Lederne.

Dette Rum betragte vi som opfyldt af krumme »Kraftlinier«. Enhver Traad, hvorigennem der gaar en Strøm, har et den omgivende magnetisk Felt som det, der er vist i Fig. 73, og ethvert lukket Kredsløb virker som en magnetisk Plade. Følgelig kunne alle disse elektrodynamiske Virkninger betragtes som magnetiske Virkninger, og ethvert enkelt Tilfælde kan derfor paa Forhaand forudsiges paa Grundlag af denne Forudsætning. Forfatteren af denne Bog har saaledes paavist*), at naar man har to parallelle Kredsløb med ens Strømretning, ville Kraftlinierne, der skyldes de to Systemer, løbe ind i hinanden og omslutte begge Kredsløb, medens »Kraftlinierne«, der skyldes to Strømme i to parallelle Ledere med modsatte Strømretninger, ville angive en gensidig Frastødning. Maxwells Teori, at et Volta-Kredsløb virker ligesom en magnetisk Plade (en ligefrem Følge af Faradays Arbejder), er i Praksis en mere frugtbringende Opfattelse end Ampères. Efter Maxwells Teori ville to Kredsløb, ligesom to magnetiske Plader, søge at bevæge sig saaledes, at de omfatte saa mange

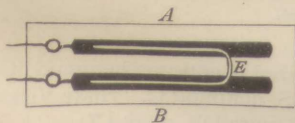


Fig. 107.

af hinandens »Kraftlinier« som mulig (Pkt. 193 og 320). Dette vil være Tilfældet, naar de saa nær som mulig falde sammen, og naar de to Traade overalt ere parallelle, og naar Strømmene løbe rundt i

samme Retning. Alle de elektrodynamiske Love om parallelle og skraat stillede Kredsløb kunne i Virkeligheden uddledes af Maxwells Teori paa en simpel Maade.

Et interessant Forsøg, der synes at vise en gensidig Selv-Frastødning mellem to Nabo-Dele af et Kredsløb, er udført af Ampère. En Beholder (se Fig. 107), der ved en Væg er delt i to Rum, og som er lavet af et ikke-ledende Stof, fyldes med Kviksølv. Paa dette svømmer

*) Philosophical Magazine. November 1878. Pag. 348.

en Bøjle af Kobbertraad, der er bøjet op ved E. Sendes en Strøm gennem Kviksølvet, saa at den gaar ind ved A og ud ved B, vil den flydende Bøjle flytte sig saaledes, at Kredsløbet forlænges. Maxwell har imidlertid vist, at Forklaringen ligger i Selv-Induktion (Pkt. 404) i de to parallelle Dele af den svømmende Leder, og at Kraften vilde blive uendelig lille, dersom de to parallelle Dele kunde bringes til at ligge ganske tæt ved hinanden.

335. Elektromagnetiske Omdrejninger. Ved Vekselvirkning imellem en Magnet og et Kredsløb eller imellem to Dele af et Kredsløb kan der frembringes vedvarende Omdrejninger, forudsat at den ene Del af

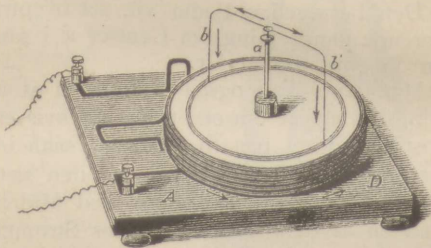


Fig. 108.

Kredsløbet kan bevæge sig, medens den anden Del staar fast, eller at Strømmen i den ene Del kan skifte Retning. Den sidst nævnte Maade er anvendt ved Konstruktionen af de elektromagnetiske Maskiner, der ere beskrevne i Pkt. 375; den først nævnte anvendes i en stor Del interessante Apparater, der ere konstruerede for at vise Omdrejningerne, idet der indrettes en Glidekontakt imellem den ene og den anden Del af Kredsløbet. Flere forskellige Former af Omdrejnings-Apparater ere konstruerede af Faraday og Ampère. Et af de simpleste af disse er vist i Fig. 108, i hvilket en Strøm, der gaar op gennem a, deler sig i

to Grene gennem den paa en Spids ophængte Kobberbøjle bb' , hvis Ender hænge ned i en cirkelformet Rende, fyldt med Kviksølv. Renden er af Kobber og er forbunden med en Ledningstraad, der er vunden op omkring Ydersiden af den, og som danner en Del af Kredsløbet. Pilene angive Strømmens Retning. Strømmene i den cirkelformede Traadrulle danne en magnetisk Plade, hvis Nord-Flade vender opad. Pladens Kraftlinier løbe derfor lodret opæfter. Ifølge den omvendte Ampères Regel (Pkt. 186, Side 155 øverst) vil en Mand, der svømmer i en af de vandrette Grene fra Centret a udefter og ser langs Kraftlinierne, $\therefore$ der ligger paa Ryggen og ser opad, blive ført rundt med Lederen i Retning af hans venstre Haand. Den bevægelige Leder vil, set ovenfra, udføre en vedvarende Omdrejning om Centret a i samme Retning som Viserne paa et Ur.

En Magnetpol kan ogsaa bringes til at udføre en Omdrejningsbevægelse om en Strøm, og hvis en Magnet bliver opstillet lodret paa to Spidser, saaledes at den kan dreje sig om sin egen Akse, vil den sættes i Bevægelse, naar en Strøm ledes ind ved Midten af den og ud ved én af dens Ender. Ledes Strømmen ind i den ene Ende og ud ved den anden, vil der ikke finde nogen Omdrejning Sted, da de to Poler derved blive saaledes paavirkede, at de skulde bevæge sig i modsatte Retninger, hvad der er umuligt. Vædske-Ledere kunne ogsaa udføre elektromagnetiske Omdrejninger. Fyldes en cylindrisk Metalbeholder, der er i Forbindelse med den ene Pol af et Batteri, med Kviksølv eller fortyndet Svovlsyre, og stikkes en Ledning fra den anden Pol af Batteriet ned i Cylindrens Midte, saaledes at en Strøm spreder sig straaelformet fra Centret til Omkredsen (eller omvendt), vil Vædsken køre rundt, naar Beholderen anbringes paa en kraftig Magnet-Pol, eller naar der holdes en Magnet lodret over den.

336. Elektrodynamometer. Weber har konstrueret et Apparat, der gaar under Navnet Elektrodynamo-

meter, til Maaling af Strømstyrker ved Hjælp af den elektrodynamiske Virkning, som en Del af et Kredsløb udøver paa en anden Del. Det er i Virkeligheden et Slags Galvanometer, i hvilket der i Stedet for en Naal er ophængt en lille Traadrulle. En Form af dette Instrument, i hvilken baade de store, ydre og den lille, indre Traadrulle bestaa af Ruller med mange parallelle Vindinger, er vist i Fig. 109. Den indre Rulle CD er ophængt saaledes, at dens Akse er vinkelret paa Aksen af de ydre Ruller AA og BB, og er ophængt bifilart (se Pkt. 118) i to fine Metaltraade. Dersom den samme Strøm gaar igennem begge Ruller, enten i den ene eller i den anden Retning, vil den indre Rulle søge at dreje sig og at stille sine Vindinger parallelt med de

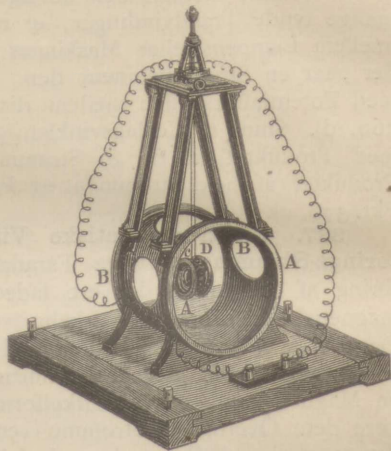


Fig. 109.

ydre Rullers. Sinus af den Vinkel, Ophængningstraadene ere blevne snoede, er proportional med Kvadratet paa Strømstyrken. Hovedfordelen ved dette Instrument fremfor et Galvanometer er den, at det kan anvendes ved Induktionsstrømme, der meget hurtigt skifte Retning, idet en Strøm i den ene Retning veksler med en Strøm i den modsatte Retning, maaske tusende Gange i Minutten. Saadanne Strømme paavirke saa godt som ikke en Galvanometernaal, fordi den svinger saa langsomt.

Siemens har konstrueret et Elektrodynamometer med Ruller af meget tyk Traad til absolut Maaling af de stærke Strømme, der anvendes til Frembringelse af elektrisk Lys. Det er ogsaa muligt at anvende et Elektrodynamometer som »**Kraftmaaler**« til at maale den elektriske Hestekraft, der udvikles af et Batteri eller forbruges i en elektrisk Lampe eller Maskine. I saa Tilfælde sendes hele Strømmen gennem en fast Rulle af tyk Traad, medens den bevægelige Rulle, der har mange tynde Traadvindinger, er indsat som en Shunt imellem Lampens eller Maskinens Klemskruer, saa at der gaar en Strøm igennem den, der er proportional med Potentialforskellen mellem disse Punkter (se Pkt. 360, d). Sinus af Udslagsvinklen vil være proportional med Produktet af de to Strømme og følgelig med Produktet af hele Strømmen og Potentialforskellen (se Pkt. 378, 2).

337. Elektromagnetiske Virkninger af Overførings-Strømme. Ifølge Faraday virker en Overføring af Smaadele, der ere ladede med Elektricitet, magnetisk, ligesom en virkelig strømførende Leder. Dette blev først bevist af Rowland i 1876, som fandt, at en ladet Plade, der drejer hurtigt rundt, virker paa en Magnet, som en svag cirkelformet Strømleder vilde gøre det. Overførings-Strømme (»convection currents«), der opstaa ved Bevægelse af elektriserede Smaadele, paavirkes ogsaa af Magneter. Overførings-Udladninger i lufttomme Rør (Pkt. 292) kunne trækkes til Siden af en Magnet, og kunne bringes til at dreje sig omkring en Magnetpol. »Pensel-Udladninger« snoes, naar de finde Sted i et stærkt magnetisk Felt. Volta-Buen (Pkt. 371) optræder som en bøjelig Leder og kan tiltrækkes og frastødes af en Magnet. To positivt elektriserede Dele frastøde hinanden, naar de ikke bevæges, men to parallelle Strømme tiltrække hinanden (Pkt. 332), og der-som Rækker af elektriserede Smaadele, der bevæge sig, virke som Strømme, skulde der altsaa finde en (elek-

tromagnetisk) Tiltrækning Sted imellem to elektriserede Smaadele, der bevæge sig Side om Side gennem Rummet. Ifølge Maxwells Teori (Pkt. 390) er den elektrostatiske Frastødning netop lig den elektromagnetiske Tiltrækning, naar Smaadelene bevæge sig med en Hastighed, der er lig Lysets Hastighed.

I den seneste Tid har Hall opdaget, at naar man lader en kraftig Magnet virke paa en Strøm, der gaar langs ad en meget tynd Metalstrimmel, ligge de ækvipotiale Linier ikke længere vinkelret paa Strømmens Bevægelsesretning i Strimlen. Denne Virkning synes at staa i Forbindelse med den magnetiske Drejning af polariseret Lys (Pkt. 387), idet Koefficienten for den Vridning, det magnetiske Felt udøver paa Strømmen, er lille og positiv i Guld, stor og positiv i Vismuth, negativ i Jern, umaadelig stor og negativ i Tellur. Forfatteren af denne Bog har omtrent samtidig med Righi paavist, at de Metaller, som vise Halls Virkninger, undergaa en Forandring i deres elektriske Modstand, naar de anbringes i et magnetisk Felt.

338. Ampères Teori for Magnetisme. Ampère, der fandt, at Solenoïder (som den, der er vist i Fig. 101) virke nøjagtig paa samme Maade som Magneter, tænkte sig, at enhver Magnet simpelthen var en Samling af Strømme, eller at der omkring ethvert enkelt Molekyle af en Magnet bestandig kredser en elektrisk Strøm. Vi vide, at saadanne Strømme ikke kunde vedligeholdes i det uendelige, dersom der var den mindste Modstand, de skulde overvinde, og vi vide, at der er en Modstand at overvinde, naar Elektriciteten gaar fra det ene Molekyle til det andet. Da vi ikke vide noget om selve det indre af Molekylerne, kunne vi imidlertid ikke paastaa, at Ampères Teori er umulig. Da en Hvirvel af Elektricitet virker ligesom en Magnet, synes der virkelig at være Grund til at tænke sig, at Magneter bestaa af roterende, elektriserede Smaadele.

XXVIII. Diamagnetisme.

339. **Diámagnetiske Forsøg.** I 1778 bemærkede Brugmans i Leyden, at naar et Stykke Vismuth blev holdt i Nærheden af den ene eller anden af en Magnetnaals Poler, frastødte det den. I 1827 opdagede Le Baillif og Becquerel, at Metallet Antimon ogsaa kunde frastøde og frastødes af en Magnetpol. I 1845 undersøgte Faraday ved Hjælp af kraftige Elektromag-

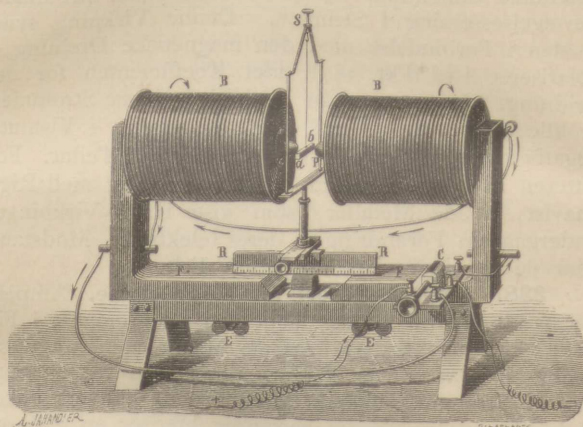


Fig. 110.

neter en stor Mængde Stoffers magnetiske Egenskaber og fandt, at medens mange, ligesom Jern, tiltrækkes af en Magnet, blive andre svagt frastødte. For at skelne imellem disse to Klasser af Legemer, kaldte han de Stoffer, der tiltrækkes, paramagnetiske*), og de, som frastødes, diamagnetiske. Den Egenskab, saa-

*) Eller simpelthen »magnetiske«. Nogle Forfattere benytte Betegnelsen »ferromagnetisk«. »Sideromagnetisk« (af det græske Ord for Jern) vilde da i alt Fald være bedre.

ledes at blive frastødt af en Magnet, kaldte han Diamagnetisme.

Den Maade, paa hvilken Faraday udførte sine Forsøg, bestod i, at han ophængte en lille Stang af Stoffet i et kraftigt magnetisk Felt imellem en Elektromagnets to Poler og undersøgte, om den lille Stang blev tiltrukken, saa at den stillede sig aksialt, $\circ$: med sin Længderetning i den Linie, der forener de to Poler, eller om den blev frastødt, saa at den stillede sig ækvatorialt, $\circ$: vinkelret paa Polernes Forbindelseslinie og tværs paa Kraftlinierne i Feltet, som det er vist i Fig. 110 ved den lille Stang, der er ophængt imellem Polerne af en Elektromagnet, konstrueret efter Ruhmkorffs Angivelser.

De vigtigste Stoffer, der ere undersøgte paa denne Maade, ere anførte i nedenstaaende Fortegnelse:

Paramagnetiske.	Diamagnetiske.
Jern.	Vismuth.
Nikkel.	Fosfor.
Kobolt.	Antimon.
Mangan.	Zink.
Chrom.	Kviksølv.
Cerium.	Bly.
Titan.	Sølv.
Platin *).	Kobber.
Mange Malme og Salte,	Guld.
der indeholde oven-	Vand.
nævnte Metaller.	Alkohol.
Ilt.	Tellur.
	Selen.
	Svovl.
	Thallium.
	Brint.
	Atm. Luft.

*) Kemisk rent Platin er ifølge Wiedemann diamagnetisk.

Vædskerne bleve hældte op i Glasbeholdere og ophængte imellem Elektromagnetens Poler. Næsten alle Vædsker ere diamagnetiske, undtagen Saltopløsninger af magnetiske Metaller, af hvilke nogle ere svagt magnetiske; Blod er imidlertid diamagnetisk, skønt det indeholder Jern. Skulle Luftarter undersøges, maa man blæse Sæbe-Bobler af dem og saa passe paa, om de trækkes ind i eller stødes ud af Feltet. Ilt har vist sig at være magnetisk, og i den senere Tid har man fundet, at Ozon er endnu stærkere magnetisk.

340. Kvantitative Resultater. Stoffernes diamagnetiske Egenskaber kunne udtrykkes i Talværdier ved Hjælp af deres Susceptibilitet eller ved deres Permeabilitet (Pkt. 313). For diamagnetiske Legemer er Susceptibiliteten, k , negativ, og følgelig er Permeabiliteten ($\mu = 1 + 4\pi k$) mindre end een. For Vismuth er Værdien af k ifølge Maxwell $\div 0,000\ 002\ 5$. Frastødningen af Vismuth er uendelig svagere end Tiltrækningen af Jern. Plücker sammenlignede den magnetiske Styrke af forskellige Stoffer af samme Vægt, og idet han satte Jernets til en Million, fandt han følgende Værdier for Legemernes »specifikke Magnetisme«.

Jern	+ 1 000 000.
Magnetjernsten	+ 402 270.
Svovlsurt Jernveilte ...	+ 1 110.
Svovlsurt Jernforilte ...	+ 780.
Vand	$\div 7,8$.
Vismuth	$\div 23,6$.

341. Tilsyneladende Diamagnetisme, der skyldes det omgivende Medium. Det har vist sig, at svagt magnetiske Legemer opføre sig, som om de vare diamagnetiske, naar de ophænges i et Fluidum, der er stærkere magnetisk. Et lille Glasrør, der er fyldt med en svag Opløsning af Jerntveklor, indstiller sig, naar det ophænges imellem en Elektromagnets Poler, med sin Længderetning i Forbindelseslinien mellem Polerne (»aksialt«), eller er med andre Ord paramagnetisk; men omgives det af en stærkere (og derfor mere magnetisk)

Opløsning af samme Stof, stiller det sig med sin Længderetning vinkelret paa Forbindelseslinien (»ækvatorialt«) og frastødes tilsyneladende, som diamagnetiske Stoffer blive det. At et Legeme stiller sig ækvatorialt, beviser altsaa kun, at det er mindre magnetisk end Mediet, som opfylder Rummet omkring det. En Ballon stiger til Vejrs i Luften som en Følge af Tyngdekraften, skønt den har en vis Masse og Vægt, idet Mediet, der omgiver den, tiltrækkes mere, end den gør. Men man har fundet, at diamagnetisk Frastødning finder Sted selv i lufttomt Rum, og heraf synes det at fremgaa, at selve Rummet *) er mere magnetisk end Stofferne, der kaldes diamagnetiske.

342. Diamagnetisk Polaritet. Faraday antog en Tid, at diamagnetisk Frastødning kunde forklares derved, at der eksisterede en »diamagnetisk Polaritet«, som var omvendt af den sædvanlige magnetiske Polaritet. Efter denne Anskuelse, som imidlertid Faraday selv fuldstændig forlod, skulde en Magnet, naar dens Nordpol holdes hen imod Enden af en Vismuthstang, inducere en Nordpol i denne Ende (det modsatte af hvad den vilde inducere i en Stang af Jern eller et andet magnetisk Metal), og derfor frastøde den. Weber optog denne Tanke, og Tyndall forsvarede den varmt, især efter at han havde opdaget, at den frastødende diamagnetiske Kraft er proportional med Kvadratet paa den anvendte magnetiske Kraft, en Lov, som svarer til Loven om den Tiltrækning (Pkt. 328), der skyldes den almindelige magnetiske Induktion. Der er foretaget mange Forsøg for at opretholde denne Betragtningssmaade, og nogle Fysikere have ogsaa tænkt sig, at naar en diamagnetisk Stang ligger ækvatorialt i et Kraftfelt, skulde dens Øst- og Vest-Poler være i Besiddelse af forskellige Egenskaber. De Forsøg, der ere omtalte i det foregaaende, give dog en Forklaring, der lettere bringes i Overensstemmelse med Kendsgernerne.

*) Eller muligvis »Ætheren«, der opfylder hele Rummet.

Der kan ingen Tvivl være om, at Fænomenet skyldes magnetisk Induktion, og det er blevet fremhævet (Pkt. 89), at den magnetiske Induktion i et Medium afhænger af dettes magnetiske Fordelingsevne eller »Permeabilitet«. Permeabiliteten udtrykker imidlertid Antallet af magnetiske Linier, der induceres i Mediet for hver anvendt magnetisk Kraftlinie. En vis magnetiserende Kraft, der virker i et luftfyldt eller lufttomt Rum, vil inducere et vist Antal magnetiske Linier igennem det. Dersom det paagældende Rum var fyldt med Vismuth, vilde den samme magnetiserende Kraft inducere færre »Induktions-Linier« i Vismuthet end i det lufttomme Rum. Men de Linier, der induceres, ville løbe i samme almindelige Retning som i det lufttomme Rum, ikke i den modsatte Retning, hvad Weber og Tyndall vilde hævde. Resultatet af, at der finder mindre Induktion Sted gennem diamagnetiske Stoffer, kan vises at være, at saadanne Stoffer ville blive fortrængte fra Steder, hvor den magnetiske Kraft er stærk, til Steder, hvor den er svagere. Det er Grunden til, at en Kugle af Vismuth frastødes af en Magnet, og at en lille Vismuthstang imellem Elektromagnetens kegleformede Poler (Fig. 110) stiller sig ækvatorialt, hvorved Enderne af den komme til at ligge der, hvor Magnetismen er svagere. Der er ingen Grund til at tvivle paa, at en Vismuthstang vil stille sig langs Induktionslinierne i et magnetisk Felt af ensformig Styrke.

343. Magneto-krystallisk Virkning. I 1822 forudsagde Poisson, at dersom et Legeme med krystallinsk Struktur i det Hele var magnetisk, vilde det have forskellig magnetisk Styrke i forskellige Retninger. I 1847 opdagede Plücker, at et Stykke Turmalin, som i og for sig er svagt paramagnetisk, opførte sig som et diamagnetisk Legeme, naar det blev ophængt saaledes, at Krystallens Akse var vandret. Faraday, der gentog Forsøget med en Vismuthkrystal, fandt, at den søgte at stille sig med sin Krystallisations-Akse i Retning af Linierne i Feltet.

Den magnetiske Kraft, der saaledes virker paa Kry-
staller, paa Grund af at de ere i Besiddelse af en vis
Struktur, kaldte han magneto-krystallisk Kraft.
Plücker søgte at finde en Sammenhæng mellem Kry-
stallernes magneto-krystalliske og deres optiske Forhold,
idet han opstillede følgende Lov: En Magnets Poler
ville enten tiltrække eller frastøde den optiske Akse
(eller i Tilfælde af at det er Krystaller med to Akser,
begge de optiske Akser), og dersom Krystallen er
»negativ« (d: optisk negativ, saa at den ejendommelig
brudte Straale brydes mindre end den sædvanlig brudte),
vil Aksen blive frastødt; men dersom det er en »positiv«
Krystal, vil Aksen blive tiltrukken. Tyndall har for-
søgt at vise, at denne Lov er utilstrækkelig, idet den
ikke tager Hensyn til Stoffernes paramagnetiske eller
diamagnetiske Egenskaber. Han har fundet, at Lege-
mernes magneto-krystalliske Akse i Almindelighed er
en Akse med størst Tæthed, og at denne Akse,
dersom Stoffet selv er paramagnetisk, vil
pege aksialt; men ækvatorialt, dersom Stoffet
er diamagnetisk. I Legemer, der som Skifer og
mange Krystaller have udprægede Kløvningsretninger,
staar Kløvningsretningen i Reglen vinkelret paa den
magneto-krystalliske Akse.

344. Flammers Diamagnetisme. I 1847 op-
dagede Bancalari, at Flammer stødes bort fra den aksiale
Linie mellem en Elektromagnets Poler. Faraday paa-
viste, at alle Slags Flammer saa vel som opadstigende
Strømme af varm Luft og af Røg paavirkes af Mag-
neter og søge at bevæge sig bort fra de Steder, hvor
den magnetiske Kraft er stærk, hen til de Steder, hvor
den er svagere. Luftarter (undtagen Ilt og Ozon) og
navnlig varme Luftarter ere svagt diamagnetiske. Men
den ved Flammer optrædende Frastødning og Afbøj-
ning skyldes muligvis for en Del en elektromagnetisk
Virkning af samme Art som den, en Magnet udøver
paa en Volta-Bues Overføringsstrøm og paa andre Over-

føringsstrømme. Flammers elektriske Egenskaber ere omtalte i Pkt. 7 og 291.

SJETTE KAPITEL.

MAALING AF STRØMME O. S. V.

XXIX. Ohms Lov og dens Følger.

345. I Pkt. 180 have vi fremsat Ohms vigtige Lov paa følgende Maade: Strømstyrken forholder sig ligefrem som den elektromotoriske Kraft og omvendt som Modstanden (den samlede) i Kredsløbet.

Idet vi benytte de Enheder, der ere antagne af de praktiske Elektrikere, og som ere forklarede i Pkt. 323, kunne vi nu udtrykke Ohms Lov paa følgende bestemte Maade: Det Antal Ampère af Strøm, som gaar igennem et Kredsløb, er lig det Antal af Volt, som den elektromotoriske Kraft beløber sig til, divideret med det Antal af Ohm, som Modstanden i hele Kredsløbet beløber sig til. Eller:

$$\text{Strømmen} = \frac{\text{Den elektromotoriske Kraft}}{\text{Modstanden}},$$

$$C = \frac{E}{R}.$$

I Praksis er Sagen dog ikke slet saa simpel; anvendes nemlig et vist Antal Elementer, og bestaar Kredsløbet af mange forskellige Dele, som Strømmen alle skal gennemløbe, saa maa vi ikke alene tage Elementernes elektromotoriske Kraft med i Beregningen, men ogsaa deres Modstand og Modstanden i alle Dele

af Kredsløbet. Strømmen kan f. Eks. løbe fra det første Elements Zinkplade gennem Vædsken til Kobber- (eller Kul-) Pladen, derpaa gennem en Forbindelses-Ledning eller Skrue til det næste Element, gennem dets Vædske, gennem Forbindelsesskruerne og Vædskerne i de øvrige Elementer, dernæst gennem en Ledning til et Galvanometer, gennem dets Vindinger, herfra muligvis gennem en elektrolytisk Celle og til sidst gennem en Tilbageledning til Batteriets Zinkpol. I dette Tilfælde er der en Mængde særskilte elektromotoriske Kræfter, der alle søge at frembringe en Strøm, og en Mængde forskellige Modstande, af hvilke enhver virker som en Hindring for Strømmen og forøger den samlede Modstand. Kende vi nu de enkelte Værdier af alle de forskellige elektromotoriske Kræfter og alle de forskellige Modstande, kunne vi beregne Strømmen, idet dens Værdi vil være:

$$C = \frac{e^I + e^{II} + e^{III} + e^{IV} + \dots}{r^I + r^{II} + r^{III} + r^{IV} + \dots}$$

$$= \frac{\text{Den samlede elektromotoriske Kraft}}{\text{Den samlede Modstand}}$$

Dersom et af Elementerne var indsat saaledes, at dets Poler vendte den modsatte Vej, vilde dets elektromotoriske Kraft modarbejde de andre Elementers. En modsat elektromotorisk Kraft skal derfor subtraheres fra eller regnes negativ i den algebraiske Sum af de elektromotoriske Kræfter. »Polarisationen« (Pkt. 163 og 413), som opstaar i Batteriets Elementer og i elektrolytiske Celler, efter at de have arbejdet i nogen Tid, er en modsat elektromotorisk Kraft og formindsker hele Kredsløbets elektromotoriske Kraft. Paa samme Maade vil ogsaa den inducerede Mod-Strøm, som opstaar, naar en Strøm fra et Batteri driver en magneto-elektrisk Maskine (Pkt. 377), formindske den arbejdende Strøms Styrke.

346. Ledeevne og Modstand. Betegnelsen Ledeevne anvendes undertiden for at betegne det omvendte

af Modstand, og Brøken $\frac{1}{r}$ angiver Ledeevnen for en Leder, hvis Modstand er r Ohm. I Praksis er det imidlertid mere almindeligt at tale om Lederes Modstand end om deres Ledeevne.

347. Lovene for Modstand. Modstandene i et Kredsløb kunne være to Slags, — for det første Modstandene i selve Lederne, for det andet Modstandene, der skyldes ufuldkommen Berøring paa forskellige Steder. Den sidst nævnte Slags Modstand paavirkes af Tryk, thi naar to Lederes Overflader bringes i mere inderlig Berøring med hinanden, gaar Strømmen lettere over fra den ene Leder til den anden. Berøringsmodstanden mellem to Kobberledere kan veksle fra uendelig stor til en lille Brøkdel af en Ohm, i Forhold til Trykket. Forandringen af Modstanden i et Punkt, der har ufuldkommen Kontakt, benyttes i Telefon-Afsenderen (»Transmitteren«) (Pkt. 434 og 436). Lovene for Modstanden i Ledere ere følgende:

I. Modstanden i en Ledningstraad er proportional med dens Længde. Er Modstanden i en Fjerdingvej Telegraf-Ledning 13 Ohm, vil den for 15 Mil være $15 \cdot 4 \cdot 13 = 780$ Ohm.

II. Modstanden i en Ledningstraad er omvendt proportional med dens Tværsnits-Areal, og er derfor i almindelige, runde Traade omvendt proportional med Kvadratet paa Traad-Diameteren. Almindelige Telegraftraade ere omtrent $\frac{1}{6}$ Tomme tykke. En Traad, der var dobbelt saa tyk, vilde lede 4 Gange saa godt, idet den har fire Gange saa stort et Tværsnits-Areal, og følgelig vil en lige saa stor Længde af den tykke Traad kun have $\frac{1}{4}$ af den tynde Traads Modstand.

III. Modstanden af en Ledningstraad af given Lænde og Tykkelse afhænger af det Materiale, hvorefter den er fabrikeret — det vil sige af Materialets **specifiske Modstand**.

348. Specifisk Modstand. Et Stofs specifikke Modstand betegnes bedst som Modstanden af en Kubikcentimeter af Stoffet, udtrykt i »absolute« C. G. S.-Enheder (3: i Tusinde-Milliontedele af en Ohm). Nedenstaaende Tabel angiver ogsaa den relative Ledeevne, naar Sølvets sættes lig 100.

Tabel over specifisk Modstand.

Stoffet.	Specifisk Modstand.	Relativ Ledeevne.
Metaller.		
Sølv	1 609	100
Kobber.....	1 642	96
Guld.....	2 154	74
Jern (blødt).....	9 827	16
Bly.....	19 847	8
Nysølv.....	21 170	7,5
Kviksølv (flydende).....	96 146	1,6
		1
Selen (afhærdet).....	$6 \cdot 10^{13}$	40 000 000 000
Vædsker.		
Rent Vand (ved 22° C).....	$7,18 \cdot 10^{10}$	{ Mindre end en Milliontedel
Fortyndet H_2SO_4 } ($\frac{1}{12}$ Syre) }	$0,332 \cdot 10^{10}$	
Fortyndet H_2SO_4 } ($\frac{1}{3}$ Syre) }	$0,126 \cdot 10^{10}$	
Isolatorer.		
Glas (ved 200° C).....	$2,27 \cdot 10^{16}$	{ Mindre end en Billiontedel
Guttaperka (ved 20° C).....	$3,5 \cdot 10^{23}$	

Det viser sig, at de Stoffer, som have en god Ledeevne for Elektricitet, ogsaa ere de bedste Ledere for Varme. Vædsker ere daarligere Ledere end Metaller, og Luftarter ere fuldstændige Ikke-Ledere, undtagen naar de ere fortyndede saa meget, at der kan ske en Udladning ved Overføring gennem dem (Pkt. 283).

349. Indflydelsen af Varme paa Modstanden. Forandringer i Varmegraden paavirke Metallernes Lede-

evne, saa længe de vedvare. Forbes fandt, at Modstanden af Jern forøgedes betydeligt, efterhaanden som Varmegraden steg. Modstanden af Kobber og Bly forøges ogsaa, medens Modstanden af Kul derimod formindskes ved Opvarmning. Nysølv og andre Legeringer vise ikke saa store Forandringer, og de benyttes derfor til Normal-Modstandsruller. De Vædske, som kun lede, naar de elektrolyseres (Pkt. 205), lede bedre, efterhaanden som Varmegraden stiger. Lysets Evne til at forandrer Modstanden i Selen er omtalt i Pkt. 389.

350. Typisk Kredsløb. Fig. III viser os et typisk Kredsløb, i hvilket Batteriet ZC er forbundet

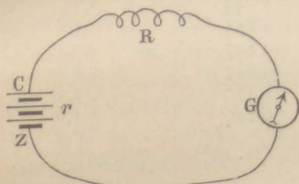


Fig. III.

med et Galvanometer ved Hjælp af Ledningstraade, hvis Modstand er R. Kalde vi hele Batteriets elektromotoriske Kraft E, hele den indre Modstand i Vædsken i Elementerne r og Modstanden i Galvanometervindingerne G, have vi ifølge Ohms Lov:

$$C = \frac{E}{R + r + G}.$$

Forholdet imellem den indre Modstand (i Batteriets Vædske), r, og den ydre Modstand, R + G (i det ydre Kredsløb), spiller en meget vigtig Rolle, thi den bedste Maade at forbinde de enkelte Elementer paa i hvert enkelt Tilfælde er afhængig af dette Forhold. Lad os saaledes antage, at vi til vor Raadighed have et Batteri paa 50 smaa Daniells Elementer, hvis elektromotoriske Kraft vi kunne regne til een Volt for hvert (eller nøjagtigere 1.079 Volt), og som hvert har en indre Modstand af to Ohm; skulle vi nu benytte disse Elementer i et Kredsløb, som nødvendigvis har stor Modstand, maa vi forbinde dem i »simpler Række« i Stedet

for at samle dem saaledes, at der dannes en af flere parallelle Grene sammensat Batteristrøm.

Skulle vi saaledes sende Strømmen gennem en Telegraftraad, der er 25 Mil lang, vil den ydre Modstand, R, (idet vi regne 13 Ohm for hver Fjerdingsvej Traad) i det mindste blive 1300 Ohm. Igennem denne Modstand frembringer et enkelt Element en Strøm, der er mindre end een Milli-Ampère, thi $E = 1$, $R = 1300$, $r = 2$, og følgelig have vi $C = \frac{E}{R + r} = \frac{1}{1300 + 2} = \frac{1}{1302}$ Ampère, en Strøm, der er altfor svag til at paavirke et Telegrafapparat.

Med 50 saadanne Elementer i Række er $E = 50$, $r = 100$ og følgelig $C = \frac{50}{1300 + 100} = \frac{50}{1400} = \frac{1}{28}$ Ampère, eller over 35 Milli-Ampère. I Telegraftjenesten, hvor Instrumenterne fordre en Strømstyrke paa 5 til 10 Milli-Ampère for at kunne arbejde, regner man sædvanlig et Tillæg af eet Daniells Element for hver $\frac{5}{4}$ Mil Linie, medens hvert Apparat i Kredsløbet regnes for at have samme Modstand som $2\frac{1}{2}$ Mil Traad.

Er derimod Modstanden i det ydre Kredsløb lille, maa man søge at gøre hele den indre Modstand i Batteriet lille. Lad os f. Eks antage, at vi kun ønske at opvarme et lille Stykke Platintraad til Rødgldhede, og at vi benytte tykke Kobbertraade til at forbinde Platintraaden med Batteriet. Den ydre Modstand i dette Kredsløb er maaske ikke en Gang een Ohm, og et enkelt Element vil derfor sende en Strøm gennem Ledningen paa $\frac{1}{3}$ Ampère (eller 333 Milli-Ampère), da man har $E = 1$, $R = 1$ og $r = 2$. Men ti i Række indsatte Elementer vilde kun frembringe halvanden Gang saa stærk en Strøm, eller 476 Milli-Ampère; 50 Elementer vilde kun give 495 Milli-Ampère, og med et uendeligt stort Antal saadanne Elementer i Række, vilde Strømstyrken ikke blive større end 500 Milli-Ampère, fordi hvert Element forøger E med 1 men sam-

tidig forøger r med 2 . Det er derfor indlysende, at medens det er fordelagtigt at forbinde mange Elementer i Række, naar Modstanden, der skal overvindes i det ydre Kredsløb, er stor, vil man, naar den ydre Modstand er lille, snart naa den Grænse, ud over hvilken det ikke er til nogen praktisk Nytte at sætte flere Elementer til.

Men formindske vi i det sidste Tilfælde, hvor den ydre Modstand er lille, ogsaa vort Batteris indre Modstand ved at forbinde Elementerne parallelt (saa at vi faa en af flere Grene sammensat Batteristrøm), idet vi forbinde flere af Elementernes Zinkplader og ligeledes deres Kobberplader (som omtalt i Pkt. 181), faa vi et andet og bedre Resultat. Forbinde vi 4 Elementer paa denne Maade, bliver deres E. M. K. ganske vist ikke større end eet Elements, men Modstanden bliver $\frac{1}{4}$ af eet Elements, eller lig $\frac{1}{2}$ Ohm. Disse fire Elementer ville derfor frembringe en Strøm paa 666 Milli-Ampère gennem en ydre Modstand paa 1 Ohm, thi $E = 1$, $R = 1$, og den indre Modstand er $\frac{1}{4} r$ eller $= \frac{1}{2}$, og følgende er

$$C = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{3} \text{ Ampère eller } 666 \text{ Milli-Ampère.}$$

351. Den bedste Forbindelses-Maade for Elementer. Vi ville nu kunne forstaa, at dersom vi ordne Elementerne i et Batteri i n Grene, hver paa m Elementer i Række (vi have altsaa ialt $m \cdot n$ Elementer), er den E. M. K. i hver Gren m Gange et enkelt Elements elektromotoriske Kraft, E , eller lig mE ; og Modstanden i hver Række er m Gange Modstanden, r , i et enkelt Element, eller mr . Men da der er n parallelle Grene, vil den hele indre Modstand kun blive $\frac{1}{n}$

af Modstanden i en enkelt Gren eller lig $\frac{m}{n} r$, og derfor frembringer et saadant Batteri ifølge Ohms Lov en Strøm, der er bestemt ved Ligningen

$$C = \frac{m E}{\frac{m}{n} r + R}.$$

Det kan bevises matematisk, at af et givet Batteri, der skal arbejde gennem en ydre Modstand R , faar man den største Strømstyrke, naar man samler Elementerne saaledes, at den indre Modstand $\left(\frac{m}{n} r\right)$ bliver lige saa stor som den ydre Modstand. Læseren bør selv overbevise sig om Rigtigheden af denne Regel ved at udregne enkelte Eksempler, idet han vælger et bestemt Antal Elementer og derpaa samler dem paa forskellig Maade.

Skønt en Forbindelse af Elementerne paa ovenfor angivne Maade giver den stærkeste Strøm, er den dog ikke den mest økonomiske; thi dersom Modstanden i det ydre Kredsløb er lige saa stor som Modstanden i det indre, vil det nyttige Arbejde i det ydre Kredsløb ogsaa være lig det unyttige Arbejde, der medgaar til at opvarme Elementerne, og den halve Energimængde gaar derfor til Spilde. Man opnaar den største Økonomi, naar den ydre Modstand er meget stor i Forhold til den indre Modstand; men i saa Tilfælde ville Materialerne i Batteriet kun fortæres langsomt, og man vil ikke frembringe den stærkeste mulige Strøm.

352. Instrumenter med lange og korte Traadruller. Læseren vil nu ligeledes kunne forstaa, hvorfor et Galvanometer eller en Elektromagnet med »lange Traadruller« eller et hvilket som helst Instrument, i hvilket Lederen er en lang, tynd Traad med stor Modstand, ikke maa anvendes i Kredsløb, hvor baade R og r iforvejen ere smaa. Han vil ligeledes kunne forstaa, hvorfor Instrumenter med »korte Traadruller« ikke ere til nogen Nytte ved Kredsløb af stor Længde, eller naar det er nødvendigt at benytte stor Modstand og et Batteri med stor elektromotorisk Kraft; thi skønt saadanne Instrumenter saa godt som ikke forøge Modstanden, ville de svage Strømme, som gennemløbe Kredsløbet med den store Modstand, ikke være i Stand til at paavirke Instrumentet gennem dets faa Vindinger; derimod ville Instrumenter med »lange Traadruller« kunne benyttes, idet de paa Grund af deres mange Vindinger forøge Strømmens Virkninger, medens deres Modstand, skønt den muligvis er stor, ikke frembringer nogen stærk Forøgelse af den iforvejen eksisterende Modstand i Kredsløbet. Et Galvanometer med »lang Traadrulle« og stor Modstand, vil, naar det indsættes som Shunt imellem to Punkter af Kredsløbet, aflede en Strøm, der er proportional med Potentialforskellen mellem Punkterne. Et saadant Instrument vil derfor kunne benyttes som Voltmeter (Pkt. 360 d).

353. Strømforgrening. Deles et Kredsløb, som vist i Fig. 112, i to Grene ved A, og samles atter ved B, vil Strømmen ogsaa blive delt, idet en Del gaar igennem den ene Gren, en anden gennem den anden Gren. Strømstyrkerne i de to Grene ville forholde sig ligefrem som Grenenes Ledeevne, $\varnothing$: forholde sig omvendt som Grenenes Modstand. Er r saaledes en Ledning med Modstanden 2 Ohm, r^1 en Ledning med Modstanden 3 Ohm, vil Strømmen i r forholde sig til Strømmen i r^1 som r^1 til r , $\varnothing$: som 3 til 2, saa at $\frac{3}{5}$ af hele Strømmen gaar igennem r og $\frac{2}{5}$ af hele Strømmen gennem r^1 .

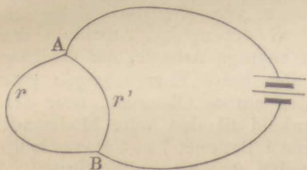


Fig. 112.

Den samlede Modstand af det delte Kredsløb mellem A og B er mindre end Modstanden i nogen af Grenene, idet Strømmen nu kan gaa begge Veje. Den samlede Ledeevne er i Virkeligheden lig Summen af de to Grenes Ledeevne.

Kalde vi den samlede Modstand R , have vi

$$\frac{I}{R} = \frac{I}{r} + \frac{I}{r^1} = \frac{r^1 + r}{r r^1},$$

hvoraf følger $R = \frac{r r^1}{r + r^1}$, eller i Ord: den samlede Modstand af en tvedelt Leder er lig Produktet af de enkelte Grenes Modstande, divideret med deres Sum.

Kirchhoff har fremsat følgende vigtige Love, der begge kunne udledes af Ohms Lov:

I. I ethvert grendelt Ledningssystem er den algebraiske Sum af Strømstyrkerne i alle de Ledninger, som mødes i et Punkt = 0.

II. Virker der flere elektromotoriske Kræfter i forskellige Punkter af et Kredsløb, saa er dettes samlede elektromotoriske Kraft lig Summen af Modstandene i

dets enkelte Dele, hver multipliceret med Strømstyrken, som gaar igennem den.

354. Strømflader. Naar en Strøm gaar ind i en Leder, der i Forhold til sin Længde har en betydelig Tykkelse, løber den ikke længere i een Linie, men spreder sig til Siderne og gaar gennem Lederens hele Masse. Leds en Strøm ind i en tynd Plade af et ledende Stof, spredes den ud i en »Strømflade« og løber gennem Pladen i Retninger, som afhænge af Pladens Form og af Beliggenheden af den Pol, gennem hvilken den vender tilbage til Batteriet. Bringes saaledes Traadene fra et Batteris to Poler i Berøring med to Punkter, A og B, der ligge i Nærheden af hinanden i Midten af en meget stor flad Tinfoleplade, vil Strømmen ikke løbe i en ret Linie fra A til B gennem Tinfolet, men derimod i krumme Linier, »Strømlinier«, der udgaa i alle Retninger fra A og bøje sig rundt, saa at de løbe sammen i B og danne Kurver, der i høj Grad ligne »Kraftlinierne«, som løbe fra en Magnets Nordpol til dens Sydpol (Fig. 42). Naar Jorden benyttes som Tilbageledning for Telegrafstrømme (Fig. 143), indtræffer der en lignende Spredning af Strømmene i »Strømflader«.

XXX. Elektriske Maalinger.

355. Den praktiske Elektriker skal maale elektriske Modstande, elektromotoriske Kræfter og Kondensatorers Kapaciteter. Hver af disse Størrelser maales ved at sammenligne dem med bestemte Normal-Maal, idet der i de forskellige Tilfælde benyttes særlige efter Forholdene afpassede Metoder til Sammenligningen. Kun et Par simple Tilfælde skulle forklares her.

356. Maaling af Modstand. Modstand er det, der hindrer Elektriciteten i at komme frem. Ohms Lov lærer os, at Strømstyrken, der skyldes en elektromotorisk Kraft, formindskes i samme Forhold, som Modstanden i Kredsløbet forøges.

a) Det er derfor muligt at sammenligne to Modstande med hinanden ved at undersøge, hvor meget hver af dem vil formindske Strømmen fra et konstant Batteri. Have vi saaledes i Fig. III et Normal-Batteri paa nogle faa Daniells Elementer, indsat i et Kredsløb med en Ledning af ukendt Modstand R og med et Galvanometer, ville vi faa en Strøm af en vis Styrke, der angives ved det Udslag, Galvanometernaalen gør. Borttage vi nu Traaden R og erstatte den med Traade, hvis Modstande vi kende, kunne vi ved at prøve os frem finde en, som indsat i Kredsløbet bevirker, at Galvanometernaalen gør samme Udslag, som da den ubekendte Modstand var indsat, og heraf vide vi altsaa, at disse to Traade gøre samme Modstand mod Strømmen. En saadan Sammenligning, som vi kunne kalde en Substitution af lige store Modstande, blev udviklet videre af Wheatstone, Jacobi og andre, idet de foreslog at anvende en paa en Træcylinder oprullet lang, tynd Traad som Normal-Modstand, saaledes at man kunde indsætte en hvilken som helst Længde af Normal-Traaden i Kredsløbet ved at rulle et bestemt Antal Traadvindinger af Cylindren eller ved at slutte Kontakt i et Punkt i hvilken Afstand fra Enden af Traaden, man maatte ønske. Et saadant Instrument kaldtes en **Rheostat**, men er imidlertid nu fortrængt af Modstandsruller, der ville blive forklarede nedenfor.

b) Den ovenfor forklarede Fremgangsmaade kan benyttes, naar man har et hvilket som helst Galvanometer med tilstrækkelig Følsomhed; men dersom man har et Tangensgalvanometer til Raadighed, kan Metoden forkortes ved Beregning. Lad os antage, at naar et Tangensgalvanometer og en ukendt Modstand R indsættes i Kredsløbet som i Fig. III, er Strømmen stærk nok til at frembringe et Udslag paa δ Grader, men at Udslaget bliver δ' Grader, naar der i Stedet for R indsættes en kendt Modstand R' . Det er da klart (forudsat at den øvrige Modstand i Kredsløbet er saa lille, at man ikke behøver at tage Hensyn til den),

at da Strømstyrkerne forholde sig ligefremt som Tangenterne til disse Udslagsvinkler, maa Modstandene forholde sig omvendt som Tangenterne, saa at man har

$$\frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta'} = \frac{R'}{R},$$

hvoraf R kan beregnes.

c) Det er let at maale en Leders Modstand ved Hjælp af et Differentialgalvanometer (Pkt. 203) og et Sæt Normal-Modstandsruller. Kredsløbet deles i to Grene, saa at en Del af Strømmen gaar igennem den ubekendte Modstand og det ene Sæt Galvanometer-Vindinger, medens den anden Del af Strømmen gaar i modsat Retning igennem den bekendte Modstand og det andet Sæt Vindinger. Naar det derefter lykkes at kontrabalancere den ubekendte Modstand med en af de kendte Modstande, ville Strømmene i de to Grene være lige stærke, og Differentialgalvanometrets Naal vil intet Udslag gøre. Med et nøjagtigt Instrument er denne Nul-Metode meget paalidelig.

d) Den aller bedste Maade at maale Modstande paa er imidlertid den, ved hvilken man benytter sig af et Sæt Normal-Modstandsruller og det vigtige Instrument, der gaar under Navn af Wheatstones Bro, og som er beskrevet i Pkt. 358.

e) For at maale meget store Modstande kan man lade en Kondensator ved Hjælp af et Normal-Batteri i en bestemt Tid gennem Modstanden, og derpaa bestemme den ophobede Ladning ved at udlade den gennem et ballistisk Galvanometer (Pkt. 204).

357. Potentialfald langs en Ledning. Til Forstaaelse af Princippet i Wheatstones Bro er en kort Redegørelse for Potentialfaldet i en Ledning nødvendig. Undersøges det elektriske Potential paa forskellige Steder i Kredsløbet ved Hjælp af et Elektrometer, som forklaret i Pkt. 263, viser det sig, at det bliver mindre, efterhaanden som man fjerner sig fra Batteriets positive Pol, hvor det er højest, og nærmer sig til den negative Pol, hvor det er lavest. Bestaar Kredsløbet af en Traad af samme Tykkelse overalt, som følgelig frembyder en ensformig Modstand mod Strømmen, vil man finde, at Potentialet formindskes jævnt. Gør derimod en Del af Kredsløbet større Modstand end en anden Del,

viser det sig, at Potentialet formindskes hurtigere i den Del af Ledningen, som har den største Modstand. I alle Tilfælde er Formindskelsen i Potentialet mellem to Punkter proportional med Modstanden mellem dem, og vi vide f. Eks., at naar vi ere gaaede gennem Kredsløbet til et Punkt, hvor Potentialet er formindsket til det Halve, saa har Strømmen paa dette Punkt gennemløbet den halve Modstand. Potentialforskellen e mellem Polerne af et Batteri (med elektromotorisk Kraft E , og indre Modstand r), der er indsat i et Kredsløb, hvis samlede Modstand er $R+r$, kan skrives paa følgende Maade:

$$e = E \frac{R}{R+r} = E - rC = RC.$$

358. Wheatstones Bro. Dette Instrument, der er opfundet af Christie og anvendt af Wheatstone til

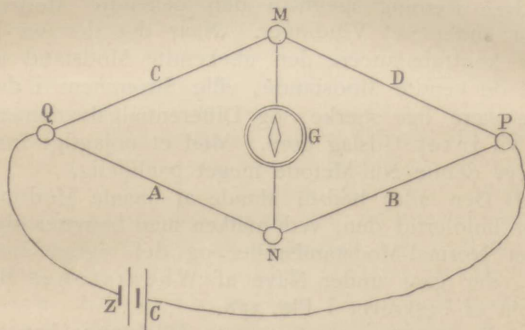


Fig. 113.

at maale Modstande, bestaar af et System af Ledere, skematisk fremstillet i Fig. 113. Ledningen fra et konstant Batteri forgrener sig ved P i to Dele, som atter forene sig i Q, saa at en Del af Strømmen gaar gennem Punktet M, en anden gennem Punktet N. De fire Ledere D, C, B, A kaldes »Armene« paa »Vægten« eller »Broen«. Det er ved Hjælp af Forholdet mellem deres Modstande, at Modstanden af een af dem kan beregnes, naar Modstandene i de tre andre kendes. Naar Strømmen, der udgaar fra C i Batteriet, kommer til P, vil Potentialet være formindsket til en

vis Værdi. Potentiallet i den øverste Gren formindskes fremdeles henimod M og vedbliver at falde til Q. Potentiallet i den nederste Gren formindskes til N, og herfra formindskes det yderligere, til det faar samme Værdi som Potentiallet i Q. Ligger nu N saaledes, at det deler Modstandene i den nederste Gren mellem P og Q i samme Forhold, som M deler Modstandene i den øverste Gren, saa vil Potentiallet i N være faldet til samme Værdi, som det er faldet til i M, eller med andre Ord: Dersom Forholdet mellem Modstanden C og Modstanden D er lig Forholdet mellem Modstanden A og Modstanden B, vil M og N have samme Potential. For at finde om Potentialerne ere lige store, anbringes et følsomt Galvanometer i en Grenledning mellem M og N; det vil intet Udslag gøre, naar M og N have samme Potentialer, eller naar de fire Modstande i Armene »balancere« hinanden, idet de forholde sig saaledes til hinanden, at man har:

$$\frac{A}{C} = \frac{B}{D}.$$

Kende vi nu Værdierne af A, B og C, kunne vi altsaa beregne D, idet have:

$$D = \frac{B \cdot C}{A}.$$

Eksempel. Er A og C (som i Fig. 116) henholdsvis 10 og 100 Ohm, og B 15 Ohm, er $D = \frac{15 \cdot 100}{10} = 150$ Ohm.

359. Modstandsruller. Ledningstraade med Normal-Modstand sælges nu af Instrumentmagere under Navn af **Modstandsruller**. De bestaa af Ruller af Nysølvtraad (se Pkt. 349) (eller undertiden af en Sølv-Iridium-Legering), der ere meget omhyggelig vundne og afpassede i saadanne Længder, at de have en Mod-

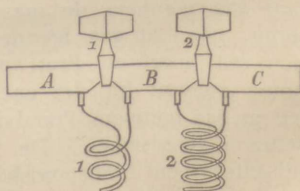


Fig. 114.

stand af et bestemt Antal Ohm. For at undgaa Selvinduktion og de dermed følgende Afbrydningsskifter (se Pkt. 404), ere de vundne paa en særegen Maade, som vist i Fig. 114, idet hver Traad (overspunden med Silke eller paraffineret Bomuld) er bukket sammen paa Midten, forinden den er rullet op. Hver Ende af en Traadrulle er loddet til et massivt Metalstykke, saaledes som Rulle 1 til A og B, og Rulle 2 til B og C. Metalstykkerne ere fastgjorte til en Ebonitplade (der danner Overdelen af »Modstandskassen«) og ligge saa langt fra hinanden, at der kan anbringes en massiv, nøjagtigt tilsleben Metalprop imellem dem. Fig. 115

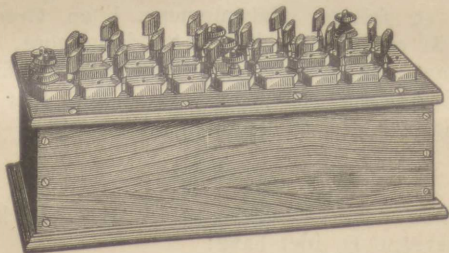


Fig. 115.

viser en fuldstændig Modstandskasse, til Brug ved elektriske Maalinger, med Propperne siddende paa Plads. Saa længe Propperne sidde i deres Huller, vil Strømmen gaa igennem de massive Metalstykker og Propperne, uden at gaa igennem nogen af Modstandene; men saa snart en Prop udtages, vil Strømmen kun kunne passere fra det ene Metalstykke til det andet ved at gaa igennem Traadvindingerne, som derved indsættes i Kredsløbet. De forskellige Traadruller, der indsættes i en Modstandskasse, have sædvanlig Modstande paa følgende Antal Ohm: 1, 2, 2, 5; 10, 20, 20, 50; 100, 200, 200, 500; o. s. v. op til 10 000 Ohm. Ved at tage en Prop ud kan enhver af disse

Modstande indskydes i Kredsløbet, og hvilket Antal af hele Ohm, man ønsker, lige op til 20 000, kan skaffes til Veje ved at udtage Propper. Ønsker man f. Eks. en Modstand paa 263 Ohm, dannes den af Modstandene $200 + 50 + 10 + 2 + 1$.

I Almindelighed konstrueres Wheatstones Bro med et mindre Antal Modstandsruller i Armene A og C og med et fuldstændigt Sæt i Armen B. Fordelen her ved er, at man ved at afpasse A og C bestemmer Forholdet mellem B og D og i visse Tilfælde kan

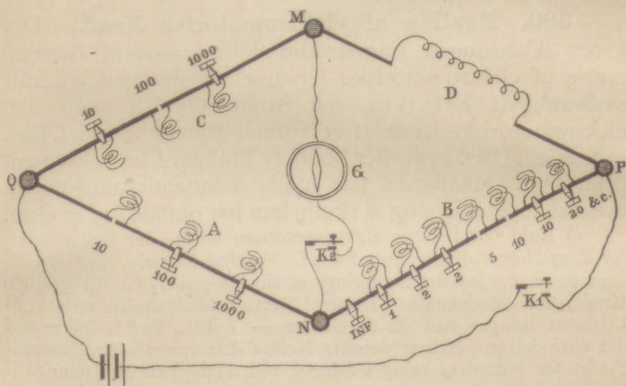


Fig. 116.

maale Brøkdele af en Ohm. Fig. 116 viser Skemaet for en fuldstændig Wheatstones Bro, i hvilken Modstande paa 10, 100 og 1000 Ohm kunne indsættes i Armene A og C.

Eksempel. Have vi en Ledning, hvis Modstand vi vide ligger imellem 46 og 47 Ohm, og vi ønske at bestemme den mellemliggende Brøkdel af en Ohm, indsætte vi Traaden i Armen D, gøre Modstanden i A til 100 Ohm og i C til 10 Ohm; D vil i dette Tilfælde blive modbalanceret af en Modstand i B, der er 10 Gange saa stor som D's. Finde vi, at Modstanden i B skal

være 464 Ohm, vide vi, at $D = \frac{464 \cdot 10}{100} = 46,4$ Ohm.

I Praksis laves Broen sjældent eller aldrig i den Parallelogram-Form, som Tegningen viser. Modstandskassen i Fig. 115 er i sig selv en fuldstændig »Bro«, idet de nødvendige Forbindelser foretages ved Hjælp af Skruer paa forskellige Steder. Naar Broen benyttes, skal Batteriets Kredsløb altid sluttes ved at trykke Nøglen K_1 ned, førend Nøglen K_2 til Galvanometrets Kredsløb trykkes ned; derved undgaar man, at der som Følge af Selvinduktion fremkommer et pludseligt, stort Udslag af Galvanometernaalen ved Strømslutningen. (Pkt. 404).

360. Maaling af elektromotorisk Kraft. Der gives ikke nogen simpel Metode til absolut Bestemmelse af elektromotoriske Kræfter, og de maales derfor sædvanligvis relativt ved Sammenligning med den elektromotoriske Kraft af et Normal-Element, som f. Eks. et Daniells (Pkt. 170) eller bedre et Latimer Clarks Element (Pkt. 177). Maaderne, paa hvilke Sammenligningen kan ske, ere forskellige, og vi skulle kun her omtale fire af dem.

a) Kald det Batteris elektromotoriske Kraft, der skal maales, for E og Normal-Elementets for E^1 . Forbind Batteriet med et Galvanometer, og lad det frembringe et Udslag paa δ_1 Grader gennem Kredsløbets Modstande. Indskyd derpaa Modstanden r , saa at Udslaget bringes ned til δ_2 Grader — f. Eks. 10^0 mindre end det oprindelige. Indsæt derefter Normal-Elementet i Kredsløbet i Stedet for Batteriet, bring Udslaget ved Hjælp af Modstande til at blive δ_1 Grader og forøg dernæst Modstanden med r^1 , saa at Udslaget bliver δ_2 Grader. Vi have da

$$\frac{r^1}{r} = \frac{E^1}{E},$$

da Modstandene, som formindske Strømstyrken lige meget, ere proportionale med de elektromotoriske Kræfter.

b) Forbindes et Normal-Batteris Poler ved en lang, tynd Traad, vil Potentialet falde jævnt fra den positive til den negative Pol. Følgelig vil man ved at slutte Kontakt med den ene Pol og med et Punkt paa Traaden i den Afstand, man maatte ønske, kunne faa en hvilken som helst Brøkdelen af den elektromotoriske Kraft. Denne kan afbalanceres mod den elektromotoriske Kraft af et hvilket som helst andet Batteri*) eller bruges til at sammenligne to forskellige Elementers elektromotoriske Kræfter.

*) Selvfølgelig med mindre E . M. K. end Normalbatteriets.

c) Et Batteris elektromotoriske Kraft kan maales direkte som en Potentialforskkel ved Hjælp af et Kvadrant-Elektrometer. I dette Tilfælde er Kredsløbet aldrig sluttet, og der frembringes ingen Strøm.

d) Dersom et Galvanometer konstrueres saaledes, at Modstanden i dets Traadvindinger er adskillige Tusinde Ohm, i Sammenligning med hvilken Batteriets eller Dynamos indre Modstand er for Intet at regne, vil et saadant Galvanometer kunne benyttes til at maale elektromotoriske Kræfter; ifølge Ohms Lov vil nemlig Styrken af den Strøm, som et Batteri eller en Dynamo kan sende gennem det, kun være afhængig af den elektromotoriske Kraft mellem Enderne af Traadvindingerne. Et saadant Galvanometer, forsynet med en passende Inddeling, kaldes undertiden et »Volt-Meter« eller »Potential-Galvanometer«. Det kan benyttes til at bestemme Potentialforskellen mellem to hvilke som helst Punkter i Kredsløbet ved at indsætte det som Shunt paa Kredsløbet mellem de to Punkter.

361. Maaling af et Batteris indre Modstand.

Denne kan bestemmes paa tre Maader:

a) Maal ved Hjælp af et Tangentgalvanometer først Strømstyrken, naar Modstanden i det ydre Kredsløb er lille, og derefter naar der er indsat en større, bekendt Modstand i det ydre Kredsløb. Heraf kan Forholdet mellem den indre Modstand og den indskudte ydre Modstand beregnes.

b) (Modsætnings-Metoden). Tag to ens Elementer og forbind dem saaledes, at de modvirke hinanden og derfor ikke selv frembringe nogen Strøm. Maal derpaa deres samlede Modstand paa samme Maade, som Modstanden i en Traad maales. Modstanden i eet Element vil blive det halve af Modstanden i de to.

c) (Mances Metode.) Indsæt det paagældende Element i den ene Arm af Wheatstones Bro og anbring en Nøgle dér, hvor Batteriet ellers anbringes. Afpas derefter Modstandene, indtil det fremkomne Galvanometer-Udslag er det samme, hvad enten Nøglen trykkes ned eller ikke. Naar dette er opnaaet, er Elementmodstanden afbalanceret med Modstandene i de tre andre Arme. (Ikke nogen paalidelig Metode).

362. Maaling af en Kondensators Kapacitet.

En Kondensators Kapacitet kan maales ved at sammenligne den med en Normal-Kondensators Kapacitet — som f. Eks. $\frac{1}{3}$ -Mikrofarad-Kondensatoren, der er vist i Fig. 93, — paa en af nedenstaaende Maader:

a) Lad Kondensatoren med den ubekendte Kapacitet til et vist Potential; del derpaa Ladningen mellem den og en anden Kondensator, hvis Kapacitet kendes, og maal det Potential, som Ladningen nu har. Heraf

beregnes den oprindelige Kapacitet, som vil staa i samme Forhold til de to Kondensatorsers samlede Kapacitet som Slutnings-Potentialet til det oprindelige Potential.

b) Lad hver af de to Kondensatorer til samme Potentialdifferens og udlad derpaa hver af dem gennem det samme ballistiske Galvanometer (Pkt. 204). Sinus af det halve af Naalens første Udslagsvinkel vil være proportional med Ladningen og følgelig med Kapaciteten.

c) Lad de to Kondensatorer samtidig fra den ene Pol af det samme Batteri, idet der indsættes store Modstande i hver Gren, og afpas disse saaledes, at Potentialet stiger lige meget i dem begge. Kapaciteterne ere da omvendt proportionale med Modstandene, gennem hvilke Kondensatorerne ere blevne ladede.

d) En anden Metode, ved hvilken der ingen Normal-Kondensator anvendes, er følgende: Kondensatoren, hvis Kapacitet skal maales, udlades langsomt gennem en Ledning med meget stor Modstand. Tiden, der medgaar til, at Potentialet falder til en bestemt Brøkdel af sin oprindelige Værdi, er proportional med Modstanden, med Kapaciteten og med Logaritmen af den valgte Brøk.

363. Modstand udtrykt som en Hastighed. Det vil ses ved at betragte Tabellen over elektromagnetiske Enheders »Dimensioner« (Pkt. 324), at Dimensionen for Modstand er opført som

LT^{-1} , og at dette er den samme Dimension (se Pkt. 258) som for Hastighed. Enhver Modstand kan derfor udtrykkes som en Hastighed. Følgende Betragtninger kunne hjælpe Læseren til at danne sig

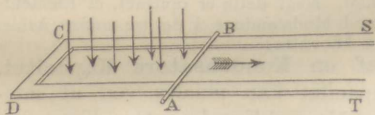


Fig. 117.

en fysisk Opfattelse heraf: Lad os antage, at vi have et Kredsløb, der dannes af to vandrette Skinner (Fig. 117) CS og DT, 1 Centimeter fjernede fra hinanden, forenede ved CD og ved det forskydelige Stykke AB. Dette foranderlige Kredsløb anbringes i et jævnt magnetisk Felt med Enhed af Intensitet, saaledes at

Kraftlinierne gaa lodret nedad gennem Kredsløbet. Føres nu det bevægelige Stykke henimod ST med en Hastighed af n Centimeter pr. Sekund, vil Antallet af de Kraftlinier, der indesluttet af Kredsløbet, forøges med n pr. Sekund; der vil med andre Ord virke en induceret elektromotorisk Kraft (Pkt. 394) i Kredsløbet, som vil frembringe en Strøm gennem den bevægelige Leder fra A til B. Have Skinnerne ingen Modstand, vil Strømstyrken være afhængig af Modstanden i AB. Lad AB nu bevæge sig med saa stor Hnsthighed, at Strømmen faar Enhed af Styrke; er dens Modstand en »absolut« (elektromagnetisk) Enhed, behøver den kun at bevæge sig med en Hastighed af 1 Centimeter pr. Sekund; er Modstanden større, maa den bevæge sig med en forholdsvis større Hastighed, og den Hastighed, med hvilken den maa bevæge sig, for at der skal frembringes en Strøm med Enhed af Styrke, er numerisk lig med dens Modstand. Den Modstand, der kaldes »en Ohm«, skal være 10^9 absolute elektromagnetiske Enheder og repræsenteres derfor af en Hastighed paa 10^9 Centimeter, eller ti Millioner Meter (en Jordkvadrant) pr. Sekund.

364. a) Bestemmelsen af en Ohm. Værdien af en Ohm i absolut Maal blev fastslaaet af et Udvalg af det engelske Videnskabernes Selskab (»British Association«) i London i 1863. Da det var umuligt i Praksis at give en vandret Leder som den ovennævnte en saa stor Hastighed, som var nødvendig, blev den Hastighed, som svarer til Traadens Modstand, maalt paa følgende Maade: En Traad-Ring (med mange Vindinger), der kunde dreje sig om en lodret Akse (Fig. 118), blev sat i meget hurtig og jævn Omdrejning. En saadan Ring vil under sin Omdrejning skære Jordmagnetismens Kraftlinier. I den nordlige Halvdel af Ringen vil der, idet den bevæger sig fra Vest til Øst, induceres en opadgaende Strøm (se Reglen Pkt. 395), medens der i den sydlige Halvdel, der bevæger sig fra Øst til Vest, vil blive induceret en nedadgaende Strøm. Derfor vil den roterende Ring, idet den løber rundt, selv virke som et Galvanometer, naar der ophænges en lille Magnetnaal i Midten af den. Den magnetiske Virkning, der frembringes af den roterende Ring, er ligefrem proportional med Jordmagnetismens vandrette Komposant, med Omdrejningshastigheden og med Antallet af Traadvindinger i Ringen, og omvendt proportional med Modstanden af Traadvindingerne. Da alle de andre Størrelser ere bekendte, kan Modstanden beregnes og maales som en Hastighed. Den eksisterende Ohm eller B. A.-Enhed blev konstrueret ved Sammenligning med denne roterende Ring; men da det var tvivlsomt, om B. A.-Enheden virkelig repræsenterede 10^9 Centimeter pr. Sekund, blev det i 1880 af »British Association«s Udvalg vedtaget, at der skulde foretages en ny Bestemmelse.

364. b) Den legale Ohm. Ved den internationale Kongres af Elektrikere i Paris i 1881 blev man enig om, at Ohmen skulde bestemmes paa ny, og at de praktiske Normaler ikke længere skulde konstrueres af Nysølvtraad, men at de skulde udføres som oprindelig foreslaaet af Siemens, idet

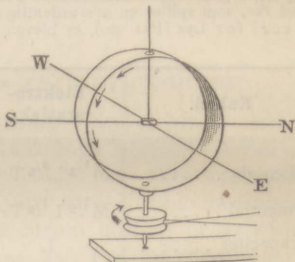


Fig. 118.

man definerede den praktiske Ohm, som Modstanden i en Søjle af rent Kviksølv af en vis Længde og af en Kv.-Millimeters Tværsnitsareal. Den oprindelige »Siemens's Enhed« var en Kviksølvsøjle, een Meter lang og een Kv. Mm. i Gennemsnit, og var lidt mindre end en Ohm (0.9415 B. A.-Enheder). Paa Pariser-Kongressen i 1884 bestemtes det under Hensyn til de af de bedste Fysikere i Evropa gjorte Undersøgelser, at Kviksølvsøjlen, der repræsenterer den legale Ohm, skal være 106 Cm. lang. [Lord Rayleigh fandt, at Kviksølvsøjlen skulde være 106.21 Cm. lang for at repræsentere den teoretisk rigtige Ohm (= 10^9 absolute Enheder)]. Den gamle engelske B. A.-Ohm er kun 0.9887 af den nye legale Ohm, og den gamle engelske Volt er 0.9887 af den legale Volt.

Om Forholdet mellem elektrostatiske og elektromagnetiske Enheder.

365. Dersom Læseren sammenligner Tabellen over de elektrostatiske Enheders Dimensioner (Pkt. 258) med Tabellen over de elektromagnetiske Enheders Dimensioner (Pkt. 324), vil han se, at Dimensionerne, der ere tilføjede de samme Enheder, ere forskellige i de to Systemer. Saaledes er Dimensionen for »Mængde« i elektrostatisk Maal $M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$ og i elektromagnetisk Maal $M^{1/2} L^{1/2}$. Dividere vi den første Størrelse med den sidste, faa vi LT^{-1} , en Størrelse, som vi straks se er af samme Art som en Hastighed. Denne Hastighed indgaar i alle Tilfælde i Forholdte mellem de elektrostatiske og de elektromagnetiske Maal for hver Enhed. Det er en bestemt, konkret Hastighed og repræsenterer den Hastighed, med hvilken to elektriserede Smaadele, der bevæge sig ved Siden af hinanden (og som ved deres Bevægelse ækvivalere to tilsvarende parallelle Strømme), maa bevæge sig, for at deres gensidige elektromagnetiske Tiltrækning netop skal være lig deres gensidige elektrostatiske Frastødning (se Pkt. 337). Denne Hastighed »v«, som spiller en overordentlig stor Rolle i den elektromagnetiske Teori for Lys (Pkt. 390), er bleven maalt paa forskellige Maader.

Enhed.	Elektrostatisk.	Elektromagnetisk.	Forhold.
Mængde	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$	$M^{1/2} L^{1/2}$	$LT^{-1} = v$
Potential	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$	$L^{-1} T = \frac{1}{v}$
Kapacitet	L	$L^{-1} T^2$	$L^2 T^{-2} = v^2$
Modstand	$L^{-1} T$	LT^{-1}	$L^{-2} T^2 = \frac{1}{v^2}$

a) Weber og Kohlrausch maalte den elektrostatiske Enhed for Mængde og sammenlignede den med den elektromagnetiske Enhed for Mængde, og de fandt, at Forholdet v blev $= 3,1074 \cdot 10^{10}$ Centimeter pr. Sekund.

b) Sir Wm. Thomson sammenlignede de to Enheder for Potential og fandt

$$v = 2,825 \cdot 10^{10}$$

$$\text{og senere} = 2,93 \cdot 10^{10}$$

c) Professor Clerk Maxwell modbalancerede en elektrostatisk Tiltrækningskraft mod en elektromagnetisk Frastødningskraft og fandt

$$v = 2,88 \cdot 10^{10}$$

d) Professorerne Ayrton og Perry bestemte en Kondensators Kapacitet i elektromagnetiske Enheder ved at udlade den gennem et ballistisk Galvano-

meter, og i elektrostatiske Enheder ved en paa dens Størrelse støttet Beregning, og fandt

$$v = 2,980 \cdot 10^{10}$$

e) Professor Joseph J. Thomson sammenlignede en Kondensators Kapacitet, maalt elektrostatisk ved Beregning og elektromagnetisk ved Wheatstones Bro, og fandt

$$v = 2,963 \cdot 10^{10}$$

Lysets Hastighed antages at være = 2,9992 $\cdot 10^{10}$.

Ifølge G. Forbes's seneste Bestemmelser er Hastigheden af

$$\text{rødt Lys} \dots\dots\dots = 2,9826 \cdot 10^{10}$$

Tage vi som Middelværdi $3 \cdot 10^{10}$, faa vi ved Sammenligning med Pkt.

257 og 323,

1 Coulomb = $3 \cdot 10^9$ elektrostatiske (C. G. S.) Enheder for Mængde.

1 Volt = $\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$ elektrostatiske (C. G. S.) Enheder for Potential.

1 Farad = $9 \cdot 10^{11}$ elektrostatiske (C. G. S.) Enheder for Kapacitet.

1 Ohm = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ elektrostatiske (C. G. S.) Enheder for Modstand.

SYVENDE KAPITEL.

VARME, LYS OG ARBEJDE, FREMBRAGTE VED ELEKTRISKE STRØMME.

XXXI. Strømmenes Varmevirkninger.

366. Varme og Modstand. En elektrisk Strøm kan udføre Arbejde under forskellige Former: Arbejdet kan fremtræde som kemisk, magnetisk eller mekanisk Arbejde, eller det kan vise sig som Varmevirkninger; men i alle Tilfælde, hvor en Strøm udfører et Arbejde, sker det paa Bekostning af en Del af Strømmens Energi. Vi have set, at ifølge Ohms Lov vil Strømmen, der frembringes af et givet Batteri, formindskes, saa snart den ydre Modstand forøges; men Strømstyrken kan i visse Tilfælde ogsaa formindskes paa andre Maader, nemlig ved at der opstaar en modsat elektromotorisk Kraft paa et eller andet Sted i Kredsløbet. Gaar saaledes en Strøm gennem et Voltameter (Pkt. 214), finder der en Formindskelse Sted paa Grund af Modstanden i selve Voltameteret, og en yderligere Formindskelse paa Grund af den modsatte elektromotoriske

Kraft (almindelig betegnet som Polarisation), som frembringes, medens det kemiske Arbejde udføres. Anvendes Strømmen til at drive en elektromagnetisk Motor (Pkt. 375), vil selve Motorens Omdrejning frembringe en Mod-Strøm, som vil formindske Strømstyrken. For saa vidt som Strømmen ikke forbruges paa denne Maade til et ydre Arbejde, omsættes den til Varme, enten i Batteriet eller i en eller anden Del af Kredsløbet eller begge Steder. Antage vi, at en Elektricitetsmængde blev sat i Bevægelse i et lukket Kredsløb, saa vilde den, dersom der ingen Modstand fandtes til at standse den, løbe rundt bestandig; ligesom en Jernbanevogn, der blev sat i Bevægelse paa en cirkulær Skinnevej, vilde løbe rundt i det uendelige, dersom den ikke blev standset af Gnidningsmodstanden. Naar et Legeme, der er i Bevægelse, standses af Gnidningsmodstanden, omsættes Bevægelsens Energi derved til Varme. Naar Elektricitet i Bevægelse standses af Modstand, omsættes Strømmens Energi ved Modstanden til Varme. Der opstaar i Virkeligheden Varme overalt, hvor Strømmen møder en Modstand i Kredsløbet. Forbindes et Batteris Poler ved en kort, tyk Traad af ringe

Modstand, vil det meste af Varmen udvikles i Batteriet; hvis man derimod indsætter en tynd Traad af betydelig Modstand i det ydre Kredsløb, vil den blive varm, medens selve Batteriet vil være forholdsvis koldt.

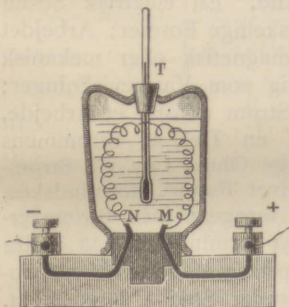


Fig. 119.

367. Lovene for Udvikling af Varme: Joules Lov. Til at undersøge en Strøms Varme-Udvikling have Joule og Lenz be-

nyttet Instrumenter, der i Princippet vare konstruerede som vist i Fig. 119; en tynd Traad, som er forbunden

med to tykkere Traade, er indesluttet i en Glasbeholder, der indeholder Spiritus, og hvori tillige er anbragt et Termometer. Da Traadens Modstand kendes, kan dens Forhold til de andre Modstande beregnes. Joule fandt, at Antallet af Varme-Enheder, der udvikles i en Leder, er proportional

- 1) med dens Modstand,
- 2) med Kvadratet paa Strømstyrken og
- 3) med Tiden, i hvilken Strømmen har virket.

Ligningen, der udtrykker disse Forhold, kaldes Joules Lov, og er

$$H = C^2 R t. 0,24,$$

hvor C er Strømstyrken i Ampère, R Modstanden i Ohm, t Tiden i Sekunder og H Varmen, udtrykt i de almindelige Varme-Enheder, $\circ$: den Mængde Varme, som opvarmer 1 Gram Vand 1° C. (Pkt. 255).

Man kan komme til Joules Lov ved følgende Beregning: Det Arbejde, W, som en Strøm udfører ved at bevæge Q Enheder af Elektricitet mellem to Punkter, hvis Potentialforskel er $V_2 - V_1$, er

$$W = Q (V_2 - V_1);$$

men da $Q = Ct$, $V_2 - V_1 = E$ og $W = JH$ (hvor J er Varmens mekaniske Ækvivalent $= 4,2 \cdot 10^7$ (»Joules Ækvivalent«) og H Varmemængden i Gram-Grader C), have vi

$$JH = CtE \quad (\text{og } E = CR)$$

$$= C^2 R t$$

$$C^2 R t$$

$$\text{hvoraf } H = \frac{C^2 R t}{J}.$$

Da C og R imidlertid her ere udtrykte i »absolute« Enheder, skulle de multipliceres med $10^{-2} \cdot 10^9 = 10^7$ for at omsættes til Ampère og Ohm, og vi faa da

$$H = \frac{C^2 R t}{4,2}$$

$$= C^2 R t. 0,24.$$

Denne Ligning udtrykker altsaa, at en Strøm paa een Ampère, der gaar gennem en Modstand paa een Ohm, udvikler 0,24 Varmeenheder pr. Sekund i den.

Dr. Siemens foreslaar at kalde denne Varmemængde (eller dens mekaniske Ækvivalent i Arbejde) en Joule.

Dersom dette Forslag antages, vil den elektriske Enhed for Varme, en Joule, kun være 0,24 af en almindelig Varmeenhed eller Kalorie (Pkt. 255), og 1 Kalorie vil være 4,2 Joule.

Den anden af de ovenfor nævnte Love, at Varmen, alt i øvrigt lige, er proportional med Kvadratet paa Strømstyrken, forvirrer ofte Begyndere der ere tilbøjelige til at mene, at Varmen simpelthen maa være proportional med Strømmen; men de maa huske paa, at ogsaa Fortæringen af Zinken, alt iøvrigt lige, er proportional med Kvadratet paa Strømmen. Lad os saaledes antage, at vi arbejde gennem en stor Modstand (saa at al Varmen udvikles udenfor Batteriet), og at vi ville gøre Strømmen dobbelt saa stærk ved at fordoble Antallet af Batteriets Elementer; der vil da fortæres dobbelt saa meget Zink som før i hvert Element, og da der nu er dobbelt saa mange Elementer som oprindeligt, er Fortæringen af Zinken fire Gange saa stor som tidligere.

368. Favres Forsøg. Favre har udført en Række meget vigtige Forsøg for at finde Forholdet mellem en Strøms Energi og den Varme, den udvikler. Han fandt, at det Antal Varmeenheder, der udvikles, naar 33 Gram (1 Ækvivalent) Zink opløses i fortyndet Svovlsyre (hvorved der udskilles Brint), er 18 682. Dette Tal kom han til ved at udføre Forsøget i en Beholder, der var anbragt inden i hans Kalorimeter, et Apparat, der lignede et kæmpemæssigt Termometer, fyldt med Kviksølv, hvis Udvikelse var proportional med den Varmemængde, det modtog. Naar et Smees Element blev indsat i det samme Apparat, blev der ved Opløsningen af den samme Mængde Zink udviklet 18 674 Varmeenheder (3: en Varmemængde, der næsten er lige saa stor som den først maalte), og dette Tal blev det samme, hvad enten Varmeudviklingen fandt Sted i Elementet, — som naar Kredsløbet blev sluttet ved en kort, tyk Traad, — eller den foregik i en lang, tynd Traad, hvormed det ydre Kredsløb blev sluttet. Han anbragte derpaa 5 Smees Elementer, forbundne i Række, i Kalorimeterets hule Rum og sendte Strømmen fra dem gennem en lille elektromagnetisk Maskine. Varmemængden, der udviklede ved at opløse 33 Gram Zink, blev derpaa maalt i tre Tilfælde: 1) naar Maskinen stod stille; 2) naar Maskinen løb rundt men ikke udførte andet Arbejde end at overvinde Gnidningsmodstanden i dens Aksellejer; 3) naar Maskinen udførte et Arbejde paa 13 124 000 Gram-Centimeter ($= 12\,874 \cdot 10^6$ Erg.) ved at løfte en Vægt i en Snor, der løb over en Tridse. De Varmemængder, der bleve udviklede i Kredsløbet i de tre Tilfælde, vare henholdsvis 18 667, 18 657 og 18 374 Enheder. I det sidste Tilfælde er det udførte Arbejde Erstatning for de manglende Varmeenheder i Kredsløbet. Dersom vi føje Varme-Ækvivalentet for det udførte Arbejde til Varmen, der er udviklet i det sidste Tilfælde, skulle vi faa den samme Værdi som før. Ved at dividere de $12\,874 \cdot 10^6$ Ergs Arbejde med Joules Ækvivalent, udtrykt i »absolut« Maal ($42 \cdot 10^6$), faa vi som Varme-Ækvivalent for det udførte Arbejde 306 Varmeenheder. Men $18\,374 + 306 = 18\,680$ 3: en Størrelse, som er lig den, vi fik ved den første Maaling, og som fuldstændig ligger indenfor Grænserne af de uundgaaelige Forsøgsfejl.

369. Temperaturstigning. Temperaturforøgelsen i en Ledning, der gør Modstand, er afhængig af Mod-

standens Natur. Et meget kort Stykke af en tynd Traad kan gøre den samme Modstand som et langt Stykke af en tyk Traad. Enhver af dem vil bevirke, at der udvikles det samme Antal Varmeenheder; men da Varmen i det første Tilfælde benyttes til at opvarme en kort, tynd Traad med ringe Masse, vil Traaden blive meget varm, hvorimod Varmen i sidste Tilfælde maaske kun vil opvarme den lange, tykke Traads Masse saa lidt, at man ikke kan mærke det. Vejer Traaden w Gram, og har den en Varmefylde, s , er $H = s w \theta$, hvor θ er Temperaturforøgelsen i Grader (Celsius). Deraf følger, at

$$\theta = 0,24 \cdot \frac{C^2 R t}{s w}.$$

Da Metallernes Modstand forøges, efterhaanden som Temperaturen stiger, vil en tynd af Strømmen opvarmet Traad gøre mere Modstand mod Strømmen og blive varmere og varmere, indtil det ved Afledning og Udstraaling til den omgivende Luft foregaaende Varmetab pr. Tidsenhed er lig den pr. Tidsenhed ved Strømmen frembragte Varmeudvikling.

Følgende smukke Forsøg oplyser Lovene for Opvarmningen. Strømmen fra nogle faa Elementer sendes gennem en Kæde, hvis Led vekselvis bestaa af Sølv- og Platintraade. Platinleddene blive rødglødende, medens Sølvleddene i Sammenligning hermed vedblive at være kolde. Forklaringen herpaa er den, at Platinets specifikke Modstand omtrent er seks Gange saa stor som Sølvets, og at dets Varmefylde omtrent er halvt saa stor. Derfor er Temperaturforøgelsen i Traade af samme Tykkelse, der gennemløbes af den samme Strøm, tilnærmelsesvis tolv Gange saa stor for Platin som for Sølv. Tynde Traade opvarmes meget mere end tykke; Temperaturforøgelsen paa forskellige Steder i den samme Traad (hvorigennem der løber den samme Strøm) er, for forskellige Tykkelser, omvendt proportional med fjerde Potens af Diameteren.

Formindskes saaledes en Traads Diameter paa et vilkaarligt Sted til det halve, bliver Arealet af Tværsnittet $\frac{1}{4}$ af den tykkere Del af Traadens Areal. Modstanden bliver 4 Gange saa stor, og Antallet af udviklede Varmeenheder bliver 4 Gange saa stort som i samme Længde af den tykkere Traad. Men en 4 Gange saa stor Varmemængde, der udvikles i en 4 Gange saa lille Metalmængde, vil opvarme den 16 Gange saa meget, og $16 = 2^4$.

Undertiden anvende Læger en tynd Platintraad, opvarmet til Rødgldhede ved Hjælp af en Strøm, i Stedet for en Kniv, f. Eks. ved Bortskæring af Kræft fra Tungen. Man benytter Platin paa Grund af, at det ikke let smelter; men selv Platintraade kunne smelte, naar Strømmen er for stærk. Kul er den eneste Leder, som ikke smelter.

370. Sprængninger ved Elektricitet. Paa Grund af disse Varme-Virkninger kan Elektriciteten benyttes ved Sprængning af Sten og Miner, idet tykke Lednings-traade føres fra et i nogen Afstand anbragt Batteri, til en særlig Patron, i hvilken en meget tynd Platintraad er indsat i Kredsløbet. Denne Traad bliver glødende, naar Strømmen gaar igennem den, og da den er omgivet af et let antændeligt Stof, der tjener som Fængkrudt, gaar der Ild i dette, hvorved en Krudtladning antændes. Søminer kunne saaledes bringes til Eksplosion under Vandet og i hvilken som helst Afstand fra Batteriet, man maatte ønske.

Det særlige Tilfælde, i hvilket Varme udvikles eller tabes, ved at en Strøm gaar gennem Forbindelsesstedet mellem to uens Metaller, — kaldet Peltiers Virkning — er omtalt i Pkt. 380.

XXXII. Det elektriske Lys.

371. Volta-Buen. Forbindes to spidse Kulstykker ved Hjælp af Ledningstraade med Polerne af et kraftigt Volta-Batteri eller en anden Frembringer af elektriske Strømme, og bringes Kulspidserne et Øjeblik i Berøring med hinanden, for derefter atter at fjernes et lille

Stykke fra hinanden, frembringes der mellem dem en Slags elektrisk Flamme, der kaldes Volta-Buen, og et glimrende Lys udsendes fra Kuleelektroderne hvidglødende Spidser.

Dette Fænomen blev først bemærket af Humphry Davy i 1800, og Forklaringen paa det synes at være følgende: Forinden Berøringen er Potentialforskellen mellem Spidserne ikke stor nok til, at en Gnist kan springe over fra den ene til den anden, selv om Afstanden imellem dem kun er $\frac{1}{10000}$ Tomme, men saa snart Kulspidserne berøre hinanden, sluttet Strømmen fra Elektricitetskilden. Naar man nu skiller Kullene fra hinanden, kan den kortvarige Ekstra-Strøm, der skyldes Selv-Induktion i Kredsløbet (Pkt. 404), og som har en stor elektromotorisk Kraft, gennembryde det korte Mellemrum, og derved fordampes der en ringe Mængde Kul mellem Spidserne. Kuldampe, der ere en delvis Leder, ville tillade Strømmen at gaa igennem Mellemrummet mellem Spidserne, forudsat at det ikke er for stort; men da Kuldampene have en meget stor Modstand, blive de stærkt opvarmede ved Strømmens Gennemgang, og Kulspidserne blive ogsaa ophedede.

Da faste, glødende Legemer udstraale Lyset langt stærkere end glødende Luftarter, udsende Kulspidserne langt mere Lys end selve Buen, skønt de ikke ere saa varme. I Buen smeltes ildfaste Stoffer som Flint og Diamant, og Metaller som Guld og Platin fordampe endog i denne umaadelige Varme. Naar Buen frembringes i Luften, forbrænde Kullene langsomt ved Iltning. Det viser sig ogsaa, at Kuldele rives bort fra den positive Elektrode, der bliver udhulet som et »Krater«, og nogle af disse Kuldele overføres til den negative Elektrode, der bliver spids, som vist i Fig. 120. Modstanden i Buen veksler efter Omstændighederne fra 0,5 Ohm til omtrent 100 Ohm. Man har ogsaa fundet, at Buen selv udøver en modsatrettet elektromotorisk Kraft paa omtrent 39 Volt, naar Buen er rolig, og paa 15 Volt, naar den hvæser.

For at frembringe et tilfredsstillende elektrisk Lys fordres der i det mindste en elektromotorisk Kraft paa 40 til 50 Volt, og da Strømstyrken maa være mindst 5 til 10 Ampère eller mere, er det indlysende, at den indre Modstand i Batteriet eller Elek-

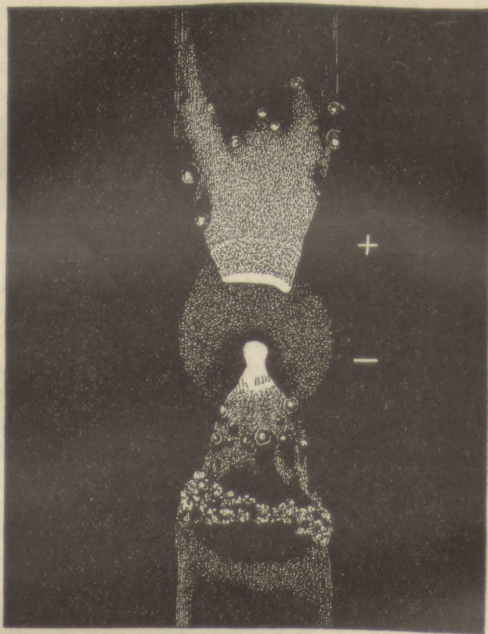


Fig. 120.

tricitetsfrembringeren maa gøres lille. Med svagere Strømme og mindre elektromotoriske Kræfter er det umuligt at faa en rolig Bue. Den indre Modstand i almindelige Daniells eller Leclanchés Elementer (som de bruges i Telegraftjenesten) er for stor til, at de kunne benyttes til Frembringelsen af elektrisk Lys.

Derimod kan man benytte et Batteri paa 40—60 Groves Elementer (Pkt. 171), men de ville kun kunne vedligeholde Strømmen i 2 eller 3 Timer. En dynamo-elektrisk Maskine (beskrevet i Pkt. 407 til 411), der drives af en Dampmaskine, er den bedste Elektricitetskilde til praktisk elektrisk Belysning. Lysmængden, der udgaar fra en elektrisk Lampe, er ikke ligefrem proportional med Strømstyrken, men er indenfor visse Grænser proportional med Kvadratet paa den udviklede Varme, eller med den fjerde Potens af Strømstyrken.

372. Elektriske Buelamper. Davy benyttede Trækul som Elektroder til Frembringelsen af Buelys. Kulstænger af haardt Retort-Kokes bleve senere indførte af Foucault. I de Lamper der nuomstunder benyttes, anvendes Kulstænger af tættere og mere ensartede, kunstige Kokes. Disse fortæres jævner og mindre hurtigt, men det volder dog nogen Vanskelighed at bevæge Kulspidserne netop saa hurtigt fremad, som det gøres nødvendigt. Der fordres af Mekanismen, at den skal tænde Buen, ved at bringe Kullene i Berøring med hinanden, og derpaa fjerne dem saa meget fra hinanden, som er nødvendigt for at faa en rolig Bue; Mekanismen skal fremdeles ikke alene gradvis nærme Kulspidserne til hinanden, efterhaanden som de fortæres, men den skal ogsaa avtomatisk kunne nærme dem og fjerne dem fra hinanden, hvis Buen tilfældig skulde blive for lang eller for kort. Endelig skal den i et Øjeblik bringe Kullene sammen for at tænde Buen igen, dersom den af en eller anden Grund skulde gaa ud. Afelektriske Buelamper eller Regulatorer, der opfyldte disse Fordringer, har man mange forskellige Konstruktioner.

De kunne indordnes i følgende Grupper:

a) Lamper med Urværk. Som et Eksempel paa denne Art Lampe, skal nævnes den af Serrin konstruerede, der er afbildet i Fig. 121, og som i en noget forandret Skikkelse benyttes i de fleste elektriske

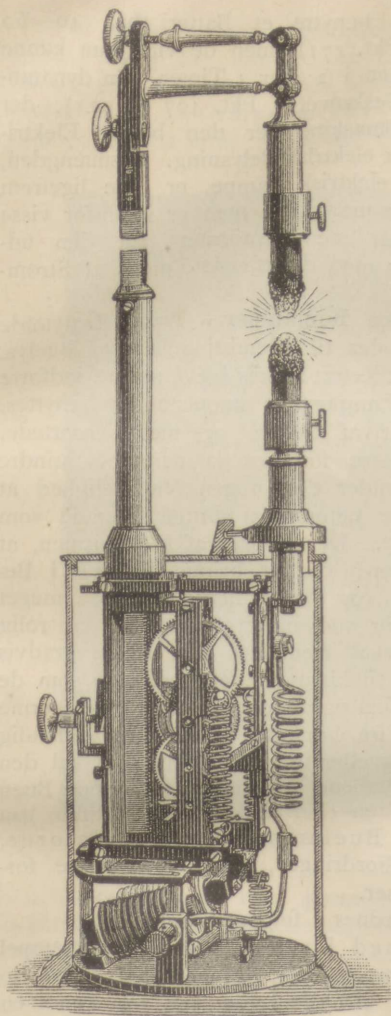


Fig. 121.

Fyr. Urværket drives rundt af Vægten af den øverste Kulføringsstang, som forneden har Tænder, der ere i Indgreb med Urværkets største Hjul. Lampestrømmen gaar igennem den forneden anbragte skraat liggende Elektromagnet, hvis Anker er en Jernstang, der er anbragt i det ene Hjørne af et Parallelogram; dettes ene Side (langs med Tandstangen) staar fast, men den modstaaende Side, hvortil Magnetankeret er fastgjort, kan hæves og sænkes og bærer den nederste Kulføringsstang og en Spærhage, der standser Urværket, naar Parallelogramsiden sænkes. Naar Lampen er strømløs (eller Strømmen kun svag), hæve nogle Spiral-

fjedre (der kunne paavirkes af den til Venstre siddende Skrue) Parallelogramsiden saa meget, at Urværket ikke er bremset, og Overkullet (altid det positive Kul) vil da løbe nedad, indtil det berører Underkullet. Sættes der nu Strøm paa Lampen, vil Magneten tiltrække sit Anker, Urværket vil være bremset, og Underkullet vil sænkes saa meget, at Buen dannes. Efterhaanden som denne bliver længere, bliver Strømmen svagere, og Ankeret løftes lidt bort fra Magneten, hvorved Underkullet hæves lidt, og Buen forkortes. Naar Ankeret løftes endnu højere, fordi Strømmen bliver endnu svagere, udløses Urværket, saa at Overkullet glider nedad, og Buen forkortes; den derved forstærkede Magnetstrøm bevirker, at Ankeret igen trækkes nedad, og Urværket bremses paany. — I denne Lampe er Underkullet faststaaende, men i andre Former af samme Lampetype bevæges baade Over- og Underkullet, saa at Lysbuen bevarer sin Stilling i Rummet uforandret.

b) Lamper med Bremse-Hjul. Jaspar og Crompton have konstrueret en Lampemekanisme, hvor Kullets fremadskridende Bevægelse reguleres ved Hjælp af et til Urværket føjet Bremsehjul. Den Bremse, der standser Hjulet, paavirkes af en lille Elektromagnet, som tillader Hjulet at løbe en lille Smule rundt, naar Buens Modstand vokser udover den normale Grænse.

c) Solenoïde-Lamper. I denne Klasse Lamper er det ene af Kullene fastgjort til en Jernkærne, der kan bevæge sig lodret op og ned i en hul Traadrulle, en »Solenoïde«, gennem hvis Vindinger Strømmen løber, og som derved regulerer Kullenes Stilling og Længden af Buen. Siemens anvender to Solenoïder, der virke differentielt imod hinanden, idet Traadvindingerne i den ene Solenoïde gennemløbes af Hovedstrømmen, medens den anden Solenoïde er indsat som Shunt. Bliver Modstanden i Buen for stor, vil der gaa mere af Strømmen gennem Shunt-Solenoïden, hvorved Kulspidserne bringes tættere til hinanden. Shuntede Kredsløb

til Regulering af Buen ere ogsaa blevne anvendte af Lontin, Brush, Lever og andre.

d) Lamper med Griber. Noget simplere er det at anvende en Griber eller Klo, som tager fat om den øverste Kulholder og løfter den op, medens det nederste Kul er fast. I denne Klasse Lamper bevæges Griberen af en Elektromagnet, gennem hvis Vindinger Strømmen gaar. Gaar Lampen ud, udløser Magnetten Griberen, saa at den slipper Overkullet, og dette vil paa Grund af sin egen Vægt falde ned og berøre Underkullet. I det Øjeblik Strømmen sluttet gennem Elektromagnetten, virker denne paa Griberen, saa at denne tager fat om Kulholderen og løfter den til den passende Højde. Skulde Buen blive for lang, vil Griberen tage mindre haardt fat, og derved bevirkes, at Kulholderen kan glide lidt nedefter. Hart, Brush, Weston og Lever anvende saadanne Lamper.

373. Elektriske Lys. For at undgaa den dyre og komplicerede Lampemekanisme, have Jablochkoff, Wilde og andre konstrueret elektriske Lys. Fig. 122 viser os et Jablochkoffs Lys; det bestaar af to parallele, haarde Kulstænger (c og d), som ere adskilte ved et tyndt Lag af brændt Gibs (i) og ere fastgjorte paa en lodret Opstander. Buen spiller foroven mellem de to Kulspidser. For at begge Kulstængerne skulle blive fortærede lige meget, maa man anvende hurtigt skiftende Strømme, hvad der er ufordelagtigt fra et økonomisk Synspunkt.



Fig. 122.

374. Glødelamper. Volta-Buer med en Lysvirkning, der er mindre end 100 Lys, kunne i Praxis ikke bringes til at brænde roligt, og de ere uøkonomiske. Til Lamper med ringe Lysstyrke er det baade simplere og billigere at anvende en tynd sammenhængende Traad af et eller andet ledende Stof, der ikke smelter, og

at opvarme Traaden til Hvidglødhede ved at sende en Strøm igennem den. Tynde Platintraade ere gentagne Gange blevne foreslaaede, men de kunne ikke anvendes, da man udsætter sig for, at de smelte. Traade af Iridium og tynde Kulstænger ere ogsaa blevne foreslaaede af mange Opfindere. Edison konstruerede i 1878 en Lampe, der bestod af en Platinspiral i Forbindelse med en avtomatisk virkende Nøgle, som lukkede Strømmen udenom Lampen, naar Platintraaden blev for varm. Senere have Swan, Edison, Lane-Fox, Maxim, Crookes og andre ved Konstruktionen af smaa Glødelamper benyttet tynde Kultraade. I disse Lamper er Kultraaden fastgjort til Ledningstraade, der i Almindelighed ere af Platin, og som ere indsmeltede i Halsen af en lille Glasbeholder, der omslutter Kultraaden. Glasbeholderen gøres meget fuldstændig lufttom ved Hjælp af særlige Kviksølv-Luftpumper, hvorefter den tilsmeltes foroven. Kul er bedre anvendeligt end Platin eller noget andet Metal, dels fordi det vanskeligere smelter og har større Modstand, og dels fordi Kul har den mærkelige Ejendommelighed, at dets Modstand er mindre, naar det er varmt, end naar det er koldt. Kul forholder sig i saa Henseende omvendt af Metallerne, og derfor vil Kultraaden vanskeligere blive overhedet. Formen af forskellige Glødelamper er vist i Fig. 123. Swan (1) fremstiller sin Traad af Bomuldstraad, der er behandlet med Svovlsyre, som Pergamentpapir, og derefter forkullet. Kul-Traaden bliver ved denne Behandling mærkværdig elastisk og metalagtig. Edison (2) bruger nu en tynd flad Strimmel af forkullet Bambusrør, medens Maxim (3) anvender præpareret Papir. Lane-Fox (4) og Akester (5) benytte præparerede Plante-trevler, og Crookes (6) benytter en Traad, der er fremstillet af et Dyre- eller Plante-Stof, som er omdannet til Pergament ved Behandling med Klorkobber-Klorammonium.

Modstanden i saadanne Glødelamper veksler efter Traadens Tykkelse og Længde mellem 3 og 200 Ohm. Den Strøm, der er nødvendig, for at Kultraaden skal blive hvidglødende, ligger sædvanlig mellem 1 og 1,3 Ampère. Den elektromotoriske Kraft, der skal til for at frembringe denne Strøm, er afhængig af Lampens Modstand. Er Modstanden i en Lampe saaledes 60 Ohm, naar den er kold, og 40 Ohm, naar den er

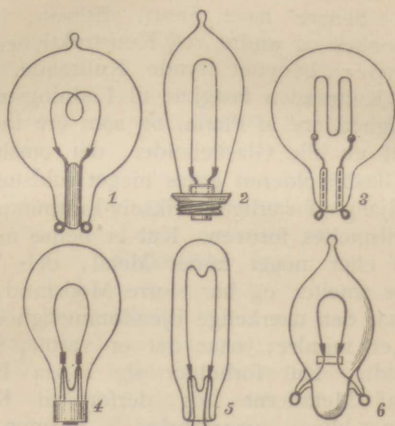


Fig. 123.

varm, maa den elektromotoriske Kraft være omtrent 50 Volt, for at den nødvendige Strøm skal blive frembragt, da $\frac{50}{40}$ er 1,25 (Ampère). Man opnaar den bedste Økonomi ved meget tynde, cylindriske Traade med stor Modstand. Flade Kulstrimler, som have en stor Overflade, og tykke Traade, i hvilke der findes en betydelig Mængde Kulstof, ere ikke formaalstjenlige. Godt forarbejdede Lamper, der ikke blive overanstrengte, kunne benyttes i 1000 til 1200 Timer, inden Traaden brister. I Almindelighed indsættes Glødelamper i

Parallelforbindelse mellem Hovedledningen og Tilbageledningen, saa at hver Lampe er uafhængig af de andre, dersom Elektricitetskildens elektromotoriske Kraft er konstant. Lysstyrken, der frembringes, er afhængig af Lampens Størrelse og ligger imellem 2 og 50 Lys. Det synes at være vanskeligt at fremstille holdbare Traade til Glødelamper med større Lysstyrke.

XXXIII. Elektromotorer (Elektromagnetiske Maskiner).

375. Elektromotorer. Elektromagnetiske Maskiner eller Elektromotorer kaldes de Maskiner, i hvilke Bevægkraften frembringes af elektriske Strømme ved Hjælp af Elektromagneter. Faraday konstruerede i 1821 en simpel Maskine, i hvilken han frembragte en Omdrejning ved Vekselvirkning mellem en Magnet og en elektrisk Strøm; i 1831 konstruerede Henry og i 1833 Ritchie elektromagnetiske Maskiner, i hvilke Omdrejningen blev frembragt ved elektromagnetiske Midler. Fig. 124 viser en noget afændret Form af Ritchies Elektromotor.

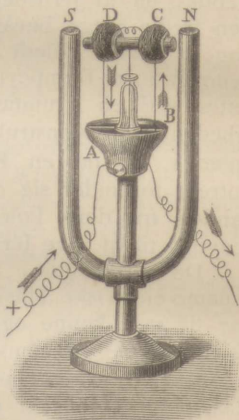


Fig. 124.

En Elektromagnet, D C, kan dreje sig om en lodret Akse mellem Polerne af en fast Magnet (eller Elektromagnet) S N. Strømmen fra et elektrisk Batteri ledes til to Skaale, A og B, der ere fyldte med Kviksølv, og hvori den bevægelige Elektromagnets Traadender stikkes ned. Naar Strømmen løber gennem dennes Traadvindinger, vil den indstille sig i Linien mellem Polerne N S, men idet den svinger rundt, skifte Traadene, som stikke ned i Kviksølvskaalene, fra den ene til den

anden Skaal, saa at Strømmen skifter Retning i D C, naar C passerer S, og C vil nu blive frastødt af S og tiltrukket af N; paa denne Maade vil Strømretningen skifte for hver halve Omdrejning af Elektromagneten. I større Elektromotorer ere Kviksølvskaalene erstattede af en Strømveksler (Kommulator), der bestaar af en i to eller flere Stykker delt Metalring, som paa to lige over for hinanden liggende Steder berøres af et Par Metalfjedre eller »Kontakt-Koste«.

I en anden Form af en Elektromotor, konstrueret af Froment, ere Jernstænger fastgjorte til Omkredsen af en omdrejende Cylinder og tiltrækkes af en Elektromagnet, i hvilken Strømmen brydes avtomatisk i det Øjeblik, en af Jernstængerne er lige ved dens Poler. I en tredje Slags bevæger en Elektromagnets Tiltrækning et Stykke blødt Jern skiftevis op og ned som Stemplet i en Dampcylinder, og denne Bevægelse omsættes ved en Krumtap til en Omdrejning. Vanskeligheden ved Konstruktionen af en saadan Maskine ligger i, at da en Elektromagnets Tiltrækningskraft omtrent forholder sig omvendt som Kvadratet paa Afstanden fra dens Poler, kan Tiltrækningskraften kun benyttes til at give Jerndelene meget smaa Bevægelser.

De af Gramme, Siemens og andre konstruerede dynamo-elektriske Maskiner, der ere beskrevne i Pkt. 407 til 411, kunne ogsaa arbejde som Elektromotorer, og de ere de virksomste elektromagnetiske Maskiner.

I 1839 drev Jacobi med en elektromagnetisk Maskine paa omtrent 1 Hestekraft en Baad frem paa Nevaen med en Fart af omtrent $2\frac{1}{4}$ Kvartmil i Timen. Elektricitetskilden var 64 store Groves Elementer.

I 1882 har en Baad, der kunde rumme 12 Personer, og som blev dreven af to Siemens's Dynamoer paa omtrent 3 H.-K., opnaaet en Fart paa Themsen af 8 Kvartmil i Timen. Elektricitetskilden var 45 Akkumulatorer af Sellon-Volckmar Typen.

Elektriske Jernbaner, paa hvilke Vognene drives frem ved Hjælp af dynamo-elektriske Strømfrembringere, der

ere fast opstillede paa bestemte Steder, og som staa i Forbindelse med den elektro-magnetiske Maskine i Vognene, enten gennem Skinnerne eller gennem en særlig Leder, ere konstruerede af Siemens i Berlin og af Edison i Menlo Park.

376. Elektrisk Kraftoverførelse. Den forøgede Benyttelse af dynamo-elektriske Maskiner til elektrisk Belysning har bevirket, at man paany har søgt at løse Spørgsmaalet om Overførelse af Kraft fra et fjerntliggende Sted ved Hjælp af elektriske Midler, for saaledes at udnytte Vandkraft i stort Omfang. Et Vandfald kan drive et Vandhjul eller en Turbine, der atter driver en dynamo-elektrisk Maskine, og den elektriske Strøm, som derved frembringes, kan gennem Ledninger føres til en Elektromotor, der er opstillet langt borte fra Vandfaldet, og dettes Kraft omsættes her igen til mekanisk Kraft. Om en saadan Overførelse er fordelagtig eller ikke, afhænger af de anvendte Maskiners Nyttevirkning.

377. Teorien om Elektromotorers Nyttevirkning. Indsættes et Galvanometer i et Kredsløb sammen med et Batteri og en Elektromotor, vil man se, at Strømmen er svagere, naar Elektromotoren arbejder end naar den staar stille, og at Batteristrømmen bliver desto svagere, jo hurtigere Elektromotoren løber. Dette skyldes den elektromagnetiske Induktion (Pkt. 391) mellem de bevægelige og de faste Dele af Elektromotoren, som, idet den løber rundt, frembringer en Modstrøm. Den elektromotoriske Kraft, der skyldes denne inducerende Virkning, forøges med Elektromotorens Hastighed, saa at Modstrømmen er stærkest, naar Elektromotoren løber hurtigst. Dersom Elektromotoren belastes saaledes, at den udfører sit Arbejde ved at bevæge sig langsomt mod en betydelig Modstand, vil Modstrømmen blive svag, og kun en ringe Del af Strømmens Energi vil blive omsat til nyttigt Arbejde. Løber den derimod meget hurtigt, saa at der skabes en betydelig Modstrøm, vil den udnytte en større Del af den direkte

Strøms Energi, men for at løbe hurtigt nok til at gøre dette, maa den kun belastes meget svagt. Jacobi beregnede, at den praktiske Nyttevirkning laa imellem disse to Grænser, og at en Elektromotor med størst Udbytte vil omsætte et Batteris Energi til Arbejde, naar den udfører sit Arbejde ved en saadan Hastighed, at Batteristrømmen derved reduceres til det halve af sin Styrke. Dette er i Virkeligheden rigtigt, naar man ønsker, at Arbejdshastigheden skal være saa stor som mulig. Men naar man vil tage Hensyn til Arbejdets økonomiske Udførelse, og naar det ikke er nødvendigt, at det udføres saa hurtigt som muligt, eller at Materialeforbruget i Batteriet er stort, vil man kunne opnaa en større Nyttevirkning ved at lade Elektromotoren udføre et lettere Arbejde og løbe med større Hastighed. Er Batteriets elektromotoriske Kraft E Volt, og Motorens modsatvirkende elektromotoriske Kraft e Volt, er Motorens Nyttevirkning (det vil sige, Forholdet mellem det Arbejde, Strømmen afgiver, og Strømmens samlede Energi), lig $\frac{e}{E}$. Faar nu Motoren Lov til at løbe

hurtigere, vil e forøges i samme Forhold som Hastigheden, og løber den meget hurtigt, kan e meget nær blive lig E ; det vil sige, Motoren vil omtrent udnytte hele Strømmens Energi. Men da Strømmen efter Ohms

Lov er lig $\frac{E - e}{R}$, følger deraf, at naar e næsten er

lig E , vil Strømmen blive formindsket til en lille Brøkdel af sin oprindelige Styrke. Materialerne i Batteriet ville blive fortærede langsommere, og det vil tage længere Tid at udføre hele Arbejdet; men den Brøkdel af Strømmens Energi, der omsættes til Arbejde, vil være større. En god, moderne dynamo-elektrisk Maskine (se Pkt. 408), kan opnaa en Nyttevirkning af over 90 %, naar den benyttes som Motor.

378. 1) Arbejdsbekostning. Bekostningen ved at drive Elektromotorer med Batterier er stor. Et

Pund Zink indeholder kun c. $\frac{1}{6}$ saa megen potentiel Energi som et Pund Kul, og det koster mere end tyve Gange saa meget; Forholdet mellem Bekostningen af lige store Energimængder er derfor som 120 til 1. Men en elektromagnetisk Maskine vil, som ovenfor omtalt, omsætte 85 % af den elektriske Energi til Arbejde, medens selv gode Dampmaskiner kun omsætte omtrent 10 til 20 % af deres Brændsels Energi til Arbejde, og smaa Dampmaskiner ere endnu mere uøkonomiske. Regne vi imidlertid, at en elektromagnetisk Maskine har 5 Gange saa stor Nyttevirkning som en Dampmaskine af samme Styrke, saa koster dog den nødvendige Zinkmængde 24 Gange saa meget som den tilsvarende Mængde Kul. I denne Beregning er der ikke taget Hensyn til Bekostningen af Syren i Batterierne. Hvor stærke Strømme skulle anvendes, er man derfor gaaet bort fra Benyttelsen af Batterier, og bruger nu dynamo-elektriske Maskiner, der drives ved Damp- eller Vandkraft eller af Gasmaskiner.

Ved en Kraftoverførelse som den, der er omtalt i Punkt 376, kan Bekostningen blive meget ringe, naar Vandkraften er billig. Dynamo-Maskinen kan omsætte 90 % af den mekaniske Kraft til elektrisk Strøm-Energi, og Elektromotoren kan omsætte 85 % af Strøm-Energien (eller 76 % af den oprindelige Kraft) til Arbejde.

378. 2) Beregning af elektrisk Arbejdskraft. Det mekaniske Arbejde, en elektrisk Strøm kan udrette, kan beregnes paa følgende Maade: En Strøm, hvis Styrke er C , sender i t Sekunder en Elektricitetsmængde $= Ct$ gennem Kredsløbet. Men det Arbejde, W , der udføres af en Strøm, er, udtrykt i Erg, lig Produktet af Elektricitetsmængden og Potentialforskellen E mellem Endepunkterne af den arbejdende Strøm (Pkt. 367), forudsat at der maales i »absolute« C. G. S.-Enheder. Man har altsaa

$$CtE = W.$$

Naar nu et Arbejde paa W Erg udføres i t Sekunder, faas Arbejdshastigheden ved at dividere W med t , $\therefore$:

$$CE = \frac{W}{t}.$$

Ere C og E udtrykte i Ampère og Volt, og vil man have Arbejdshastigheden udtrykt i »Hestekraft«, maa man huske paa, at 1 Ampère = 10^{-1} C. G. S.-Strømmeheder, at 1 Volt = 10^8 C. G. S.-Enheder for elektromotorisk Kraft, og at 1 Hestekraft (efter Watts Definition) er 550 engelske Fodpund pr. Sekund, hvad der bliver = 76 Kilogrammeter pr. Sekund eller $76 \cdot 10^5$ Gramcentimeter pr. Sekund = $746 \cdot 10^7$ Erg pr. Sekund, og derfor er

$$\frac{C \text{ Ampère} \cdot E \text{ Volt}}{746} = \text{Arbejdshastigheden i H.-K.}$$

Find f. Eks. det Arbejde, der forbruges pr. Tidsenhed i en elektrisk Lampe: Man maaler da hele Strømmen i Ampère og Potentialforskellen mellem Lampens Klemskruer i Volt, multiplicerer de to Tal med hinanden og dividerer det Udkomne med 746 ; Kvotienten vil da være den Hestekraft, der bruges i Lampen. Reglen kan ogsaa skrives saaledes:

$$H.-K. = CE \cdot 0,00134.$$

En bekvem »elektrisk Kraftmaaler« kan fremstilles af et Elektro-Dynamometer (Pkt. 336), idet hele Strømmen ledes gennem den faste Rulle med den tykke Traad, medens den bevægelige Rulle med de mange Vindinger af tynd Traad indsættes som Shunt paa Lampen eller Dynamoen, hvis Kraftforbrug man ønsker at maale.

Preece og Siemens have foreslaaet at kalde Enheden for elektrisk Arbejdshastighed ($\therefore$ en Ampère, der arbejder med et Potentialfald af en Volt) en Watt. En Hestekraft er lig 746 Watt.

OTTENDE KAPITEL.

TERMO-ELEKTRICITET.

XXXIV. Termo-elektriske Strømme.

379. I 1822 opdagede Seebeck, at man kan frembringe en Strøm i et sluttet Kredsløb ved at opvarme Berøringsstedet mellem to uensartede Metaller. Lodder man saaledes et Stykke Vismuth og et Stykke Antimon sammen, og forbinder de frie Ender med et korttraadet Galvanometer, viser det sig, at naar Lodningsstedet opvarmes til en Temperatur, der er højere end Temperaturen i den øvrige Del af Kredsløbet, frembringes der en Strøm, hvis Retning paa det opvarmede Sted gaar fra Vismuth til Antimon, og hvis Styrke er proportional med Temperaturforøgelsen i Lodningsstedet. Afkøles dette til en Temperatur, der er lavere end den øvrige Del af Kredsløbets, frembringes der en Strøm i modsat Retning. Den elektromotoriske Kraft, der er frembragt paa denne Maade, vil vedligeholde en konstant Strøm, saa længe den højere Temperatur i Lodningsstedet holdes vedlige, idet der hele Tiden absorberes Varme for at vedligeholde Strømmens Energi. Saadanne Strømme kaldes **Termo-elektriske Strømme**, og den elektromotoriske Kraft, der frembringer dem, kaldes termo-elektromotorisk Kraft.

380. **Peltiers Virkning.** I 1834 opdagede Peltier et Fænomen, som er det modsatte af det, Seebeck opdagede. Han fandt nemlig, at naar en elektrisk Strøm fra et Batteri gaar igennem Forbindelsesstedet mellem to forskellige Metaller, bliver Forbindelsesstedet enten opvarmet eller afkølet, eftersom Strømmen gaar i den ene eller den anden Retning. Gaar saaledes en

Strøm gennem et Vismuth-Antimon-Par i Retningen fra Vismuth til Antimon, absorberer den Varme ved at gaa gennem disse Metaller's Forbindelsessted, hvorved det afkøles; derimod vil Strømmen ved at gaa fra Antimon til Vismuth udvikle Varme i Berøringsstedet, hvorved Temperaturen i dette forøges.

Dette Fænomen, at en Strøm opvarmer (eller afkøler) Forbindelsesstedet mellem to forskellige Metaller ved at gaa igennem det (og som kaldes »Peltiers Virkning«, for at skelne det fra den af et Kredsløb paa Grund af dets Modstand mod Strømmen frembragte almindelige Opvarmning, der undertiden kaldes »Joules Virkning«) er fuldstændig forskellig fra den Varmefrembringelse, der opstaar i en Leder med stor Modstand, thi a) »Peltiers Virkning« kan vendes om, idet Strømmen opvarmer eller afkøler Forbindelsesstedet efter den Retning, den gaar i, hvorimod en Strøm, der møder Modstand i en tynd Traad, opvarmer Traaden uden Hensyn til Strømretningen; og b) den Mængde Varme, der udvikles eller absorberes ved »Peltiers Virkning« er ligefrem proportional med Strømstyrken og ikke med Kvadratet paa Strømstyrken, som den Varme er, der fremkommer paa Grund af Modstanden.

Den fuldstændige Lov for Varmeudviklingen i et Kredsløb maa derfor nødvendigvis tage Hensyn til den »Peltiers Virkning«, som kan fremkomme i Kredsløbet, hvor forskellige Metaller støde sammen. Betegner P Potentialforskellen, der skyldes Opvarmningen i Berøringspunktet, udtrykt som en Brøkdel af en Volt, er den fuldstændige Lov for Varmeudviklingen

$$H = 0,24 \cdot (C^2 R t \pm P C t),$$

som Læseren bør sammenligne med Joules Lov i Pkt. 367. Størrelsen P kaldes ogsaa Koefficienten for »Peltiers Virkning«. Den har forskellige Værdier for forskellige Metalpar, og er numerisk lig det Antal af Arbejdsenheder (Erg), som er det mekaniske Ækvivalent for den Varme, der udvikles i et Forbindelsessted mellem de paagældende Metaller, naar en Strøm paa en Ampère gaar derigennem.

381. Termo-elektriske Love. Et Kredsløbs termo-elektriske Egenskaber forstaas bedst, naar man betragter Fig. 125, der forestiller et Stykke Vismuth og et Stykke Antimon, som ere loddede sammen, saa at

de danne et sluttet Kredsløb. Strømmens Tilstedeværelse og Retning angives ved Udslaget af en Magnetnaal, der er anbragt inden i Bøjlen.

Voltas Lov (Pkt. 72) om den Potentialforskell, der skyldes Berøring, lærer os, at naar Alt har samme Temperatur, er Potentialforskellen mellem Vismuth og Antimon i den ene Retning lig Forskellen mellem Antimon og Vismuth i den anden Retning, og at der som en Følge heraf vil være Ligevægt mellem de modsatte og lige store elektromotoriske Kræfter; det samme vilde fremdeles være Tilfældet, dersom den lukkede Ring var dannet af tre Metaller. Naar

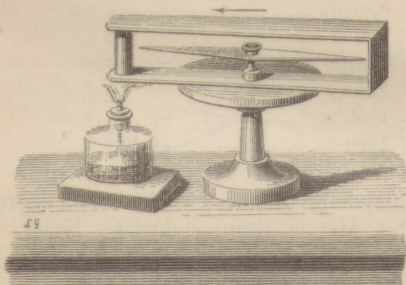


Fig. 125.

imidlertid et af Forbindelsesstederne opvarmes, er denne Ligevægt ikke længere til Stede, og Voltas Lov ophører at være rigtig. Den nye elektromotoriske Kraft, der frembringes ved den opvarmede Forbindelse, viser sig at følge nedenstaaende Love:

I) Den termo-elektromotoriske Kraft er for samme Par Metaller proportional (selv ved betydelige Temperaturforandringer) med Forskellen mellem Temperaturen i Lodningsstedet og i det øvrige Kredsløb.

II) Den samlede termo-elektromotoriske Kraft i et Kredsløb er lig Summen af alle de

enkelte termo-elektromotoriske Kræfter paa de forskellige Lodningssteder.

Det følger af denne Lov, at de forskellige Metaller kunne opstilles i en Række, som Seebeck gjorde det, efter deres termo-elektriske Kraft, saa at ethvert Metal i Rækken bliver termo-elektrisk positivt (som Vismuth i Forhold til Antimon) i Forhold til et Metal, der staar længere nede i Rækken. Nedenfor er der anført en saadan termo-elektrisk Række af Metaller, i Forbindelse med den Potentialforskel (i Mikrovolt), som de faa ved en Temperaturforskel paa 1°C. , idet Bly er taget til Sammenligning som Nul-Metal.

+ Vismuth	89 til 97
Nysølv	11,75
Bly	0
Platin	÷ 0,9
Zink	÷ 3,7
Kobber	÷ 3,8
Jern	÷ 17,5
- Antimon	÷ 22,6 til ÷ 26,4

En ubetydelig Smule Urenhed kan gøre en stor Forskel i et Metals termo-elektriske Kraft, og nogle Legeringer og Svovlmetaller, som Svovlbly, have en overordentlig stor termo-elektrisk Kraft.

De elektromotoriske Kræfter, der skyldes Opvarmningen af et enkelt Par Metaller, ere i Virkeligheden meget smaa. Stiger Temperaturen i Forbindelsesstedet mellem Jern og Kobber 1° over den øvrige Del af Kredsløbets Temperatur, bliver den elektromotoriske Kraft kun 13,7 Milliontedele Volt (3: 13,7 Mikrovolt).

Den elektromotoriske Kraft af det virksommere Vismuth-Antimon-Par er for 1°C. omtrent 117 Mikrovolt.

382. Omvendt termo-elektromotorisk Kraft.

Cumming opdagede, at ved Jern og andre Metaller skifter den termo-elektromotoriske Kraft Retning ved en høj Temperatur. Ved et Kobber-Jern-Par ligger det nevtrale Punkt ved en Temperatur af 280° ; under

denne Temperatur gaar Strømmen gennem det varme Forbindelsessted fra Kobber til Jern; men naar Metallerne opvarmes over denne Temperatur, er Jernet termo-elektrisk positivt i Forhold til Kobber.

383. Termo-elektrisk Diagram. Termo-Elektriciteten forstaas bedst ved Hjælp af Tegningen Fig. 126, der er udtænkt af Sir Wm. Thomson og konstrueret af Professor Tait. De vandrette Inddelinger angive Temperaturerne, de lodrette Afstande Poten-

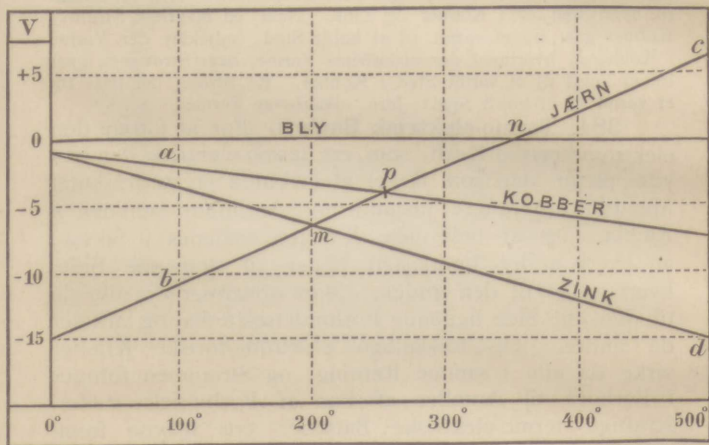


Fig. 126.

tialdifferenser, dividerede med de absolute Temperaturer efter en Skala af en Milliontedel Volt pr. Grad. Disse Differenser ere maalte i Forhold til Bly, der er valgt som Udgangspunkt (Nul-Metal) ved alle Temperaturer, fordi det viser sig, at medens andre Metaller vise en Potentialforskel mellem det varme Metal og det samme Metal i kold Tilstand, kan der ikke spores nogen kendelig Potentialforskel, naar varmt Bly bringes i Berøring med koldt Bly.

Et Eksempel vil illustrere Nytten af Diagrammet. Dannes et Kredsløb ved at forbinde begge Ender af et Stykke Jern med Enderne af et Stykke Kobber, og holdes de to Forbindelsessteder henholdsvis paa 0° og 100° ved Hjælp af smeltet Is og kogende Vand, saa er den hele elektromotoriske Kraft i Kredsløbet repræsenteret ved Arealet a, o, — 15, b. Den skraa Retning af Linierne for de forskellige Metaller viser den Egenskab, vi have hentydet til ovenfor, at der opstaar en elektromotorisk Kraft imellem forskelligt opvarmede Dele af det samme Metal, ledsaget af en Absorbering eller Udvikling af Varme, naar Strømmen gaar fra en varmere til en koldere Del af det samme Metal. Denne Virkning, der gaar under Navn af »Thomsons Virkning«, fordi Sir Wm. Thomson har opdaget den, er modsat i Jern, i Forhold til hvad den er i Kobber og Zink. Naar en elektrisk Strøm i Kobber gaar fra et varmt til et koldt Sted, udvikles der Varme i Kobberet, hvorimod der absorberes Varme, naar Strømmen gaar fra et koldt til et varmt Sted i Kobber. En Strøm, der gaar fra et varmt til et koldt Sted i Jern, absorberer Varme.

384. Termo-elektrisk Batteri. For at forøge den elektromotoriske Kraft, som eet termo-elektrisk Par kan yde, plejer man som Regel at forbinde et større Antal Metal-Par (hyppigst Vismuth og Antimon) sammen i Række, og at bøje hele Rækken saaledes i Siksak, at hvert andet Loddested ligger til den ene Side, hvert andet til den anden. Man opvarmer da alle de til den ene Side liggende Forbindelsessteder og afkøler de andre. De forskellige elektromotoriske Kræfter virke da alle i samme Retning, og Strømmen forøges i Forhold til Antallet af Par af Forbindelsessteder. Kraftige termo-elektriske Batterier ere blevne fremstillede af Clamond, saaledes et Jern-Blyglands-Batteri paa 120 Par, der frembragte en kraftig Strøm; men det er overordentlig vanskeligt at holde dem i Virksomhed i længere Tid, da de efter fortsat Brug blive svage, hvortil Grunden sandsynligvis maa søges i en permanent, molekylær Forandring i Forbindelsesstederne. Melloni fremstillede af et termo-elektrisk Batteri eller **Termosøjle**, der var dannet af en Mængde smaa, tæt sammenpakkede Vismuth- og Antimonstænger, et udmærket elektrisk Termometer, ved at sætte Søjlen i Forbindelse med et astatisk Galvanometer med kort

Traad som det, der er vist i Fig. 76. Til at kunne opdage overordentlig smaa Temperaturdifferenser er Termosøjlen et uvurderligt Instrument. Strømstyrken er proportional med Temperaturdifferensen mellem det

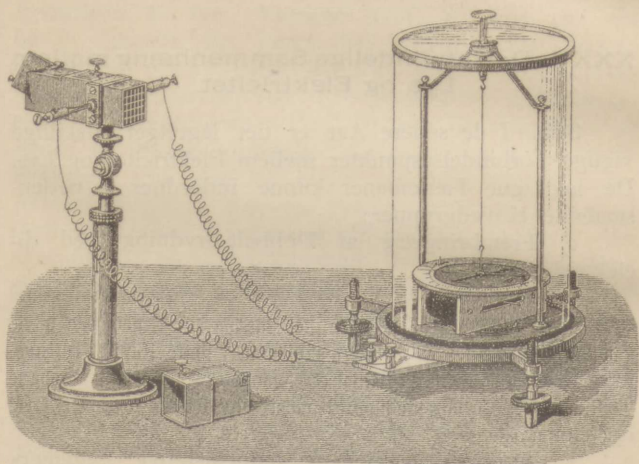


Fig. 127.

varmere Sæt Forbindelsessteder paa den ene Side af Termosøjlen og det koldere Sæt paa den anden Side af den. Opstillingen af Termosøjle og Galvanometer til dette Brug er vist i Fig. 127.

NIENDE KAPITEL.

ELEKTRO-OPTIK.

XXXV. Den almindelige Sammenhæng mellem Lys og Elektricitet.

385. I de senere Aar er der iagttaget adskillige vigtige Forbindelsespunkter mellem Elektricitet og Lys. De iagttagne Fænomener kunne indordnes i nedenstaaende Hovedgrupper:

1) Frembringelse af Dobbelt-Brydning ved elektrisk Tryk.

2) Drejning af en Lysstraales Polarisationsplan ved Gennemgang gennem et gennemsigtigt Medium, der er anbragt i et magnetisk Felt, eller ved Tilbagekastning fra Overfladen af en Magnet.

3) Forandring af den elektriske Modstand i Selen og andre Metaller, naar de udsættes for Lys.

4) Forbindelse mellem gennemsigtige Legemers Brydningskoefficient og specifik Fordelingsevne.

Fru Somerville, Zantedeschi og andre have meddelt, at Staalnaale kunne blive magnetiserede ved at Dele af dem blive udsatte for Lysets violette og ultra-violette Straaler; men Iagttagelserne ere fejlagtige.

386. Elektrostatisk optisk Spænding. I 1875 opdagede Dr. Kerr fra Glasgow, at naar Glas underkastes en kraftig elektrostatisk Spændkraft, frembringes der i det en virkelig Spænding, som kan iagttages ved Hjælp af en polariseret Lysstraale. Ved det oprindelige Forsøg bleve to Traade fastgjorte i borede Huller i en Glasplade, saaledes at de ikke fuldstændig berørte hinanden, og de Ladninger, der opsamledes paa Traadene, naar de bleve forbundne med en Induktionsrulle eller en Holtz's Maskine, udsatte det mellem-

liggende dielektriske Stof for en elektrostatiske Spænding. Glaspladen viser Dobbeltbrydning, naar den anbringes mellem to Nicolske Prismer, hvoraf det ene tjener til at plansætte (polarisere) Lyset, medens man iagttager den plansatte Lysstraale gennem det andet. Glasset virkede, som om det havde været Genstand for et Træk langs Retningen af den elektriske Kraf, $\propto$; som om det havde udvidet sig langs den elektrostatiske Induktionslinie. Senere fandt han, at man kunde paavise lignende Fænomener med Svovlkulstof og andre isole-rende Vædske, men at blandt disse de fede Olier af dyrisk og Plante-Oprindelse vise en Virkning i negativ Retning, som om de bleve sammentrykkede langs Induktionslinien. Man har fundet, at Størrelsen af den optiske Virkning (Forskellen mellem den almindeligt og ejendommeligt brudte Straales Forsinkelse) pr. Enhed af Tykkelse af det dielektriske Stof er proportional med Kvadratet paa den resulterende elektriske Kraft. Dobbelt-Brydningens Akse er langs den elektriske Kraftlinie. Quincke har paavist, at disse Fænomener kunne forklares ved Tilstedeværelsen af de elektrostatiske Udvidelser og Sammentrækninger, der ere omtalte i Pkt. 273.

387. Magneto-optisk Drejning af en Lysstraales Polarisations-Plan. En Lysstraale siges at være plansat eller polariseret, naar dens Svingninger foregaa i een Plan. Almindeligt Lys kan blive polariseret ved at gaa igennem dertil indrettede polariserende Apparater (som et Nicolsk Prisme, en tynd Skive af en Turmalin-Krystal o. s. v.). I 1845 opdagede Faraday, at en Straale, der er polariseret i en Plan, kan drejes ved Paavirkning af en Magnet, saa at Svingningerne udføres i en anden Plan. Den Plan, i hvilken en Straale er plansat, kan findes ved at iagttage Straalen gennem et andet Nicolsk Prisme (eller en Turmalin); thi enhver saadan Polarisorator er uigennemsigtig for Straaler, der ere plansatte i en Plan, vinkelret paa den Plan, i hvilken den selv vilde plansætte Lyset. Faraday lod

en plansat Straale gaa igennem en Slags »tungt Glas« (hovedsagelig bestaaende af borsurt Blylte), der laa i et kraftigt magnetisk Felt, mellem Polerne af en stor Elektromagnet, gennem hvis Vindinger der kunde sendes en Strøm af vilkaarlig Styrke. Den gennemgaaende Straale gik igennem et andet Nicolsk Prisme, »det analyserende Prisme«, som blev drejet rundt, indtil alt Lyset blev lukket ude. I denne Stilling var dets egen Polarisationsplan vinkelret paa Straalens Polarisationsplan. Naar man derefter sluttede Kredsløbet, saa man pludselig Lys gennem det analyserende Nicolske Prisme, hvilket altsaa viste, at Lyset var blevet drejet rundt i en ny Stilling, i hvilken dets Polarisationsplan ikke længere var vinkelret paa Prismets Polarisationsplan. Men blev det analyserende Nicolske Prisme drejet rundt, kunde man finde en ny Stilling (vinkelret paa Straalens Polarisationsplan), i hvilken Lyset igen blev borte. Retningen af den magneto-optiske Drejning af Polarisationsplanen er den samme (for diamagnetiske Stoffer) som den, i hvilken Strømmen gaar, der frembringer Magnetismen. Verdet, som gentog Faradays Forsøg, benyttede kraftige Elektromagneter af den Form, som er vist i Fig. 110, og opdagede den vigtige Lov, at med et givet Materiale, er Drejningens Størrelse proportional med Styrken af den magnetiske Kraft H . Gaa Straalerne ikke ganske parallelt med Kraftliniernes Retning (som er den Retning, i hvilken man faar den største Virkning), er Størrelsen af Drejningen proportional med Cosinus af Vinklen, β , mellem Straalens og Kraftliniernes Retning. Den er ogsaa proportional med Længden, l , af Materialet, gennem hvilket Straalerne gaa. Disse Love ere sammenfattede i Ligningen for Drejningen Θ :

$$\Theta = w. H. \cos \beta. l,$$

hvor w er en Koefficient, som angiver det givne Stofs specifikke magnetiske Drejningskraft, og som kaldes

»Verdets Konstant«. Da $H \cdot \cos \beta$ er den magnetiske Krafts Komposant i Straalens Retning, og $H \cdot \cos \beta \cdot l$ er den magnetiske Potentialforskel*) mellem Punktet A, hvor Straalen træder ind og Punktet B, hvor den forlader Mediet, findes w , Koefficienten for den specifikke magnetiske Drejningskraft, ved at dividere den iagttagne Drejningsvinkel med den magnetiske Potentialforskel mellem de Punkter, hvor Straalen træder ind og forlader Mediet; eller:

$$w = \frac{\theta}{V_B - V_A}.$$

Forskellige Stoffer have forskellig magnetisk Drejnings-Kraft. For diamagnetiske Stoffer er Koefficienten sædvanligvis positiv; men den har for mange magnetiske Stoffer, som f. Eks. Opløsninger af Jern-Tveklor, en negativ Værdi (o: ved disse Stoffer foregaar Drejningen i modsat Retning af Magnetiserings-Strømmens Retning). Det af Hall opdagede Fænomen (Pkt. 337) synes at være nøje knyttet til det magneto-optiske Drejnings-Fænomen.

	Koefficienten for specifik magnetisk Drejning. (Verdets Konstant i C. G. S.)	Magnetisk Drejningskraft
Svovlkulstof	$1,5235 \cdot 10^{-5}$	1,000
Vand	$0,4693 \cdot 10^{-5}$	0,308
»Tungt Glas«	$2,665 \cdot 10^{-5}$	1,422

Det er bekvemt for Sammenlignings Skyld, at tage Svovlkulstoffets Drejningskraft som Enhed. Omhyggelige Maalinger, der ere udførte af J. E. H. Gordon, have vist, at Svovlkulstoffets Drejningskraft, der er valgt som Enhed, skal multipliceres med $1,5235 \cdot 10^{-5}$ for

*) Thi Kraft $\cdot$ Længde = Arbejde, og det Arbejde, der udføres ved at bevæge en Magnetpol med Enhed af Styrke fra A til B imod den magnetiske Kraft, er Maal for den magnetiske Potentialforskel. Se Pkt. 310 (e).

at omsættes i C. G. S.-Maal, thi han fandt, at det er den Vinkel, maalt i Buemaal, som en polariseret Straale af grønt Lys (af en Thallium-Flamme) vil blive drejet, naar der er Enhed af Potentialforskell mellem Straalens Indtrædnings- og Udrædningssted. For Straaler af forskellige Farver er Drejningen ikke ens, men varierer (meget nær) proportionalt med Kvadratet paa Bølgelængden. Drejningen i Svovlkulstof af rødt, grønt og blaat Lys (Straalerne »C«, »E« og »G«) forholde sig som 0,60, 1,00 og 1,65.

H. Becquerel, som har opstillet denne Lov, fandt ogsaa, at Drejningen for Stoffer af samme Natur afhænger af Brydnings-Koefficienten, men paa en temmelig indviklet Maade, idet den er proportional med $\mu^2 (\mu^2 - 1)$, hvor μ er Brydnings-Koefficienten.

Luftarter dreje ogsaa Lysets Polarisationsplan ulige meget i et magnetisk Felt. Kulbrinter og Kulsyre ere kraftigere end atmosfærisk Luft og Brint; Ilt og Ozon ere negative. Drejningen er i alle Tilfælde meget ubetydelig og staar for enhver Luftart i Forhold til Tætheden — det vil sige til Mængden af den Luft, Lysstraalen har gennemløbet. H. Becquerel har fornylig vist, at Himlens naturlige Polarisationsplan ikke falder sammen med Solens men under Indflydelse af Jordens Magnetisme drejes en Vinkel, der imidlertid kun naar en Maksimums-Værdi af 59 Bueminutter i den magnetiske Meridian.

388. Jernets foto-magnetiske Egenskaber. Dr. Kerr viste i 1877, at en polariseret Lysstraale ogsaa drejes, naar den tilbagekastes fra Overfladen af en Magnet eller en Elektromagnet. Naar Lyset tilbagekastes fra en Pol, drejes Polarisationsplanen i en Retning, der er modsat den, i hvilken den magnetiserende Strøm løber. Kastes Lyset tilbage fra et Punkt paa Siden af Magneten, viser det sig, at naar Polarisationsplanen er parallel med Indfaldsplanen, foregaar Drejningen i samme Retning som den magnetiserende Strøms Retning; men naar Polarisationsplanen er vinkelret paa Indfaldsplanen, foregaar der kun en Drejning i samme Retning som den magnetiserende Strøms Retning, naar Indfaldsvinklen er over 75° .

Kundt viste i 1884, at et tyndt Lag metallisk Jern, der er saa tyndt, at det er gennemsigtigt, og som er anbragt tværs paa

Kraftlinierne i et magnetisk Felt, drejer Polarisationsplanen af det gennemgaaende Lys stærkt i den Retning, i hvilken den magnetiserende Strøm løber.

389. Selens foto-elektriske Egenskaber. I 1875 opdagede Willoughby Smith, at Selen besidder den ejendommelige Egenskab, at dets elektriske Modstand forandres under Lysets Paavirkning. Almindeligt, smeltet eller glasagtigt Selen er en meget daarlig Leder; dets Modstand er omtrent fyrretyve Tusinde Millioner ($3,8 \cdot 10^{10}$) Gange saa stor som Kobberets. Naar det afkøles meget langsomt ved at holdes i nogle Timer paa en Temperatur af omtrent 220°C ., der ligger lige under dets Smeltepunkt, og derefter langsomt afkøles, bliver det krystallinsk, og dets elektriske Modstand formindskes betydeligt. Det er navnlig i denne Tilstand, at det er følsomt for Lys. Prof. W. G. Adams fandt, at de grønlig-gule Straaler vare de virksomste. Han paaviste ogsaa, at Forandringen af den elektriske Modstand forholder sig ligefrem som Kvadratroden af Belysningen, og at Modstanden er mindre ved en stor end ved en lille elektromotorisk Kraft. Prof. Graham Bell og Sumner Tainter have fornylig konstrueret »Selen-Elementer«, i hvilke Selenet er formet til smalle Strimler imellem Kanterne af brede, ledende Messingplader, hvorved man baade opnaar en Formindskelse af Modstanden og en stor Overflade for Lysets Paavirkning. Et saadant Element, hvis Modstand i Mørke var 300 Ohm, fik ved at udsættes for Sollys en Modstand paa kun 150 Ohm. Denne Selenets Egenskab have senere Eksperimentatorer anvendt ved Konstruktionen af **Fotofonen**, et Apparat, som overfører Lyden paa lange Afstande ved Hjælp af en Lysstraale, der tilbagekastes til et fjerntliggende Sted fra et tyndt Spejl, som bliver sat i Svingninger af Stemmen. Den tilbagekastede Straale rammer som Følge heraf med vekslende Intensitet en Modtager af Selen, der er indsat i Kredsløb med et lille Batteri og en Bell-Telefon (Pkt. 435), i hvilken Lydene gengives ved Strømmens Vekslen.

Lignende Egenskaber, men ikke i saa høj en Grad, er Tellur i Besiddelse af. Kul er ogsaa følsomt for Lys.

Omtrent i Midten af dette Aarhundrede paaviste Becquerel, at naar to Sølvplader, der ere dækkede med frisk udfældet Klor sølv, anbringes i et Glas med Vand og forbindes med et Galvanometer, vil der frembringes en Strøm, naar Lyset falder paa en af de to Plader, og den paavirkede Plade bliver en negativ Pol.

390. Elektromagnetisk Teori for Lyset. Clerk Maxwell har foreslaaet en Teori for Forbindelsen mellem elektromagnetiske Fænomener og Lysfænomener, baseret paa den Antagelse, at disse hver for sig skyldes bestemte Bevægelsesmaader i den overalt i Rummet udbredte »Æther«, saaledes, at de elektriske Strømme og de magnetiske Fænomener skyldes Strømme og Hvirvler eller andre fremadskridende Bevægelser i Ætherens Stof, medens Lyset skyldes frem- og tilbagegaaende Svingninger i Ætheren.

Vi have set (Pkt. 115, 338 og 387), hvad der taler for den Opfattelse, at Magnetismen er et Omdrejningsfænomen, saaledes at der finder en Omdrejning Sted af Noget omkring en Akse, der ligger i Magnetiserings-Retningen. En saadan Teori vilde forklare Drejningen af Polarisationsplanen for en Straale, der gaar igennem et magnetisk Felt. En Straale af plan-polariseret Lys kan nemlig opfattes som bestaaende af et Par (i modsat Retning) cirkulær-polariserede Bølger, i hvilke Omdrejningen til Højre i en Straale periodisk modarbejdes af en lige saa stor Drejning til Venstre i en anden Straale; og dersom en saadan Bevægelse blev meddelt et Medium, i hvilket der kom en ny Omdrejning til (som vi antage finder Sted i ethvert magnetisk Felt) om samme Akse, vilde den ene af disse cirkulær-polariserede Straalers Hastighed blive forøget, medens den anden vilde blive formindsket, saa at Svingningsplanen, naar de igen forenes i en enkelt plan-polariseret Straale, ikke vilde falde sammen med den oprindelige Polarisationsplan, men vilde være bleven drejet en Vinkel, der er proportional med den ny, tilkomne Omdrejning.

Vi have omtalt (Pkt. 337), at en elektrisk Forflytning frembringer en magnetisk Kraft vinkelret paa sig selv; den frembringer ogsaa (ved den særegne Virk-

ning, der kaldes Induktion) en elektrisk Kraft, der forplanter sig vinkelret baade paa den elektriske Forflytning og paa den magnetiske Kraft. Vi vide imidlertid, at ved Lysets Forplantning bliver den virkelige Forflytning eller de Svingninger, som danne den saakaldte Lysstraale, udførte i Retninger, der ere vinkelrette paa Lysets Forplantnings-Retning. Denne Analogi er et vigtigt Punkt i Teorien og rejser uvilkaarligt det Spørgsmaal, om da de to Forplantningshastigheder ere de samme. Hastigheden, med hvilken den elektromagnetiske Induktion forplanter sig, er den Hastighed »v«, som vi have vist (Pkt. 365) repræsenterer Forholdet mellem de elektrostatiske og de elektromagnetiske Enheder, og som vi antage er lig (i Luften)

$$2,9857 \cdot 10^{10} \text{ Centimeter pr. Sekund.}$$

Og Lysets Hastighed (i Luften), der gentagne Gange er bleven maalt (af Fizeau, Cornu, Michelson og andre) har tilnærmelsesvis Værdien:

$$2,9992 \cdot 10^{10} \text{ Centimeter pr. Sekund.}$$

At disse to Talstørrelser stemme saa nøje overens, er i det mindste mærkeligt. Blandt andre matematiske Slutninger, der kunne drages af denne Teori, skulle følgende omtales: I) alle virkelige Elektricitets-Ledere maa være ugenomsigtige for Lys*). II) for gennemsigtige Medier bør den specifikke Fordelingsevne være lig Kvadratet paa Brydningskoefficienten. Forsøg, der ere udførte af Gordon, Boltzmann og andre, vise, at dette er tilnærmelsesvis rigtigt for Bølger, der have en meget stor Bølgelængde. Værdierne ere angivne i omstaaende Tabel. For Luftarter er Overensstemmelsen endnu større.

*) Forfatteren af denne Bog har fundet, at i nogle krystallinske Legemer, som lede Elektriciteten bedre i den ene Retning end i den anden, varierer Gennemsigtigheden for Lys i samme Forhold. Farvede Krystaller af Turmalin lede Elektriciteten bedre tværs paa Krystallens lange Akse end langs denne. Saadanne Krystaller ere mere ugenomsigtige langs Aksen end tværs paa den; og naar Straalerne gaa igennem Krystallen paa tværs af Aksen, blive Svingningerne paa tværs af Aksen fuldstændigere absorberede end de, der gaa parallelt med Aksen, hvorefter følger, at det gennemgaaende Lys bliver polariseret.

Prof. H. Hertz har vist (1888), at usynlige, elektriske Svingninger forplantes gennem Rummet ligesom Lysbølger; det er nemlig lykkedes ham at frembringe Interferens mellem to saadanne Systemer.

	K.	μ^2 .
Flint-Glas	3,162	2,796
Svovlkulstof	1,812	2,606
Svovl (Middeltal)...	4,151	4,024
Paraffin	2,32	2,33

TIENDE KAPITEL.

INDUKTIONS-STRØMME.

(Magneto-Elektricitet.)

XXXVI. Strømme frembragte ved Induktion.

391. I 1831 opdagede Faraday, at der kan frembringes Strømme i et lukket Kredsløb ved at bevæge Magneter i Nærheden af det eller ved at bevæge Kredsløbet gennem det magnetiske Felt, og han udviklede denne Opdagelse videre, idet han fandt, at en Strøm, hvis Styrke forandrer sig, frembringer en anden Strøm i et lukket Kredsløb, der er i Nærheden af den. Saadanne Strømme, hvad enten de ere frembragte ved Hjælp af Magneter eller ved andre Strømme, kaldes **Induktions-Strømme**. Den Virkning, en Magnet eller Strøm udøver, idet den frembringer saadanne inducerede Strømme, kaldes **elektromagnetisk Induktion** *).

*) Læseren maa ikke forveksle denne elektromagnetiske Induktion med en Elektricitets-Ladnings elektrostatiske Induktion (Fordeling) paa en anden Ladning, som er forklaret i Afsnit III, og som ikke har noget at gøre med Strømme. Tidligere, forinden man forstod, at den Elektricitet, der havde sit Udspring fra forskellige Kilder, var den selv samme (Pkt. 218), kaldte man Elektriciteten, der blev frembragt ved Magneters Bevægelse, Magneto-Elektricitet. I de fleste Tilfælde ere Tillægsordene magneto-elektrisk og elektro-magnetisk ensbetydende. Frembringelsen af Elektricitet ved Magnetisme og af Magnetisme ved Elektricitet er ganske vist to forskellige Operationer; men begge Dele gaa ind under den Del af Videnskaben, som kaldes Elektromagnetisme.

392. Induktions-Strømme, frembragte af en Magnet. Indsættes en Rulle isoleret Traad i et Kredsløb sammen med et fintfølende Galvanometer (lang-traadet), og indføres en Magnet hurtigt i Rullens Indre, som i Fig. 128, vil der frembringes en kortvarig Strøm i Kredsløbet, medens Magneten bevæges ind i Rullen. Saalænge Magneten holdes roligt inde i Rullen, induceres der ingen Strøm. Men naar Magneten trækkes hurtigt ud af Rullen, vil der igen i Kredsløbet frembringes en kortvarig Strøm, hvis Retning er modsat af den førstes. Den inducerede Strøm, der frembringes ved at Magneten føres ind i



Fig. 128.

Rullen, er en omvendt Strøm, *o:* gaar i en saadan Retning, at den vilde give Magneten modsatte Poler af dem, den har. Den inducerede Strøm, der frembringes, ved at Magneten trækkes ud, er en direkte Strøm.

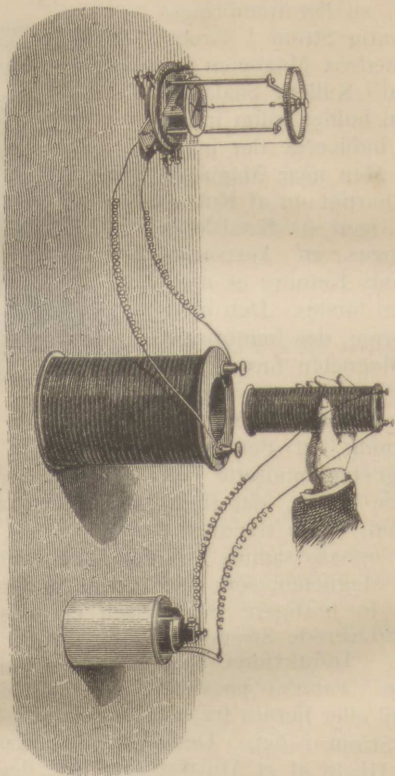
Der opnaas samme Virkning, naar Rullen bevæges henimod Magneten, som naar denne bevæges henimod Rullen. Jo hurtigere Bevægelsen er, desto stærkere ere de inducerede Strømme.

393. Induktions-Strømme, frembragte af Strømme. Faraday paaviste ogsaa, at naar en Strøm nærmes til eller fjernes fra et lukket Kredsløb, induceres der en Strøm i det. Dette kan let vises ved Forsøg ved Hjælp af et Apparat som det, der er afbildet i Fig. 129.

En Traadrulle forbindes med et følsomt Galvanometer, som tidligere, medens en mindre Rulle af tyk Traad forbindes med Polerne af et Batteri (et enkelt Bunsens Element i Fig. 129), saa at Strømmen gaar

igennem dens Vindinger. Ved at den lille, »primære« Rulle nærmes til eller føres ind i den store, »sekundære« Rulle, frembringes der en kortvarig, omvendt

Fig. 129.



Strøm; fjernes den, induceres en kortvarig, direkte Strøm (∴ en der løber samme Vej rundt i den udvendige, sekundære Rulle, som den primære Strøm i den indre Rulle).

Brydes Batteri-Strømmen, medens den primære Rulle holdes roligt inden i den sekundære Rulle, frembringes der den samme Virkning, som hvis den primære Rulle pludselig blev flyttet uendelig langt bort.

Sluttes Batteri-Strømmen, medens den primære Rulle holdes roligt inden i den sekundære Rulle, frembringes der den samme Virkning, som hvis den primære Rulle pludselig blev ført ind i Rullen.

Saalænge en Strøm med uforandret Styrke gennemløber det primære Kredsløb, induceres der ingen Strømme i det sekundære Kredsløb, med mindre der finder en relativ Bevægelse Sted mellem de to Kredsløb; men at nærme det sekundære Kredsløb til det primære har akkurat den samme Virkning som at nærme det primære Kredsløb til det sekundære og det samme er Tilfældet ved Fjerningsbevægelserne.

Vi kunne samle de forskellige Resultater i nedenstaaende Oversigt:

Ved Hjælp af	Kortvarige omvendte Strømme induceres i det sekundære Kredsløb.	Kortvarige direkte Strømme induceres i det sekundære Kredsløb.
Magnet	ved at nærme	ved at fjerne
Strøm	ved at nærme eller slutte eller forøge Styrken	ved at fjerne eller bryde eller formindske Styrken

394. Grund-Love for Induktion. Naar vi erindre, at ethvert Kredsløb, hvor igennem der gaar en Strøm, har sit eget magnetiske Felt med Kraftlinier gennem Kredsløbet (Pkt. 192), og at en Rulle med mange Vindinger har et Felt, i hvilket dens Kraftlinier ere fordelte næsten paa samme Maade som en Magnets, skulle vi se, at de Kendsgerninger, der ere opstillede i ovenstaaende Oversigt, kunne indbefattes under følgende Grund-Love.

I) En Formindskelse af Kraftlinierne, som gaa igennem et Kredsløb, frembringer en Strøm i Kredsløbet i positiv Retning (3: frembringer en »direkte« Strøm); medens en Forøgelse af Kraftlinierne, som gaa igennem Kredsløbet, frembringer en Strøm i negativ Retning i Kredsløbet.

Vi kalde den Retning langs Kraftlinierne den positive Retning, i hvilken en fri Nordpol vil søge at bevæge sig, og den Retning den positive Retning i et Kredsløb, i hvilken Urviserne bevæge sig. (Se ogsaa Pkt. 275).

II) Den samlede inducerede elektromotoriske Kraft, der virker i et lukket Kredsløb, er lig Formindsnelsen pr. Tidsenhed af de igennem Kredsløbet gaaende Kraftlinier.

Antage vi, at Antallet af Kraftlinier, der gaa gennem Kredsløbet, først er N_1 , og at det et meget kort Tidsrum, t , senere er N_2 , er den hele inducerede elektromotoriske Kraft, E ,

$$E = \frac{N_1 - N_2}{t}.$$

Ifølge Ohms Lov er $C = E : R$, hvorefter følger:

$$C = \frac{N_1 - N_2}{Rt}.$$

Er N_2 større end N_1 , saa at Antallet af Kraftlinier vokser, bliver $N_1 - N_2$ en negativ Størrelse, og C vil faa negativt Fortegn, der viser, at Strømmen er en omvendt Strøm.

En Betragtning af Fig. 117 vil hjælpe til at gøre os denne vigtige Lov klarere. Er ABCD et Kredsløb, i hvilket Stykket AB kan glide langs DA og CB henimod T og S, og repræsentere de lodrette Pile lodrette Kraftlinier i et jævnt magnetisk Felt, saa at de (som de lodrette Komposanter af Jordens Kraftlinier paa den nordlige Halvkugle) vise den Retning, i hvilken en Nordpol vilde bevæge sig, hvis den var fri, saa er den positive Retning af disse Kraftlinier lodret nedad gennem Kredsløbet. Glider nu AB henimod TS med jævn Hastighed, vil den overskære et vist Antal Kraftlinier hvert Sekund, og der vil hvert Sekund blive føjet et vist Antal til det hele Antal, der gaar gennem Kredsløbet. Er N_1 Antallet i Begyndelsen og N_2 Antallet ved Slutningen af Bevægelsen, vil $N_1 - N_2$ være en negativ Størrelse, og der vil

opstaa en elektromotorisk Kraft i Kredsløbet, hvis Retning gennem det bevægelige Stykke gaar fra A til B.

395. Følgende Tillempning af Ampères Regel til Induktionsfænomenerne er ganske praktisk. Tænker man sig en Mand svømme i en Leder og vendt saaledes, at han ser langs (den positive Retning af) Kraftlinierne, saa vil han, dersom baade han og Lederen bevæges i Retning af hans højre Haand, svømme med Strømmen, der induceres ved denne Bevægelse. Bevæges han i Retning af hans venstre Haand, gaar Strømmen imod ham.

396. Lenz's Lov. I Pkt. 320 have vi omtalt, at et Kredsløb, hvorigennem der gaar en Strøm, paavirkes af et andet Kredsløb med en Kraft, der søger at bevæge det saaledes, at det kommer til at omfatte det størst mulige Antal Kraftlinier. Men forøges Kraftliniernes Antal, vil der, medens denne Forøgelse staar paa, frembringes en modsat virkende (eller negativ) elektromotorisk Kraft, som vil søge at standse den oprindelige Strøm, og som derfor vil søge at standse Bevægelsen. Er der til at begynde med ingen Strøm, vil Bevægelsen skabe en, som, da den gaar i negativ Retning, vil søge at formindske Antallet af Kraftlinier, der gaa igennem Kredsløbet, og saaledes modarbejde Bevægelsen. Lenz gav i 1834 disse Kendsgerninger et samlet Udtryk i følgende Lov: I alle Tilfælde, hvor der finder elektro-magnetisk Induktion Sted, have de inducerede Strømme en saadan Retning, at deres Tilbagevirkning søger at standse den Bevægelse, som frembringer dem. Denne Sætning kaldes Lenz's Lov.

397. To Kredsløbs gensidige Induktion. I Pkt. 320 have vi vist, at naar to Kredsløb, igennem hvilke der løber Strømme med Enhed af Styrke, anbringes tæt ved hinanden, have de et gensidigt Potential, hvis Værdi vi kaldte M. Dette Bogstav, M, viste sig ved nærmere Undersøgelse at repræsentere det Antal af Kraftlinier, som hvert af Kredsløbene inducerer gennem det andet Kredsløb, eller var »det Antal af Kraftlinier, som ethvert af dem afskærer af det andet Kredsløbs Kraftlinier, naar hvert af dem har en Strøm med Enhed af Styrke«. Dette Antal var afhængigt af Kredsløbenes Form og Stilling, og var størst, naar de bleve bragte saa tæt til hinanden som muligt. Vi kunne derfor betragte Størrelsen M som de to Kredsløbs »gensidige Induktions-Koefficient«, og enhver Bevægelse af det ene eller det andet Kredsløb, som forandrer det Antal

af Kraftlinier, der fra det ene gaa igennem det andet, vil blive ledsaget af Frembringelsen af en induceret Strøm i hvert af dem. Det kan vises matematisk, at hvis man har to enkelte, cirkulære Kredsløb af samme Størrelse, der indeslutte Arealet S , er det største Antal Kraftlinier, som hvert af dem kan frembringe gennem det andet, naar de begge have Enhed af Strømstyrke, $4\pi S$, som er Maksimums-Værdien for M . Ere Kredsløbene ikke enkelte men have henholdsvis m og n Vindinger, vil Værdien af M blive $4\pi S \cdot mn$, naar Kredsløbene falde sammen.

398. Induktionsrullen. Inducerede Strømme have i Almindelighed en meget høj elektromotorisk Kraft, og ere i Stand til at sende Gnister gennem Afstande, som almindelige Batteristrømme aldeles ikke kunne gaa igennem. For at kunne undersøge disse Virkninger anvendes et Apparat, der er opfundet af Mason og forbedret af Ruhmkorff, og som kaldes **Induktionsrullen** eller Induktoriet (Fig. 130). Induktionsrullen er en cylindrisk Rulle med en indvendig Jernkerne, der er omgivet af en kort, indre eller »primær« Rulle af tyk Traad og af en ydre, »sekundær« Rulle, som bestaar af mange Tusinde Vindinger af meget fin Traad, hvis enkelte Dele ere meget omhyggelig isolerede fra hverandre. Det primære Kredsløb forbindes med Polerne af nogle faa, kraftige Groves eller Bunsens Elementer, og i det indsættes en Afbryder og en Strømveksler (Kommutator) eller Nøgle. Hensigten med Afbryderen er at slutte og bryde det primære Kredsløb hurtigt efter hinanden. Resultatet heraf er, at hver Gang det primære Kredsløb sluttes, induceres der i det ydre, »sekundære« Kredsløb en kortvarig, omvendt Strøm, og hver Gang Strømmen brydes en kraftig, kortvarig, direkte Strøm. »Slutnings«-Strømmene vise sig ikke, som nedenfor forklaret, hvorimod »Afbrydnings«-Strømmene optræde som en glimrende Række af Gnister mellem Enderne af den sekundære Traad, naar disse bringes tæt nok sammen. Den primære

Rulle er lavet af tyk Traad, for at der kan ledes stærke Strømme igennem den og derved frembringes et kraftigt magnetisk Felt inden i den, og den har kun faa Vindinger, for at Modstanden skal være ringe og for at undgaa Selvinduktion af den primære Strøm i selve Rullen. Den centrale Jernkerne anbringes, for at den ved dens store magnetiske Induktions-Koefficient skal forøge Mængden af Kraftlinier, som gaa igennem Rullerne; den er sædvanligvis dannet af et

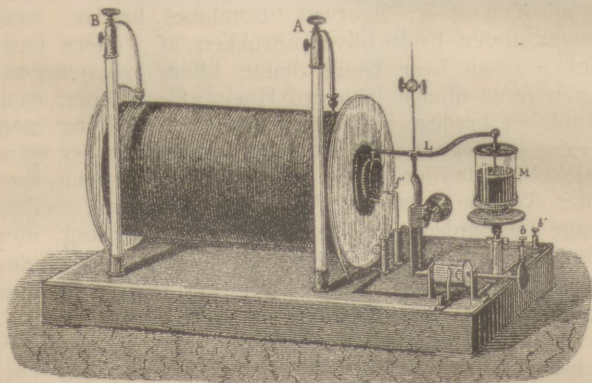


Fig. 130.

Bundt af fine Traade for at undgaa de Induktionsstrømme, som vilde opstaa i den, dersom den var en massiv Stang, og som vilde formindske den Hurtighed, med hvilken Magnetiseringen og Afmagnetiseringen foregaa. Den sekundære Rulle bestaar af mange Vindinger, for at den gensidige Induktions-Koefficient kan blive stor; og da de inducerede Strømmes elektromotoriske Kræfter ere Tusinder af Volt, er dens Modstand ligegyldig, og Rullen kan derfor dannes af saa tynd en Traad, som man bekvemt kan vikle. I Spottis-

woodes Kæmpe-Induktionsrulle (som kan frembringe en Gnist paa 42 Tommers Længde i Luften, naar den er forbunden med 30 Groves Elementer) bestaar den sekundære Rulle af 70 Mil Traad, vunden i 340 000 Vindinger, og dens Modstand er over 100 000 Ohm.

Induktionsrullernes Afbrydere ere sædvanligvis selv-virkende. Foucaults Afbryder, der er vist i Forbindelse med Induktionsrullen i Fig. 130, bestaar af en Metal-arm L, fra hvis ene Ende der hænger en Platintraad ned i en Skaal med Kviksølv, M; Platintraaden løftes ud af Kviksølvet, hvorved Strømløbet brydes, naar Armens anden Ende bliver tiltrukken af Rullens Jernkærne, altsaa hver Gang denne bliver magnetiseret. Armen føres tilbage igen ved Hjælp af en Fjeder, naar Strømløbet brydes, og Jernkærnen altsaa ophører med at være en Magnet. En ved smaa Induktionsruller mere almindelig Afbryder bestaar af et Stykke tyndt Staal, som slutter Kontakt med en Platinspids, og som trækkes tilbage fra Spidsen ved Jernkærnens Tiltrækning, idet Strømmen slutes, saa at Kredsløbet slutes og brydes ved at Staaifjederen svinger frem og tilbage ligesom Hammeren paa en almindelig elektrisk Klokke.

I Rullens primære Kredsløb indsættes sædvanligvis en lille Kondensator, der bestaar af vekslende Lag af Tinfole og paraffineret Papir, og som lades, hver Gang Kredsløbet brydes. Hensigten med Kondensatoren er for det første, at Kredsløbets Afbrydning skal foregaa pludseligere, idet Gnisten af »Ekstra-Strømmen« (der skyldes Selvinduktion i det primære Kredsløb) (Pkt. 404) forhindres fra at springe over ved Afbryderen, og for det andet skal den for et Øjeblik opsamle Elektriciteten fra denne selvinducerede Ekstra-Strøm og derpaa udlade den gennem den primære Rulle, saa at Afmagnetiseringen paaskyndes, og derved den inducerede, direkte elektromotoriske Kraft i den sekundære Rulle forøges.

399. Ruhmkorffs Kommutator. For vilkaarligt at kunne afbryde eller vende Strømmen fra Batteriet

konstruerede Ruhmkorff den Kommutator eller Strømvexler, der er vist i Fig. 131 og 132. I denne forbindes Batteriets Poler gennem Enderne af den af to indbyrdes isolerede Dele bestaaende Aksel af en lille Elfenbens- eller Ebonitcylinder med Metalstykkerne c og c' ,

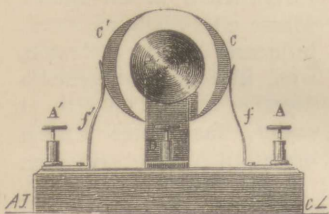


Fig. 131.

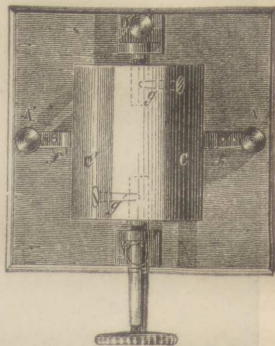


Fig. 132.

som kunne drejes saaledes, at ethvert af dem kan bringes i Berøring med enhver af de to lodrette Fjedre f og f' , der ere forbundne med den primære Rulles Ender. Der er konstrueret mange andre Former af Kommutatorer, af hvilke en, der benyttes meget som Nøgle ved telegrafisk Signalering, er vist i Fig. 145.

400. Induktionsgnisternes Lysvirkninger. Induktionsrullen frembringer en Række af hurtigt paa hinanden følgende Gnister, ved Hjælp af hvilke man kan studere alle Virkningerne af en eksplosiv Udladning. Disse Gnister afvige kun ved en Gradsforskel fra de Gnister, en Gnidnings-Maskine eller Leydnerflaske kan frembringe (se Afsnit XXIII om Udladnings-Fænomener).

Induktionsrullen er meget nyttig ved Undersøgelse af Udladninger gennem Glasbeholdere eller Rør med

fortyndet Luft. Fig. 133 giver et Begreb om en af de mange smukke Virkninger, som man kan faa, idet Gnisten udvider sig i den fortyndede Luft som flimrende Lyslag og viser »Striberne« og andre udviklede Fænomener.

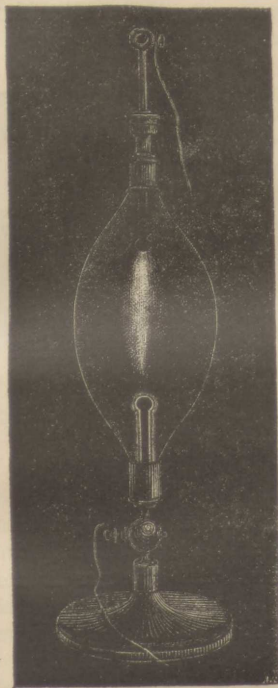


Fig. 133.

401. Strømme, inducerede i Metalmasser.

En Magnet, der bevæges i Nærheden af en massiv Masse eller Plade af Metal, inducerer heri Strømme, som, idet de løbe gennem Metallet fra et Punkt til et andet, faa deres Energi omsat til Varme, og som under deres Forløb (i Overensstemmelse med Lenz's Lov) frembringe elektromagnetiske Kræfter, der søge at standse Bevægelsen. Man kender mange ejendommelige Eksempler herpaa. Arago opdagede saaledes, at naar en Kobberplade drejes rundt i sin egen Plan under en Magnetnaal, vil denne dreje rundt og følge Pladen; og naar en Magnet drejes

rundt under en afbalanceret Metalplade, vil denne følge Magneten. Man forsøgte at forklare disse Fænomener — de saakaldte Aragos Rotationer — ved at antage, at der fandtes en Slags Rotations-Magnetisme, indtil Faraday paaviste, at de skyldes Induktion. En Magnetnaal, der svinger paa sin Spids, kommer hurtigere i Ro, naar der anbringes en Kobberplade under den,

idet de inducerede Strømme standse Naalen. Dersom en Tærning eller Plade af et godt ledende Metal er bleven sat i hurtig omdrejende Bevægelse imellem Polerne af en saadan Elektromagnet som den, der er vist i Fig. 110, og Strømmen derpaa pludselig sluttet, standser Metallets Omdrejning øjeblikkelig. Dersom man ved Anvendelse af tilstrækkelig Kraft holder en Plade i rask Omdrejning mellem Polerne af en kraftig Elektromagnet, vil den blive varm som en Følge af de inducerede Strømme, der gaa igennem den. Enhver Leder, der under Paavirkning af en bevægende Kraft føres paa tværs af Kraftlinierne i et magnetisk Felt, paavirkes af en mekanisk Modstand, der skyldes de inducerede Strømme, som modarbejde dens Bevægelse.

402. Induktions-Strømme, frembragte ved Jordmagnetismen. Det er let at frembringe inducerede Strømme ved Hjælp af Jordmagnetismen. Naar en Rulle tynd Traad, der er forbunden med et langtraadet Galvanometer, pludselig vendes rundt, overskærer den Jordmagnetismens Kraftlinier, og som en Følge heraf løber der en Strøm igennem den.

Faraday benyttede netop denne Fremgangsmaade til at undersøge Retningen og Antallet af Kraftlinier. Dersom en lille Traadrulle indsættes i et Kredsløb med et Galvanometer, der har lang Traad og en tung Naal, og den lille Traadrulle pludselig vendes om, medens den er i et magnetisk Felt, vil den overskære alle Kraftlinierne, som gaa igennem dens eget Areal, og Sinus af det halve af den første Udslags-Vinkel (se Pkt. 204) vil være proportional med Antallet af overskaarne Kraftlinier. Naar der anvendes en langsomt svingende Naal, vil den hele Elektricitetsmængde, som paavirker Naalen, være Summen af alle de enkelte Mængder, som sættes i Bevægelse af de inducerede Strømme, stærke eller svage, der gennemløbe Kredsløbet under den hurtige Overskæring af Kraftlinierne, og den lille Rulle vil derfor virke som en magnetisk Prøveskive.

Bevæges en ringformet Leder parallelt med sig selv igennem et jævnt magnetisk Felt, vil der ikke opstaa Induktionsstrømme, da der ved Bevægelsen vil komme lige saa mange Kraftlinier ind paa Forsiden, som der gaar ud paa Bagsiden. Der frembringes ingen Strøm i en Leder, der bevæges parallelt med sig selv langs en Kraftlinie; heller ikke vil den, hvis den ligger langs med en saadan Linie, blive paavirket af nogen mekanisk Kraft, naar en Strøm sendes igennem den.

403. Jordstrømme. Jordmagnetismens Forandringer, der ere omtalte i Afsnit XII, forandre Antallet af Kraftlinier, som gaa igennem de telegrafiske Kredsløb, og inducere derved Forstyrrelser i dem, som gaa under Navnet »Jordstrømme«.

Under magnetiske Storme have Jordstrømmene i de britiske Telegraf-Linier naaet en Styrke paa 40 Milli-Ampère, som er en større Strømstyrke end den, der sædvanligvis arbejdes med. Svage Jordstrømme iagttages hver Dag og have en mere eller mindre periodisk Karakter.

404. Selvinduktion. Ekstrastrømme. I Pkt. 397 have vi forklaret et Kredsløbs Induktion paa et andet Kredsløb, og have vist, at den afhænger af det Antal af Kraftlinier, der skyldes det ene Kredsløb, og som gaa igennem det andet, og at Koefficienten for gensidig Induktion, M , er Antallet af Kraftlinier, der udgaa fra ethvert af Kredsløbene og omfattes af det andet, naar hvert af dem har Enhed af Strømstyrke. Nærmes nu to saadanne Kredsløb til hinanden, saaledes at de virkelig falde sammen, bliver den gensidige Induktion en **Selvinduktion** af Kredsløbet paa sig selv. For ethvert Kredsløb findes der en Koefficient for Selvinduktion, hvis Værdi afhænger af Kredsløbets Form, og som bliver større, naar Kredsløbet vikles op i mange Vindinger, saaledes at den ene Vinding af Kredsløbet kan inducere Kraftlinier gennem den anden Vinding af samme Kredsløb. Lad L repræsentere Koefficienten for Selvinduktion i et

Kredsløb og L^1 Koefficienten for et andet Kredsløb, der er lig det første. Naar disse to Kredsløb falde sammen med hinanden, vil deres Koefficient for gensidig Induktion (σ : Antallet af Kraftlinier, der løbe gennem begge Kredsløb, naar hvert af dem har Enhed af Strømstyrke), M , være lig $L + L^1$ eller $L = \frac{1}{2} M$. For to sammenfaldende Kredsløb, hvert med n Vindinger og hvert med Arealet S , har man (efter Pkt. 397):

$$M = 4\pi S n^2;$$

følgelig er Koefficienten for Selvinduktion for et Kredsløb med n Vindinger, vikled op i en Plan:

$$L = 4\pi S n^2.$$

Tilstedeværelsen af Selvinduktion i et Kredsløb viser sig ved den saakaldte **Ekstrastrøm**, der frembringer en klar Gnist, i det Øjeblik Kredsløbet brydes. Bestaar Kredsløbet af en lige Traad og en med denne parallel Tilbageledning, vil der kun være en lille eller slet ingen Selvinduktion; men dersom Kredsløbet formes som Vindinger, og især hvis der i Vindingerne anbringes en Jernstang, som ved en Elektromagnet, vil der, idet Kredsløbet brydes, vise sig en glimrende Gnist, og holder man de to Ender af Traaden, mellem hvilke Kredsløbet brydes, i Hænderne, vil man føle et let Stød, der skyldes den selvinducerede Ekstrastrøms store elektromotoriske Kraft. Den Ekstrastrøm, der frembringes ved Selvinduktionen, idet Kredsløbet »sluttes«, er en omvendt Strøm og frembringer ingen Gnist, men forhindrer Batteristrømmen i pludselig at stige til sin fulde Værdi. Ekstrastrømmen, der opstaar ved at bryde Kredsløbet, er en direkte Strøm og forøger derfor Strømstyrken lige i det Øjeblik, da den fuldstændig ophører.

405. Helmholtz's Ligning. Helmholtz, som matematisk undersøgte Virkningen af Selvinduktion paa en Strøms Styrke, udviklede følgende vigtige Ligninger for at udtrykke Forbindelsen mellem et Kredsløbs Selvinduktion og den Tid, der fordres, for at Strømmen skal antage sin fulde Styrke: Selvinduktions-Strømmen vil i ethvert Øjeblik være proportional med Strømmens Tilvækst pr. Tidsenhed. Lad τ forestille et meget kort Tidsrum, og lad Strøm-

men i denne korte Tid forøges fra C til $C + c$. Den hele Forøgelse i Tidsrummet er c , og Forøgelsen pr. Tidsenhed $\frac{c}{\tau}$. Derfor er, naar Koefficienten for Selvinduktion er L , Selvinduktionens elektromotoriske Kraft $\div L \frac{c}{\tau}$, og dersom hele Kredsløbets Modstand er R , vil Styrken af den modsatvirkende Ekstrastrøm være $\div \frac{L}{R} \cdot \frac{c}{\tau}$ i det korte Tidsrum τ ; og følgelig vil den virkelige Strømstyrke, der gaar igennem Kredsløbet i dette korte Tidsrum, i Stedet for $C = E : R$ (hvad den vilde være efter Ohms Lov, dersom Strømmen var konstant) blive:

$$C = \frac{E}{R} \div \frac{L}{R} \cdot \frac{c}{\tau}.$$

For at finde den Styrke, Strømmen vil have efter Forløbet af Tiden t , sammensat af en Mængde saadanne smaa Tidsrum, der adderes sammen, fordres en Anvendelse af Integralregning, som giver følgende Resultat:

$$C = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right)$$

(hvor e er Grundtallet for de naturlige Logaritmer). Udtrykt i Ord betyder denne Ligning, at efter et Tidsrum af t Sekunder forindskræper Selvinduktionen i et Kredsløb, naar der sluttes Kontakt, Strømstyrken med en Størrelse, hvoraf Logaritmen til den omvendte Værdi er omvendt proportional med Koefficienten for Selvinduktionen og ligefrem proportional med Modstanden i Kredsløbet og med den Tid, der er gaaet, fra Kredsløbet blev sluttet.

Man vil meget hurtigt se, at i de Tilfælde, hvor Kredsløbet er indrettet saaledes, at Koefficienten for Selvinduktion, L , er lille, sammenlignet med Modstanden, R , vil Brøken $\frac{R}{L}$ have en stor

Værdi, og Størrelsen $\left(e^{-\frac{R}{L} t} \right)$ vil forsvinde fra Ligningen for alle ikke rent forsvindende Værdier af t .

Hvor imidlertid L er stor, sammenlignet med R , som i lange Traadruller, lange Telegrafkabler o. s. v., kan Værdien af dette Led, som betyder den Forsinkelse, der skyldes Selvinduktionen, blive betydelig.

406. (1) Inducerede Strømme af højere Ordner.

Professor Henry opdagede, at Forandringerne i en sekundær Strøms Styrke kunne inducere tertiære Strømme i et tredie, lukket Kredsløb, og at Forandringerne i de

tertiære Strømme kunne inducere Strømme af fjerde Orden o. s. v. En enkelt, pludselig sluttet og pludselig afbrudt primær Strøm frembringer derfor to sekundære Strømme (en omvendt og en direkte), og enhver af disse frembringer to tertiære Strømme, saa at man i alt faar fire tertiære Strømme. Men hvor den primære Strøm simpelthen periodisk veksler i Styrke, — som naar en Tone overføres ved en Mikrofon eller Telefon (Pkt. 435), — vil der findes det samme Antal af sekundære og tertiære Strømbølger som af primære, idet dog hver enkelt Induktion vil have en Forsinkelse (»Faseforskydning«) af en Fjerdedel af Svingsnings-Perioden.

406. (2) Transformatorer. I de senere Aar have Induktionsruller faaet en ny Anvendelse ved Fordelingen af hurtigt skiftende Strømme (se Pkt. 411, d) til elektrisk Belysning. Saadanne Induktionsruller, de saakaldte Transformatorer, bestaa i Almindelighed af en Kærne af tynde Jern-Plader eller Traade, beviklet med to Sæt Kobbertraadsruller, en primær, bestaaende af mange Vindinger tynd Traad, som modtager den kommende svage Strøm med højt Potential, og en sekundær, bestaaende af faa Vindinger tyk Traad, der afleverer den stærke Strøm med lavt Potential, som føres ud til Lamperne. Antallet af Watt, der udgaar fra de sekundære Ruller, er i godt konstruerede Transformatorer kun nogle faa Procent lavere end Antallet af Watt, der indføres i den primære Rulle, medens Forholdet mellem Antallet af Volt i den sekundære og i den primære Rulle er det samme som Forholdet mellem Antallet af Vindinger i de to Ruller.

XXXVII. Magneto-elektriske og dynamo-elektriske Strømfrembringere.

407. Faradays Opdagelse af Induktionen af Strømme i Ledninger, som bevæges gennem et magnetisk Felt, førte til Konstruktionen af **magneto-elektriske Maskiner** som Strømfrembringere (Generatorer) i Stedet for Volta-Batterier. Ved de første Forsøg af Pixii (1833), Saxton og Clarke bleve Ruller af isoleret Traad anbragte paa en Aksel og drejede hurtigt rundt foran Polerne af stærke Staalmagneter. Da imidlertid de saaledes frembragte

Strømme vare vekselvis omvendte og direkte Strømme, blev der paa Akslen anbragt en Strømveksler (Kommulator), der drejede rundt med Rullerne og vendte Strømmene, saa at de alle fik samme Retning. De smaa magneto-elektriske Maskiner, der den Dag i Dag sælges af Instrumentmagere, ere konstruerede efter dette Princip. Holmes og van Malderen konstruerede kraftigere Maskiner, og den sidst nævnte konstruerede en Maskine, der saa nogenlunde leverede en jævn Strøm, ved paa een Aksel at anbringe 64 særskilte Ruller, der roterede imellem Polerne af 40 kraftige Magneter.

I 1856 konstruerede Siemens et forbedret Anker*) (Armatur), i hvilket Traaden var viklet paa langs af et roterende Jernstykke af en særlig Form, hvorved han opnaaede den Fordel, at et større Antal Kraftlinier bleve overskaarne, naar Ankeret roterede i det kraftige »Felt« mellem Polerne af en Række ved Siden af hinanden anbragte Staalmagneter. Den næste Forbedring skyldes Wilde, og bestod i Anvendelsen af Elektromagneter i Stedet for Staalmagneter til Frembringelse af »Feltet«, i hvilket Ankeret roterer. Disse Elektromagneter bleve magnetiserede af Strømme fra en lille magneto-elektrisk Maskine, der ligeledes roterede.

408. Dynamo-elektriske Maskiner. I 1867 kom Siemens og Wheatstone samtidigt, men uafhængigt af hinanden, paa den Tanke, at der ved Omdrejning af en Rulle mellem en Elektromagnets Poler paa Grund af den svage, remanente Magnetisme vil induceres en svag Strøm, som, naar den ledes gennem Elektromagnetens Vindinger, vil forøge Magnetismen og derved sætte Elektromagneten i Stand til at inducere endnu stærkere Strømme. Magneto-elektriske Maskiner, der ere konstruerede efter dette Princip og have deres »Felt-Magneters« Traadruller indsatte i Kredsløbet fra det roterende Ankers Vindinger, saa at den hele eller

*) Anker eller Armatur er i disse Maskiner en Fællesbetegnelse for den traadomviklede Jerndel, ved hvis Bevægelse igennem et magnetisk Felt Induktionsstrømmene frembringes.
O. A.

en Del af den inducerede Strøm gaar igennem Magnetvindingerne, kaldes **dynamo-elektriske** Maskiner eller dyn.-elektr. Strømfrembringere (Generatorer), for at skelne dem fra de Maskiner, i hvilke der anvendes permanente Staalmagneter. I begge Tilfælde skyldes Strømmen magneto-elektrisk Induktion, og i begge Tilfælde frembringes de saaledes inducerede Strømmes Energi ved Energi, der udvikles i en Dampmaskine eller en anden Motor, der udfører det Arbejde, som fordres for at bevæge de roterende Traadruller gennem det magnetiske Felt. Af de mange moderne Maskiner, der ere baserede paa dette Princip, ere de bekendteste konstruerede af Siemens, Gramme, Brush og Edison. De adskille sig hovedsagelig fra hinanden ved de Midler, der ere anvendte for at opnaa en saadan Jævnhed af Strømmen, som der fordres i Praksis. I dem alle er den frembragte elektromotoriske Kraft proportional med Antallet af Traadvindinger i det roterende Anker og (inden for visse Grænser) med Omdrejningshastigheden. Naar der fordres Strøm med lille elektromotorisk Kraft men af betydelig Styrke, som til Elektroplastik, maa Maskinens Anker have en lille indre Modstand, og det bestaar derfor af faa Vindinger tyk Traad eller af Kobberbaand. For at frembringe Strømme af høj elektromotorisk Kraft, til Anvendelse ved elektrisk Belysning, maa Ankeret rotere meget hurtigt og maa bestaa af mange Traadvindinger, eller, hvis det er nødvendigt at have en meget lille Modstand (som ved et System af Lamper i Parallelforbindelse), af Kobberstænger, der ere forbundne paa passende Maade.

Der er forskellige Maader, paa hvilke Rullerne paa det roterende Anker ere anbragte, og Ankerne kunne derefter henføres til følgende Klasser:

1. Cylinder-Ankere, i hvilke Rullerne ere vikledede paa langs af Overfladen af en Cylinder eller Tromle. Eksempler: Siemens's (Altenecks) og Edisons Maskiner.
2. Ring-Ankere, i hvilke Rullerne ere vikledede omkring en Ring. Eksempler: Pacinottis, Grammes, Brushs, Gülchers og Bürgins Maskiner.

3. Pol-Ankere, i hvilke Rullerne ere anbragte radielt med Enderne visende udefter. Eksempel: Lontins Maskine.
4. Skive-Ankere, hvis Ruller ere anbragte i eller paa en Skive. Eksempler: Niaudets, Wallaces, Hopkinsons og Gordons Maskiner. I en paa et tidligt Standpunkt af Faraday konstrueret Maskine frembragte en almindelig Kobberplade, der roterede mellem en Magnets Poler, en vedvarende Strøm.

Der gives ogsaa forskellige Maader, paa hvilke Feltmagneternes Vindinger kunne ordnes, og dette giver Anledning til nedenstaaende Inddeling:

1. Series-Dynamoer, i hvilke Feltmagneternes Vindinger, Ankervindingerne og den ydre Ledning ere indsatte i Række (Series) efter hinanden.
2. Shunt-Dynamoer, i hvilke Feltmagneternes Vindinger ere indsatte som Shunt paa Hovedledningen; Feltmagneternes have mange Vindinger af tynd Traad og ville derfor kun tage en Brøkdels af hele Strømmen.
3. Dynamoer med Fødemaskine ere saadanne Dynamoer, hvis Feltmagnet magnetiseres af en særlig Dynamo.
4. Compound-Dynamoer, hvis Feltmagnetens Vindinger dels ere indsatte som Shunt og dels »i Række«.

Alle disse forskellige Former af Dynamoer have hver sin særlige Anvendelse.

409. Siemens's Maskine. Den dynamo-elektriske Strømfrembringer, der er opfundet af Siemens og von Hefner-Alteneck, kaldes sædvanligvis Siemens's Maskine og er vist i Fig. 134.

Paa et solidt Underlag er fast anbragt fire kraftige, flade Elektromagneter, af hvilke de to, der ligge over og under hinanden paa Bagsiden af Maskinen (se Fig.) have deres Nordpoler vendende lige mod hinanden og forbundne med buede Jernstykker. Det paa Forsiden liggende Elektromagnetpars Sydpoler ere forbundne paa lignende Maade. I Mellemrummet mellem de buede Jernstykker, hvor der er et meget stærkt magnetisk Felt, ligger en vandret Aksel, paa hvilken er fastgjort det roterende Anker, der bestaar af 56 adskilte Længde-Ruller. Hver Ende af hver Rulle er forbunden med en Kobberskinne, der danner et Segment af Strømsamleren, »Kommutatoren« eller »Kolektoren«, paa den ene Ende af Akslen.

Dette Anker adskiller sig kun fra Siemens's ældre almindelige Længde-Anker ved Forøgelsen af Rullernes Antal og ved deres Forbindelse, men ved en saadan Deling opnaar man, at Strømmen praktisk talt bliver jævn. Kollektoren, der bestaar af Kobberskinner eller Segmenter,

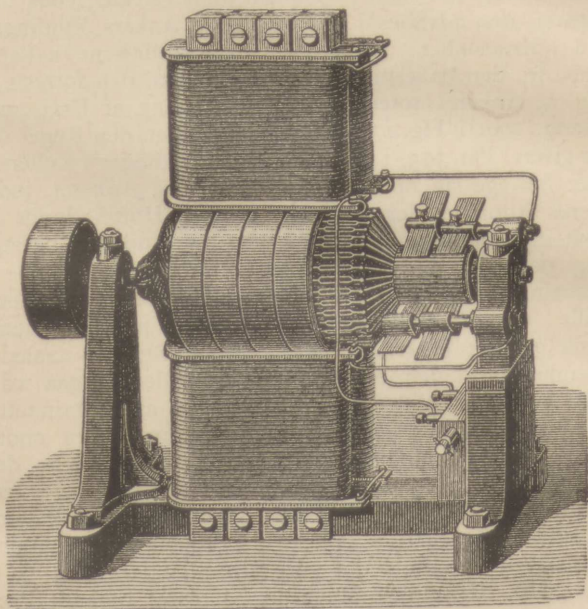


Fig. 134.

som ere fastgjorte paa en Cylinder af et isolerende Stof, kan betragtes som et i flere Dele opskaaret Rør. Strømmen kan ikke gaa fra den ene Skinne til den anden uden at gaa igennem en af Ankerets 56 Ruller, og da Enden af den ene Rulle og Begyndelsen af den

næste begge ere forbundne til samme Strømsamler-Skinne, er der en uafbrudt Forbindelse gennem hele Ankeret. Et Par Metalkoste eller Fjedre (hver bestaaende af to jævnsides liggende, hver for sig bevægelige Dele) trykke imod Strømsamleren, som Kontaktstykker, og berøre den paa modsat liggende Steder, foroven og forneden. Gennem disse Koste ledes den Strøm, der udvikles i det roterende Ankers Vindinger, ud i Kredsløbet. Antage vi, at Kraftlinierne i Feltet løbe fra den bageste Magnet i Figuren til den forreste,*) og at Ankeret roterer i modsat Retning af Urvisernes Gang, som i Fig. 134, saa vil der, efter den Regel der er given i Pkt. 395, i alle de enkelte Vindinger i Rullerne, der bevæge sig opefter paa Bagsiden af Ankeret, induceres Strømme, der gaa fra Venstre til Højre. I alle de enkelte Vindinger i Rullerne, der paa Forsiden bevæge sig nedad, vil der induceres Strømme, som løbe i Retningen fra Højre til Venstre. Som en Følge heraf ville, dersom Rullerne ere forbundne med Skinnerne som ovenfor beskrevet, alle Strømmene, der saaledes frembringes i den ene Halvdel af Rullerne, gaa ud i det ydre Kredsløb gennem den ene af Strømsamler-Kostene, og alle de modsatte Strømme i den anden Halvdel af Rullerne ville komme ind gennem den anden Kost. Klemskruerne, der ved Ledninger ere forbundne med Kostene, svare til et galvanisk Batteris positive og negative Poler, idet Elektromagnetvindingerne ere indsatte i det ydre Kredsløb.

410. Grammes Maskine. I 1864 opfandt Pacinotti en magneto-elektrisk Maskine, hvis Anker bestod af en Jern-Tandring, med Rullerne vundne imellem

*) Retningen af Kraftlinierne er ikke nøjagtig saaledes, naar Dynamoen arbejder, da den magnetiserende Kraft, der skyldes Strømmene i Rullerne, og hvis Retning omtrent er vandret, forandrer den resulterende magnetiske Kraft, saa at den faar en skraa Retning tværs gennem Feltet. Det er derfor, at Strømsamler-Kostene maa forskydes en vis Vinkel, »Forskydningsvinklen«. En lignende Forskydning af Kostene finder Sted i Grammes og alle andre dynamo-elektriske Strømfrembringere. Hvor stor Forskydningen skal gøres for at faa Maksimum af Strømstyrke, afhænger af Modstanden i det ydre Kredsløb og af det Arbejde, der udføres af Strømmen.

Tænderne. I 1870 opfandt Gramme en dynamo-elektriske Maskine med et Ring-Anker, der kun adskilte sig fra Pacinottis ved fuldstændig at være beviklet med Ruller af isoleret Kobbertraad. Princippet i denne Dynamo er vist i Fig. 135. Selve Ringen, der bestaar af udglødede Jerntraade, er beviklet med en Række Ruller, og Enderne af hver Rulle ere forbundne med Kobberskinner, som, isolerede fra hinanden, ere symetrisk anbragte paa Akslen og danne en Strømsamler eller Kommutator, paa samme Maade som i Siemens's Dynamo. Deres virkelige Anbringelse er vist

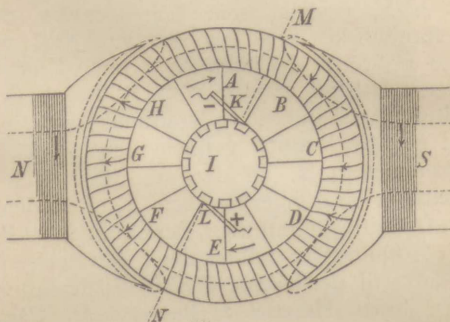


Fig. 135.

i Fig. 136. De enkelte Ruller paa Ringen ere forbundne med hinanden i Række, idet hver Skinne i Strømsamleren er forbunden med den ene Ende af hver af de to Nabo-Ruller. I Figuren ere Rullerne betegnede med A, B, C o. s. v., og de rette Linier mellem Ringen og Strømsamleren forestille to Nabo-Rullers Forbindelsestraade med Skinnerne. To Metal-koste (K og L) glide paa Strømsamleren og bortlede Strømmen. Naar Ringen roterer, er Virkningen følgende: Vi gaa ud fra, at Ringen i Fig. 135 løber samme Vej rundt som Viserne paa et Ur i det magnetiske Felt mellem en Magnets (eller Elektromagnets)

Nord- og Sydpol, og at den positive Retning af Kraftlinierne er fra N til S. Disse ville i Virkeligheden ikke gaa som rette Linier fra N til S, men de fleste af dem ville gaa ind i Ringen ved N og løbe igennem dennes Jern til i Nærheden af S, hvor de igen gaa ud; i Rummet indenfor Ringen er der næsten ingen Kraftlinier. Lad os betragte en enkelt Traadrulle, der er viklet om et Sted af Ringens øverste Halvdel, og som bevæger sig henimod S; det største Antal Kraftlinier vil gaa igennem dens Plan, naar den ligger i Linien vinkelret paa Linien N S. Efterhaanden som Rullen nærmer sig til S og kommer til B, vil Antallet af Kraftlinier, som gaar igennem den, bestandig formindskes, og det vil være Nul, naar den staar lige ud for S i Linien N S, med Kanten imod Kraftlinierne. Efterhaanden som Rullen bevæger sig fra S, vil den igen indeslutte Kraftlinier, som imidlertid vil gaa i negativ Retning gennem dens Plan, og naar den er kommet til E, vil der gaa Maksimum af saadanne negative Kraftlinier igennem den. Medens altsaa Antallet af (positive) Kraftlinier, der omslutes af Rullerne, er blevet formindsket under dens Bevægelse fra det højeste Punkt til det laveste Punkt, vil det atter tiltage under den anden Halvdel af Bevægelsen. Derfor udvikles der ogsaa, i Henhold til den i Pkt. 395 anførte Regel, direkte Strømme i alle Rullerne, der bevæge sig i den højre Halvdel af Ringen, medens der i Rullerne i den venstre Halvdel af Ringen frembringes omvendte Strømme. Elektriciteten har saaledes en stadig Tilbøjelighed til at gaa fra det højeste Punkt af Ringen gennem begge dens Halvdele til det laveste, og der vil være et højere Potential i L end i K.

Der frembringes derfor en vedvarende Strøm i en ydre Ledning, som forbindes med Kostene K og L, thi efterhaanden som Rullerne, den ene efter den anden, bevæge sig henimod Kostene, forøges den inducerede Strøm i dem i Styrke, fordi Rullerne paa begge Sider af Kostene ogsaa sende deres inducerede

Strømme henimod dette Sted. Fig. 136 viser en lille Grammes Maskine, der er 21 Tommer høj, og som kan benyttes til Fremstilling af et elektrisk Buelys, naar den drives af en Dampmaskine paa $2\frac{1}{2}$ Hestekraft. Ovenover og under Ankerrullen findes modstaaende Par af kraftige Elektromagneter, hvis Polstykker af

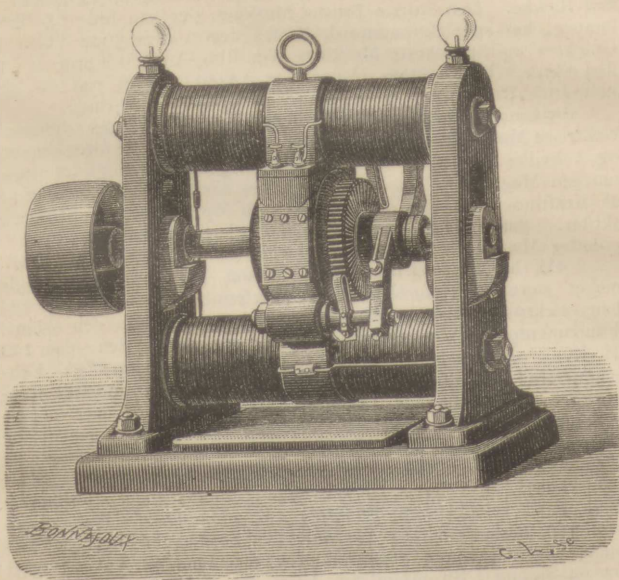


Fig. 136.

Jern ere forlængede, saa at de næsten omfatte det imellem dem anbragte Ring-Anker, som i Forbindelse med Strømsamleren er fast anbragt paa den vandrette Aksel.

411 a. Brushs Maskine. I Brushs dynamo-elektriske Maskine benyttes et Ring-Anker af samme Form som det, der blev opfundet af Pacinotti, idet Jern-Ringen har fremspringende Partier, imellem hvilke Rullerne vikles. Rullerne selv ere forbundne paa

en noget anden Maade, idet hver Rulle er forbunden med den diametralt modsatte, og hvert saadant Par har en Strømvender, bestaaende af en Ring, der er delt i to indbyrdes isolerede Dele. For hvert Par Ruller findes der en lignende tvedelt Ring, og de enkelte Ringe ere samlede i Grupper ved at staa i Forbindelse med to eller flere Par Koste, der glide paa dem, og som bortlede Strømmene fra de roterende Ringe. Disse Maskiners elektromotoriske Kraft er meget høj, og derfor ere de i Stand til at sende en Strøm gennem en lang Række Buelamper, forbundne i een Række. Den største Brushs Maskine, der kan føde 65 Buelamper, har en elektromotorisk Kraft, der er over 3000 Volt. I Gülchers og Schuckerts Maskiner har Ring-Ankeret Form af en flad Skive. I Cromptons Dynamo er Ankeret viklet paa en hul cylindrisk Kærne, der er bygget af flade, tynde Jernringe.

Siemens og andre have konstrueret andre Slags dynamoelektriske Maskiner, der adskille sig fuldstændig fra de foregaaende, og i hvilke en Rulle eller anden bevægelig Leder glider rundt om een Magnets Pol og frembringer en kontinuerlig Overskæring af Kraftlinierne, uden at Retningen af de inducerede Strømme skifter. Saadanne Dynamoer, der undertiden kaldes »Enkelpolede« Maskiner, have dog en meget lav elektromotorisk Kraft.

411 b. Edisons Maskine. Edison har konstrueret nogle meget store, dynamoelektriske Strømfrembringere til Brug ved hans elektriske Belysningsystem. Maskinen staa paa den samme Fundamentplade som Dampmaskinen, der driver den (paa 120 H.-K.), og kaldes af Edison en Damp-Dynamo*). Feltmagneterne ere anbragte vandret og bestaa af 12 cylindriske Jernstænger, beviklede med Traad og forbundne med massive Polstykker af Jern, der veje mange Tons. Imellem de øverste og nederste Polstykker roterer Ankeret, som er en Modifikation af Siemens's Cylinder-Anker, og som i Stedet for at være beviklet med Traad er belagt med 98 lange Kobberstænger, forbundne med Kobberplader ved Enderne. Kommutatoren eller Strømsamlern bestaar af 49 parallelle Kobberstænger ligesom Siemens's og Grammes Strømsamler. Strømmen i Ankeret gaar fra en Skinne i Strømsamlern langs en af Kobberstængerne til en Kobberplade i den modsatte Ende, gaar gennem Pladen til den næste Stang, langs hvilken den kommer tilbage til den forreste Ende og til en anden Kobberplade, der er forbunden med den næste Skinne i Strømsamlern, og saaledes fortsættes der videre rundt. Denne Konstruktion formindsker i høj Grad Modstandstabet i Ankeret og forøger Maskinens Nyttevirkning. Det indre af Ankeret bestaar af tynde, indbyrdes adskilte Jernplader, der ere trukne paa Akslen, hvorved man forøger Styrken af den

*) I de senere Aar er der til Brug i de elektriske »Centralstationer« konstrueret mange større, i Reglen »flerpolede« Damp-Dynamoer. O. A.

magnetiske Virkning, medens man undgaar de skadelige Strømme, der vilde opstaa i Jernmassen (se Pkt. 401). Hver af de to Koste paa Strømsamleren er, for at formindske Gnistdannelsen, delt i 5 jævnsides liggende og uafhængigt af hinanden bevægelige Dele. Maskinen har en meget stor Nyttevirkning og omsætter 90 % af den mekaniske Kraft til elektrisk Kraft. Den kan føde 1300 Edisons Glødelamper (Pkt. 374) paa een Gang. Naar Omdrejningshastigheden er 300 Omdrejninger pr. Minut, udvikles der en Strøm paa 900 Ampère med en elektromotorisk Kraft paa 105 Volt.

411 c. Teorien for Dynamoer med ensrettet Strøm. En Dynamos elektromotoriske Kraft afhænger 1) af Antallet af magnetiske Linier, N , som Feltmagneterne sende gennem Ankerets Kærne, og som fra Nordpolen af Feltmagneten træde ind i den paa den ene Side og ud af den, ind i Sydpolen af Feltmagneten, paa den anden Side; 2) af Antallet af de Ledningstraade eller Stænger, der ere vikled paa Ankeret; 3) af Omdrejningshastigheden. — Betegner C Antallet af Anker-Ledere hele Omkredsen rundt, og n Antallet af Omdrejninger pr. Sekund, er Dynamos elektromotoriske Kraft (i absolute Enheder) given ved Formlen

$$E = n C N;$$

men da en Volt er 10^8 absolute C. G. S.-Enheder (se Pkt. 323), vil den elektromotoriske Kraft, udtrykt i Volt, være

$$E \text{ (Volt)} = \frac{n C N}{10^8}.$$

Antallet N af magnetiske Linier gennem Ankeret kan beregnes efter Reglerne for det magnetiske Kredsløb (se Side 301), idet man maa tage Hensyn til den uundgaelige Spredning (leakage) af nogle af Kraftlinierne.

Alle de magneto-elektriske og dynamo-elektriske Maskiner til ensrettet Strøm kunne anvendes som Elektromotorer, idet Ankerspolen bringes til at rotere og udvikle Kraft, naar en Strøm fra en anden Elektricitetskilde ledes ind i Maskinen.

411 d. Vekselstrøms-Maskiner. I nogle dynamo-elektriske Maskiner blive de Strømme med skiftende Retning, der frembringes ved at Rullerne efterhaanden nærmes til og fjernes fra faste Magnetpoler, slet ikke vendte, men gaa direkte ud i Kredsløbet. I en Maskine, der er typisk for denne Klasse, og som er opfundet af Wilde, bestaar Ankeret af en Række af Traadruller, der ere anbragte i Omkredsen af en Plade, som roterer mellem to Sæt faste Elektromagneter; disse ere fastgjorte til to cirkelrunde Rammer og vende skiftevis Nord- og Sydpolerne indefter. Siemens's Vekselstrøms-Maskine er af lignende Konstruktion. Saadanne Maskiner kunne ikke magnetisere deres egne Elektromagneter, saaledes at de faa en uforandret Polretning, men maa have en særlig lille Dynamo med ensrettet Strøm til at magnetisere Elektromagneterne. I en anden Maskine, konstrueret af Meritens,

roterer et Ring-Anker, der ligner Pacinottis og Brushs, foran permanente Staalmagneter. I denne Maskine vil den Strøm, der induceres i Kredsløbet i en Retning, medens Rullerne nærme sig et Sæt af Polerne, blive umiddelbart efterfulgt af en Strøm i den modsatte Retning, naar Rullerne fjerne sig fra disse Poler og nærme sig de modsatartede Poler. Vekselstrøms-Maskiner ere ogsaa blevne konstruerede af Lontin, Gramme og andre til Brug ved særlige Systemer af elektrisk Belysning, som f. Eks. Jablochkoffs Lys (Pkt. 374). Saavel i Lontins Maskine som i den nyere og større Gordons Skive-Dynamo rotere Feltmagneternes Ruller mellem to store Ringe med faste Ruller, i hvilke Strømmene induceres. En ny Form af Vekselstrøms-Maskine, der er konstrueret af Ferranti, adskiller sig fra Siemens's og Wildes Maskiner derved, at Ankerets roterende Ruller ere erstattede af Kobberstrimler, viklede i Siksak. I Mordeys Vekselstrøms-Maskine vende Feltmagneterne, som rotere, to Krandse af Poler ind mod det mellem dem fast anbragte Anker.

411 e. Compound-beviklede Maskiner. Feltmagneterne i de dynamo-elektriske Maskiner ere undertiden beviklede med to Sæt Traadruller, saaledes at de kunne benyttes som kombinerede Shunt- og Series-Maskiner (se Pkt. 408). Saadanne Maskiner ville, naar de løbe med en bestemt Hastighed (den »kritiske« Hastighed), frembringe en Strøm med en konstant elektromotorisk Kraft, uden Hensyn til Modstanden i det ydre Kredsløb.

ELLEVTE KAPITEL.

ELEKTRO-KEMI.

XXXVIII. Elektrolyse og Elektrometallurgi.

412. I Afsnittene XIV og XVIII er det bleven forklaret, at en kemisk Virkning af bestemt Omfang i et Element frembringer en Strøm, der fører en vis Mængde Elektricitet gennem Kredsløbet, og at omvendt en vis Mængde Elektricitet, ved at gaa igennem en elektrolytisk Celle, vil udføre et bestemt kemisk Arbejde i den. Forbindelsen mellem Strømmen

og det ved den udførte kemiske Arbejde er behandlet i de efterfølgende Paragraffer.

413. Polarisationens elektromotoriske Kraft.

Hver Gang en Elektrolyt adskilles af en Strøm, have de adskilte Ioner en Tilbøjelighed til at forene sig igen, og denne Tilbøjelighed kaldes sædvanligt »kemisk Affinitet«. Er saaledes Zinksulfat (Zn SO_4) adskilt i Zn og SO, søger Zinken at opløse sig igen i Vædsken paa Grund af dens »Affinitet« til Ilt og til Svovlsyre. Men idet Zink opløses i Svovlsyre, frembringer den en elektromotorisk Kraft af bestemt Størrelse, og for at løsrive Zinken fra Svovlsyren fordres der en elektromotorisk Kraft, der i det mindste er lige saa stor som denne, og som gaar i modsat Retning. Naar svovlsyreholdigt Vand adskilles i et Voltameter, søge den adskilte Ilt og Brint at forene sig, og de frembringe derved en modsatrettet elektromotorisk Kraft paa 1,47 Volt. Denne modsatte elektromotoriske Kraft, som i Virkeligheden er Maal for deres »kemiske Affinitet«, kaldes Polarisationens elektromotoriske Kraft. Den kan iagttages i ethvert Vand-Voltameter (Pkt. 208) ved ligefrem at afbryde Traadenes Forbindelse med Batteriet og forbinde dem med et Galvanometer; man vil da se, at der gaar en Strøm tilbage gennem Voltameteret fra Brint-Elektroden til Ilt-Elektroden. Polarisationen i et Volta-Element (Pkt. 163) frembringer paa ganske lignende Maade en modsatvirkende elektromotorisk Kraft.

Da nu Brintens Affinitet til Ilt repræsenteres ved en elektromotorisk Kraft paa 1,47 Volt, er det klart, at intet Element eller Batteri kan adskille Vand, naar det ikke har en elektromotorisk Kraft paa i det mindste 1,47 Volt. Ved enhver Elektrolyt er der et lignende Minimum af elektromotorisk Kraft, som er nødvendigt for at frembringe en fuldstændig, kontinuerlig Adskillelse.

414. Teorien for Elektrolyse. Leder en Strøm en Elektricitmængde, Q, gennem et Kredsløb, i

hvilket der findes en modvirkende elektromotorisk Kraft E , vil det Arbejde, der udfordres for at føre Q Enheder af Elektricitet imod denne elektromotoriske Kraft, være lig $E \cdot Q$. (Ere E og Q udtrykte i absolute C. G. S.-Enheder, bliver $E \cdot Q$ udtrykt i Erg.) Strømmens samlede Energi, der kan benyttes til at frembringe Varme eller mekanisk Bevægelse, vil blive formindsket med denne Størrelse, som repræsenterer det Arbejde, der er udført imod den forhaanden værende elektromotoriske Kraft.

Vi kunne imidlertid paa en anden Maade komme til et Udtryk for den samme Mængde Arbejde. Den paagældende Mængde af Elektricitet vil nemlig, idet den gaar igennem Elementet, udfælde en vis Mængde Metal; denne Metalmængde kan brændes eller opløses igen i Syre, og vil da afgive sin potentielle Energi som Varme; men da det mekaniske Ækvivalent for Varme er kendt, kan den ækvivalente Arbejdsmængde beregnes. Q Enheder af Elektricitet ville foraarsage en Udskilning af Qz Gram af en Ion, hvis absolute elektro-kemiske Ækvivalent er z . [For Brint er $z = 0,00010352$ Gram, der er 10 Gange den Mængde (se Tabellen i Pkt. 212), en Coulomb udvikler; thi en Coulomb er $\frac{1}{10}$ af den absolute C. G. S.-Enhed for Mængde]. Repræsenterer H Antallet af Varmeenheder, der udvikles af et Gram af Stoffet, naar det indgaar i den paagældende Forbindelse, saa repræsenterer QzH Værdien (i Varmeenheder) af det kemiske Arbejde, der udføres af Q Elektricitets-Enheder, og denne Værdi kan umiddelbart omsættes til Arbejde, udtrykt i Erg, ved at multipliceres med Joules Ækvivalent $J (= 42 \cdot 10^6)$ [se Tabellen Side 416].

Vi have derfor følgende Ligning:

$$EQ = QzHJ, \text{ hvoraf følger, at}$$

$$E = zHJ; \text{ eller udtrykt i Ord:}$$

Den elektromotoriske Kraft af en hvilken som helst kemisk Reaktion er lig Produktet af den udskilte Ions elektro-kemiske Ækvi-

valent og dens Forbindelses-Varmer, udtrykt i dynamiske Enheder.

Eksempler. 1) Den elektromotoriske Kraft for **Brint**, naar den forener sig med Ilt. For Brint er $z = 0,00010352$; H (Forbindelsesvarmen af et Gram) = 34000 Gram-Grad-Enheder; $J = 42 \cdot 10^6$.

$0,00010352 \cdot 34000 \cdot 42 \cdot 10^6 = 1,47 \cdot 10^8$ »absolute« Enheder af elektromotorisk Kraft, eller = 1,47 Volt.

2) Elektromotorisk Kraft af **Zink**, der opløses i Svovlsyre.

$z = 0,003364$; H = 1670 (ifølge Julius Thomsen); $J = 42 \cdot 10^6$.

$0,003364 \cdot 1670 \cdot 42 \cdot 10^6 = 2,359 \cdot 10^8$
eller = 2,359 Volt.

3) Elektromotorisk Kraft af **Kobber**, der opløses i Svovlsyre.

$z = 0,003261$; H = 909,5; $J = 42 \cdot 10^6$.

$0,003261 \cdot 909,5 \cdot 42 \cdot 10^6 = 1,252 \cdot 10^8$
eller = 1,252 Volt.

4) Elektromotorisk Kraft af et **Daniells Element**. I dette opløses Zink ved den ene Pol, hvorved der dannes Zinksulfat, og denne kemiske Virkning frembringer en positiv elektromotorisk Kraft, medens der ved den anden Pol paa Grund af Strømmen udskilles Kobber af en Opløsning af Kobbersulfat, hvorved der opstaar en modvirkende (eller negativ) elektromotorisk Kraft. Den, der skyldes Zinken, er som ovenfor vist $+ 2,359$ Volt, medens den, der skyldes Udfældningen af Kobber, er $\div 1,242$. Følgelig er Elementets Overskud af elektromotorisk Kraft (idet vi ikke tage Hensyn til den ubetydelige elektromotoriske Kraft, der opstaar, hvor de to Opløsninger berøre hinanden) $2,359 \div 1,242 = 1,917$ Volt. Dette er omtrent, hvad vi i Praxis have fundet, at den er (Pkt. 170). Den er for lille til at kunne elektrolysere Vand, men to Daniells Elementer i Række ville let elektrolysere Vand.

415. Sekundære Elementer: Opsamling af elektriske Strømme. Et Voltameter eller en Række af Voltametre, hvis Elektroder ere ladede henholdsvis med Brint og Ilt, kan benyttes som et sekundært Batteri, i hvilket en Strøms Energi kan opsamles (som kemisk Arbejde) for senere at udnyttes. Ritter, som i 1803 konstruerede et sekundært Element, anvendte Elektroder af Platin. Gaston Planté opfandt i 1860 et sekundært Element, der til Elektroder havde to oprullede Blyplader (saaledes at de ikke berørte hinanden), som vare nedsænkede i fortyndet Svovlsyre. Blyet blev ved gentagne Ladninger i modsatte Retninger dækket med et halv-porøst Lag af brunt Blyoverilte paa Anode-Pladen, medens Kathode-Pladen blev dækket med et Lag af svampet Bly, der frembyder en stor Overflade og let paa-virktes kemisk. Naar et saadant Batteri eller Strøm-Akkumu-

lator lades, ved at forbinde det med en dynamo-elektrisk Maskine eller en anden kraftig Strømfrembringer, bliver Anode-Pladen iltet, medens Kathode-Pladen aflies af den Brint, som frigøres. Pladerne kunne holde sig i mange Dage i denne Tilstand og ville give Strøm, indtil de to Blyoverflader ere blevne saaledes omdannede, at de ere kemisk uvirksomme. Saadanne Elementers

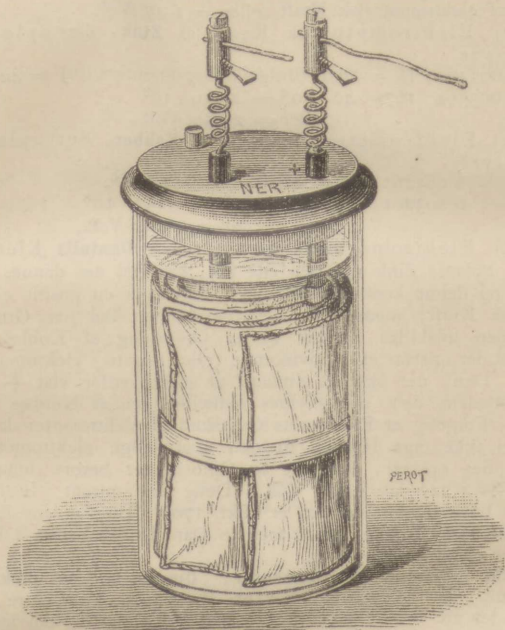


Fig. 137.

elektromotoriske Kraft er omtrent 2,0 Volt under Udladningen. Planté har meget sindrigt forbundet disse Elementer til Batterier paa en saadan Maade, at de kunne lades i Parallel-Forbindelse og udlades i Række, saa at de (i en kort Tid) kunne give overordentlig stærke Strømme. I 1881 forbedrede Faure Plantés Akkumulator, idet han til at begynde med dækkede de to Blyplader med et Lag Mønnie (Fig. 137). Naar en Strøm ledes gennem

Elementet for at lade det, iltes Mønnien paa Anoden til Bly-overilte, medens det paa Kathoden reduceres, først til et lavere Ilte, derpaa til svampet Bly; derved faar det virksomme Stof en større Tykkelse, og dets Frembringelse tager meget kortere Tid, end Tilfældet er i Plantés Elementer. Til Brug ved elektrisk Belysning fremstilles

Faures Elementer med flade Plader. I Sellons og Volckmars Akkumulatorer er Mønnien pakket i Aabninger i Blypladerne. Et sekundært Element ligner en Leydnerflaske deri, at det kan lades og derpaa udlades. Leydnerflaskens Rest-Ladninger ligne, om de end ere smaa og hurtigt udlades, dog nøjagtig Voltameters Polarisation-Ladninger.

416. Groves Gas-Element. Sir Wm. Grove har opfundet et Element, i hvilket Platin-Elektroder, der ere i Berøring henholdsvis med Brint og Ilt, erstatte de sædvanlige Zink- og Kobberplader. Enhver af disse Luftarter absorberes delvis af Platinpladerne, som derved virke som to forskellige Metaller. I Fig. 138 er der vist en Form af Groves Gas-Element, i hvilket Rørene O og H indeholde den positive og negative Elektrode, omgivne henholdsvis med Ilt og Brint.

417. Almindelige Love for elektrolytisk Virkning. I Forbindelse med Faradays kvantitative Love, der ere anførte i Pkt. 211, ere nedenstaaende Love for Elektrolysen de vigtigste:

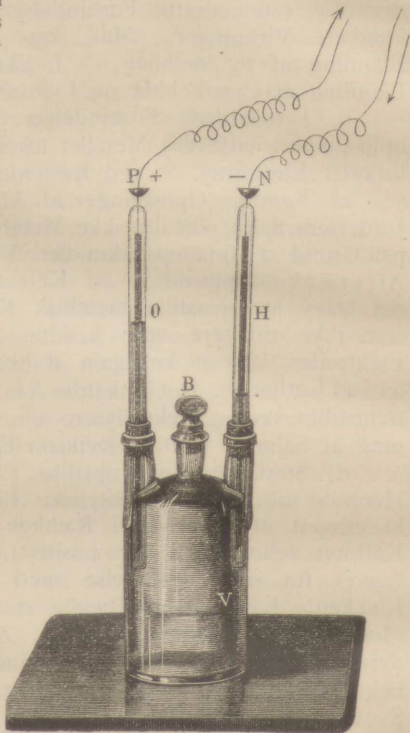


Fig. 138.

a) Enhver Elektrolyt adskilles i to Dele, en Anion og en Kathion, som selv enten kunne være enkelte eller sammensatte. Er Elektrolyten en simpel, toleddet Forbindelse, som f. Eks. smeltet Kogsalt (NaCl), ere Ionerne Grundstoffer. I andre Tilfælde udskilles der ofte sammensatte Forbindelser som Følge af sekundære Virkninger. Man kan ogsaa udfælde en Blanding af to Metaller — f. Eks. Messing af en Blanding af Cyankobber og Cyanzink.

b) I toleddede Forbindelser og de fleste Metalopløsninger, udfældes Metallet af Strømmen, hvor den forlader Elementet, o: ved Kathoden.

c) Vandige Opløsninger af Alkaliens og alkaliske Jordarters Salte udskille ikke Metal men udvikle Brint, paa Grund af Metallets sekundære Virkning paa Vandet. Af stærke Opløsninger af Kali og Natron lykkedes det Davy at fremstille metallisk Kalium og Natrium, som ikke tidligere vare kendte. Benyttes Kviksølv-Elektroder, faas et Amalgam af hvert af disse Metaller let ved Kathoden. Det saakaldte Ammonium-Amalgam fremstilles ved at elektrolysere en varm, stærk Opløsning af Salmiak mellem Kviksølv-Elektroder.

d) Stofferne kunne opstilles i en bestemt Række i Henhold til deres elektrolytiske Egenskaber, saaledes at ethvert af Stofferne i Rækken optræder som en Kathion (eller er elektro-positivt), naar det elektrolyseres fra sin Forbindelse med ethvert følgende i Rækken. I en saadan Række staa de lettest iltelige Metaller, som Kalium, Natrium, Zink o. s. v. øverst; derefter komme de mindre let iltelige eller »elektro-negative« Metaller, derefter Kul, Ilt, Fosfor, Jod, Klor, Svovl og tilsidst Ozon.

e) Af en Opløsning af blandede Metal-Salte udfældes det mindst elektro-positive Metal først, undtagen naar Strømmen er meget stærk.

f) De frigjorte Ioner vise sig kun ved Elektroderne.

g) For hver Elektrolyt fordres et Minimum af elektromotorisk Kraft, uden hvilket der ikke kan fuldbyrdes en fuldstændig Elektrolyse (se Pkt. 413).

h) Er Strømmens elektromotoriske Kraft mindre end dette nødvendige Minimum, kan en Elektrolyse begynde, og der vil i Begyndelsen gaa en svag Strøm igennem Elektrolyten, men der vil ingen Ioner blive frigjorte, og Strømmen vil fuldstændig standses, saasnart Polarisationsens modvirkende elektromotoriske Kraft er bleven lige saa stor som den elektrolyserende Strøms.

i) Der frembringes ingen modvirkende, fra Polarisationen hidrørende, elektromotorisk Kraft, naar Elektrolysen iværksættes med en Anode af samme Metal som det, der udfældes ved Kathoden. Det svageste Element vil være i Stand til at udfælde Kobber af Kobbersulfat, dersom Anoden er en Kobberplade.

j) Ere Ionerne Luftarter, paavirkes Forholdene af Tryk, men kun ubetydeligt. Ved 300 Atmosfærers Tryk elektrolyseres svovlsyreholdigt Vand endnu; men i visse Tilfælde samler der sig paa Anoden et Lag af Syre, der er saa stærkt, at det ikke leder, og at Strømmen derved standses.

k) Det kemiske Arbejde, en Strøm udfører i en elektrolytisk Celle, er proportionalt med Polarisationens Minimums-E. M. K.

l) Om ogsaa Polarisationens elektromotoriske Kraft er større end dette Minimum, vil det Arbejde, Strømmen udfører ved at overvinde dette Overskud af elektromotorisk Kraft, ikke vise sig som kemisk Arbejde, thi der vil ikke frigøres flere Ioner; men det vil vise sig som en forøget Varmemængde (eller »lokal Varme«), der udvikles i den elektrolytiske Celle.

m) Ohms Lov gælder for elektrolytisk Ledning.

n) Af de sekundære Virkninger, der kunne forekomme, ere følgende de vigtigste: 1) Ionerne kunne selv adskilles, som SO_4 i $\text{SO}_3 + \text{O}$. 2) Ionerne kunne paavirke Elektroderne, som naar svovlsyreholdigt Vand elektrolyseres mellem Zink-Elektroder, og der

ingen Ilt frigøres paa Grund af Zinkens Affinitet til Ilt.
 3) Ionerne kunne frigøres i en særegen Tilstandsform. Ilt frigøres saaledes hyppigt i sin allotropiske Form, som Ozon, især naar manganoversure Salte elektrolyseres. Den ved Elektrolyse af fortyndet Svovlsyre frigjorte Brint er, i det Øjeblik den frigøres (den »nascente Brint«), stærkere kemisk virksom end almindelig Brint. Metallerne udfældes undertiden ogsaa abnormt: Kobber som et sort, usammenhængende Lag; Antimon som runde, graa Klumper (af en Triklorid-Opløsning), der ere i Besiddelse af en ejendommelig, eksplosiv Egenkab, o. s. v.

418. Grotthuss's og Clausius's Hypoteser.

En fuldstændig Teori for Elektrolysen maa forklare for det første Overførelsen af Elektricitet og for det andet Overførelsen af Stoffet gennem Cellens Vædske. Det sidste Punkt har man haft Opmærksomheden mest henvendt paa, som Følge af at »Ionernes Vandring« (o: deres Overførelse gennem Vædsken) i to modsatte Retninger og deres udelukkende Tilsynekomst ved Elektroderne ere slaaende Kendsgerninger.

Den Hypotese, som Grotthuss fremsatte i 1805, giver en god Forklaring af disse Kendsgerninger, naar den modificeres i Overensstemmelse med de moderne Begreber. Grotthuss antager, at naar to Metalplader med forskelligt Potential anbringes i en elektrolytisk Celle, er den første Virkning, der frembringes i Vædsken den, at Vædskens Molekyler ordne sig i utallige Rækker, i hvilke ethvert Molekyle har sine Atomere pegende i en bestemt Retning, idet Atomet af det elektro-positive Stof tiltrækkes henimod Kathoden, medens det dermed forbundne Atom af det elektro-negative Stof tiltrækkes henimod Anoden. (Denne Opfattelse forudsætter, at Molekylets Atomere efter deres Forbindelse bevare de elektriske Egenskaber, de have, forinden Forbindelsen dannes.) Fig. 139 viser os Teorien anvendt paa Adskillelsen af Klorbrinte. En Række af Molekyler ere først ordnede paa Maa og

Faa (1) og derpaa (2) ordnede i en Række, som ovenfor beskrevet. Den Virkning, som Grotthuss derpaa antager finder Sted, er en Ombytning mellem Molekylernes Atomer langs hele Rækken, idet ethvert Brint-Atom forbinder sig med det Klor-Atom, der hører til Nabo-Molekylet, saa at et halvt, positivt Molekyle Brint frigøres ved Kathoden og et halvt, negativt Molekyle Klor frigøres ved Anoden. Denne Virkning vilde stille Molekylerne som i 3, og vilde, naar den gentages, forårsage en dobbelt Vandring af Brint-

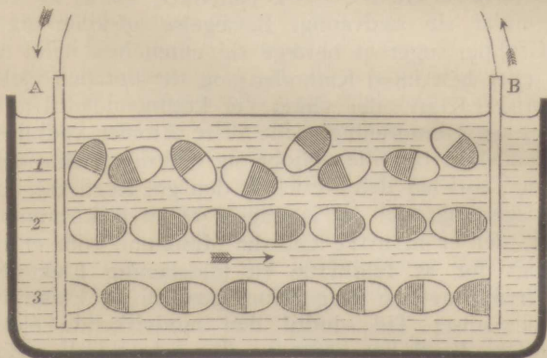


Fig. 139.

Atomerne i den ene Retning og af Klor-Atomerne i den anden, saa at de fri Atomer kun vise sig ved Elektroderne, og ethvert Atom, der saaledes frigøres, udlader en vis, bestemt, lille Ladning Elektricitet paa den Elektrode, hvor den frigøres*).

*) G. J. Stoney har fornylig paa Grundlag af Anskuelsen angaaende Atomernes Størrelse (beregnet af Loschmidt og Wm. Thomson) beregnet, at for hvert kemisk Baand, der brydes, overføres der en Ladning paa 10^{-20} Coulomb. [E. Budde siger $17 \cdot 10^{-20}$ Coulomb]. Denne Størrelse skulde derfor synes at være den naturlige Ladning for hvert Atom eller Enhedsladningen. For at løsribe et Atom Brint fra en Brintforbindelse maa denne Elektricitetsmængde sendes igennem den. For at frigøre et Atom af Zink eller et andet togyldigt Metal fra deres Forbindelse skal der overføres to Gange denne Elektricitetsmængde.

Clausius har søgt at bringe Grotthuss's Tanker i Overensstemmelse med den moderne kinetiske Hypotese om Vædskers Beskaffenhed. I Henhold til den antage vi, at i Vædskenes sædvanlige Tilstand ere Molekylerne altid i Bevægelse, glidende rundt imellem hverandre, og at de til Molekylet hørende Atomere ogsaa ere i Bevægelse, idet de stadig skilles ad og forene sig igen i Grupper af samme Beskaffenhed, og deres Bevægelser finder Sted i alle mulige Retninger i Vædsken. Men under Indflydelse af en elektromotorisk Kraft blive disse Bevægelseres Retning paavirket, saa at et Atom, der under sin sædvanlige Bevægelse adskiller sig fra en Gruppe, søger at bevæge sig enten hen imod Anoden eller hen imod Kathoden; og dersom den elektromotoriske Kraft, der virker, er kraftig nok til at forhindre en Genforening, ville disse Atomere vedblive at være adskilte og ville ophobe sig omkring Elektroderne. Denne Teori har den Fordel, at den gør Regnskab for en Kendsgerning, der let iagttages, at en elektromotorisk Kraft, der er mindre end det Minimum, som er nødvendigt for at fuldbyrde en fuldstændig Elektrolyse, kan frembringe en svag Strøm gennem en Elektrolyt i en begrænset Tid, indtil den modvirkende elektromotoriske Kraft har naaet en lignende Værdi. Helmholtz, som har givet denne delvise Elektrolyse Navn af elektrolytisk Overføring, antager, at den skyldes Virkningen af uforenede Atomere, der til at begynde med findes i Vædsken. Denne Antagelse er i Virkeligheden indbefattet i Clausius's kinetiske Hypotese.

419. Elektrometallurgi. Anvendelsen af Elektrokemien i Industrien er tredobbelt. For det første til Udskilning af Metaller af Opløsninger af deres Malme, en Fremgangsmaade, der er for dyr til almindelig Anvendelse, men nyttig ved en omhyggelig Behandling af forskellige Malme, som f. Eks. Kobbermalme^{*)}.

^{*)} Den fabrikmæssige Fremstilling af Aluminium sker paa denne Maade.
O. A.

For det andet til Gengivelse af Billeder eller Gibs-figurer eller Metal-Arbejde ved Metaludfældninger paa Kathoden. For det tredie til at overtrække Genstande, der ere lavede af et uædelt Metal, med et tyndt Lag af et andet Metal, som f. Eks. Guld, Sølv eller Nikkel. Alle disse Arbejder ere indbefattede i den almindelige Betegnelse Elektrometallurgi.

420. Elektrotypi. I 1836 opdagede De la Rue, at Kobberet, som af Opløsningen i et Daniells Element udfældes paa Kobberpladen, der tjener som Pol, modtager et nøjagtigt Indtryk af Pladen, selv af Ridser paa den. I 1839 opfandt Jacobi i St. Petersborg, Spencer i Liverpool og Jordan i London uafhængigt af hinanden paa Grundlag af denne Kendsgerning en Maade, paa hvilken man ved Elektrolyse af Kobber kunde faa Aftryk (i omvendt Relief) af Mynter, Stereotypi-Plader og Forsiringer. En yderligere Forbedring, der skyldes Murray, var Anvendelsen af Forme af Gibs eller Voks, overtrukket med et Lag Grafit for at frembringe en ledende Overflade, paa hvilken Udfældningen foregik. Jacobi kaldte denne Proces Galvanoplastik; men nu bruges hyppigst Betegnelsen **Elektrotypi**.

Elektrotypi i Kobber udføres let ved at hænge en passende Form ned i en Beholder, der indeholder en mættet Opløsning af Kobbersulfat, og derefter lede en Strøm gennem Beholderen, saaledes at Formen bliver Kathoden; som Anode benyttes en Kobberplade, der efterhaanden opløses i Vædsken nøjagtigt i samme Forhold, som Kobberet udfældes paa Kathoden. Det er bekvemmere at bruge et særligt Batteri end at frembringe Elektrotyperne i selve Elementet af et Daniells Batteri. Denne Fremgangsmaade anvendes i stor Udstrækning nu til Dags ved Reproduktionen af trykkede og drevne Ornamenter og andre Kunstarbejder og ved Mangfoldiggørelse af Træsnit til Trykning.

421. **Elektroplettering***). I 1801 opdagede Wolleston, at et Stykke Sølv, der var forbundet med et mere positivt Metal, blev overtrukket med et Lag Kobber, naar det blev stukket ned i en Kobberopløsning. I 1805 forgyldte Brugnatelli to Sølvmedailler ved at benytte dem som Kathode i en Opløsning af Guld. Firmaet Elkington indførte omtrent i Aaret 1840 den fabrikmæssige Fremstilling af Elektropletvarer. Ved denne Metode overtrækkes et uædelt Metal, som f. Eks. Nysølv (en Legering af Zink, Kobber og Nikkel), med et tyndt Lag af Sølv eller Guld, idet de Opløs-

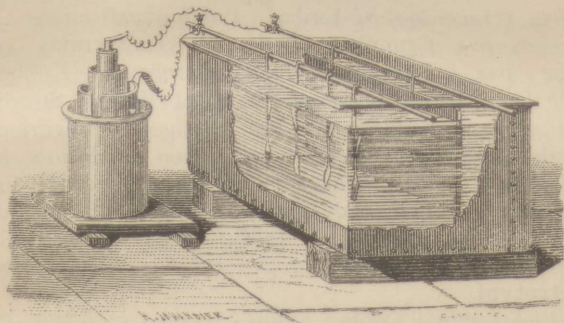


Fig. 140.

ninger, der benyttes ved Elektro-Forgyldning, er Dobbeltsaltet Cyanguld-Cyankalium, og ved Elektro-Forsølvning er Cyansølv-Cyankalium. Fig. 140 viser et Element og et Pletterings-Bad, der indeholder Sølvopløsningen. Fra Anoden hænger en Sølvplade ned, som opløses i Vædsken, medens der i Kathoden er ophængt Skeer, Gafler og andre Genstande, som skulle have et Sølv-Overtræk. Tilsættes en ubetydelig Smule Svovlkulstof til Opløsningen, bevirkes, at det udfældede

*) »Elektroplet« er en Fordanskning af det engelske »elektroplate«. I den senere Tid benyttes hyppig Betegnelsen Galvanostegi af det græske Verbum steigen, at dække.
O. A.

Metal faar en blank Overflade. Er Strømmen for stærk og Udfældningen for hurtig, bliver det udfældede Metal graaligt og krystallinsk.

Skulle Jerngenstande forsølves eller forgyldes, plejer man sædvanligvis først at overtrække dem med et tyndt Lag Kobber. Tinlegeringer, der skulle forgyldes, overtrækkes ogsaa i Reglen først med et Kobberlag. Forgyltning af den indvendige Side af Krukker og Kopper udføres ved at fylde Krukken eller Koppen med Guldopløsningen og ophænge en Anode af Guld i den, medens selve Karret forbindes med Batteriets negative Pol. I Stedet for et Volta-Batteri anvendes nu hyppigt et termo-elektrisk Batteri (Pkt. 384) eller en dynamo-elektrisk Maskine (Pkt. 408).

422. (1) Metal-Farvning. I 1826 opdagede Nobili, at naar en Blyopløsning elektrolyseres, danner der sig et Lag af Blyoverilte paa Anoden. Er denne en Metalplade — f. Eks. en Plade af blankt Staal, — der er anbragt vandret i Vædsken under en Platintraad som Kathode, finder Udfældingen Sted i symetriske Ringe af aftagende Tykkelse, saaledes at den tykkeste Udfældning sker i Midten. Disse Ringe, de saakaldte Nobilis Ringe, vise alle Regnbuens Farver, hvilket skyldes en i Laget foregaaende Interferens af Lysbølgerne, som bevirker, at Straaler af forskellig Bølgelængde og Farve tilintetgøres i forskellige Afstande fra Centret. Farverne danne i Virkeligheden de »tynde Pladers Farver« i Newtons Ringe i omvendt Orden. Ifølge Wagner anvendes denne Frembringelse af Farve-Virkninger, ved at elektrolysere en Opløsning af Bly i en Natronopløsning, i Nürnberg til Forsiring af Metallegetøj.

Forfatteren af denne Bog har iagttaget, at naar Nobilis Ringe frembringes i et magnetisk Felt, ere de ikke længere cirkelformede, idet de udfældende Strømme drages til Siden, saaledes som man kunde vide det forud efter den kendte Virkning af en Magnet paa strømførende Ledere.

422. (2) Metaller's elektro-kemiske Kraft. I omstaaende Tabel er forskellige Metaller's elektromotoriske Kraft anført, beregnet paa den Maade, der er angivet i Pkt. 414, af deres elektro-kemiske Ækvivalenter (Pkt. 212) og af den Varme, der udvikles ved Forbindelsen med Ilt af en saa stor Vægt af Metallet, som er det elektro-kemiske Ækvivalent til et Gram Brint. Den maalte elektromotoriske Kraft i Volt (i fortyndet Svovlsyre) er opført med for Sammenlignings Skyld.

Stoffet	Varmeud- vikling af Ækvival.	Beregnet E. M. K.		Maalt E. M. K.
		i Forhold til Ilt	i Forhold til Zink	
Kalium	69 800	3,01	+ 1,18	+ 1,13
Natrium	67 800	2,91	+ 1,09	...
Zink	42 700	1,83	0	0
Jern	34 120	1,55	— 0,28	...
Brint	34 000	1,47	— 0,36	...
Bly	25 100	1,12	— 0,71	— 0,54
Kobber	18 760	0,80	— 1,08	— 1,047
Sølv	9 000	0,39	— 1,44	...
Platin	7 500	0,33	— 1,50	— 1,53
Kul	2 000	0,09	— 1,74	...
Ilt	0	0	— 1,83	— 1,85
(Salpetersyre)	— 6 000	— 0,26	— 2,09	— 1,94
(Brunsten)	— 6 500	— 0,29	— 2,12	— 2,23
(Blyoverilte)	— 12 150	— 0,52	— 2,35	— 2,52
(Ozone)	— 14 800	— 0,63	— 2,46	— 2,64
(Manganoversyre) ...	— 25 070	— 1,09	— 2,92	— 3,03

Den Orden, i hvilken Metallerne ere opstillede, er i Virkeligheden ingen anden end den Orden, i hvilken Metallerne lettest angribes af Ilt (i fortyndet Svovlsyre); thi det Metal iltes lettest, som ved at iltes udvikler den største Energi. Det er tillige den Orden, Metallerne indtage med Hensyn til deres Evne til at erstatte hinanden (i en Opløsning, der indeholder Svovlsyre). I denne Orden — det nederste i Rækken først — udfældes ogsaa Metallerne af en elektrisk Strøm fra Opløsninger, der indeholde to eller flere af dem; det Metal udfældes først, som fordrer det mindste Energiforbrug for at adskilles fra de Grundstoffer, med hvilke det er forenet.

TOLVTE KAPITEL.

TELEGRAFER OG TELEFONER.

XXXIX. Elektriske Telegrafer.

423. Den elektriske Telegrafs Opfindelse. Det er vanskeligt at henføre Opfindelsen af Telegrafen til nogen bestemt Person. Lesage (Genf 1774), Lomond (Paris 1787) og Sir F. Ronalds (London 1816) opfandt Systemer for Signalering gennem Traade, beroende

paa, at man i den ene Ende af Traaden iagttog et Par Hyldemærskuglers Udslag, naar en Elektricitets-Ladning blev sendt ind i Traaden ved den anden Ende. Cavallo (London 1795) overførte Gnister fra Leydnerflasker gennem Traade »efter en bestemt Plan«. Sømmering (München 1808) oprettede en Telegraf, i hvilken Signalerne bleve udførte ved Vands Dekomposition i Voltametre; og Overførelsen af Signaler ved Stoffers kemiske Adskillelse blev forsøgt af Coxe, R. Smith, Bain og andre. Ampère (Paris 1821) foreslog at benytte et Galvanometer, anbragt paa et fjerntliggende Sted af et Kredsløb, som Modtager for Signaler. Schilling og Weber (Göttingen 1833) benyttede Udslagene af en Galvanometernaal, der bevægede sig til Højre eller til Venstre, til at signalere Bogstaver i Alfabetet gennem et enkelt Kredsløb. Cooke og Wheatstone (London 1837) bragte den første Naale-Telegraf til praktisk Anvendelse. Henry (New-York 1831) benyttede en Elektromagnets Tiltrækning til at overføre Signaler, idet Ankerets Bevægelser frembragte forstaaelige Lyde efter et forud aftalt System. Morse (New-York 1837) opfandt en Telegraf, i hvilken Tiltrækningen af et Elektromagnet-Anker frembragte Mærker som Prikker eller Streger paa en Papirsstrimmel, der blev bevæget. Steinheil (München 1837) paaviste, at man i Stedet for at anvende en Tilbageledning kunde benytte Jorden dertil, ved at sætte begge Ender af Kredsløbet i Forbindelse med Jordplader (se Fig. 143), der bleve gravede ned i Jorden. Gintl (1853) og Stearns (New-York 1870) opfandt Dupleks-Signalering. Stark (Wien) og Bosscha (Leyden 1855) opfandt Dupleks-Signalering, og Edison (Newark N. J. 1874) Kvadrupleks-Telegrafering. Til hurtig Telegrafering opfandt Wheatstone et automatisk Overføringsapparat (transmitter), i hvilket Tegnene, der repræsenterer Bogstaverne, først hugges ud ved en Maskine i Papirsstrimler; disse sendes derefter med stor Hastighed gennem Overføringsapparatet, som telegraferer dem meget hurtigere, end de enkelte Tegn kunne telegraferes med Haanden. Hughes opfandt en Bogstav-Trykke-Telegraf. Wheatstone konstruerede en Viser-Telegraf (A-B-C-Telegraf), i hvilken Bogstaverne betegnes ved Hjælp af en Viser, som bevæger sig over en Skive. Til Brug ved Kabler opfandt Wm. Thomson sit Spejlgalvanometer og det følsomme Hævert-Skriveapparat (siphon-recorder). Pladsen tillader ikke at beskrive mere end een eller to af de simpleste og hyppigst anvendte Former af Telegrafapparater i denne Bog. De Læsere, der ønske en fyldigere Oplysning, maa søge den i de særskilte Haandbøger om dette Emne.

424. Apparat med enkelt Naal. (Fig. 141).

Det bestaar væsentlig af et lodret Galvanometer, i hvilket en let ophængt Magnetnaal gør Udslag til Højre eller Venstre, naar Strømmen sendes i den

ene eller den anden Retning gennem en Traadrulle omkring Naalen. Den Naal, der ses paa Apparatets

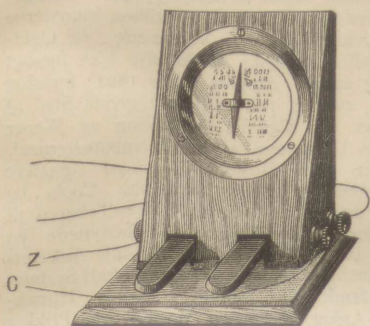


Fig. 141.

Forside, er kun en Viser, idet den virkelige Magnetnaal ligger bagved. Ved en Kombination af de forskellige Bevægelser til Højre og Venstre kan man gengive hele Alfabetet efter et forud vedtaget System. For at kunne sende Strømme i begge Retninger gennem

Kredsløbet anvendes

sædvanligvis en »Signalnøgle« eller Hammer (tapper); Nøglen i den ene Ende af Linien sætter Apparatet i den anden Ende i Virksomhed, men af Bekvemmelighedshensyn er den anbragt paa Modtagerapparatet. De to fremspringende Tangenter fornedet paa Fig. 141 ere Nøgler. Ved at trykke den højre eller venstre Tangent ned, sendes en Strøm i den ene eller den anden Ret-

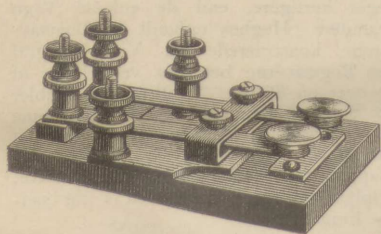


Fig. 142.

ning gennem Linien. Princippet, hvorefter der arbejdes, ses tydeligere af Fig. 142, der forestiller en Signalnøgle. De to vandrette Fjedre ere henholdsvis i Forbindelse med »Linien« og med Tilbageledningen gennem »Jorden«.

Naar Nøglen ikke benyttes, trykke begge Fjedrene op imod en Tværskinne, der staar i Forbindelse med Batteries

Zinkpol. Under dem findes et andet Tværstykke, som staar i Forbindelse med Batteriets Kobberpol (den positive Pol). Naar man trykker »Linie«-Tangenten ned, løber Strømmen gennem Linien og tilbage gennem Jorden, eller i den positive Retning. Naar man trykker »Jord«-Tangenten ned (medens Linie-Tangenten vedbliver at være i Kontakt med Metalstykket, der er forbundet med Zinken), løber Strømmen gennem Jorden og tilbage gennem Linien, eller i den negative Retning. Telegrafister benytte i Almindelighed Betegnelsen den positive og den negative Strøm.

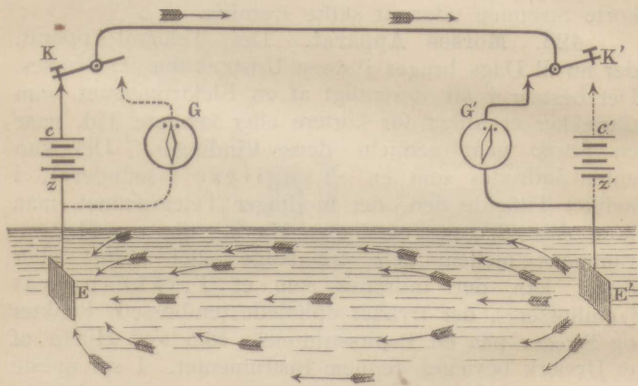


Fig. 143.

Da en Linie nødvendigvis maa kunne betjenes fra begge Ender, benyttes et Batteri i hver Ende, og Ledningerne ere saaledes forbundne, at naar der modtages et Telegram i den ene Ende, er Batteriet i denne Ende lukket ud af Kredsløbet. Fig. 143 viser det simpleste Tilfælde af en saadan Installation. I den ene Ende findes et Batteri, $z\ c$, hvis ene Pol er sat til »Jord«, medens den anden er forbunden med Nøglen K . Denne er indrettet (som den der er vist i Fig. 145) saaledes, at naar den trykkes ned for at sende et

Signal gennem Linien, afbryder den Kontakten med Modtagerinstrumentet paa samme Station. Strømmen, der gaar gennem Linien, gaar gennem K' og ledes ind i Modtagerinstrumentet G', hvor den frembringer et Signal, og vender gennem Jorden tilbage til Batteriet, hvorfra den gik ud. Ved Hjælp af et lignende Batteri og Nøgle i den modsatte Ende er man i Stand til at overføre Signaler i modsat Retning til G, naar K ikke trykkes ned. I Tegningen er G fremstillet som et almindeligt Galvanometer, men Installationen kunde godt benyttes med et Morses Apparat, igennem hvilket man fra den modsatte Ende kun skal sende lange og korte Strømme uden at skifte Retning.

425. Morses Apparat. Det Telegraf-Apparat, der nu til Dags bruges i størst Udstrækning, er Morses. Det bestaar i alt væsentligt af en Elektromagnet, som tiltrækker et Anker for kortere eller længere Tid, naar en Strøm gaar gennem dens Vindinger. Det kan enten indrettes som en »Lydgiver« (»sounder«), i hvilket Tilfælde den, der modtager Telegrammet, maa høre efter Slagene og lægge Mærke til, om Mellemrummene mellem dem ere lange eller korte; eller ogsaa kan det indrettes som et Trykkeapparat (»embosser«), der trykker ophøjede (embossed) Punkter og Streger paa en Papirsstrimmel, som ved Hjælp af et Urværk bevæges gennem Instrumentet. I sin nyeste Form er Morses Apparat indrettet som en »Blæk-Skriver«, i hvilken Ankeret, naar det tiltrækkes af den nedenunder anbragte Magnet, løfter et lille Hjul, fugtet med Blæk, og fører det imod en Papirsstrimmel. Er Strømmen kortvarrig, trykker det kun en Prik. Varer Strømmen i længere Tid, fortsætter Papirsstrimlen sin Bevægelse, og Blækhjulet skriver en Streg. Morses Alfabet med Prikker og Streger er følgende:

A . —	E .	I ..
B — ...	F .. — .	J . — — —
C — . — .	G — — .	K — . —
D — ..	H	L . — ..

M — —	S ...	Y — . — —
N — .	T —	Z — — ..
O — — —	U .. —	Stands
P . — — .	V ... —	Gentagelse .. — — ..
Q — — . —	W. — —	Bindestreg —
R . — .	X — . . —	Apostrof. — — — .

426. Relais. Naar man arbejder paa lange Linier, eller naar der er en Mængde Instrumenter i eet Kredsløb, er Strømmen ofte ikke stærk nok til direkte at paavirke Modtagerinstrumenterne. I saadanne Tilfælde indsættes der et Relais eller Gen-

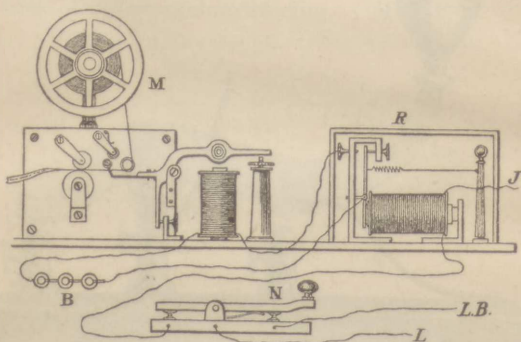


Fig. 144.

tager-Instrument. Dette Apparat bestaar af en Elektromagnet, gennem hvis Vindinger Liniestrømmen løber, og hvis let bevægelige Anker, naar det tiltrækkes, slutter Kontakt for et lokalt Kredsløb, i hvilket et lokalt Batteri og Morses Modtagerapparat ere indsatte. Princippet i Relaiset er altsaa, at en Strøm, der er for svag til selv at udføre Arbejdet, indfører en stærk lokal Strøm, der kan udføre Arbejdet for den. I Fig. 144 er vist et Morses Apparat (en »embosser») M, indsat i Kredsløb med et Lokal-Batteri, B, og et Relais, R. Hver Gang en Strøm i Linie-Kredsløbet be-

væger Relaisets Tunge, slutter den det lokale Strømløb og bevirker, at Morses Modtager enten sætter en Prik eller en Streg paa Papirsstrimlen. Af de tre Traade gaar den med J mærkede til »Jord«, den med L. B. mærkede til Linie-Batteriet, og den med L mærkede til »Linien«. Nøglen, N, er vist i forstørret Maalestok i Fig. 145. Linietraaden er ved a forbunden med Omdrejningsaksen. En Fjeder, g, holder den forreste Ende af Nøglen løftet, naar Nøglen ikke benyttes,

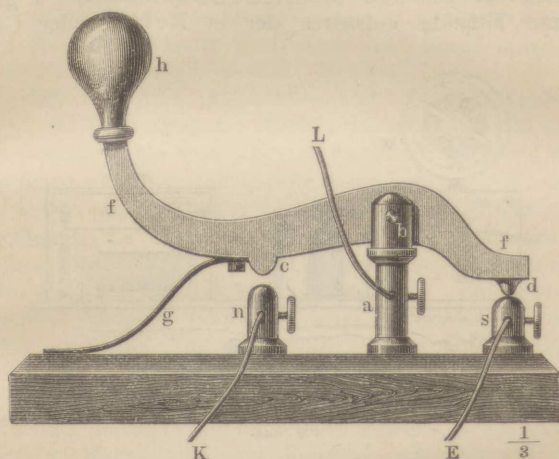


Fig. 145.

saaledes at Linietraaden er i Forbindelse med Relaisets eller Modtagerinstrumentet gennem Bagenden af Nøglen. Trykkes Nøglen ned, brydes denne Forbindelse, og idet Linietraaden sættes i Forbindelse med Linie-Batteriet, ledes der en Strøm gennem Linien.

§ 427. Fejl paa Telegraflinier. Der kan komme Fejl paa Telegraflinier af forskellige Grunde: enten ved at Ledningstraadene knække, eller ved at Isolatorerne gaa i Stykker. I sidste Tilfælde »kortsluttes«

Strømmen enten gennem Jorden, inden den naar Endestationen, eller, som ved overjordiske Ledninger, ved at to Ledninger komme til at berøre hinanden. Telegrafingeniørerne benytte sig af forskellige Maader til at paavise Tilstedeværelsen af Fejlen og Stedet, hvor den findes; de støtte sig alle paa nøjagtige Maalinger af Modstand og af Kapacitet. Det er saaledes muligt, hvis et Telegrafkabel springer midt ude i Oceanet, at beregne, hvor langt fra Land Bruddet findes, ved at tage Forholdet mellem den Modstand, man ved, at Kablet har pr. Mil, og den Modstand, som det Stykke Kabel har, der gaar fra Land til Bruddet.

428. Dupleks-Telegrafering. Der findes to forskellige Maader, paa hvilke Telegrafapparater kunne

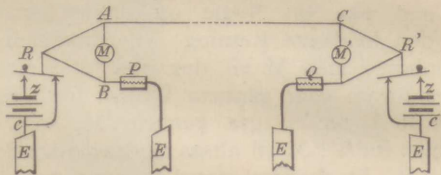


Fig. 146.

installeres, saaledes at der gennem een Traad samtidig kan overføres to Depescher, een fra hver Ende. Den første af disse kaldes Differential-Metoden; den medfører Brugen af Instrumenter, der ere vikledede med to Traadruller, som det i Pkt. 203 omtalte Differential-Galvanometer, og anvendes i særlige Tilfælde. Den anden Metode gaar under Navnet Wheatstones Bro-Metode og finder meget mere almindelig Anvendelse. Princippet for den er vist i Fig. 146. Den første Fordring, der stilles ved Dupleks-Telegrafering er den, at Instrumentet i hver Ende kun skal bevæge sig, naar det bliver paavirket af Signaler fra den anden Ende, saa at Telegrafisten i R er i Stand til at signalere til det paa den anden Station værende Apparat M', uden

at hans eget Instrument, M, paavirkes, medens det dog stadig er indsat i Kredsløbet, klart til at modtage Signaler fra den anden Telegrafist i R'. For at dette kan opnaas, er Kredsløbet i R delt i to Grene, som gennem A og B føre henholdsvis til Linien og til Jord gennem en vis Modstand P. Er Forholdet mellem Modstandene i Armene R A og R B lig Forholdet mellem Modstandene i Linien og i P, vil der, efter Princippet for Wheatstones Bro, ingen Strøm gaa igennem M. M vil saaledes ikke vise, at der er sendt nogen Strøm fra R, hvorimod M' vil vise det; thi idet Strømmen kommer til C, vil den dele sig i to Dele, der begge gaa til Jord, den ene ved at gaa gennem R', den anden ved at gaa gennem M', hvorved der frembringes et Signal. Hvis Telegrafisten ved R', medens dette gaar for sig, trykker ned paa sin Nøgle og sender en lignende Strøm i den modsatte Retning, vil Strømmen gennem Linien ophøre, men M vil dog vise et Signal, skønt der ingen Strøm gaar gennem Linien, fordi Strømmen i Grenen R A nu vil gaa gennem M, som om den var kommen fra R'; M vil altsaa modtage Signalerne, der sendes fra R', hvad enten man i R signalerer eller ikke.

Ved **Dupleks-Telegrafering** sendes to Depescher paa een Gang gennem en Ledning i samme Retning. For at dette skal kunne gøres, er det nødvendigt at anvende Instrumenter, som kun paavirkes af Strømme i een Retning. Metoden nødvendiggør ogsaa Brugen af »Relais«, i hvilke Ankrene selv ere permanent magnetiserede (»polariserede«), og som derfor kun paavirkes af Strømme i een Retning.

Kvadrupleks-Metoden indbefatter baade Dupleks- og Dupleks-Metoden. Paa en og samme Linie bruges to Sæt Instrumenter, af hvilke det ene (betjent ved et »polariseret« Relais) kun paavirkes, naar Retningen af Strømmen skifter, medens det andet Sæt (betjent ved et ikke-polariseret Relais, der ved Fjedre er indstillet til kun at kunne bevæges med en vis Minimums-

Kraft) kun paavirkes, naar Strømstyrken forandres, og er uafhængigt af Strømmens Retning.

429. Undersøisk Telegrafering. Den telegrafiske Forbindelse mellem to Lande, adskilte ved Havet, udføres gennem **Kabler**, som ere nedsænkede paa Havbunden, og som bestaa af Ledningstraade, der ere omhyggelig klædte med et ydre Lag af isolerende og beskyttende Materialer. Lederen er sædvanligvis af

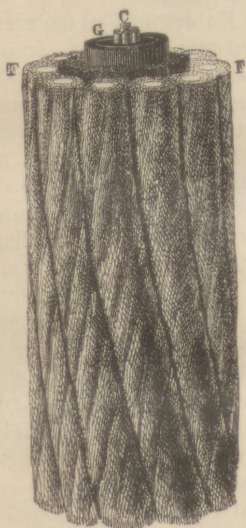


Fig. 147 a.

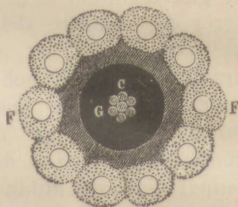


Fig. 147 b.

reneste Kobbertraad, har en Vægt af 300 til 1600 Pd. pr. Mil og bestaar som Regel af 7 Traade for at formindske Faren for Brud. Fig. 147 a og b viser i naturlig Størrelse et Stykke af et transatlantisk Kabel. Inderst ved C ses Kobberlederen, der er isoleret med et tykt Lag Guttaperka, G. Uden paa dette ligger et Lag tjæret Hamp, som atter er omgivet af 10 Jerntraade, F; hver af disse er overtrukken med Hamp.

De Ender af Kablerne, der føres i Land, ere endnu stærkere beskyttede med Jerntraade.

430. Signaleringshastighed gennem Kabler.

Signaler, der overføres gennem lange Kabler, forsinkes, og denne Forsinkelse skyldes to Aarsager:

For det første vil Selv-Induktionen i Kredsløbet forhindre Strømmen i paa een Gang at naa op til sin fulde Styrke; Forsinkelsen kan findes ved Helmholtz's Ligninger, der ere omtalte i Pkt. 405.

For det andet optræder Kablet med sit isolerende Beskyttelseslag, naar det er nedsænket i Vand, som en Leydnerflaske af umaadelig stor Kapacitet (som forklaret i Pkt. 274), og den første Del af Strømmen bliver i Kablet som en elektrostatisk Ladning i Stedet for at gaa igennem det. For hvert enkelt Signal maa Kablet i det mindste delvis lades og derpaa udlades: Culley har paavist, at naar en Strøm sendes gennem det transatlantiske Kabel fra Irland til Newfoundland, kan der selv paa de fineste Apparater paa Modtagerstationen ikke spores nogen Virkning i det første Femtedel-Sekund, og at det tager tre Sekunder, forinden Strømmen har sin fulde Styrke, idet den hæver sig som en elektrisk Bølge, der løber frem gennem Kablet. Strømstyrken formindskes ogsaa gradevis, naar Kredsløbet brydes. — Den største Del af Forsinkelsen skyldes elektrostatisk Ladning og ikke elektro-magnetisk Selv-Induktion, idet Forsinkelsen er proportional med Kvadratet paa Længden af Kablet. De forskellige Midler, der anvendes for at raade Bod paa denne Forsinkelse, ere forklarede i Pkt. 275.

431. Modtager-Instrumenter ved Kabel-Telegrafering.

Sir Wm. Thomisons Spejl-Galvanometer (Pkt. 202) blev konstrueret til Kabelsignalering, idet Lysplettens kortere eller længere Bevægelser paa Skalaen vare tilstrækkelige til at signalere Punkterne og Stregerne i Morses System. Hans Hævert-Modtager (siphon-recorder) er imidlertid langt bedre, da den skriver Signalerne paa en Papirsstrimmel, hvad der

opnaas paa følgende sindrige Maade: Naalen i et kraftigt og følsomt Galvanometer er erstattet af en fin Glashævert, der er ophængt i en Silketraad, og hvis ene Ende stikker ned i et Blækhuse. Blækket sprøjtes uden Gnidning ud paa en Papirsstrimmel (der bevæges af et Urværk og gaar forbi Hæverten i lodret Retning), idet Sprøjtningen udføres elektrisk ved at lade Blækhuset med et roterende Elektrofor, som selv holdes i Gang af en lille elektromagnetisk Maskine.

XL. Elektriske Klokker, Ure og Telefoner.

432. Elektriske Klokker. I sin almindeligste Form bestaar en elektrisk Klokke af en Elektro-

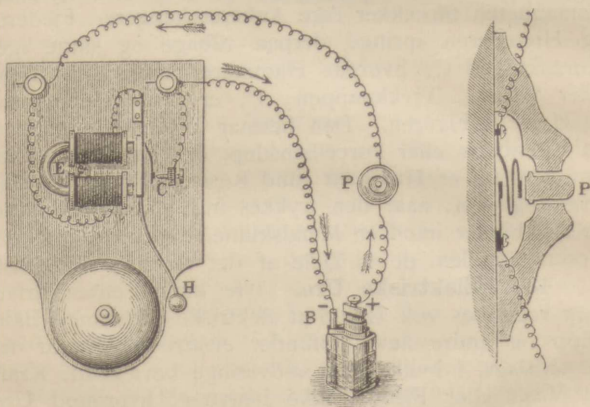


Fig 148.

magnet, som bevæger en Hammer frem og tilbage ved skiftevis at tiltrække og slippe den, saa at den slaar imod en Klokkeskal. Konstruktionen af Apparatet er vist i Fig. 148, hvor E er Elektromagneten og H Hammeren. Et Batteri, der bestaar af et eller to

Leclanchés Elementer, som paa et eller andet bekvemt Sted ere indsatte i Kredsløbet, frembringer Strømmen, naar det ønskes. Ved at trykke paa Trykknappen P slutter man Kredsløbet, og Strømmen løber gennem Ledningen og rundt i Vindingerne paa Elektromagneten, som derved tiltrækker et lille Stykke blødt Jern, anbragt paa en Fjeder, der ender i Hammeren H. Fjederen danner selv en Del af Kredsløbet, idet Strømmen gaar ind i den foroven og ud af den ved C, gennem en Strømbryder, der bestaar af en Fjeder (belagt med Platin), som hviler imod (Platin-)Spidsen af en Skrue, fra hvilken en Tilbageledning fører til Batteriets Zink-Pol. Saa snart Ankeret tiltrækkes, brydes Kredsløbet ved C af Fjederen, idet dennes Berøring med Skruen ophæves; følgelig standser Strømmen, og Elektromagneten tiltrækker ikke Ankeret længere. Fjederen og Hammeren springe derpaa tilbage og slutte igen Kontakt ved C, hvorpaa Hammeren atter føres frem efter o. s. fr. Trykknappen, P, er vist i Gennemsnit til Højre i Figuren. Den bestaar i Almindelighed af en Elfenbens- eller Porcellænsdup, der kan bevæge sig løst gennem et Hul i en rund Roset af Porcellæn eller Træ, og som, naar den trykkes ind, fører en (platin-belagt) Fjeder imod en Metalskinne, hvorved der slutes Kontakt mellem de to Dele af det afbrudte Kredsløb.

433. Elektriske Ure. Ure kunne enten drives eller reguleres ved Hjælp af elektriske Strømme. Bain, Hipp og andre have opfundet elektriske Ure af den første Slags, i hvilke den sædvanlige bevægende Kraft, en Vægt eller Fjeder, ikke benyttes, hvorimod Uret drives af dets Pendul, hvis Linse er en Elektromagnet, der skiftevis tiltrækkes fra den ene og fra den anden Side. Vanskeligheden ved at vedligeholde en fuldstændig konstant Batteristrøm har forhindret Benyttelsen af saadanne Ure. Elektrisk regulerede Ure, der styres af et Normalur, have givet en langt mere praktisk Løsning. I disse er Normaluret konstrueret saaledes, at Strømløbet slutes periodisk, f. Eks. en Gang

hvert hele eller halve Minut. Den overførte Strøm bevæger Viserne paa et System af Urskiver, der ere anbragte paa forskellige Steder, idet den bringer en Elektromagnet, der er anbragt bag hver Skive, til at tiltrække et Anker, som ved en Pal virker paa et Tandhjul. Dette kommer derved til at bevæge sig en Tand frem, hver Gang Normaluret slutter Strømmen, og saaledes føres Viserne rundt med samme Hastighed som Normalurets.

Elektriske Kronografer benyttes til at maale meget smaa Tidsmellemlum. En Stift, der er fastgjort til Elektromagnetens Anker, tegner en Linie paa en papirbevokset Cylinder, som bevæges af et Urværk. Strømmen, der sendes gennem Elektromagnetens Vindinger, bevæger Ankeret, hvorved der frembringes en Streg eller Hak paa tværs af den tegnede Linie. To Strømme markeres ved to Hak, og af Mellemlummet mellem to Hak kan Tidsforløbet mellem de to Strømme findes med en Nøjagtighed af en Titusindedel af et Sekund, dersom Cylindrens Omdrejningshastighed er nøjagtig bekendt. Den Hastighed, med hvilken en Kanonkugle bevæger sig gennem et Kanonløb, kan maales paa denne Maade.

434. Elektriske Telefoner. Det første heldige Forsøg paa at overføre Lyden af elektrisk Vej blev udført i 1861 af Reis, hvem det lykkedes at overføre Musik og andre Toner ved Hjælp af en ufuldkommen Telefon. I dette Instrument virkede Stemmen paa en løs Kontakt i et elektrisk Kredsløb og varierede Modstanden i Kredsløbet ved at bringe Kontaktens Dele i mer eller mindre inderlig Berøring (Pkt. 346). Afsenderen (Transmitteren) i Reis's Telefon bestod af et Batteri og en Strømafbryder, af hvilke den sidstnævnte var dannet af en Trommehinde eller et Diaphragma af en udspændt Hinde, der var i Stand til at optage Lydsvingninger, og som bar en tynd, elastisk Platinstrimmel; idet denne svingede frem og tilbage, slog den imod Enden af en Platintraad, saa at den brød eller sluttede Kredsløbet helt eller delvis ved hver Svingning, nøjagtig paa samme Maade som i Kul-kontakterne paa de moderne af Blake, Berliner o. s. v. konstruerede Mikrofoner. Apparatets Modtager bestod

af en Jerntraad, der var anbragt paa en Sangbund og omgivet af en Rulle isoleret Traad, der dannede en Del af Kredsløbet. Den hurtige Magnetisering og Afmagnetisering af en saadan Jernkærne vil frembringe hørlige Lyde (Pkt. 113), som, da en Tones Højde kun afhænger af Svingningstallet og ikke af Svingningernes Størrelse eller Form, vil gengive den Tone, der er sunget ind i Afsenderen. Dersom Strømmen ikke veksler for pludseligt, magnetiseres og afmagnetiseres Jerntraaden delvis og frembringer Svingninger med vekslende Form og Størrelse; derfor vil en saadan Traad godt kunne benyttes som Modtager til at gengive Talen, naar der anvendes en god Afsender. Reis overførte selv Talen med hans egen Afsender, men kun ufuldkomment, thi alle Talens Lyde kunne ikke overføres, naar der indtræder pludselige Strømafbrydninger, hvad der i Reis's Afsender, paa Grund af Kontaktens overordentlige Lethed, let sker, naar der tales i den. Den fordrer Svingninger, som ikke ere for pludselige, men som kunne være enkelte eller sammensatte, i Henhold til Lydens Natur; Vokallydene frembringes ved periodiske og sammensatte Bevægelser i Luften, medens Konsonanterne for største Delen ere ikke-periodiske. Dersom Kontaktdelene ikke ere for lette, og Talen ikke er for stærk, arbejder Reis's Afsender godt, idet Platinkontakten, naar den er ren, er en tilstrækkelig god Strømregulator til at variere Strømmen i Forhold til Stemmens Svingninger.

Reis konstruerede ogsaa en anden Modtager, i hvilken en Elektromagnet tiltrak et elastisk ophængt Jernanker, som kom til at svinge ved Tiltrækningen af en mer eller mindre fuldstændig afbrudt Strøm.

435. Graham Bells Telefon. I 1876 opfandt Graham Bell Magneto-Telefonen. I dette Instrument taler man imod en elastisk, tynd Jernplade, som derved sættes i Svingninger, og som overfører enhver af sine Bevægelser ad elektrisk Vej til en lignende Plade i en paa en anden Station anbragt, lignende Telefon. Pladen i denne kommer til at svinge paa samme Maade som

Afsenderpladen og udsender derfor de samme Lyde, som denne har modtaget.

Overførelsen af Svingningerne er begrundet paa Principperne for magneto-elektrisk Induktion, der ere forklarede i Afsnit XXXVI. Fig. 149 viser os et Snit gennem en Bells Telefon, i sin seneste Form. Pladen LL er anbragt bag et konisk Mundstykke, RR', til hvilket Taleren sætter sin Mund eller Hørerens sit Øre. Bag denne Plade findes en Magnet, NS, der gaar gennem hele Instrumentets Længde, og om hvis Sydpol, som næsten berører Pladen, der er lagt en Traadrulle med en lang og meget tynd, isoleret Traad, B,

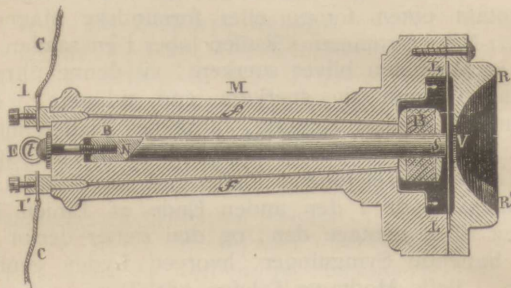


Fig. 149.

hvis Ender, ff, ere forbundne med Klemskruerne II'. Magneten er indesluttet i et Træhylster, M. Et saadant Instrument bruges som Afsender, medens et andet benyttes til at modtage Lydene, og begge Telefonerne ere indsatte saaledes, at de danne et enkelt Kredsløb. Der behøves intet Batteri, da Afsenderen selv frembringer inducerede Strømme paa følgende Maade: Magneten, NS, inducerer en vis Mængde Kraftlinier gennem Traadrullen B. Mange af disse gaa ind i Jernpladen. Naar denne ved at svinge bevæger sig hen imod Magnetpolen, gaar der flere Kraftlinier ud i den; naar den gaar tilbage, færre. Dens frem- og tilbage-

gaaende Bevægelse vil derfor forandre Antallet af Kraftlinier, som gaa igennem det af Traadrullen B omsluttede Rum, og vil altsaa (Pkt. 394) i Traadvindingerne frembringe Strømme, hvis Styrke er proportional med Hastigheden af Forandringen af det Antal Kraftlinier, som gaa igennem Rullen. Bells Telefon kan derfor, naar den bruges som Afsender eller Taletelefon, betragtes som en magneto-elektrisk Strømfrembringer, der ved frem- og tilbagegaaende Svingninger sender Strømme af skiftende Retninger ud i Ledningen. I den modsatte Ende af denne løbe Strømmene, efterhaanden som de ankomme, gennem Traadrullen afvekslende i den ene og i den anden Retning, hvorfor de momentant enten forøge eller formindske Magnetens Styrke. Naar Strømmen i Rullen løber i en saadan Retning, at Magneten bliver stærkere, vil denne tiltrække Jernpladen foran sig stærkere end tidligere. Gaar Strømmen i modsat Retning, tiltrækkes Pladen mindre stærkt og springer tilbage. Følgelig vil, hvilken Bevægelse Afsender-Telefonens Plade end faar, Modtager-Telefonens Plade i den anden Ende af Linien blive tvungen til at gentage den, og den sætter derfor Luftens i lignende Svingninger, hvorved Lyden genfrembringes. Bells Modtager-Telefon adskiller sig kun fra Reis's anden Modtager derved, at den som Anker benytter en tynd, spændig Jernplade, i Stedet for en Jernstang, der svinger paa et spændigt Underlag, og at dens Magnetkerne er af Staal i Stedet for af Jern.

436. (1) Edisons Telefon. Edison har konstrueret en Telefon til Overføring af Talen, i hvilken Stemmens Svingninger virke paa et udspændt Glimmerblad og derved bringe dette til at udøve et større eller mindre Tryk paa en Knap af præpareret Kørnøg, der er indsat i Kredsløbet. Modstanden i Knappen forandres ved Tryk, og derfor ville de forskellige Tryk, der skyldes Svingningerne, bevirke, at Knappen gør vekslende Modstand mod enhver Strøm (fra et Batteri) der gaar gennem Kredsløbet, saa at Strømmens Styrke

derved forandres. Denne foranderlige Strøm kan som før modtages af en elektro-magnetisk Modtager-Telefon af den Slags, der er beskrevet ovenfor, og i den frembringe de tilsvarende Svingninger. Edison har ogsaa opfundet en Modtager-Telefon af usædvanlig Styrke, som er grundet paa den ejendommelige Kendsgerning, han selv har opdaget, at dersom en Platinspids trykker imod en omdrejende Cylinder af fugtig Kalk, formindskes Gnidningsmodstanden, naar en Strøm gaar gennem Spidsen over paa Cylindren, og dersom Spidsen forbindes med en spændig Plade, bliver denne sat i Svingninger, der svare til de Bølge-Strømme, der komme fra Talerens Telefon.

436. (2) Dolbears Telefon. Varley og Dolbear have ogsaa opfundet Modtager-Telefoner, i hvilke Tiltrækningen mellem en Kondensators modsat elektriserede Belægninger benyttes til at frembringe Lyde. Afsenderen er indsat i Kredsløb med en lille Induktionsrulles primære Ledning, medens Rullens sekundære Traad er forenet gennem Linien med Modtager-Kondensatoren. I Dolbears Telefon bestaar Modtageren kun af to tynde Metalplader, adskilte ved et meget tyndt Luftlag og forbundne henholdsvis med de to Ender af den sekundære Rulle. Idet de vekslende Strømme lade og aflade denne Kondensator, tiltrække de to Plader hinanden mer eller mindre stærkt, og derved frembringes Svingninger, som svare til de oprindelige Lydsvingninger.

437. Hughes's Mikrofon. Hughes opdagede i 1878, at en løs Kontakt mellem to Ledere, der danne en Del af et Kredsløb, i hvilket et lille Batteri og en Modtager-Telefon ere indsatte, kan benyttes til at overføre Lyde, uden at der til Mellemlid behøves nogen særlig udspændt Plade eller Hinde, som hos Reis og Edison, idet selv de mindste Svingninger ville forandre Modstanden i den løse Kontakt, dersom denne er indstillet fint. Mikrofonen (Fig. 150) er en An-

vendelse af dette Princip. I den Form, der er vist i Figuren, er en lille, tynd Kulstang, C, anbragt løst mellem to smaa Stykker af det samme Stof, A og B, fastgjorte paa en Sangbund, R, R, af tyndt Fyrretræ. Kulstykkerne ere forbundne med eet eller to smaa Elementer og en Bells Telefon som Modtager. De Svingninger, der frembringes i denne Telefon, kunne blive meget større end de oprindelige Lydes, og derfor tjener Mikrofonen, som dens Navn ogsaa angiver,

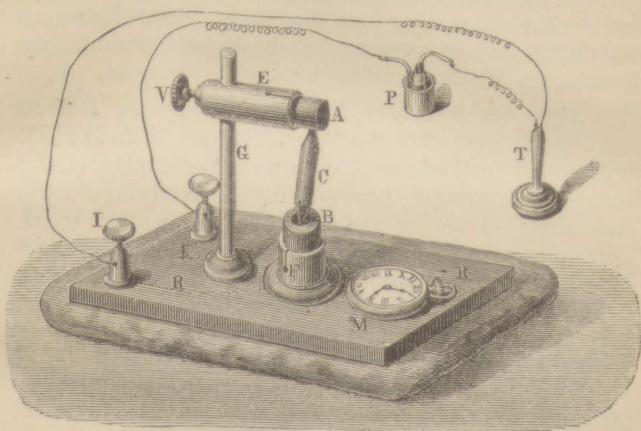


Fig. 150.

til at forstærke svage Lyde, som f. Eks. et Urs Dikken eller et Insekts Fodtrin, saa at de kunne høres. Den mindre følsomme Kul-Afsender eller Transmitter, der hyppigt benyttes i Forbindelse med Telefonen, betragtes undertiden som en Slags Mikrofon. I nogle af disse Instrumenter — Blakes f. Eks. — findes der en spændt Hinde ligesom i Edisons og Reis's Telefon.

438. Hughes's Induktions-Vægt. Bell-Telefonens (Pkt. 435) overordentlige Følsomhed for svage Strømme

har ført til, at den kan benyttes til at opdage Strømme, der ere alt for svage til at paavirke det mest fintfølende Galvanometer. Strømmene maa imidlertid være Vekselstrømme eller afbrudte Strømme, thi ellers ville de ikke kunne holde Telefonens Plade svingende. Hughes har anvendt denne Egenskab ved Telefonen til Konstruktion af et Instrument, der kaldes Induktions-Vægten (Fig. 151). Strømmen fra et lille Batteri, B, der er forbundet med Mikrofonen, M, gaar igennem to Traadruller, P_1 og P_2 , der ere fast anbragte paa et passende Underlag. Over disse primære Ruller anbringes to sekundære Traadruller, S_1 , S_2 , af samme Størrelse og

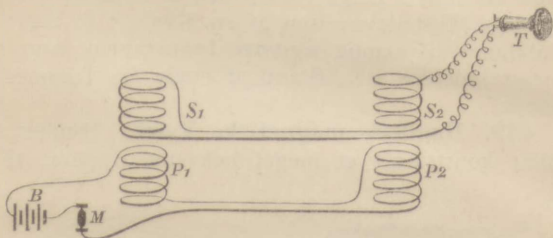


Fig. 151.

med nøjagtig lige mange Traadvindinger. De sekundære Traadruller ere forbundne med Telefonen, T, og ere vikledede modsat af hinanden. Resultatet heraf er, at hver Gang en Strøm enten slutes eller afbrydes i de primære Ruller, vil P_1 inducere en Strøm i S_1 og P_2 i S_2 . Da S_1 og S_2 ere modsat vikledede, ville de to Strømme, der saaledes induceres i de sekundære Ruller, modvirke hinanden, og dersom de ere lige stærke, ville de ophæve hinanden saa fuldstændig, at der ikke høres nogen Lyd i Telefonen. Men der kan ikke opnaas en fuldkommen Ligevægt, undtagen naar Modstandene og Koefficienterne for den gensidige Induktion og Selv-Induktion ere lige store. Anbringes et fladt Stykke Sølv eller Kobber (f. Eks. en Mønt) mellem S_1 og P_1 , vil

Induktionen være mindre i S_1 end i S_2 , thi en Del af den inducerende Virkning i P_1 anvendes nu til at frembringe Strømme i Metalmassen (Pkt. 401), og man vil igen høre en Lyd i Telefonen. Man kan imidlertid frembringe Ligevægt ved at gøre Afstanden mellem S_2 og P_2 større, indtil Induktionen i S_2 ikke er større end Induktionen i S_1 , hvilket viser sig ved, at Lydene i Telefonen atter ophøre. Paa denne Maade er det muligt at bestemme den relative Ledeevne for forskellige Metaller, der indsættes mellem Rullerne. Det er endog muligt, ved Hjælp af Ledeevnen, at paavise, at en Mønt er forfalsket. Induktions-Vægten er ogsaa bleven anvendt i Lægevidenskaben af Graham Bell for at opdage Tilstedeværelsen af en Kugle i et Saar; en Metalklump vil nemlig forstyrre Induktionen, naar den kommer indenfor en Afstand af nogle faa Tommer fra Rullerne.

439. Hughes's magnetiske Vægt. Hughes har i 1884 konstrueret et meget bekvemt Apparat til at

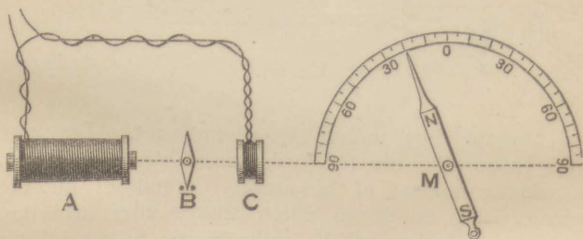


Fig. 152.

undersøge forskellige Jern- eller Staalprøvers magnetiske Egenskaber. Prøvestykket, der skal undersøges, anbringes i en magnetiserende Rulle, A (Fig. 152), og en Strøm sendes omkring det. Derved frembringes der et Udslag af en let bevægelig Naal, B, som derpaa bringes tilbage til Nulpunktet ved at dreje en stor,

kompenserende Magnet, M, om sit Centrum. En lille Rulle, C, ophæver Indvirkningen af Rullen A paa Naalen. Forfatteren af denne Bog har paavist, at dersom Afstanden fra M til B er 2,3 Gange Længden af M, er den Vinkel, som M drejes, proportional med den magnetiske Kraft, der skyldes Jernkærnen i A, forudsat at Vinklen er mindre end 60^0 .

