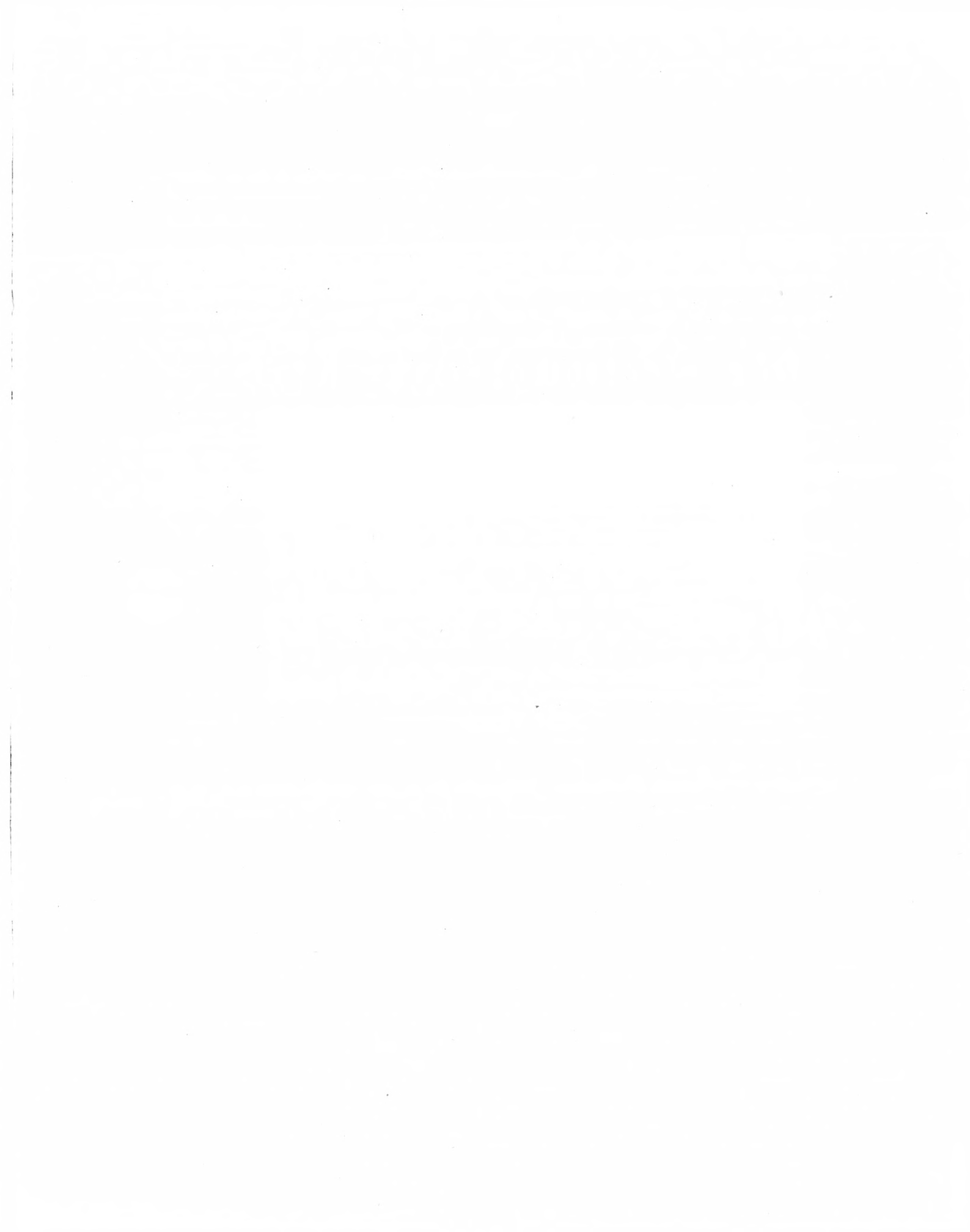


Den electromotoriske Kraft

udtrykt i Varmeenheder

ved

Julius Thomsen.



Om den electromotoriske Krafts Maalning i Varmeenheder.¹⁾

I nogle tidligere Afhandlinger har jeg søgt at anvende Theoremet om den constante Kraftmængde paa de chemiske Phænomener og givet Grundtrækkene af Chemiens dynamiske Deel; jeg har efterviist, hvorledes Dynamikens almindelige Love ogsaa finde Anvendelse paa de chemiske Processer, og hvorledes disses Indtræden eller Ikkeindtræden under forøvrigt lige Omstændigheder er betinget af Tilstedeværelsen af en tilstrækkelig Kraftmængde til at udrette det Arbeide, som en bestemt Proces repræsenterer; jeg har viist, hvorledes man ved at forfølge denne Tanke kommer til at bestemme Muligheden af, at visse chemiske Processer kunne foregaae, og jeg har saaledes ad Beregningens Vei forudbestemt hidtil ukjendte chemiske Phænomeners Mulighed og ladet Forsøget bekræfte Calculens Resultat.

Det var min Agt at bygge videre paa dette Grundlag, navnlig at bestemme Størrelsen af den de forskjellige Stoffer iboende chemiske Kraft, for derved at erholde det fornødne Materiale til videre at udføre et System, der vilde lade de talrige chemiske Phænomener fremtræde som beregnelige Virkninger af de Stofferne iboende Kræfter. Omstændighederne have imidlertid forhindret mig i at følge den Vei, som jeg først havde betraadt, og jeg maatte derfor søge nye Methoder til Bestemmelsen af disse Størrelser. Derved blev min Opmærksomhed henledet paa den electricke Strøm og navnlig paa de galvaniske Apparaters chemiske Virkninger; kunde man først bestemme, hvormegen Electricitet der udfordredes til at frembringe den electricke Strøms chemiske Virkninger, vilde derved et nyt Middel være tilveiebragt til Bestemmelse af de chemiske Kræfters Størrelse. For at opnaae dette maatte den electromotoriske Krafts Betydning først fastsættes.

¹⁾ Foreliggende Arbeide er udført i 1855-56 og Hovedresultaterne meddeelte paa Naturforsker mødet i Christiania 1856.

Det ligger i Sagens Natur, at den chemiske Virksomhed, som foregaaer i det galvaniske Apparat, er den Kilde, fra hvilken Kraften har sit Udspring, uden at det derfor er nogen umiddelbar Følge, at den i Apparatet udviklede Electricitetsmængde i kvantitativ Henseende er et Æquivalent for den Kraft, som den chemiske Proces har frigjort. Tvertimod er det bekjendt, at den electromotoriske Kraft, der er Udtrykket for Electricitetsmængden, kan være høist forskjellig i tvende Apparater, i hvilke den samme chemiske Proces foregaaer, saaledes som Tilfældet er med de Apparater, der dannes af en Syre og to Metaller. Er Syren og det positive Metal fælles for flere Apparater, da er ogsaa den i disse foregaaende chemiske Proces den samme, og ikke destomindre varierer deres electromotoriske Krafts Størrelse væsentlig efter det negative Metals Natur.

Saaledes er det da indlysende, at den electromotoriske Kraft ikke umiddelbart kan sættes proportional med den Kraftudvikling, som er en Følge af den chemiske Virkning, og at den udviklede Electricitetsmængde ikke i alle Tilfælde i kvantitativ Henseende er et Æquivalent for den udviklede Kraft.

Hvorledes end Sagen vilde stille sig, var det af Vigtighed at bestemme, hvor stor en Kraftmængde den udviklede Electricitet eller med andre Ord den electromotoriske Kraft repræsenterer i et bestemt Tilfælde, da man da med Lethed vilde kunne beregne Forholdet for alle andre Tilfælde.

Den Opgave, der saaledes ventede sin Løsning, var: at bestemme *den hele i en given Tid af et givet Apparat udviklede Electricitetsmængde*. Nogle almindelige Betragtninger føre let til Løsningen af Opgavens theoretiske Side.

Naar man lader Zink indvirke paa fortyndet Svovlsyre, opløses Metallet som bekjendt under Brintudvikling, og samtidig stiger Vædskens Varmegrad meget betydelig. Bestemmer man den saaledes udviklede Varmemængde, da vil man finde, at den er proportional med Mængden af den udviklede Brint eller med Vægten af den opløste Zink; med andre Ord, Varmeudviklingen er et Maal for den chemiske Proces.

Bringer man Kobber i Berøring med Zinken, som dækkes af Syren og fra hvis Overflade Brintudviklingen foregaaer, da vil man, som bekjendt, iagttage, at denne pludselig kaster sig fra Zinken til Kobberet; tilsyneladende er det da dette Metal, der adskiller Vandet, men i Virkeligheden er den chemiske Proces den samme som tidligere: Zinken opløses og frigjør en tilsvarende Brintmængde. Vædskens Varmegrad stiger ligesom i foregaaende Tilfælde, og den udviklede Varmemængde er uforandret den samme. Ikke destomindre er Phænomenet et andet; der er opstaaet en electricisk Strøm i Vædsken; men den faaer ingen Indflydelse paa Slutningsresultatet.

Anderledes er derimod Forholdet, naar Metallernes Berøringssted ikke er i Vædsken selv, men deres Forbindelse tilveiebringes ved en Metaltraad, som befinder sig udenfor Vædsken. Saalænge Metaltraaden ikke er bragt i Berøring med begge Metaller, er

Forholdet det samme som i det første Tilfælde: Brintudvikling paa Zinken og Varmeudvikling proportional med den opløste Zinkmængde. Saasnart derimod Berøringen finder Sted, opstaaer en electricisk Strøm, og Brintudviklingen fremtræder paa Kobberet. Vædskens Varmegrad stiger ligesom tidligere, men den i Vædsken udviklede Varmemængde er i Forhold til den opløste Zinkmængde mindre end i foregaaende Tilfælde, og desto mindre, jo nærmere Pladerne komme hinanden.

Men den Varmemængde, som mangler i Vædsken, gjenfindes i Metaltraaden, hvor den fremtræder som en Virkning af den electriciske Strøm. Jo større Ledningsmodstand Metaltraaden yder i Sammenligning med Vædsken, desto mindre bliver den Varmemængde, som fremtræder i denne i Sammenligning med den Mængde Zink, som i samme Tid opløses, men Summen af Varmeudvikling i Traad og Vædske forbliver den samme.

Disse Forhold, som ere en ligefrem Følge af Theoremet om den constante Kraftmængde, og som jeg alt har fremhævet i mine tidligere Arbejder¹⁾, ere senere blevne bekræftede ad Forsøgets Vei ved Favre²⁾, idet han bestemte Varmeudviklingen særskilt i Traad og Vædske og fandt, at der alt efter Traadens Længde udvikledes for hvert Æquivalent opløst Zink:

i Traaden.	i Vædsken.	Tilsammen.
621	1641	2262 Varmeenheder
820	1461	2281
968	1305	2273
1129	1124	2253
1016	1244	2260
1210	1048	2258

I alle Forsøgene er Summen af den udviklede Varmemængde ligestor, men f. Ex. i det sidste Forsøg var Varmeudviklingen i Vædsken ikke engang halv saa stor som den vilde have været, hvis ingen electricisk Strøm, men kun en ligefrem Opløsning af Zinken havde fundet Sted.

I disse Tilfælde er det nu klart, at den hele Kraftmængde, der som Varme fremtræder i Slutningslederen, Metaltraaden, først har antaget Characteren Electricitet, forinden den blev til Varme; thi i modsat Tilfælde var den ei trængt udenfor Vædskens Omraade. Derimod kan det af Forsøgene ei sees, hvor stor en Mængde af den i Vædsken som Varme fremtrædende Kraftmængde der har gennemløbet Tilstanden Electricitet.

Fra Theoriens Standpunct fremtræder der nu ingen Vanskelighed ved Bestemmelsen af den Electricitetsmængde, som i given Tid udvikles af et Apparat; man maaler Electrici-

¹⁾ Vidensk. Selsk. Skrifter, 5te Række, 3die Bind. — Pogg. Annal. LXXXVIII, 350.

²⁾ Ann. de Ch. & Ph. [3] 40 p. 293.

teten ved den eneste Virkning, som den i disse Tilfælde frembringer, nemlig en Opvarmning af Apparats enkelte Dele i Forhold til deres relative Ledningsmodstand.

Opgavens Løsning fordrer Bestemmelsen af trede Størrelser:

- 1) *Varmeudviklingen, som en elektrisk Strøm af vilkaarlig Styrke, i , frembringer i given Tid, f. Ex. 1 Secund, i en Metaltraad af vilkaarlige Dimensioner,*
- 2) *den samlede Ledningsmodstand i det galvaniske Apparat, der er Gjenstand for Undersøgelsen, naar det giver Strømstyrken i , maalt ved den i (1) valgte Metaltraads Ledningsmodstand som Eenhed, og*
- 3) *den ved Strømstyrken i i hvert Secund af Apparatet forbrugte Zinkmængde.*

Lad os antage, at det galvaniske Apparats søgte Ledningsmodstand ved Strømstyrken i er l og ved Strømstyrken i' derimod l' , og at Strømstyrken i' aftager til i'' , naar Ledningsmodstanden stiger fra l' til $l' + 1$, det vil sige, naar den forøges med Ledningsmodstanden i den til Bestemmelsen af Varmeudviklingen valgte Metaltraad, da er ifølge den Ohmske Lov

$$i'l' = i''(l' + 1) = il$$

$$l' = \frac{i''}{i' - i''}$$

$$l = \frac{1}{i} \cdot \frac{i' i''}{i' - i''} \dots \dots \dots (1)$$

Naar der nu i den valgte Eenhed, Metaltraaden, i hvert Secund udvikles q Varmeenheder ved Strømstyrken i , da er selvfølgelig Varmeudviklingen i Apparatets samtlige Dele

$$v = lq = \frac{q}{i} \cdot \frac{i' i''}{i' - i''};$$

thi Varmeudviklingen forholder sig som Ledningsmodstanden, og Apparatets Modstand er netop l Gange Traadens.

Lad der i eet Secund være opløst z Vægtdele Zink i Apparatet, og lad Zinkens Æquivalent være Z , da vil der i $\frac{Z}{z}$ Secunder netop opløses et Æquivalent Zink, og altsaa vil den i denne Tid udviklede Electricitet, udtrykt i Varmeenheder, være:

$$V = \frac{Z}{z} \cdot \frac{q}{i} \cdot \frac{i' i''}{i' - i''} \dots \dots \dots (2)$$

Ved at sammenligne V med den Varmemængde, som ifølge den chemiske Proces's Natur skulde udvikles for hvert Æquivalent opløst Zink, kommer man altsaa til Kundskab om, hvor stor en Deel af den frigjorte chemiske Kraft der har antaget Characteren Electricitet, forinden den indtraadte paa Kraftens sidste Stadium og antog Characteren Varme.

I Formel (2) er Undersøgelsens Grundtanke fremstillet. Fra Theoriens Side fremtræder der altsaa ingen Vanskeligheder ved den quantitative Bestemmelse af Electricitetsmængden, som et bestemt galvanisk Apparat udvikler, men desto større ere Vanskelighederne, som fremtræde ved den tekniske Udførelse, og de paa efterfølgende Blade anførte Talstørrelser ere saaledes Resultatet af et langvarigt og møjsommeligt Arbeide.

Fig. 1.

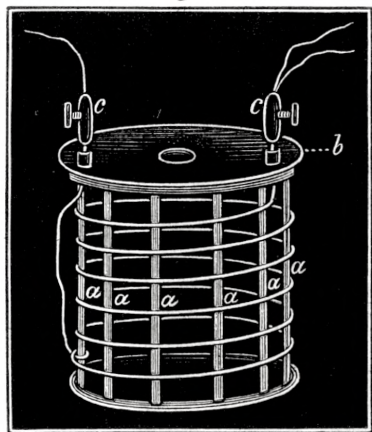
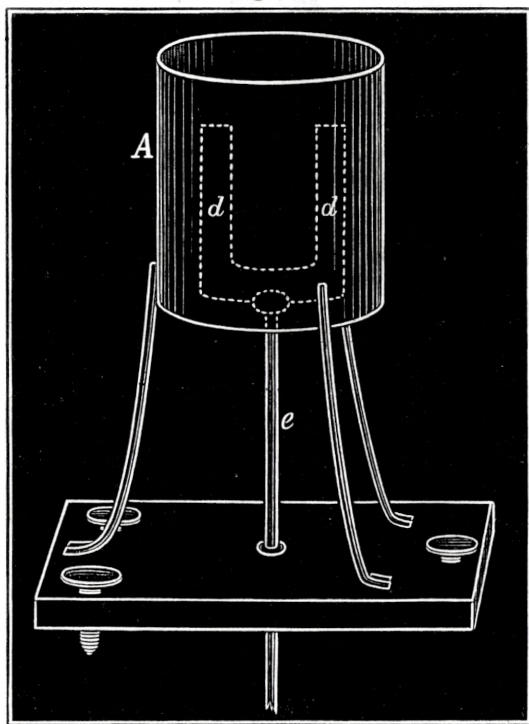


Fig. 2.



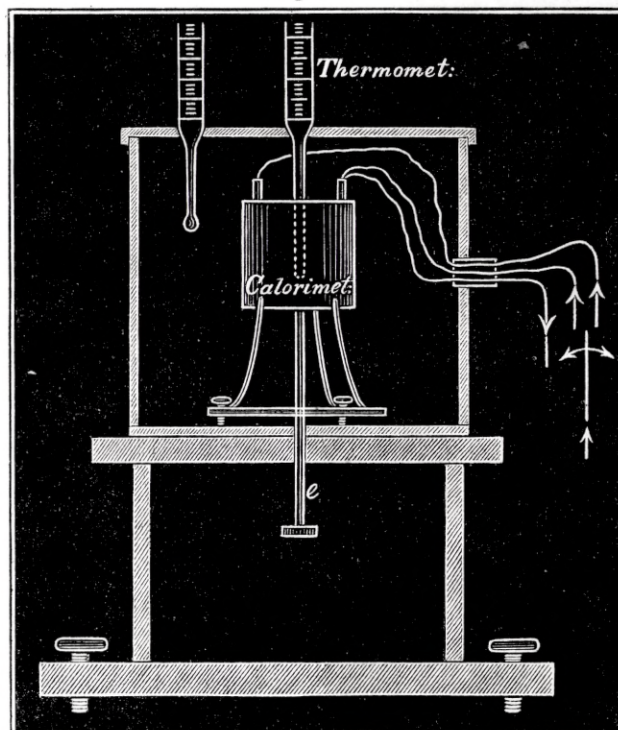
*Maaden, paa hvilken Forsøgene bleve anstillede, fremgaaer bedst ved en Beskrivelse af Apparatets væsentligste Dele. En Platintraad — i de fleste Forsøg af omtrent 2 Meters Længde og $\frac{1}{4}$ mm Tykkelse — var viklet spiralformig om et Skelet af fine Glasrør *aa* Fig. 1, som vare fæstede til Laaget *b* af et lille Calorimeter *A* Fig. 2. De enkelte Vindinger af Spiralen vare ikke i gjensidig Berøring, og begge Ender af Traaden førtes isolerede igjennem Laaget *b*, hiinsides hvilket de ved Klemmer *cc* forbandtes med de respective Ledningstraade. Calorimetret, hvis Dele vare forarbejdede af tyndt Messingblik, havde et Indhold af 120^{cc} og var ved Forsøgene fyldt med en vis Mængde (omtrent 100 Gr.) Vand. Varmen, som den electricke Strøm udviklede i Spiralen, meddeelte sig altsaa til Vandet, hvis Varmestigning afgav et Maal for Varm udviklingen. Til at frembringe en eensformig Varmegrad i Vandet, var Calorimetret forsynet med en Rører *dd* Fig. 2, dannet af et U-formigt udskåret Metalblik, hvis Grene vare bøiede efter en Skruelinie, saa at Rørene ved Omdreining om en lodret Axe, *e*, førte Vædsken fra neden op efter og ud imod Siderne og saaledes frembragte en meget hurtig Blanding.*

*Varmestigningen blev maalt ved et Thermometer, som jeg alt ved mine tidligere Arbejder med Held havde benyttet mig af, og som var indeelt i $\frac{1}{10}$ Grader *U*; ved Hjælp*

af Kikkert paa fast Stativ kunde $\frac{1}{100}$ Grad med stor Bestemthed aflæses. Da det samlede Calorimeters Vandværdi udgjorde 110—115 Gram og Varmestigningen imellem 1—2,5 Gr., svarer altsaa $\frac{1}{100}$ Grad til 1— $\frac{1}{2}$ Procent; en Usikkerhed af dette Beløb for de enkelte Forsøg formindskes naturligviis for Hovedresultatet ved Forsøgenes Mangfoldighed.

For at undgaae *Indflydelsen af den omgivende Lufts Varme* blev Calorimetret *A* anbragt i en af poleret Messingblik dannet Kapsel med Laag, saaledes som antydet er i Fig. 3. Rørerens Axe havde en saadan Forlængelse *e*, at den naaede ned under Bunden

Fig. 3.



af den nederste Kapsel, og Røreren kunde altsaa let sættes i omdreieude Bevægelse. I Rummet imellem Calorimetret og Kapslen var et Thermometer anbragt for at bestemme Luftens Varmegrad.

Det egentlige Calorimeter blev, som alt anført, fyldt med Vand. Man vil maaskee betvivle, at *Isolationen* i dette Tilfælde har været fuldstændig; men foreløbige Forsøg viste, at *Isolationen* var lige fuldstændig ved Anvendelsen af Vand eller Viinaand; idetmindste viste Afledningen sig i begge Tilfælde at være ringere end der kunde aflæses paa den til Forsøgene afbenyttede Oertlingske Sinusboussole, som var indeelt til Aflæsning af halve Minuter, og hvis Strømeenhed ($s = \sin. 90^\circ$) svarer til omtrent 1° Knaldluft i Minu-

tet. Da tilmed Anvendelsen af Viinaand, saaledes som foreløbige Forsøg viste, gav Anledning til langt større Usikkerhed i Resultaterne, deels som en Følge af Varmefyldens store Forandring med Viinaandens Styrke, deels ved den langt større Flygtighed, foretrak jeg ubetinget at anvende Vand.

Qvotienten $\frac{Z}{z}$ eller *Strømstyrkens absolute Størrelse* blev bestemt ved *Knaldluft-voltametret*; thi, som bekjendt, ere de chemiske Virkninger ækvivalente i alle Dele af Strømmen, saa at den i Cellen opløste Zinkmængde er proportional med den af Strømmen i Voltametret udviklede Knaldluft, saa at

$$\frac{Z}{z} = \frac{A}{a} \dots \dots \dots (3)$$

idet A er Vandets Æquivalent og a den i Tidseenheden udviklede Knaldluft. Platinpladerne i Voltametret havde en Overflade af omtrent 50 Kvadratcentimeter; Luftarterne bleve opsamlede blandede i et Rør, som var indeelt i $\frac{1}{5}$ Cubikcentimeter, hvilken Størrelse sjelden udgjorde $\frac{1}{200}$ af den hele udviklede Luftmængde. Temperaturen blev særskilt bestemt i Luften og i Vandet, som Luften passerede, og dettes Varmegrad blev holdt saa nær ved Luftens som muligt.

Strømstyrkens relative Størrelse blev maalt ved *Sinusboussole*n, hvis væsentligste Tjeneste ved Forsøgene bestod i at kontrollere Strømmen, saalænge det enkelte Forsøg varede, i hvilken Tid Strømmen naturligviis maatte holdes constant, da i modsat Tilfælde den udviklede Knaldluftmængde ikke vilde være proportional med Tiden eller med Kvadrat-roden af Varmeudviklingen, paa hvilket Forhold Beregningen maatte støttes. For at opnaae dette, var der i Strømmen indleddet en *Regulator*, der var konstrueret særligt til dette og lignende Øiemed, og som var dannet af tynde, udspændte og isolerede Platintraade, af hvilke en større eller mindre Længde kunne indføres i Strømmen, og hvorved saaledes Strømmen kunne svækkes eller forstærkes, alt eftersom Modstanden i det samlede Apparat og navnlig i Voltametret forandrede. Berøringsstederne vare overalt Platin mod Platin; Bevægelsen frembragtes ved en Skrue, og saaledes kunde man ved at dreie denne, imedens man samtidig holdt Øie med Naalen i Boussole, med Sikkerhed holde Strømmen imellem de bestemte Grændser.

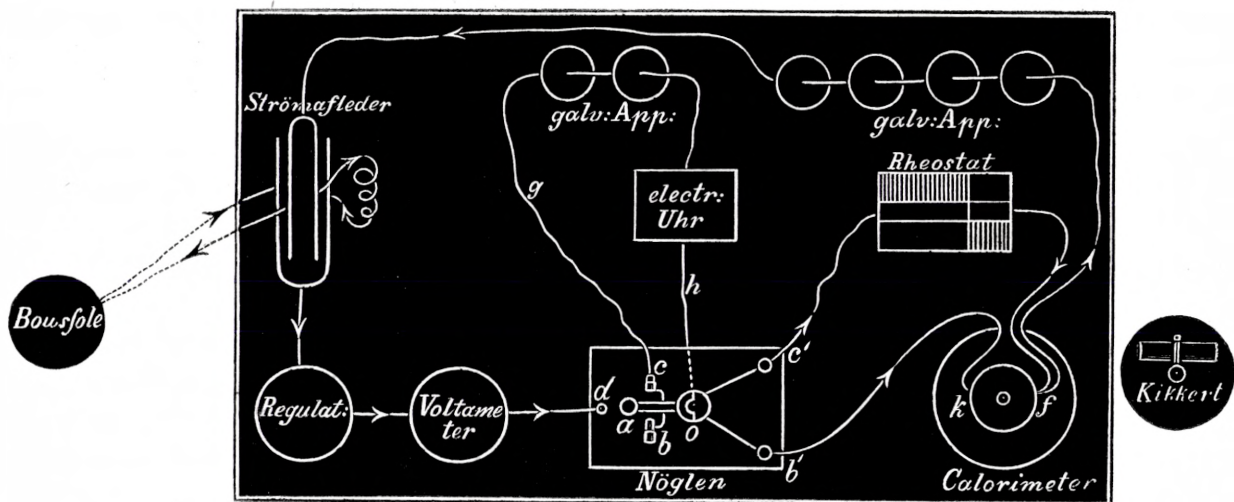
Boussole, var ei indrettet til at maale saa stærke Strømme, som bleve anvendte ved Forsøgene, og derfor blev Strømmen efterat have passeret Regulatoren deelt saaledes, at kun en Deel gik igjennem Boussole. *Afledningen* var ikke ligestor i alle Forsøgsrækker, hvilket var ligegyldigt, da Strømmens absolute Størrelse bestemtes ved Knaldluft-Voltametret. I Almindelighed gav Strømmen 6—12^{cc} Knaldluft i Minutet.

Forsøgets Varighed, der i Almindelighed var 3—7 Minuter, blev med Nøiagtighed noteret af selve Apparatet. Da navnlig Tilsynet med de alt nævnte Dele af Apparatet:

Boussolen, Regulatoren, Voltametret og Calorimetret, lagde Beslag paa Experimentators hele Opmærksomhed, havde jeg indrettet mig saaledes, at Tidsmaalingen skete af selve Apparatet ved Hjælp af *et electrisk Uhr*, saaledes forbundet med Apparatet, at det talte Secunderne fra Forsøgets Begyndelse til dets Slutning. Ifølge Formel (2) udgaaer Tidsmaalingen af den endelige Beregning af Forsøgene, og Uhret behøvede saaledes ikke at angive nogen absolut Varighed for Forsøgene.

Nøglen, med hvilken de enkelte Dele af Apparatet bleve aabnede eller lukkede for Strømmen, er skizzeret i Fig. 4 i Forbindelse med Apparatets øvrige Dele. Strømmen, der

Fig. 4.



traadte ind i Nøglen ved *d*, førtes, alt eftersom Grebet *oa* havde Stillingen *ob* eller *oc*, videre igjennem *b'* eller *c'*. I det første Tilfælde gik Strømmen igjennem Calorimetret, i det andet Tilfælde udenom dette videre til *f*, hvorfra Veien atter var fælles i begge Tilfælde. Da det var nødvendigt, at Strømmens Intensitet ikke forandredes derved, at Spiralen i Calorimetret indlemmedes i Strømmen, var der imellem *f* og *c'* anbragt en *Rheostat*, som forinden Forsøgenes Begyndelse blev indstillet saaledes, at Ledningsmodstanden fra *b'* til *f* netop var ligesaa stor som fra *c'* til *f*, saa at altsaa Strømstyrken forblev den samme, hvad enten Strømmen gik igjennem eller udenom Calorimetret. Paa denne Maade blev det muligt at anstille Forsøgene nøiagtigt ved samme Strømstyrke, idet man ved Regulatoren før hvert Forsøgs Begyndelse og uden at lade Strømmen passere Calorimetret kunde bringe Naalen i Boussolen til at indtage den bestemte Stilling, som den da ved Omskiftning af Rheostaten med Calorimetret uforandret bibeholdt.

Det galvaniske Apparat, der tjente som Electromotor, kom saaledes inden hvert Forsøgs Begyndelse til i nogen Tid at virke med samme Styrke som under Forsøget, hvilket var af en væsentlig Indflydelse paa Strømmens constante Character under Forsøget.

Den electricke Tidsmaaler sattes i Bevægelse ved en særskilt Strøm, som maatte passere den samme Nøgle, saa at denne aabnede for Strømmen og derved indledede Tidsmaalerens Gang i samme Øieblik, som Arbejdsstrømmen lededes igjennem Calorimetret, og lod den virke til Forsøgets Slutning, da begge Strømme samtidig bleve afbrudte; idet nemlig Grebet *a* berørte Fjedren *b*, var Ledning tilveiebragt imellem Traaden *g* og *h*, og samtidig førtes Arbejdsstrømmen fra *d* over *b'* igjennem Calorimetret.

I Stillingen *oc* aabnede altsaa Nøglen for Arbejdsstrømmen til alle Dele af Apparatet undtagen Calorimetret, og denne Stilling indtog Nøglen før Forsøget; i Stillingen *ob* gik Arbejdsstrømmen igjennem Calorimetret og alle andre Dele af Apparatet undtagen Rheostaten, og samtidig var Ledning tilveiebragt for den anden Strøm til Tidsmaaleren; denne Stilling havde Nøglen under Forsøget. I Stillingen *oa* vare begge Strømme afbrudte, og det var Nøglens Stilling efter Forsøget.

For at komme *den sande Varmeudvikling* saa nær som muligt, maatte Vandets Varmegrad i Calorimetret ved Forsøgets Begyndelse og Slutning omtrent falde lige langt paa begge Sider af Luftens Varmegrad. Dette kunde let opnaaes derved, at man af foreløbige eller tidligere Forsøg forudbestemte, hvormeget Vandets Varmegrad vilde stige ifølge Forsøgets Varighed og den Strømstyrke, med hvilken der skulde arbejdes. Halvdelen af denne Størrelse maatte da være Forskjellen imellem Vandets og Luftens Varmegrad. I Almindelighed overskred Varmestigningen ikke 2 Grader, saa at Forskjellen imellem Luft og Vand sjelden var over 1 Grad. For at komme den rette Varmegrad ved Forsøgets Begyndelse saa nær som muligt, blev Vandet taget noget koldere end fornødent, og efterat Apparatet var samlet, bragtes Vandets Varmegrad op til den passende Størrelse ved at lade den electricke Strøm passere Calorimetret saalænge, indtil Varmegraden blev den forlangte. Dernæst lededes Strømmen udenom Calorimetret, forat Thermometret kunde blive stationairt. Imidlertid blev Strømmen ved Regulatoren bragt til den bestemte Styrke og Voltametret sat i Orden, hvorefter Alt var færdigt til Forsøgets Begyndelse. Ved Bevægelsen af Nøglen blev Strømmen ført ind i Calorimetret, Uhret begyndte at gaae, og samtidig begyndte Opsamlingen af den udviklede Knaldluft i Voltametret, der før Forsøget havde været i stadig Virksomhed, uden at den udviklede Luft dog var traadt ind i det for Maalningen bestemte Rør. Forholdene vare altsaa før og under Forsøget de samme, kun at Modstanden i Rheostaten var ombyttet med Modstanden i Calorimetrets Spiral. Naar dernæst Forsøget havde varet den bestemte Tid, afbrødes samtidig begge Strømme ved en Bevægelse af Nøglen. Uhret blev da staaende paa det sidste Secund, Knaldluftudviklingen standsede, og Vandet i Calorimetret antog ved Blanding med Røreren *e* Fig. 3 en eensartet Varmegrad, som oftest inden For-

løbet af 1 Minut. Luftens og Vandets forandrede Varmegrad, Uhrets og Voltametrets Angivelser bleve noterede, og dermed var Forsøget sluttet.

For at bestemme *Spiralens Modstandsevne* i Sammenligning med *Modstanden i det daniellske Apparat* ved bestemt Strømstyrke, blev Rheostaten udtaget af Ledningen. Modstanden fra *d* til *f* var da lig den fra *d* til *k*. Ved altsaa nu vekselsviis at lede Strømmen igjennem *dcf* og *db'kf*, i hvilket sidste Tilfælde Ledningsmodstanden netop blev forøget med Spiralens Modstand, og samtidig paa Boussoleen at aflæse de tilsvarende Strømstyrker, erholdt man Størrelserne *i'* og *i''*, som ifølge (1) udfordres til Bestemmelsen af Størrelsen *l*.

I Slutningen af foreliggende Afhandling har jeg nu givet Detaillen af ialt 104 Forsøg, der ere udførte til Bestemmelse af en for Electrodynamiken vigtig Grundstørrelse, nemlig Qvantiteten af Electricitet, som udvikles i det daniellske Apparat for hvert Æquivalent Zink, som opløses. Forsøgene dele sig i 3 Grupper, og det opnaaede Resultat er

$$V = \begin{cases} 3310^{\circ} \\ 3337^{\circ} \\ 3331^{\circ} \end{cases}$$

eller som Middeltal

$$V = 3329^{\circ}$$

det vil sige, at *Qvantiteten af Electricitet, som i det daniellske Apparat udvikles for hvert Æquivalent¹⁾ Zink, som opløses, er saa stor, at den ved at antage Characteren Varme vil være istand til at opvarme 3329 Gram Vand 1° C.*

Der bliver nu Spørgsmaal om, i hvilket Forhold denne Kraftmængde staaer til den, som ifølge de stedfindende chemiske Processer bliver frigjort.

Til Besvarelsen af dette Spørgsmaal have vi to Undersøgelser af den Varmemængde, som udvikles, naar 1 Æquivalent Kobber fældes af et Æquivalent Zink;

ifølge Andrews²⁾ er den 3437°

» Favre & Silb.³⁾ . . 2600°.

Den ovenfor angivne Størrelse 3329° falder imellem disse Grændser og nærmer sig den første paa 3 Pröcent. Jeg har allerede i mine tidligere Arbejder over dette Thema yttret mig over Unøiagtigheden af Favre og Silbermanns Tal, hvortil Aarsagen ligger i deres Calorimeters Construction, og jeg er meget tilbøielig til at antage, at Andrews Bestemmelse

¹⁾ Ligesom i mine tidligere Arbejder sættes et Æquivalent Hlt lig 1 Gram.

²⁾ Pogg. Ann. LXXXI.

³⁾ Compt. rend. XXV p. 596.

meget mere nærmer sig Sandheden. Min Tid har endnu ikke tilladt mig selv at bestemme denne Størrelse.

Ved den Række Forsøg, som ere vedlagte, har jeg altsaa ved at maale Varmeudviklingen, som en electricisk Strøm frembringer i en Metaltraad, bestemt Electricitetsudviklingens Quantitet i det samlede Apparat, og derved opnaaet et Resultat, der ingen Tvivl lader tilbage om, at *den hele Kraftmængde, som under almindelige Forhold udvikles som Varme, naar Zink fælder Kobber af dets Oplosninger, i det daniellske Apparat først gennemløber Tilstanden Electricitet*; og jeg har under denne Forudsætning bestemt den chemiske Proces's quantitative Betydning ad denne vistnok aldeles nye Vei.

En væsentlig Støtte i min Paastand, at i det nævnte Apparat den hele Kraft først antager Characteren Electricitet, forinden den fremtræder i en anden Form, har jeg fundet i følgende Betragtning og Undersøgelse.

Naar man ved et electricisk Batterie, hvis electromotoriske Kraft er $n\varepsilon$, adskiller en chemisk Forbindelse, da bindes endeel af Kraften; lad den saaledes bundne Kraftmængde pr. Æquivalent være ε' , da vil Apparatet med sin Decompositionscelle give en Strøm

$$s = \frac{n\varepsilon - \varepsilon'}{l}$$

Naar man nu i en Række af $(n + m)$ daniellske Elementer, hvis Bestanddele ere Zink, svovlsuurt Zinkilte, svovlsuurt Kobberilte og Kobber, vender de m Elementer om, da vil, naar $m < n$, den resulterende Strøm frembringe i disse m Elementer netop den modsatte chemiske Proces af den, der foregaaer i de andre n Elementer; der vil nemlig i hvert af hine udfældes et Æquivalent Zink og opløses et Æquivalent Kobber i samme Tid, i hvilken der i hvert af disse opløses et Æquivalent Zink og udfældes et Æquivalent Kobber. Electricitetsmængden, som udvikles ved den chemiske Proces $[(Zn, O, \check{S}Ag) - (Cu, O, \check{S}Ag)]$ i hvert af de n Elementer, kan som Maximum være lig den til denne Proces svarende Varmeudvikling; er denne v , da er

$$\varepsilon \leq v.$$

I de andre m Elementer foregaaer altsaa netop den modsatte chemiske Virkning, den til denne knyttede Kraftabsorption er altsaa som Minimum v ; den electromotoriske Modkraft bliver altsaa

$$\varepsilon' \geq v.$$

I det specielle Tilfælde, hvor $\varepsilon = \varepsilon'$, hvor altsaa Electricitetsudviklingen pr. Æquivalent i hver af de n Elementer er lig Kraftabsorptionen i hver af de m Elementer, bliver Formlen for Strømmen

$$s' = \frac{(n - m) \varepsilon}{l}$$

Naar man altsaa for en Samling af daniellske Apparater af ovennævnte Sammen-
sætning finder den electromotoriske Kraft

$$e = (n - m) \varepsilon \dots \dots \dots (4)$$

hvor ε betyder det enkelte Elements Kraft, da er dermed Beviset givet, at der i den ene
Celle udvikles ligesaa megen Electricitet, som der bindes i den anden, i hvilken den mod-
satte chemiske Virksomhed finder Sted, og at altsaa den hele Kraftmængde udvikles af
Apparatet som Electricitet.

De anførte Forsøg, hvis Detail er vedlagt, have nu givet følgende Resultater:

Antallet af Daniellske Elementer.	Electromotorisk Kraft i arbitraire Eenheder.	
5	5×304	} Middel 299.
5	5×300	
4	4×297	
1	299	
1	296	
1	300	
4 mod 1	3×305	} Middel 297.
6 mod 2	4×297	
3 med 1	2×290	

hvilket altsaa beviser, at i det daniellske Apparat den hele Kraftmængde først antager Cha-
racteren Electricitet, forinden den indtræder i nogen anden Virkningsform.

Efterat denne Sætning er beviist vil man indsee Vigtigheden af den ovenbestemte
Grundstørrelse, som jeg vil kalde ε ; thi ved at sammenligne *andre Apparaters electromo-
toriske Kraft* med det daniellske Apparats, *vil man ogsaa kunne udtrykke disse i absolute
Krafteenheder*. Naar f. Ex. Kulzink-Apparatets electromotoriske Kraft er 1,8 Gange det
daniellske Apparats, da er hiin Krafts absolute Størrelse

$$1,8 \varepsilon = 5992^c;$$

det vil sige, at Mængden af Electricitet, som udvikles for hvert Æquivalent opløst Zink,
svarer til 5992 Varmeenheder. Det er den Sum af Kraft, som man kan disponere over
til Frembringelse af chemiske Decompositioner, mechaniske Bevægelser o. s. v. Da den
Kraftmængde, som udvikles, naar et Æquivalent Zink indgaaer Forbindelsen $Zn \ddot{S} Ag^1$), er

$$(Zn, O, \ddot{S} Ag) = 6873^c,$$

bliiver altsaa Resultatet det, at 881^c af denne Kraftmængde ikke fremtræder som Electrici-

¹⁾ Pogg. Ann. XCII. p. 43.

tet; af de 881^c medgaae efter al Sandsynlighed 578^{c1}) til den øvrige chemiske Proces i Cellen, og 303^c antage strax Characteren Varme som en Følge af Apparatets Ufuldkommenhed.

Anvendelsen af denne Undersøgelses-Methode paa andre Apparater, navnlig de inconstante Apparater, kaster et klart Lys over disses hele Natur, og jeg skal senere finde Leilighed til at meddele de Resultater, jeg i denne Retning alt har opnaaet, hvilke, som jeg haaber, ville faae en afgjørende Indflydelse i Striden imellem Contacttheorien og den chemiske Theorie.

Forsøgenes Detail og Beregning.

Ifølge Formel (2) dreier den experimentale Deel af Undersøgelsen sig om Bestemmelsen af 3 Størrelser, idet

$$V = q \cdot \frac{A}{a} \cdot \frac{i' i''}{i(i' - i'')}$$

hvor Forholdet $\frac{Z}{z}$ er erstattet ved $\frac{A}{a}$ overensstemmende med Formel (3). Som man vil erindre, betegner q Varmeudviklingen i given Tid og ved Strømstyrken $i = \sin s$ i en vilkaarlig valgt Eenhed for Ledningsmodstanden (Spiralen); $\frac{A}{a}$ betegner Forholdet imellem et Æquivalent Knaldluft og den i nævnte Tid og ved nævnte Strømstyrke udviklede Knaldlufts Mængde, og endelig $\frac{i' i''}{i(i' - i'')}$ Ledningsmodstanden i det daniellske Apparat ved Strømstyrken i .

q bestemmes ved Calorimetret,

a » » Voltametret,

l eller $\frac{i' i''}{i(i' - i'')}$ findes paa ovenanførte Maade.

De enkelte Forsøg, anstillede ved vilkaarlig Strømstyrke, reduceres til Strømstyrken 1 (90° paa Sinusboussolen), hvorved altsaa i bliver 1, og da 1 Æquivalent Knaldluft er 2097,6 Cubikcentimeter, bliver Formlen

$$V = Q \cdot \frac{2097,6}{a} \cdot l \dots \dots \dots (5)$$

¹) Pogg. Ann. XCII. p. 46.

I Tabellerne betegner

Calorimetret.	t	Luftens Varmegrad før Forsøget.
	t'	» » efter »
	τ	Vandets » før »
	τ'	» » efter »
	β	Forsøgets Varighed i Minuter.
	$\sin s$	Strømstyrken.
	Q	den reducerede Varmedvikling for $s = 90^\circ$ og $\beta = 1$.
Voltametret.	C	Calorimetrets Vandværdi.
	B	Lufttrykket i Millimeter.
	T	Luftens Varmegrad.
	A	Vandets Varmegrad i Voltametret.
	b	Forsøgets Varighed i Minuter.
	$\sin s$	Strømstyrken.
	α'	den maalte Knaldluftmængde.
Det daniellske Apparat.	α	den for Varme, Lufttryk, Fugtighed, Strømstyrke og Tid reducerede Knaldluftmængde.
	$\sin s'$	en vilkaarlig Strømstyrke, som aftager til
	$\sin s''$	naar det daniellske Apparats Ledningsmodstand forøges med Spi- ralens Modstand.
	l	den deraf resulterende Ledningsmodstand for Apparatet.

Forsøgene dele sig i 3 Rækker, der ere forskellige ved Spiralens Ledningsmodstand, Calorimetrets Vandmængde og Størrelse af Strømafladningen.

Beregningen af Q skeer efter Formlen

$$Q = \frac{\tau - \tau_1}{\beta \cdot \sin^2 s};$$

haves for flere Forsøg samme Strømstyrke, da er

$$Q = \frac{\Sigma(\tau - \tau_1)}{\sin^2 s \Sigma\beta}.$$

Beregningen af α skeer efter Formlen

$$\alpha = \frac{B - p}{760} \cdot \frac{1}{1 + m \frac{\tau + A}{2}} \cdot \frac{\alpha_1}{\beta \cdot \sin s}$$

idet m er Luftens Udvidelsescoefficient og p Dampspændingen ved $\left(\frac{\tau + A}{2}\right)$.

Beregningen af l er, som tidligere udviklet,

$$l = \frac{\sin s' \sin s''}{\sin s' - \sin s''}.$$

Første Forsøgsrække.

a. Calorimetret.

Nr.	t	τ	t'	t''	β	$\frac{\tau-t'}{\beta}$	s	$\frac{Q}{C}$
1	12,5	12,00	13,06	12,6	3	0,353	15° 32''	4,887
2	12,3	11,55	13,30	12,6	5	0,350		
3	12,2	12,17	13,04	12,3	2,5	0,348		
4	12,2	11,87	12,86	12,4	3	0,330	15 5	4,898
5	12,4	12,02	13,02	12,6	3	0,333		
6	13,1	12,35	14,11	13,5	4	0,440	17 37	4,809
7	13,6	12,49	14,89	14,0	5,5	0,436		
8	13,9	12,60	15,25	14,2	6	0,442		
9	14,2	13,14	15,12	14,5	4,5	0,441	13 25	4,863
10	14,3	14,13	15,03	14,5	2	0,450		
11	14,2	13,55	15,00	14,6	5,5	0,263	18 21	4,855
12	14,4	13,59	15,02	14,7	5,5	0,260		
13	14,1	12,85	15,00	14,4	4,5	0,478		
14	14,2	13,26	15,43	14,5	4,5	0,482	17 16	4,899
15	14,3	13,31	15,41	14,5	3,5	0,486		
16	14,3	13,24	14,92	14,5	3,5	0,480		
17	14,4	13,58	15,31	14,6	4	0,432		
18	14,7	13,64	16,01	15,0	5,5	0,431		

Middel af disse 6 Grupper af Forsøg er

$$\frac{Q}{C} = 4^{\circ} 868,$$

det vil sige, at ved en Strømstyrke = 1 (sin 90°) stiger Varmegraden i Calorimetret 4° 868 for hvert Minut.

Calorimetrets Vandværdi, C , er i alle disse Forsøg

Vand = 100,0 Gram Vand

Messing = 10,57 " "

Therm. = 0,72 " "

Spiral = 0,07 " "

$$C = 111,4 \text{ Gram Vand.}$$

Den udviklede Varmemængde er altsaa

$$Q = 4^{\circ} 868 \times 111,4.$$

b. Voltametret.

Nr.	B	τ	A	a'	b	s	α	Middel α
19	775,2	10,6	10,6	126,0	12,5	23° 50"	24,19	} 24 ^{cc} 14
20		10,6	10,6	120,0	12,5	22 44	24,09	
21		11,7	11,7	114,0	14,0	18 59	24,13	
22	764,8	12,7	12,5	121,5	11,03	25 55	23,92	} 23 91
23		12,7	12,5	125,0	11,5	25 44	23,91	
24		14,0	13,5	124,2	10,6	} 27 34		
25	14,0	13,5	122,5	10,5				
26	766,6	14,0	13,5	116,8	10,0	} 31 36		} 24 00
27		13,5	13,5	125,0	9,4			
28		13,5	13,5	119,6	9,0	} 29 21	24,22	
29	14,0	14,0	119,6	9,5				
30		14,0	14,0	119,4	6,5		24,18	

Middel af disse 5 Grupper er

$$\alpha = 24^{\text{cc}}02.$$

Der udvikles altsaa 24^{cc}02 Knaldluft i samme Tid, i hvilken Varmegraden i Calorimetret stiger 4°868 ved Strømstyrken 1.

c. Det daniellske Apparat.

Nr.	Elementernes Antal	s'	s''	Middel		l'
				s'	s''	
31	1	22° 50"	3° 7"	} 22° 50"	3° 7"	0,06324
		22 50	3 7			
32	1	5 57	2 15	} 5 55	2 15	0,06338
		5 54	2 15			
33	3	6 17	3 59	} 6 17	3 59	0,0634
		6 17	3 59			

Middel af disse Forsøg er

$$l' = 0,0633.$$

Denne Størrelse fordrer i denne Forsøgsrække en Correction; nemlig hele Platintraadens Længde var 1^m982, og i Forhold hertil er l' bestemt; men af Traaden befandt sig kun 1^m794 i Calorimetret, Resten udenfor; altsaa bliver

$$l = \frac{1,982}{1,794} l'$$

$$l = 0,0699.$$

Ifølge Formel (5) haves nu

$$V = 4^{\circ}868 \times 111^{\text{gr}}4 \times \frac{2097,6}{24,06} \times 0,0699 = 3310^{\text{gr}}0$$

$$V = 3310^{\text{c}}.$$

Anden Forsøgsrække.

a. Calorimetret.

Nr.	t	τ	τ'	t'	$\tau - \tau'$	β	s	$\frac{Q}{C}$
34	12,8	11,80	13,98	12,8	2,18	6	17°	4°282
35	12,6	11,20	13,61	12,8	2,41	6,5		
36	12,4	11,61	13,98	12,8	2,37	6,5		
37	12,2	11,61	13,80	12,5	2,19	6		
38	12,4	11,79	13,80	12,6	2,01	5,5		
39	11,3	10,24	12,36	11,5	2,12	7	15	4 445
40	11,7	10,30	12,41	11,7	2,11	7		
41	11,6	10,62	12,72	11,7	2,10	7		
42	11,8	10,80	13,04	12,0	2,24	7,5		
43	12,2	11,25	13,30	12,3	2,05	7		
44	11,9	10,94	13,15	12,1	2,21	7,5		
45	11,9	10,95	13,02	12,0	2,07	7		
46	11,6	10,60	12,70	11,8	2,10	7		
47	12,2	11,05	13,13	12,4	2,08	7		
48	12,6	11,50	13,56	12,8	2,06	7		
49	13,7	12,74	14,59	13,8	1,85	5	17	4 324
50	13,7	12,84	14,69	13,8	1,85	5		
51	13,6	12,68	14,52	13,7	1,84	5		
52	13,4	12,60	14,45	13,5	1,85	5		
53	13,6	12,73	14,58	13,8	1,85	5		
54	12,0	11,20	13,06	12,2	1,86	5	17	4 310
55	12,5	11,37	13,23	12,6	1,86	5		
56	12,8	11,80	13,64	12,8	1,84	5		
57	12,6	11,77	13,60	12,8	1,83	5		
58	12,6	11,80	13,62	12,9	1,82	5		
59	12,5	11,97	13,45	12,7	1,48	5	15	4 419
60	12,7	12,24	13,74	12,8	1,50	5		
61	12,8	12,30	13,76	12,9	1,46	5		

Middel af disse 5 Grupper Forsøg er

$$\frac{Q}{C} = 4^{\circ}356.$$

Vandmængden i Calorimetret var 104 Gram, altsaa

$$C = 115^{\text{gr}}4$$

$$Q = 4^{\circ}356 \times 115^{\text{gr}}4.$$

b. Voltametret.

Nr.	<i>B</i>	<i>r</i>	<i>A</i>	<i>α'</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>α</i>		
62	746,1	12,7	12,8	44,4	6	17°	23 ^{cc} 31		
63		12,7	12,8	48,0	6,5				
64		12,7	12,8	48,0	6,5				
65		12,6	12,8	44,2	6				
66		12,6	12,8	40,6	5,5				
67		757	11,6	11,5	45,0			7	15
68	11,6		11,5	44,7	7				
69	11,6		11,5	44,8	7				
70	11,6		11,5	48,2	7,5				
71	11,5		11,5	44,7	7				
72	11,5		11,5	48,0	7,5				
73	11,5		11,5	44,7	7				
74	11,6		11,5	44,7	7				
75	11,7		11,5	44,9	7				
76	11,7		11,5	44,8	7				
77	771	13,4	13,8	35,5	5	17	23 18		
78		13,2	13,3	35,5	5				
79		13,2	13,3	35,7	5				
80		12,8	13,1	35,8	5				
81		12,6	13,0	35,5	5				
82	764,7	12,0	12,0	35,9	5	17	23 32		
83		12,0	12,0	35,9	5				
84		12,2	12,1	35,7	5				
85		12,2	12,1	35,6	5				
86		12,2	12,1	35,8	5				
87		12,3	12,3	31,8	5			15	23 22
88		12,3	12,3	31,7	5				
89	12,3	12,3	31,7	5					

Middel af disse 5 Grupper af Forsøg er

$$\alpha = 23^{\text{cc}}26.$$

Forsøgene bleve anstillede samtidig med Forsøgene Nr. 34—61.

c. Det daniellske Apparat.

Nr.	Elementernes Antal	s'	s''	Middel		l
				s'	s''	
90	1	14°56"	5°22"	14°55"	5°22"	0,0734
		14 55				
		14 55				
91	1	3 11	1 49	3 11	1 49	0,0739
		3 11				
		3 11				
92	2	5 6	3 11	5 7	3 11	0,0736
		5 6				
		5 7				
		5 8				
		5 8				

Middel af disse 3 Bestemmelser

$$l = 0,0736.$$

Altsaa er ifølge Formel (5)

$$V = 4^{\circ}356 \cdot 115^{\text{gr}}4 \cdot \frac{2097,6}{23,26} \cdot 0,0736 = 3337^{\text{gr}}0.$$

$$V = 3337^{\circ}$$

Tredie Forsøgsrække.

a. Calorimetret.

Nr.	t	τ	τ'	t'	$\tau - \tau'$	β	s	$\frac{Q}{C}$
93	15,9	14,92	16,75	16,0	1,83	5	43°	0°787
94	15,8	15,24	16,86	16,0	1,62	6,5	34	
95	15,6	15,16	16,52	15,8	1,36	5,5	34	
96	15,6	15,25	16,36	15,8	1,11	4,5	34	

Middeltal af disse Forsøg er

$$\frac{Q}{C} = 0^{\circ}791.$$

$$C = 115^{\text{gr}}4.$$

$$Q = 0^{\circ}791 \cdot 115^{\text{gr}}4.$$

b. Voltametret

Nr.	<i>B</i>	τ	<i>A</i>	α'	<i>b</i>	<i>s</i>	α	
97	763	{	14,5	14,5	44,2	6,5	40°	9 ^{cc} 933
98			14,5	14,5	45,3	7,5	35	9 867
99	751,6	{	15,6	15,6	46,2	6	45 22"	9 944
100			15,6	15,6	46,1	6	45 22	9 923
101			15,6	15,6	43,7	9	27 5	9 801

Middel af disse Forsøg er

$$\alpha = 9^{\text{cc}}894.$$

c. Det daniellske Apparat.

Nr.	Elementernes Antal	s'	s''	Middel		<i>l</i>
				s'	s''	
102	1	{ 29°14" 29 15	7°18"5	29°14"5	7°18"5	0,1720
103	1	{ 12 9 12 10	5 26 5	12 19 5	5 26 5	0,1725
104	2	{ 7 20 7 20	4 12	7 20	4 12	0,1719

Middel af disse Bestemmelser er

$$l = 0,1721.$$

Altsaa er

$$V = 0^{\circ}791 \cdot 115^{\text{sr}}4 \cdot \frac{2097,6}{9,894} \cdot 0,1721 = 3331^{\text{sr}}.$$

$$V = 3331^{\text{c}}.$$

Forsøgene, som bevise Gyldigheden af Formel (4), anstilles paa følgende Maade. I Apparatet, som giver en Strømstyrke $\sin s$, indflettes en Modstand l , og den derved resulterende Strømstyrke $\sin s'$ bestemmes. Er Elementernes Antal n , da haves

$$\sin s = \frac{n \varepsilon}{L} \quad \sin s_1 = \frac{n \varepsilon}{L + l} \quad \varepsilon = \frac{l}{n} \cdot \frac{\sin s \sin s'}{\sin s - \sin s'}$$

Nr.	n	l	s	s'	Middel		ε
					s	s'	
105	5	1000	15° 1" 15 6 15 9	12° 49" 12 52	15° 5"	12° 50"	303
106	5	1000	15 1 15 4	12 47 12 49	15 3	12 47,5	300
107	4	800	15 0 15 0 15 0	12 44 12 44	15 0	12 44	297
108	1	100	14 57 14 45	12 38 12 35	14 49	12 37	299
109	1	100	15 3 14 55	12 43 12 37	14 57	12 41,5	296
110	1	400	15 4 15 3 15 0	8 50 8 49 8 49	15 2	8 49,5	300

Ved Omvending af n' af Elementerne beregnes efter Formlen

$$\varepsilon' = \frac{l \sin s \sin s'}{\sin s - \sin s'}$$

og man finder da

$$\varepsilon' = (n - 2n') \varepsilon.$$

Nr.	n	n'	l	s	s'	Middel		ε'	
						s	s'		
111	5	1	600	14° 51" 14 58	12° 42" 12 45	14° 56"	12° 43"	906	$= 3 \times 302$
112	8	2	800	14 55 15 0 15 8	12 42 12 47	15 0	12 44	1189	4×297
113	4	1	200	14 27 14 29	12 19 12 19	14 28	12 19	584	2×292

Middeltallet af de første Forsøg er, som ovenfor anført, 299; Middeltallet af de 3 sidste Forsøg 297, hvorved Formel (4) finder sin Stadfæstelse.