

## Experimentalundersøgelse over Berøringselektricitetens Oprindelse.

Første Meddelelse.

Af

C. Christiansen.

(Meddelt i Mødet den 15. November 1895.)

Efter Volta opstaar Spændingsforskellen i et galvanisk Element i Berøringsfladen mellem de forskellige Metaller. Denne Anskuelse støttes paa Forsøg med Kondensatorelektroskopet. Imidlertid ere disse Forsøg ikke absolut bevisende, da Spændingsforskellen lige saa godt kan fremkomme i Grænsefladen mellem Metal og Luft. Den sidste Anskuelse maa endog siges at være bevist ved de kvantitative Maalinger af Peltiers Virkning, der give en saa ringe Varmendvikling ved Lodningsstederne, at den Spændingsforskel, som findes der, kun kan være højst ubetydelig i Sammenligning med den, der fremtræder ved Kondensatorforsøg.

Man anser det derfor nu som givet, at der er en Spændingsforskel mellem Metallerne og Luften; Spørgsmaalet er da om Betingelserne, for at den skal dannes. Det er jo muligt, at den blotte Berøring mellem Luft og Metal er tilstrækkelig; men det er mere sandsynligt, at der gaar en kemisk Proces forud. Man har mangfoldige Forsøg, der vise, at overmaade smaa, ofte usynlige, Forandringer af Metallets Overflade ere tilstrækkelige til at frembringe en indgribende Forandring i

Spændingsforskellen. Navnlig har Pellat<sup>1)</sup> gjort overraskende Iagttagelser i denne Retning. Herved maa ogsaa de meget variable Resultater, som Kohlrausch og Hanckel have erholdt ved Maalinger med Luftkondensatorer, forklares. Særlig Interesse frembyde i denne Henseende de Undersøgelser, som J. Brown<sup>2)</sup> har anstillet. Han fandt, at Spændingsrækken har et helt andet Udseende, naar Kondensatorforsøgene anstilles i en Atmosfære af Svovlbrinte eller Chlorbrinte. Ganske vist angribes Metallerne ogsaa tydeligt nok af disse Luftarter, men dette er i Virkeligheden i Overensstemmelse med den utvivlsomme Virkning af Luftens Ilt paa de Metaller, som staa øverst i Spændingsrækken. At Platin og flere andre Metaller skifte Plads i Rækken, eftersom de have indsuget Ilt eller Brint, taler for det samme.

Skønt denne Betragtningmaade vistnok nu er den almindeligt antagne, ere Beviserne for den dog neppe ganske tilfredsstillende. Det er ikke klart, hvilke de Luftarter ere, der bestemme Ordenen i Spændingsrækken, ligesom man heller ikke veed, om der finder en egenlig kemisk Forbindelse Sted eller der blot er en Tendens til denne, en Polarisation. Jeg haaber ved det følgende at kunne bidrage noget til Belysning af disse Spørgsmaal.

### § 1. Methoden.

Jeg har i mine sidste Arbejder beskæftiget mig med Spørgsmaalet om Gnidnings- og Berøringselektricitetens Oprindelse, og navnlig kom jeg ved Forsøgene over Gnidningselektriciteten til det Resultat, at Ilten efter al Sandsynlighed spillede en fremragende Rolle. Videre Undersøgelser og Overvejelser have i høj Grad bestyrket mig i denne Opfattelse, og jeg haaber i det følgende at kunne føre et afgørende Bevis for,

<sup>1)</sup> Pellat: Journal de physique. T. 10, p. 68, 1881.

<sup>2)</sup> J. Brown: Phil. Mag. (5), vol. 6, S. 142, 1878, vol. 7, S. 109, 1879 og Proceed. of the Royal Society. Vol. 41, S. 294, 1887.

at den af Volta opdagede Berøringselektricitet hidrører fra en Indvirkning af Ilt paa Metallerne. Jeg gaar altsaa ud paa at vise, at de almindelige Kondensatorforsøg med Zink- og Kobberplader ikke ville give nogen Spændingsforskel, naar Metalpladerne aldrig have været i Berøring med Ilt, men at Spændingsforskellen vil fremkomme, saasnt Ilt kommer til. At ogsaa andre Luftarter, der kunne virke kemisk paa Metallerne, eller rettere, hos hvilke der er en Tendens til kemisk Virkning, ville virke paa samme Maade, er ikke udelukket; her tænker jeg navnlig paa den atmosfæriske Lufts Bestanddele, af hvilke jeg mener at Ilten alene er virksom. For at gøre Fremstillingen saa kort og overskuelig som muligt, vil jeg først beskrive den anvendte Fremgangsmaade; da den under hele Arbejdet i Hovedsagen har været den samme, vil det ikke være nødvendigt senere at komme tilbage til den. Jeg har benyttet Straaleelektroder ved alle Forsøgene; denne Methode er vel nærmest at betegne som Lord Kelvins Methode; i Grundtanken er den jo gammel, da Straaleelektroden her er sat i Stedet for de tidligere anvendte Flammer.

Lord Kelvin har ogsaa benyttet den til at paavise Berøringselektriciteten, navnlig mellem Zink og Kobber, ved et Forsøg, i hvilket han lod Zinkspaaner falde ud af en Kobbertragt, som bares af et Zinkrør<sup>1)</sup>. Denne Methode har, saavidt mig bekendt, ikke senere været anvendt til Maaling af Berøringselektriciteten. Det er den, som jeg har søgt at udvikle videre.

Jeg har i alle mine Forsøg anvendt Kvægsølv eller flydende Amalgame, som hældtes i den isolerede Jærnbeholder *A*, der omtrent rummer et Kilogram Kvægsølv. Det er ved Kautschukslangen *B* forbunden med Glasrøret *C*, der ender i en Spids, hvis indre Diameter varierede fra 0,15 til 0,3<sup>mm</sup>. Dette Rør er med Segllak indsmættet i en Korkprop, som lukker Glasrøret *D*. Inden i dette staa to Metalplader *EE*, hvis Afstand er 2—3<sup>mm</sup>,

<sup>1)</sup> Maxwell Treatise, I. ed., § 248.

deres Brede er 2—3<sup>cm</sup>, Længden fra 5 til 15<sup>cm</sup>. *D* staar ned i en Jærnbeholder *F*, som staar paa en Skellakplade *G*. Fyldes *F* med Kvægsølv, vil Beholderen *D* være lukket, og man kan nu gennem Rørene *H* og *I* fylde den med en hvilkenksomhelst Luftart. I *C* indsmælttes en Platintraad, som forbindes med den ene Pol af et Kvadrantelektrometer, den anden Pol forbindes med Beholderen *F*. Strømmer Kvægsølv nu ud i en Straale paa nogle Millimeters Længde af Røret *C*, vil Elektrometret angive Spændingsforskellen mellem Kvægsølvet og

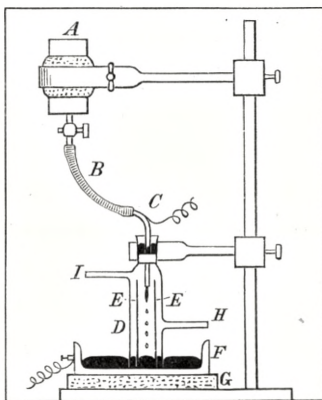


Fig. 1.

«Pladeelektroderne» *EE*. Det anvendte Elektrometers Følsomhed var saa stor, at et Udslag af 10<sup>mm</sup> svarede til en Volt; en Spændingsforskel af  $\frac{1}{100}$  Volt kunde da maales. I enkelte Tilfælde har Fremgangsmaaden været noget anderledes. Ved Forsøg i atmosfærisk Luft kan Røres *D* undværes; Pladerne *E* maa da understøttes paa anden Maade. Undertiden opsamledes det udstrømmende Kvægsølv for at bestemme Indflydelsen af Udstrømningshastigheden. De Modifikationer, som Fremgangsmaaden i dette og lignende Tilfælde maa undergaa, ere saa simple, at det ikke er nødvendigt at opholde sig derved. Hele Apparatet stod inde i en Trækasse 52<sup>cm</sup> høj og ligesaa bred, Dybden 27<sup>cm</sup>; den var indvendig beklædt med Messingplader, som forbindes med Jorden og med Elektrometrets ene Pol.

## § 2. Spændingsforskel *V* mellem Metaller og rent Kvægsølv i atmosfærisk Luft.

Ved disse Forsøg anvendtes rent destilleret Kvægsølv, Pladeelektroden dannedes af det Metal, som skulde undersøges. Resultaterne for de enkelte Stoffer var følgende:

1. Magnium. Pladerne gnedes med Smergelpapir, Spændingen aftog temmelig hurtigt, formodentlig paa Grund af stedfindende Iltning. Højeste iagttagne Værdi.  $V = 1,10$  Volt.

2. Aluminium. Pladerne gnedne med Smergelpapir,  $V = 0,86$  Volt.

3. Zink. Zink, gnedet med Smergelpapir, gav temmelig variable Værdier, Middel  $V = 0,74$ . Ved Opvarming til  $170^\circ$  i 2 Timer iltedes Pladen og gav  $V = -0,01$ . Zink udfældet galvanisk af Zinksulfat gav  $V = 0,815$ , efter to Timers Henstand  $0,75$ . Amalgameret Zink gav  $V = 0,74$ .

4. Kadmium, galvanisk udfældet af Kadmiumsulfat, gav  $V = 0,78$ .

5. Bly. En Blyplade skrabet med en Kniv gav  $V = 0,48$ , amalgameret Bly  $V = 0,54$ . Bly udfældet galvanisk af Blynitrat gav  $V = 0,70$ , Blyoverilte udfældet af samme Opløsning gav  $V = -1,025$ . Endelig undersøgtes Blypladerne i en efter Plantés Forskrift dannet Akkumulator; jeg fandt for Anoden  $V = -0,87$ , for Kathoden  $V = 0,56$ ; Akkumulatorens elektromotoriske Kraft var  $2,02$  Volt.

6. Kobber. En Kobberplade rensed med konc. Salpetersyre gav i to Forsøg  $V = 0,08$  og  $V = 0,07$ . Gnidning med Smergelpapir gav  $V = 0,06$  og  $V = -0,13$ ; amalgameret Kobber  $V = 0,07$ ; Kobber iltet ved Opvarming til Rødgloedehede  $V = -0,65$ . Galvanisk udfældet Kobber gav  $V = 0,01$  Volt.

7. Jærn. Jærn gnedet med Smergel gav i tre Forsøg:  $V = 0,200$ ,  $V = 0,157$  og  $V = 0,229$ . Blaåt anløbet ved Opvarming over en Blæserørsflamme fandtes for Jærn  $V = -0,330$ .

8. Tin. Fortinnet Jærnblik gnedet med Smergel gav  $V = 0,414$ . Samme amalgameret gav  $V = 0,442$ , medens Staniol gav  $V = 0,557$ .

9. Nikkel. Nikkelplade gnedet med Smergel gav  $V = 0,171$ .

10. Sølv, meget rent (96 %). Sølv, gnedet med Smergel gav  $V = -0,030$ . Samme amalgameret  $V = -0,037$ .

11. **Platin.** Platinplade opvarmet til Rødgledhede og afkølet i Vand gav i to Forsøg  $V = 0,03$  og  $V = -0,02$ . Samme glødet og afkølet i Luft:  $V = -0,397$ . Af Platinplader, der havde været anvendte til Vandadskillelse, gav den anodiske i et Forsøg  $V = -0,483$ , i et andet  $V = -0,56$ , den kathodiske  $V = 0,089$ .

12. **Kul.** Forsøg, anstillede med Kulstænger til Buelys, gave temmelig usikre Resultater, fra  $V = -0,2$  til  $-0,3$ . Grafitpulver udrørt i Vinaand og afsat paa Messing, gav  $V = -0,167$ , paa Platin  $-0,338$ .

De omtrentlige Værdier for Spændingsforskellen mellem de undersøgte Metaller og Kvægsølv blev altsaa:

TABEL I.

<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Ag</i>	<i>C</i>
1,10	0,86	0,74	0,56	0,48	0,20	0,17	0,00	-0,03	-0,2 Volt.

Man ser, at Resultaterne i det hele stemme godt overens med, hvad ældre Undersøgelser af Kohlrausch, Hankel, Pellat og andre have lært. I sig selv have disse Maalinger dog kun ringe Interesse, da Metallerne dels ikke ere rene, dels afhænger deres Plads i Spændingsrækken af mange forskellige Omstændigheder. Et Resultat vil jeg kun fremhæve; Maalingerne afgive Beviset for, at Metallernes Spændingsforskel kunne bestemmes ved Forsøg med Draabeelektroder.

Der er et Forhold ved denne Methode, som det her er Stedet at gøre opmærksom paa. Det er bekendt, at en Vædskestraale, idet den deler sig i Draaber, i Reglen udsender mindre Draaber til Siderne. Disse Draaber ville i mange Tilfælde hænge fast ved Pladeelektroderne, og de kunne bevirke, at Forsøgene give urigtige Resultater. Ere Metallerne rene, vil der i flere Tilfælde dannes Amalgam, undertiden bliver Pladen derved opløst, hvilket ofte iagttages med Magnium og Bly. Anvendes Jærn, synes Draaberne ikke at have nogen Indvirkning; bedst er det dog at benytte Kul. Jeg bruger da som Pladeelektrode

de to Stænger som faas ved at save et Lyskul igennem paa langs. Den hænger Kvægsølv et ikke gerne ved. Saadanne Kuleelektroder har jeg for det meste benyttet ved de Forsøg, ved hvilke Amalgamernes Spænding bestemmes.

### § 3. Spændingsforskel i forskellige Luftarter.

Efterfølgende Tabel vil forstaas uden videre Forklaring; kun bemærkes, at Spændingen ofte forandres meget langsomt, naar Luftarterne ombyttedes; det er derfor ikke sikkert, at det endelige Resultat altid er naaet.

TABEL II.

Spændingsforskel i Volt mellem Metaller og Kvægsølv i forskellige Luftarter.

	Atm. Luft.	Brint.	Atm. Luft.	Kulsyre.	It.	Kulsyre.	Atm. Luft.	Brint.	Atm. Luft.
1. Magnium . . . . .	1,17	1,02	1,33	1,15	1,17	0,97	0,61	0,76	0,46
2. — iltet . . . . .	0,82	0,38	0,90	0,78	0,70	0,66	0,82	0,72	0,90
3. Aluminium . . . . .	0,76	0,60	0,69	0,66	0,35	0,52	0,61	0,43	0,58
4. Zink . . . . .	0,82	0,74	0,83	0,85	0,45	0,57	0,80	0,63	0,85
5. — iltet . . . . .	-0,29	-0,53	-0,37	-0,48	-0,52	-0,50	-0,48	-0,60	-0,43
6. Tin . . . . .	0,56	-0,08	0,28	0,28	0,24	0,26	0,28	0,25	0,30
7. Bly . . . . .	0,57	0,53	0,57	0,59	0,46	0,54	0,56	0,38	0,55
8. Jærn . . . . .	0,23	0,14	0,28	0,16	0,00	0,00	0,09	0,03	0,09
9. — blaat anløbet	-0,48	-0,87	-0,67	-0,87	-0,87	-0,87	-0,68	-1,17	-0,75
10. Kobber . . . . .	-0,02	-0,27	0,02	0,00	-0,08	-0,02	-0,02	-0,10	0,00
11. — iltet . . . . .	-0,34	-0,59	-0,35	-0,62	-0,67	-0,50	-0,38	-0,65	-0,38
12. Platin . . . . .	-0,08	-0,02	-0,07	—	-0,21	-0,02	-0,09	-0,03	-0,06
13. Kul . . . . .	-0,30	-0,40	-0,38	-0,26	-0,30	-0,23	-0,23	-0,30	-0,23

1. Magniumpladerne vare gnedne med Smergelpapir. De amalgameredes af Kvægsølvdraaberne, hvorved de bleve bedækkede med et sort Lag af et Ilte (Magnesia) blandet med Kvægsølv. Dette Ilte kan fjernes ved Gnidning med Smergelpapir,

men dannes snart igen. Denne Iltning er vistnok Grunden til, at Spændingen efterhaanden aftager stærkt.

2. I denne Forsøgsrække benyttedes Magniumplader, der først havde været opvarmede til  $300^{\circ}$  C. i en halv Time.

3. og 4. Aluminium- og Zinkpladerne vare gnedne med Smergelpapir.

5. Zinkpladerne vare først i  $\frac{1}{2}$  Time opvarmede til  $300^{\circ}$  C.

6. Fortinnede Jærnplader gnedne med Smergelpapir.

7. Blypladerne skrabede med en Kniv.

8. 10. og 12. Disse Metalplader vare gnedne med Smergelpapir.

9. Jærnpladerne opvarmedes i en Glasblæserflamme, indtil de bleve blaat anløbne.

11. Kobberpladerne iltedes ved at opvarmes til Rødgloedehede i Glasblæserflammen.

13. Kulpladerne dannedes ved at gennemsave et Stykke Lyskul paa langs.

Tabellen angiver Spændingsforskellen mellem Metallerne og Kvægsølv; den viser, at denne Forskel afhænger for en Del af den Luftart, i hvilken Maalingerne foretoges. Det første Spørgsmaal er nu, om Kvægsølvet selv paavirkes af Luftarterne. Dette er vel ikke udelukket, men maa dog anses for mindre sandsynligt og kan i hvert Fald ikke forklare de store Variationer, der iagttoges hos enkelte Metaller, f. Ex. Tin. Vi ville derfor gaa ud fra, at det er Metallerne, der forandres.

Det er bekendt, at Platin bliver positivt i Brint, negativt i Ilt, dette have vi ogsaa set ved det ovennævnte Forsøg med Elektroder af Platin (S. 365). I Overensstemmelse hermed viser Tabellen, at Brint gør Platin mindre negativt, medens Ilt virker stærkt til at gøre det negativt. Alle de andre undersøgte Stoffer staa lavere i Spændingsrækken i Brint end i atmosfærisk Luft. Denne Virkning er især stærk hos Tin og Kobber, ved den formindskes Spændingen henholdsvis med 0,64 og 0,25 Volt.



I Hovedsagen virker Iten paa samme Maade, dog ikke saa stærkt, Virkningen er navnlig stor hos Aluminium, Zink og Jærn. Kulsyre har næppe nogen Indvirkning paa de rene Metaller, derimod virker den paa de iltede Metaller, idet Spændingsforskellen bringes til at aftage. Paa at forklare disse Forhold skal jeg ikke indlade mig her.

#### § 4. Draabeelektroder af rent Kvægsølv.

Efter at jeg havde overbevist mig om, at Straaleelektroder af rent Kvægsølv kunne benyttes til Maaling af Berøringselektrociteteten, laa det nær at undersøge Virkningen af Straaleelektroder af Amalgamer. Da selv meget svage Amalgamer i denne Henseende forholde sig som det Metal, Amalgamet indeholdt, i hvert Fald i galvaniske Elementer, laa det nærmest at vente, at man kunde bestemme Amalgamernes Stilling i Spændingsrækken ved at danne Straaleelektroder af dem. Derved viste sig imidlertid uventede Vanskeligheder. Sammenlignes en Draabeelektrode af Zinkamalgam ( $1/1000$ ) med rent Kvægsølv, kommer man til det Resultat, at Spændingsforskellen mellem dem altid er positiv, Zinkamalgam staar højere i Spændingsrækken, men denne Forskel kan have alle Værdier mellem 0 og omtrent 0,84 Volt. Man ser, at denne Forskel vokser, naar Amalgamet gøres stærkere, kun kan den ikke overstige 0,84 Volt. Den vokser, naar Straalen bliver længere eller Rørets Diameter bliver større.

Under disse Omstændigheder bliver det vigtigt nøjere at undersøge Straaleelektroden af rent Kvægsølv, for at se, om dens Længde og Diameter har nogen Indflydelse paa de maalte Spændingsforskelle. I Tabel 3 findes Resultaterne af en saadan Forsøgsrække.  $D$  betegner Diametren af Udstrømningsrøret i Millimeter,  $L$  den sammenhængende Straales Længde i Millimeter,  $P$  den Vægt Kvægsølv i Gram, som udstrømmer i et Minut,  $e$  Spændingsforskellen mellem Kvægsølvet og Pladeelektroderne, som vare af Kul. I Tabellen er tillige under  $T$  anført

den Tid, maalt i Sekunder, en Kvægsølvdel er om at bevæge sig fra Udstømningsaabningen til Enden af Straalen; jeg kalder i det følgende  $T$  Straalens Varighed. Til Bestemmelse af  $T$  haves

$$\pi \left( \frac{D}{20} \right)^2 \cdot \frac{L}{10T} \cdot 13,596 \cdot 60 = P,$$

$$T = 0,64 \frac{D^2 L}{P}.$$

TABEL IV.

Spændingsforskel med Kvægsølv og Kul i atm. Luft.

Diameter	Straale- længde	Hg Mængde	Varighed	Spænding
$D$	$L$	$P$	$T$	$e$
mm	mm	gr	sec	Volt
0,150	10	25,2	0,0056	0,18
	9,5	26,0	53	18
	8	22,7	50	10
	8	21,6	53	15
	5,5	21,0	37	19
	3	21,4	20	17
0,187	2,5	20,0	18	17
	9	28,4	0,0071	0,19
	5,5	23,2	53	19
0,237	4	32,0	28	19
	21	55,0	0,0137	0,15
	16	44,0	131	18
	9	37,4	87	18
0,268	5	33,8	53	12
	24	72,0	0,0153	0,16
	23	71,4	148	15
	17	46,0	170	16
	14	51,0	126	20
	8	38,4	96	20
	7	44,0	73	16
0,297	4	38,2	48	18
	32	100,2	0,0181	0,16
	27	98,6	154	14
	22	82,6	150	15
	20	79,4	142	16
	16	59,6	152	16
	12	59,0	115	16
	9	58,0	88	16
	6	42,0	65	17
	2,5	45,0	31	16

Skønt de iagttagne Spændingsforskelle ikke ere absolut ligestore, synes de dog ikke at afhænge af Straalens Længde eller Diameter; at de ikke ere fuldkommen ligestore, ligger snarest i iagttagelsesfejl. Vi betragte derfor Spændingsforskellene med Anvendelse af rent Kvægsølv som uafhængige af Straalens Beskaffenhed.

Om den omgivende Luftarts Natur har nogen Indflydelse paa Kvægsølvets Stilling i Spændingsrækken, kan vanskelig afgøres, da vi kun kunne iagttage Spændingsforskellen

$$V = Hg | \text{Luft} + \text{Luft} | \text{Pladeelektrode}.$$

Nu viser Tabel II, at  $V$  afhænger af Luftartens Natur; dog vil en nærmere Betragtning af denne Tabel vistnok snarest frembringe det Indtryk, at Forandringen i  $V$  hidrører fra Pladeelektroden, altsaa fra det faste Metal; jeg gaar derfor i det følgende ud fra, at Kvægsølvets Plads i Spændingsrækken er den samme, enten det strømmer ud i Ilt, Brint, Kulsyre eller atmosfærisk Luft.

Ved at betragte Tallene for Straalens Varighed  $T$  ser man, at  $T$  er tilnærmelsesvis konstant for længere Straaler; for kortere Straaler vokser  $T$  derimod med Længden.

### § 5. Draabeelektroder af Zinkamalgam i atm. Luft.

Anvendes nu i Stedet for rent Kvægsølv et Zinkamalgam, faas ganske andre Resultater, som det ses af Tabel V (S. 371).

Man ser af denne Tabel, at Zinkamalgamets Spænding bliver desto større, jo længere Straalens Varighed er. Man ledes herved til at antage, at Zinkamalgamet, naar Straalen varer en meget kort Tid, 0,002 sec. f. Ex., forholder sig som rent Kvægsølv. Deraf følger igen, at der maa foregaa en eller anden Proces for at fremkalde Spændingsforskellen.

Dette bekræftes ogsaa ved Forsøg med stærkere Amalgamer. Derved viser det sig nu tillige, at Forsøgene blive desto

TABEL V.

Spændingsforskel mellem Zinkamalgam og Kul i atm. Luft.

0,232 Gr. Zink i 1000 Gr. Kvægsølv.

Diameter <i>D</i>	Straale- længde <i>L</i>	Hg Mængde <i>P</i>	Varighed <i>T</i>	Spænding <i>V</i>
mm	mm	gr	sec	Volt
0,150	10	24,0	0,0060	0,23
	8	19,9	58	23
	5	18,6	39	18
	3	17,0	25	20
0,237	22	53,8	0,0147	0,50
	16	44,0	131	44
	8,5	37,0	83	42
	5	34,0	53	24
	2	30,4	24	20
0,297	33	98,0	0,0190	0,74
	25	81,2	174	64
	17	68,2	141	60
	10	55,4	102	30
	7,5	55,0	77	30
	$\frac{4}{2}$	50,2	45	22

vanskeligere og Resultaterne derfor desto usikkere, jo stærkere Amalgamet er. Vel vilde det være muligt at faa gode Resultater, naar Straalens Længde iagttoges i samme Øjeblik som Spændingsforskellen. Dertil vilde imidlertid kræves mindst to lagttagere, og jeg har hidtil ikke anseet det for nødvendigt at gaa nærmere ind paa denne Sag, da det Spørgsmaal, jeg her stiller, besvares med tilstrækkelig Tydelighed af de Forsøg, jeg nu skal anføre.

TABEL VI.

Spændingsforskel mellem Zinkamalgam og Kul i atm. Luft.

Gr. Zink i 1000 Gr <i>Hg</i>	Diameter <i>D</i>	Længde <i>L</i>	<i>Hg</i> Mængde <i>P</i>	Varighed <i>T</i>	Spænding <i>V</i>
	mm	mm	gr	sec	Volt
0,5	0,150	6,5	19,6	0,0048	0,35
		3	17,1	25	32
	0,187	4	25,2	0,0036	0,52
		2	16,1	28	20
	0,237	14	42,2	0,0119	0,64
		8	34,3	84	60
	0,268	4	31,7	45	32
			16	58	0,0127
		8	43	85	58
	0,297	3,5	39	41	39
			20	75	0,0151
		9	53,5	95	87
7		51	77	51	
4,5		46	55	40	
1,0	0,187	3	22,8	0,0029	0,39
	0,237	14	36,5	0,0138	0,47
		3	31,3	34	21
	0,268	15	49,8	0,0139	1,05
		3	—	—	0,39
	0,297	lang	81	—	1,04
58,1			—	0,81	
51,6	—		85		
2,0	0,150	5	17,1	0,0042	0,61
		3	16,0	0,0027	50
	0,187	9	26,2	0,0077	0,82
		4	22,8	0,0039	61
	0,237	13	44,2	0,0106	1,04
		9,5	33,1	103	1,04
		4	31,0	46	1,08
	0,268	6	36,7	0,0075	1,11
	0,297	lang	—	—	1,08
			9	44,8	0,0114
4			41,7	54	65

Af Tabellerne V og VI faas nu følgende maximale Værdier for de iagttagne Spændingsforskelle mellem Zinkamalgam og Kul:

TABEL VII.  
Maximumsværdi for  $V$  i Volt.

Gr. Zink i 1000 Gr. Hg	Rørets Diameter i mm.				
	0,150	0,187	0,237	0,268	0,297
0,0	0,16	0,19	0,15	0,17	0,16
0,232	0,23	—	0,50	—	0,74
0,5	0,35	0,52	0,64	0,77	0,87
1,0	—	—	—	1,05	1,04
2,0	0,61	0,82	1,08	1,11	1,08

Paa en enkelt Undtagelse nær vokse disse Maximumsværdier med Rørets Diameter, og det er saaledes aabenbart, at Spændingsforskellen afhænger af Rørets Beskaffenhed, og at den med voksende Rørdiameter og voksende Varighed af Straalen nærmer sig til et Maximum.

At det væsentligt kommer an paa Straalens Varighed, fremgaar af alle Forsøgene; ordnede efter denne faas af Tabel V og VI:

TABEL VIII.  
Spændingsforskellens Afhængighed af Varigheden.  
0,232 Gr. Zink i 1000 Gr. Kvægsølv.

$T$ sec	$V$ Volt	$T$ sec	$V$ Volt
0,0024	0,20	0,0083	0,42
25	20	102	30
39	18	131	44
45	22	141	60
53	24	147	50
58	23	174	64
60	23	190	74
77	30		

0,5 Gr. Zink i 1000 Gr. Kvægsølv.

$T$ sec	$V$ Volt	$V$ sec	$T$ Volt
0,0025	0,32	0,0077	0,51
28	20	84	60
36	52	85	58
41	39	95	87
45	32	119	64
48	35	127	77
55	40	151	85

### § 6. Itens Indflydelse paa Spændingsforskellen.

Idet jeg paa Grund af det foranførte antog, at der maatte foregaa en Forandring med Amalgamet, mens det dannede en sammenhængende Straale, laa det nærmest for mig at antage, at der skete en Slags Itning af Zinken. Det var let at prøve dette ved at lade Zinkamalgam strømme ud i iltfri Brint og i atmosfærisk Luft; der skulde da vise sig en væsentlig Forskel.

Ved disse Forsøg benyttedes Pladeelektroder af Jærn, som ved længere Tids Brug var noget iltet. Med rent Kvægsølv var der næsten ingen Forskel, enten Udstrømningen foregik i Brint eller atm. Luft; den oversteg ikke 0,03 Volt.

Anderledes med Zinkamalgam; jeg tilberedte forskellige saadanne; efterfølgende Tabeller indeholder Resultaterne af to Forsøgsrækker, der tydelig vise Forskellen.

TABEL IX.

Gr. Zink i 100 <sup>cc</sup> Hg	Brint $V_H$	Atm. Luft $V_L$	$V_L - V_H = e$
	Volt	Volt	Volt
$\frac{1}{4}$	0,09	0,36	0,27
$\frac{1}{2}$	0,08	0,51	0,43
1	0,14	0,75	0,61
2	0,06	0,90	0,84
4	0,15	1,01	0,86

En anden lignende Forsøgsrække gav følgende Resultat:

TABEL X.

Gr. Zink i 100 <sup>cc</sup> Hg	Brint $V_H$	Atm. Luft $V_L$	$V_L - V_H = e$
	Volt	Volt	Volt
0,33	0,10	0,36	0,26
0,56	0,09	0,51	0,42
1,69	0,15	0,90	0,75
4,02	0,15	1,04	0,89
7,56	0,15	0,89	0,74

$e$  betegner her Spændingsforskellen mellem Amalgamet og rent Kvægsølv. Man ser, at den vokser med Zinkholdigheden; af den sidste Forsøgsrække synes det at fremgaa, at den ved de stærkere Koncentrationer igen aftager; om det virkelig forholder sig saaledes, har jeg endnu ikke undersøgt. I hos-

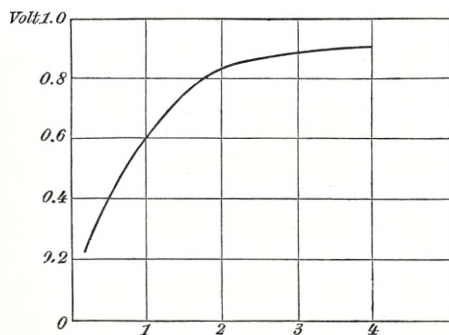


Fig. 2.

staaende Figur 2 ere Resultaterne af disse to Forsøgsrækker fremstillede grafisk med Udeladelse af det sidste Forsøg (med 7,56 Gr. Zn.).

For at se, om det er Ilten, der giver Anledning til at Zinkamalgamet staar højere i Spændingsrækken i atmosfærisk Luft end i Brint, anstillede jeg Forsøg, i hvilke Spændingen bestemtes



baade i atm. Luft, Brint og Ilt. Iltten var tørret med konc. Svovlsyre og Fosforsyre, den indeholdt ikke 1 pCt. fremmede Luftarter. Først fyldtes Apparatet med den Luftart, der skulde undersøges, derefter foretoges Forsøgene i følgende Orden: rent Kvægsølv, Zinkamalgam, rent Kvægsølv. Udstrømningsrørets Diameter var  $0,237^{\text{mm}}$ ; Pladeelektroderne vare af Kul. Der anvendtes 5 Opløsninger med 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{16}$  Gram Zink pr. Kilogram Kvægsølv.

TABEL XI.  
Spændingsforskel mellem Zink-Amalgamer og Kul.

Zinkmængde.	Atm. Luft.	Brint.	Ilt.
	Volt	Volt	Volt
0	0,19	0,15	0,16
1	0,91	0,21	1,01*
0	0,32	0,14	0,21
0	0,18	0,18	0,28
$\frac{1}{2}$	0,61	0,12	0,94*
0	0,28	0,14	0,37
0	0,19	0,12	0,31
$\frac{1}{4}$	0,47	0,15	1,01*
0	0,19	0,15	0,31
0	0,19	0,17	0,21
$\frac{1}{8}$	0,30	0,16	0,82
0	0,19	0,14	0,37
0	0,13	0,14	0,21
$\frac{1}{16}$	0,14	0,17	0,56
0	0,17	0,12	0,28

Af Tabellen ses, at Zinkamalgam og rent Kvægsølv forholde sig paa det nærmeste ens i Brint; vel er der Forskel paa Tallene, der snarest tyde paa, at Brint gør Zinkamalgam svagt positiv i Forhold til rent Kvægsølv, men Forskellen er saa ringe, at vi her ville se bort fra den.

At Zinken bliver stærkere positiv i Ilt end i atmosfærisk Luft, er iøjnefaldende og maatte jo ventes, naar Iltten var den

virksomme Luftart. Ved Iltforsøgene er der tillige det paa-faldende, at Straalen, navnlig ved de Iagttagelser, som ere mærkede \*, bliver mange Gange længere end i de tilsvarende Forsøg med Brint og atmosfærisk Luft. Den bliver let 10—20 Cm. lang; i Virkeligheden er det ikke muligt at se, naar Draabedannelsen begynder. Det bliver da næsten umuligt at faa Iagttagelsen, da Methoden jo kræver, at Straalen skal opløse sig i Draaber imellem Pladeelektroderne. Indstilles Udstrømningshastigheden saaledes, at dette finder Sted, og der altsaa viser sig et Udslag, ser man pludselig Elektrometret vise Nulspænding, fordi Straalen er bleven saa lang, at den tilvejebringer ledende Forbindelse med Kvægsølv i Beholderen. I denne Tilstand er Straalen ofte tillige urolig paa den Maade, at den udfører pendulagtige Bevægelser. Denne Egenskab ved Straalen viser sig ogsaa i Luft med stærkere Amalgamer og vide Udstrømningsaabninger; saaledes ved de Forsøg i Tabel VI, hvor der i Rubrikken for  $L$  kun staa r«lang». I Tabellen, hvor der under Ilt staa 0,94\*, skulde vistnok staa 1,01; men det var mig ikke muligt at faa Straalen til at være rolig, indtil Aflæsning kunde ske; saasart den var naaet til Spænding 0,94, gik den af den ovenfor nævnte Grund pludselig tilbage til 0.

Saa vel ved Luft- som ved Iltforsøgene er Spændingen med rent Kvægsølv større efter Amalgamforsøget end før dette; i Brint er en saadan Forskel næppe tilstede. Muligvis sætte Draaber af Zinkamalgam sig paa Kulpladerne og ilte sig der, hvorved de komme lavt ned i Spændingsrækken.

Spændingsforskellen vokser saavel ved Forøgelse af Zinkmængden  $m$  som ved Forøgelsen af Iltrykket  $p$ ; det ligger nær at antage, at Spændingen kunde være en Funktion af begge Produkt, altsaa

$$V = f(mp).$$

Til at prøve denne Antagelse tjener følgende Tabel, beregnet af Maalingerne i Tabel XI, hvor Iltrykket i ren Ilt betegnes med 1, Iltrykket i atmosfærisk Luft altsaa er 0,208.

$mp$ for Ht.	$mp$ for Luft.	V.
		Volt
1	. . . .	1,01
0,5	. . . .	1,01
0,25	. . . .	1,01
	0,208	1,01
0,125	. . . .	0,82
	0,104	0,61
	0,052	0,56
	0,026	0,30
	0,013	0,24

I Figur 3 er denne Tabel gengiven grafisk; man ser, at der virkelig er nogen Berettigelse til at opstille ovenstaaende Lov.

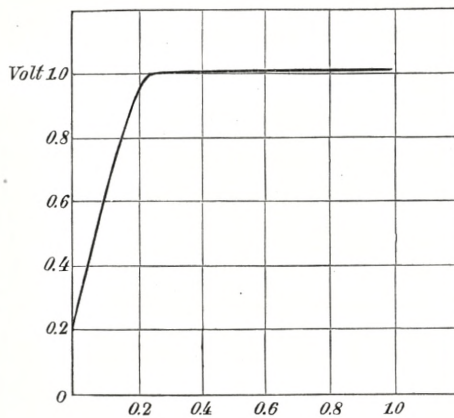


Fig. 3.

### § 7. Forsøg med Cadmium-, Bly- og Tinamalgam.

Disse Amalgame undersøgte paa samme Maade som Zinkamalgam. Resultaterne findes i de følgende Tabeller. Udstrømningsrørets Diameter var  $0,237^{\text{mm}}$ , Straalens Længde imellem 10 og  $20^{\text{mm}}$ . Kun i de med \* betegnede Tilfælde var Straalen lang. Pladeelektroderne vare af Kul.

Spændingsforskel med Cadmiumamalgam og Kul.  $D = 0,237\text{mm}$ .

Gr. Cd i 1000 Gr. Hg	Atm. Luft.	lft.	Kulsyre.	Brint.	Atm. Luft.
0	0,10	0,10			
2	0,26	0,87*			
0	0,10	0,19			
0	0,13	0,08	0,20	0,19	
1	0,25	1,13	0,24	0,21	
0	0,12	0,22	0,24	0,22	
0	0,10	0,19	.....	.....	0,16
0,47	0,21	0,77	.....	.....	0,19
0	0,19	0,15	.....	.....	0,15
0	0,17	0,21			
0,23	0,19	0,70			
0	0,17	0,25			
0	.....	0,17			
0,12	.....	0,62			
0	.....	0,23			

Ved det første Forsøg var Straalen saa lang, at den sande Værdi ikke er opnaaet, idet den sprang tilbage til 0.

$mp$ for lft.	$mp$ for Luft.	V.
		Volt
2	.....	0,87*
1	.....	1,13
0,47	.....	0,77
	0,416	0,26
0,23	.....	0,70
	0,208	0,25
0,12	.....	0,62
	0,098	0,20
	0,048	0,19

Spændingsforskel mellem Blyamalgam og Kul.  $D = 0,237\text{mm}$ .

Gram $Pb$ i Kil. $Hg$	Atm. Luft.	Brint.	Kulsyre.	Ilt.	Atm. Luft.
0	0,09	0,18	0,26	0,23	0,17
4	0,70	0,18	0,18	0,75*	0,64
0	0,26	0,07	0,29	0,28	0,18
0	0,18	0,18	0,19	0,20	0,18
2	0,46	0,19	0,18	0,66*	0,39
0	0,18	0,18	0,18	0,09	0,18
0	0,17	0,17	. . . .	0,14	0,16
1	0,29	0,17	. . . .	0,74*	0,28
0	0,18	0,17	. . . .	0,09	0,14
0	0,18	. . . .	. . . .	0,28	0,19
$\frac{1}{2}$	0,20	. . . .	. . . .	0,80**	0,23
0	0,11	. . . .	. . . .	0,23	0,11
0	0,16	. . . .	. . . .	0,18	0,14
$\frac{1}{4}$	0,21	. . . .	. . . .	0,44**	0,17
0	0,09	. . . .	. . . .	0,12	0,12

Straalens Længde var i Reglen omtrent  $2^{\text{cm}}$ , undertiden mere. Ved de Iagttagelser, som ere mærkede med \*, var Straalen meget lang og Iagttagelserne derfor vanskelige. Ved de med \*\* mærkede var Straalen omtrent  $3^{\text{cm}}$  lang.

Betragtes Spændingsforskellen ligesom ved Zink som en Funktion af Produktet af Tryk og Amalgamets Styrke, faas følgende Tabel:

$mp$ for Ilt.	$mp$ for Luft.	V.
4	. . . .	0,75*
2	. . . .	0,66*
1	. . . .	0,74*
	0,832	0,70
0,5	. . . .	0,80
	0,416	0,46
0,25	. . . .	0,44
	0,208	0,29
	0,104	0,20
	0,052	0,21

Spændingsforskel mellem Tinamalgam og Kul.  $D = 0,237^{\text{mm}}$ .

Gr. Sn i 1000 Gr Hg	Atm. Luft.	Ilt.	Kulsyre.	Brint.	Atm. Luft.
0	0,11	0,23	.....	.....	0,14
8	0,27	0,80*	.....	.....	0,29
0	0,11	0,19	.....	.....	0,17
0	0,11	0,15	.....	0,14	0,11
4	0,26	0,38	.....	0,17	0,22
0	0,19	0,21	.....	0,12	0,10
0	0,11	0,17	0,19	0,10	0,11
1,93	0,22	0,49	0,20	0,15	0,19
0	0,19	0,33	0,20	0,11	0,07
0	0,21	0,18	.....	0,16	0,09
0,96	0,20	0,38	.....	0,15	0,11
0	0,15	0,25	.....	0,10	0,09

Med Ilt var Straalen lang og sammenhængende i det første Forsøg, som er betegnet med \*. Sammenholdes Forsøgene efter Produktet af Iltryk og Amalgamets Styrke, faas følgende Resultat:

$mp$ for Ilt.	$mp$ for Atm. Luft.	V
8	.....	0,80
4	.....	0,38
1,93	.....	0,49
	1,664	0,28
0,96	.....	0,38
	0,832	0,24
	0,401	0,21
	0,200	0,16
	0	0,13

§ 8. Resultater.

Det synes herefter, at vi nødes til at antage, at Spændingsforskellen mellem Amalgam og rent Kvægsølv frembringes, eller rettere kan frembringes, ved Ilt. I det foregaaende er der kun

talt om Amalgamer af de fire Metaller Zink, Cadmium, Bly og Tin. Med Jærn kan der efter Gouy<sup>1)</sup> ikke dannes noget flydende Amalgam. Kobberamalgamet indeholder yderst lidt Kvægsølv; disse Metaller synes ikke at adskille sig i elektrisk Henseende væsentlig fra Kvægsølv. Amalgamer af Magnium og Aluminium ere meget vanskelige at arbejde med, da de iltes saa stærkt, at Udstrømningsrøret tilstoppes. Natriumamalgam giver en Spænding af næsten 2 Volt i Forhold til Kul. Dog ere Natriumforsøgene vanskelige, da en yderst ringe Mængde Ilt synes at virke stærkt.

De Metaller, der i Ilt give en kendelig Spændingsforskel, angribes af Iltten; denne Virkning er ikke øjeblikkelig, der hængaar henved 0,01 Sekund, inden den har naaet Maximum. Om der indtræder en virkelig Iltning i Straalen, er maaske tvivlsomt; opsamles det udstrømmende Kvægsølv, er det dog tydelig nok iltet. Vi ere saaledes berettigede til at antage, at Spændingsforskellen hidrører fra en kemisk Proces; derfor gør Brint, Kvælstof og Kulsyre ingen Virkning.

Om den Tid, der under forskellige Omstændigheder udfordres for at fremkalde Spændingsforskellen, kunne vi danne os et Begreb paa følgende Maade. Betegner  $m$  Amalgamets Styrke,  $p$  Iltens Partialtryk,  $E$  Spændingsforskellens Maximalværdi og  $e$  den øjeblikkelige Spændingsforskel, er det rimeligt at antage, at

$$de = kmp(E - e)dt,$$

hvor  $t$  betegner Tiden,  $k$  en Konstant, der afhænger af Metallets Natur; vi have da

$$e = E(1 - e^{-kmp t}).$$

Tiden regnes her fra det Øjeblik, da Ilt først kommer i Berøring med Amalgamet.

Ved de her omtalte Forsøg har Stud. mag. M. Knudsen paa flere Maader hjulpet mig. De anvendte Luftarter ere frem-

<sup>1)</sup> Gouy, Journ. de Phys. (3). 4. p. 320. 1895.

stillede af Cand. mag. S. P. L. Sørensen, Assistent ved Læreanstaltens kemiske Laboratorium. Med Hensyn til Fremstilling og Renselse af disse Luftarter bemærkes følgende.

Brinten fremstilledes, i et konstant Udviklingsapparat, af Zink og fortyndet Svovlsyre og rensedes ved at ledes igennem en saltsur Opløsning af Chromchlorur (Ilt) og derefter gennem Natronlud (Saltsyre og Kulsyre); sluttelig tørredes ved Hjælp af koncentreret Svovlsyre og Fosforsyreanhydrid.

Kulsyren fremstilledes, i et konstant Udviklingsapparat, af Marmor og fortyndet Saltsyre og vadskedes med en saltsur Opløsning af Chromchlorur (Ilt) og dernæst med en Sodaopløsning (Saltsyre), tilsidst tørredes som ved Brinten.

Ilten fremstilledes paa sædvanlig Maade af Kaliumchlorat og Brunsten og samledes over Vand i et Gasometer. Herfra lededes den gennem en svovlsur Jodkaliumopløsning og dernæst gennem Natronlud (Ozon, Chlor og Kulsyre); tilsidst tørredes som ved Brinten.

Kvælstoffet fremstilledes ved at dryppe en Natriumnitritopløsning til en varm Opløsning af Salmiak og lidt mere end den til Mætning nødvendige Mængde Kaliumdichromat. Det udviklede Kvælstof opsamledes over Vand i et Gasometer, hvorfra det lededes gennem en sur Opløsning af Kaliumpermanganat, en Opløsning af Pyrogallussyre i Natron, en saltsur Opløsning af Chromchlorur og endelig gennem Natronlud (Kvælstofilter, Kulsyre, Ilt og Saltsyre); tilsidst tørredes som ved Brinten.

---