



Over den duur en het verloop der geïnduceerde galvanische stroommen

<https://hdl.handle.net/1874/261961>

OVER
DEN DUUR EN HET VERLOOP
DER
GEINDUCEERDE GALVANISCHE STROOMEN.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

NA MACTHIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

D^R. F. A. W. MIQUEL,

GEWOON HOOGLEERRAAR IN DE WIS- EN NATUURKUNDIGE FACULTEIT,

MET TOESTEMMING VAN DEN ACADEMISCHEN SENAAAT

EN

VOLGENS BESLUIT DER PHILOSOPHISCHE FACULTEIT,

TER VERKELJING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Wis- en Natuurkunde,

AAN DE HOOGESCHOOL TE UTRECHT,

op Woensdag den 8 Juni 1870, des namiddags ten 2 ure,

TE VERDEDIGEN

DOOR

AREND NIJLAND,

geboren te Delden.



UTRECHT,

P. W. VAN DE WEIJER,

Provinciaal- en Steds-Steendrukker,

1870.

NEW YORK, N.Y. 1850

RECEIVED OF THE

LIBRARY OF THE

NEW YORK HISTORICAL SOCIETY

FOR THE YEAR 1850

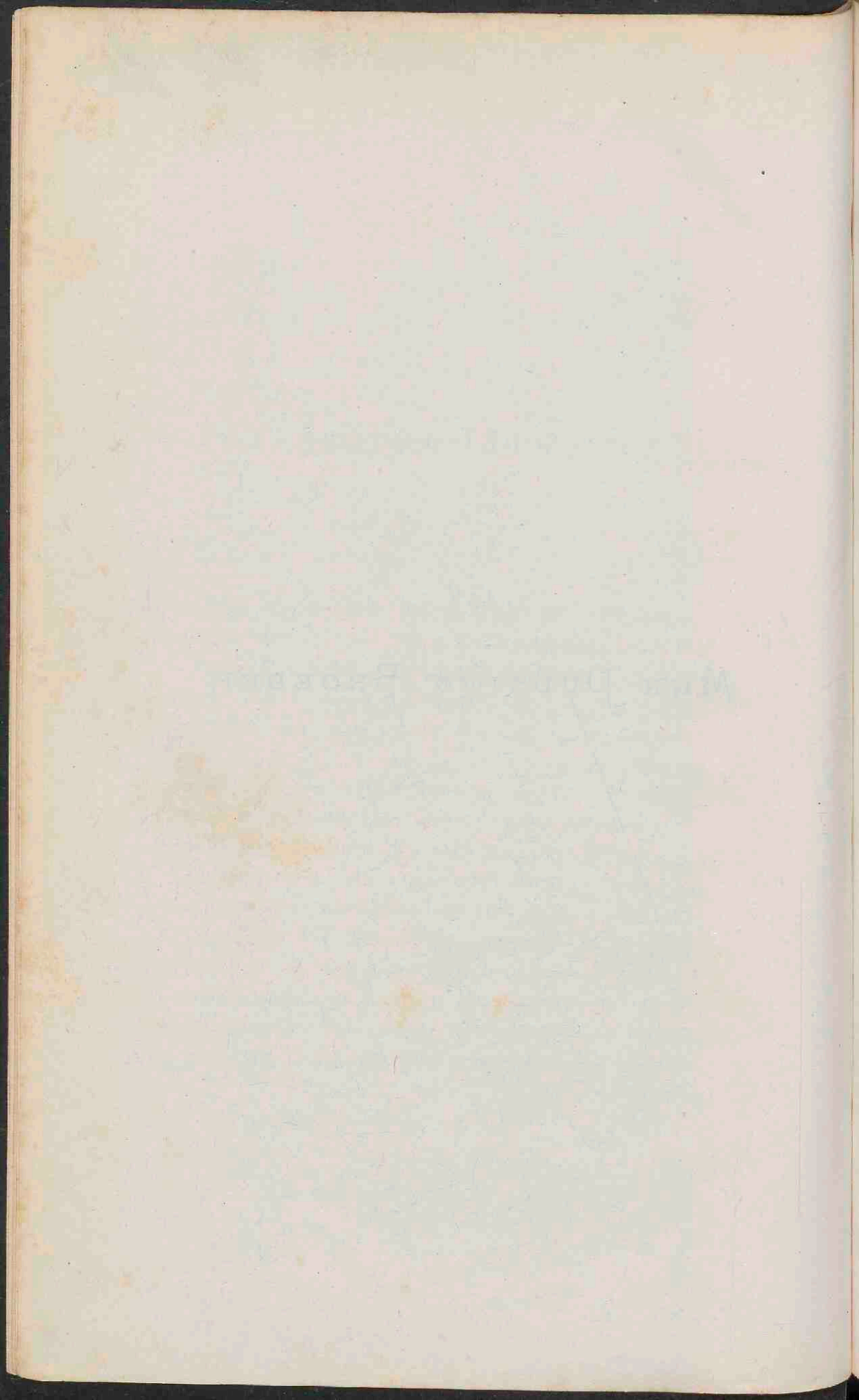
BY THE



NEW YORK: PUBLISHED BY

AAN

MIJN OUDSTEN BROEDER.



EEN WOORD VOORAF.

Terwijl ik, met het schrijven dezer regelen, de laatste hand leg aan mijn dissertatie, kan ik niet nalaten de dankbare gevoelens te uiten, die mij daarbij bezielen.

Vooreerst jegens U, waarde Oudste Broeder, voor mijn vroegere opleiding, den grond voor mijn geheele volgende studie.

Voor uw leiding, Hooggeleerde Grinwis, als leermeester en promotor. Op uw raad heb ik het onderwerp begonnen, dat mij een jaar van inspanning, doch tevens een jaar van genot heeft opgeleverd. Mocht uw degelijk en helder onderwijs in deze verhandeling zichtbaar zijn.

Jegens U, Hooggeleerde van Rees. Uw onderwijs, uw omgang met leerlingen zullen mij tot een voorbeeld zijn, als ik weêr geroepen zal worden, anderen te onderwijzen. Ook ik heb het ondervonden, dat uw sympathie een jongmensch vermag te inspireeren tot al wat goed is in de wetenschap.

Niet minder voor uw lessen, Hooggeleerde Buys Ballot, en uw zeer gewaardeerde belangstelling in mijn studie.

Ook U, Hooggeleerde Hook, dank ik voor de heldere begrippen van astronomie, die ik op uw lessen heb kunnen verkrijgen.

Van uw onderwijs, Hooggeleerde Heeren Harting en Miquel, in de natuur-historische vakken, heb ik maar twee jaar kunnen genieten, doch ik blijf erkentelijk voor het betrekkelijk veel, dat ik genoten heb.

Dat het onderwerp van mijn onderzoek mij met U in aanraking bracht, Hooggeleerde Donders, was mij een groot voorrecht. Bij de vergunning, om een onderzoek van U voort te zetten, hebt Gij uw raad en hulp gevoegd op een wijze, die mijn werk aangenaam en vruchtbaar maakte. Daarom hebt ook Gij aanspraak op mijn blijvende erkentelijkheid.

Mocht de Lezer, na inzage dezer dissertatie, er meê kunnen instemmen, dat ik reden heb voor deze dankbare gevoelens, dan beveel ik mij verder in zijn vriendschap aan, en mag ik ook het laatste mijner academiejaren goed besteed achten.

INHOUD.

Inleiding	Bladz. 1
---------------------	----------

EERSTE HOOFDSTUK.

Theorie van Helmholtz voor de inductie in den primairen spiraalvormigen geleider.	3
<i>a.</i> Inductie in den primairen geleider, bij sluiting	6
<i>b.</i> Bij opening	7
<i>c.</i> Geval van een nevensluiting	9

TWEEDE HOOFDSTUK.

Inductie in een nevenspiraal	12
<i>a.</i> Inductie in een nevenspiraal, bij 't openen van den pri- mairen stroom	14
<i>b.</i> Inductie in een nevenspiraal, bij het sluiten van den primairen stroom	16

DERDE HOOFDSTUK.

Metingen van den duur der geïnduceerde galvanische stroomen. 24	
A. Zuivere Volta-inductie	24
B. Invloed van het ontstaan en verdwijnen van magnetisme op de versterkte inductiestroomen	28

VIERDE HOOFDSTUK.

	Bladz.
Waarnemingen volgens de graphische methode	36
§ 1. Methode	37
§ 2. Zuivere Volta-inductie	47
§ 3. Primaire spiraal, door ijzerkernen versterkt	49
§ 4. Invloed van weêrstand	61
§ 5. Inductiestroomen, door een Leidsche flesch versterkt	71
§ 6. Invloed der openings- en sluitingsstroomen op elkaar	74
§ 7. Unipolaire inductie	76
§ 8. Beelden der ontladingsvonken	79

VIJFDE HOOFDSTUK.

Overzicht en besluit	83
Opmerkingen omtrent de photographieën	89
Stellingen	91

INLEIDING.

In de verschijnselen der geïnduceerde galvanische stroomen zijn vooral twee punten van groot theoretisch belang: de krachtige werking, die alle andere electriche verschijnselen, zooals wij die kunnen voortbrengen, overtreft, en de korte duur, die alleen tot den tijd voor verandering in den induceerenden stroom beperkt is.

Als een galvanische stroom door een geleider gaat, die om een hoef van week ijzer is gewonden, dan wordt het ijzer magnetisch en blijft dit, tot dat de stroom weêr afgebroken wordt. Wanneer men nu omgekeerd een magneet in een spiraal brengt, dan wordt hierin een stroom geïnduceerd, die echter maar een oogenblik duurt. Deze korte duur was volstrekt niet te voorzien. Vervangt men in het laatste geval den magneet door een spiraal, waardoor een galvanische stroom gaat, dan verkrijgt men hetzelfde verschijnsel.

Tijd en verloop der geïnduceerde galvanische stroomen nategaan is het doel van mijn onderzoek.

De questie van tijd heeft alle onderzoekers der inductie-verschijnselen bezig gehouden, doch door de gebrek-

kige middelen om een klein tijdsverloop te meten is deze nog onbevredigend opgelost. De theoretisch logische methode van Weber om een geïnduceerden stroom gelijktijdig door een galvanometer en zijn dynamometer te laten gaan en dan uit de aangave van beide instrumenten den tijd en de gemiddelde intensiteit te bepalen, is praktisch onuitvoerbaar, omdat de extrastroomen in het spel komen.

Wel heeft Rijke (P. A. CII p. 497, 1857), het middel tot verbetering aangegeven, doch van juiste metingen hiermede is mij niets bekend.

Helmholtz heeft echter door zijn vernuftige wip den invloed der extrastroomen in den primairen spiraalvormigen geleider uitmuntend onderzocht, zoodat zijn theorie en waarnemingen goed op elkaar sluiten. Maar de meeste theorieën over duur en intensiteit wachten nog op een experimenteete kritiek.

De uitmuntende gelegenheid, die mij gegeven werd, om deze belangrijke punten experimenteel nauwkeurig te onderzoeken, heb ik met lust aangegrepen. Belangrijke feiten zijn daarbij opgetreden, die voor de geheele theorie der geïnduceerde galvanische stroomen van gewicht zijn.

Vóór ik dus overga tot de mededeeling van mijne waarnemingen, wil ik zoo beknopt mogelijk de bestaande theorie, voor zoover ze met ons onderwerp in verband staat, terug geven.

EERSTE HOOFDSTUK.

THEORIE VAN HELMHOLTZ VOOR DE INDUCTIE IN DEN PRIMAIREN SPIRAALVORMIGEN GELEIDER.

(P. A. LXXXIII, bl. 505 enz.)

Op het oogenblik dat een galvanische batterij door een geleiddraad, waarin zich een spiraal bevindt, gesloten wordt, stelt de electriciteit zich in beweging, maar het aangroeien van den stroom induceert in de spiraal een tegenwerkende electromotorische kracht, die den extrastroom vormt, waardoor de ontwikkeling van den primairen stroom vertraagd wordt. Helmholtz bewijst, dat op dezen extrastroom de wet van Ohm mag toegepast worden.

Dove heeft bewezen (P. A. LVI, p. 365), dat deze sluitingsextrastroom den primairen stroom nooit overweldigt en in zijn richting doet omkeeren, doch alleen verzwakt, zoodat de intensiteit van den extrastroom geringer moet zijn dan die van den primairen. De geïnduceerde stroom alleen kan in zijn korten duur een electromagnetische werking teweegbrengen van bepaalde grootte; de tegengestelde primaire stroom zou dezelfde werking echter in korteren tijd geven, omdat zijn intensiteit grooter is. Als nu een galvanische stroom van grootere inten-

siteit dezelfde electromagnetische werking teweeg zal brengen, als een stroom van zwakkere intensiteit, dan moet de laatste langer duren.

Daaruit volgt direct, dat de duur van den geïnduceerden stroom grooter is dan de tijd, waarin de primaire dezelfde electromagnetische werking zou teweegbrengen.

De extrastroom alleen geeft aan een rustige magneetnaald een uitslag evenredig aan

$$\int_0^{\infty} i dt = \frac{P}{W} I$$

als i de intensiteit van den extrastroom is, I die van den primairen stroom, W de weerstand, P de potentiaal der spiraal op zich zelve en t de tijd.

De primaire stroom alleen zou in den korten tijd t een uitslag geven evenredig aan:

$$\int_0^t i dt = It.$$

Bij gelijke electromagnetische werking is dus:

$$It = \frac{P}{W} I,$$

of

$$t = \frac{P}{W}.$$

De tijd t' van den extrastroom moet grooter dan t zijn, omdat i kleiner dan I is, dus:

$$t' > \frac{P}{W}.$$

Nu komt het er op aan t' een maximum te maken, om den tijd van voortplanting der electriciteit daartegen te laten verdwijnen. Hiertoe moet W een minimum zijn,

welke in de batterij kan verkregen worden. P moet dan een maximum zijn; deze is volgens Neumann's theorie gelijk aan:

$$\frac{1}{2} S \sum \frac{Ds \cdot D\sigma}{r} \cos (Ds, D\sigma)$$

waarin Ds en $D\sigma$ de elementen der stroomgeleiders, r hun afstand en $(Ds, D\sigma)$ de hoek is, dien ze met elkaar maken. (Zie Neumann Abh. der Berl. Ac. 1845 bl. 60).

Neemt men nu alle linaire afmetingen der geleiders n -maal zoo groot, dan is P n -maal zoo groot geworden; W zou dan, wegens de n -maal grootere lengte, n -maal grooter zijn, doch de doorsneê is n^2 -maal vergroot en dus W om deze reden n^2 -maal zoo klein; bij slot van rekening is dus W n -maal zoo klein. Het quotient $\frac{P}{W}$ is dus n^2 -maal zoo groot geworden.

De mogelijkheid bestaat dus altijd, condities te maken, waaronder de voortplantingstijd der electriciteit verdwijnend klein is ten opzichte van den tijd, waarin de extra-stroom verloopt. Alleen onder deze condities mag de wet van Ohm toegepast worden.

Helmholtz heeft een spiraal gewonden van 64 meter lang, die 1 kilo woog.

Hierin was de tijd $t = \frac{P}{W} = 0.00497$ seconden, terwijl volgens Fizeau en Gounelle (Compte rendu XXX p. 437, 1850) de voortplantingstijd 10000 maal kleiner is. Latere metingen van Guillemin (Ann de Ch. et de Ph. LX p. 385, 1860) geven een tijd van 0.024 secunde, waarin een draad van 530 kilometer lang en 4 millimeter dik een constanten stroom had aangenomen; dan zou de voortplantingstijd ruim 1600 maal kleiner zijn. De wet van Ohm mag hier dus toegepast worden.

a. Inductie in den primairen geleider bij sluiting.

Noemt men I de totale intensiteit der zuil, E hare electromotorische kracht, W de weerstand en P de potentiaal der spiraal op zich zelve, dan is volgens Neumann de geïnduceerde electromotorische kracht $P \frac{dI}{dt}$.

De totale intensiteit is dan gegeven door de vergelijking:

$$I = \frac{E - P \frac{dI}{dt}}{W}$$

of
$$\frac{dI}{dt} + \frac{W}{P} I = \frac{E}{P},$$

een lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde, waarvan de integraal:

$$I = e^{-\int \frac{W}{P} dt} \int e^{\int \frac{W}{P} dt} \frac{E}{P} dt$$

of
$$I = \frac{E}{W} - \frac{E}{W} e^{-\frac{W}{P} t} = \frac{E}{W} \left(1 - e^{-\frac{W}{P} t} \right) \quad (1)$$

waarin de constante bepaald is door de voorwaarde, dat voor $t = 0$, $e = -\frac{E}{W}$ is.

Door deze vergelijking is het verloop van den geïnduceerden stroom volkomen bepaald. Bij lange sluiting nadert I meer en meer tot $\frac{E}{W}$, de intensiteit zonder inductie. De totale intensiteit F verkrijgt men door integratie van (1) voor den tijd van $t = 0$ tot $t = t$; deze is dus:

$$F = \int_0^t I dt = \int_0^t \left\{ \frac{E}{W} dt - \frac{E}{W} e^{-\frac{W}{P} t} dt \right\},$$

$$\text{waaruit } F = \frac{E}{W} \left\{ t - \frac{P}{W} \left(1 - e^{-\frac{W}{P} t} \right) \right\}. \quad (2)$$

De totale intensiteit van den extrastroom, die van de intensiteit $\frac{E}{W}$ des primairen, totdat hij constant geworden is, moet afgetrokken worden, is dan

$$-\frac{E}{W} \int_0^{\infty} e^{-\frac{W}{P} t} dt = -\frac{PE}{W^2}. \quad (3)$$

b. Bij opening.

Opent men de geleiding nadat I constant geworden is, dan ontstaat de openings-extrastroom. Deze kan maar zóó lang duren, als er door de vonk een overgang van materie plaats heeft. Om dezen openings-extrastroom waar te nemen, wordt de zuil van de spiraal losgemaakt en direct door een nevensluiting van gelijken weerstand vervangen, hetgeen Helmholtz door zijn wip kon gedaan krijgen.

De intensiteit van dezen extrastroom is ten tijde ϑ na de opening:

$$\frac{E}{W} e^{-\frac{W}{P} \vartheta} \quad (\text{zie form. 1})$$

en dus de totale intensiteit, die wij O zullen noemen:

$$O = \int_0^t \frac{E}{W} e^{-\frac{W}{P} \vartheta} d\vartheta = \frac{PE}{W^2} \left(1 - e^{-\frac{W}{P} t} \right) \quad (4)$$

Geschiedt de opening eerst nadat de stroom constant geworden is, dus ten tijde $t = \infty$, dan is de totale intensiteit, die wij O' zullen noemen,

$$O' = \frac{PE}{W^2};$$

dan heeft de openingsextrastroom dezelfde totale intensiteit als de sluitingsextrastroom.

Het principe van de onderzoeken van Helmholtz is nu het volgende:

In den sluitdraad werd, behalve de spiraal, nog een galvanometer gebracht, de stroom werd na sluiting zeer snel weêr geopend en de zuil door een geleiding van gelijken weêrstand vervangen. Dan stroomt door den galvanometer de gehele sluitingsstroom en de openingsextrastroom, die beide de galvanometernaald, als t klein is ten opzichte van den schommeltijd der naald, in haar rustpunt treffen. Noemt men deze geheele intensiteit G , dan is

$$G = F + O = \frac{E}{W} t.$$

Deze G kan uit de waarnemingen van den galvanometer berekend worden, want bij kleine schommelingen zal deze $\frac{2\pi}{T} \times G$ aangeven, als T de schommeltijd is. (Zie Pouillet Compt. rend. XIX, p. 1384).

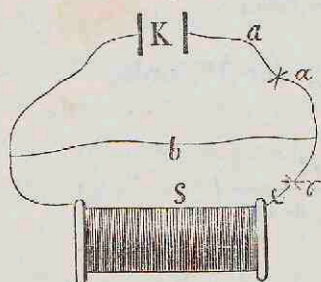
Hieruit kan t berekend worden en dan ook F . Die F wordt tevens uit de waarneming gevonden, welke waarde bij Helmholtz met de berekende zeer goed overeenstemt. (Zie over de wip en de resultaten zijn verhandeling l. c.)

De berekende tijd is bij Helmholtz van 0.038 tot 0.566 honderdste seconden. Hij heeft niet rechtstreeks

de intensiteit als functie van den tijd bepaald, maar alleen de relatie tusschen de intensiteit en haar integraal volgens den tijd, en bewezen, dat door de experimenteel bewezen relatie tusschen F en G ook I als functie van t volkomen bepaald is.

c. Geval van een nevensluiting.

Fig. 1.



De stroomleiding heeft dan drie takken: de eerste a , waarin zich de galvanische zuil K bevindt: de nevengeleiding b en de derde c , waarin de spiraal S is gebracht.

Noemt men de intensiteit der drie takken i_a , i_b en i_c , de weêrstand w_a , w_b en w_c , de electromotorische kracht der zuil E en de potentiaal der spiraal op zich zelve P , dan is de geïnduceerde electromotorische kracht in de spiraal op elk oogenblik $-P \frac{di_c}{dt}$.

Men heeft dan ten tijde t :

$$i_a = i_b + i_c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Volgens Kirchhoff is in elke geleiding de som der electromotorische krachten gelijk aan de som der producten van de intensiteit in elken tak en den daarbij behoorenden weêrstand, dus in dit geval:

$$E - i_a w_a = i_b w_b \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

En evenzoo
$$P \frac{di_c}{dt} + i_c w_c = i_b w_b \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Als men uit (1) en (2) i_a elimineert, wordt

$$E - i_c w_a = i_b (w_b + w_a).$$

Substitueert men hierin i_b , die men uit (3) verkrijgt, dan is

$$Ew_b - i_c(w_a w_b + w_b w_c + w_a w_c) = P \frac{di_c}{dt} (w_a + w_b)$$

Stelt men $w_a w_b + w_b w_c + w_a w_c = r$, dan verkrijgt men

$$Ew_b - i_c r = P \frac{di_c}{dt} (w_a + w_b)$$

of

$$\frac{di_c}{dt} + \frac{r}{P(w_a + w_b)} i_c = \frac{Ew_b}{P}$$

een lineaire differentiaal vergelijking der 1^{ste} orde,

Deze integreerende, wordt:

$$i_c = \frac{Ew_b}{r} \left\{ 1 - e^{-\frac{rt}{P(w_a + w_b)}} \right\}$$

en verder laten zich i_a en i_b gemakkelijk bepalen.

Opent men nu ten tijde t na de sluiting bij γ , dan kan de openingsextrastroom in c niet tot stand komen en de uitslag van de magneetnaald, die voor S staat, meet alleen de totale intensiteit F_c van den sluitingsstroom in c , die, even als boven, gelijk is aan

$$F_c = \int_0^t i_c dt = \frac{Ew_b}{r} t - \frac{w_a + w_b}{r} P i_c.$$

Opent men echter ten tijde t in α , dan vormt zich de extrastroom in b en c met een intensiteit:

$$\frac{P i_c}{w_b + w_c}.$$

De totale werking van den stroom in de spiraal op de magneetnaald is dan evenredig aan

$$G_c = F_c + \frac{P i_c}{w_b + w_c}.$$

Deze G wordt uit de waargenomen afwijking der naald gevonden; hieruit wordt F_c berekend, die tevens uit de waarneming volgt. Stemmen berekening en waarneming van F_c overeen, dan kan men ook t bepalen even als boven.

Helmholtz is bij deze berekeningen van de onderstelling uitgegaan, dat de geïnduceerde electromotorische kracht op hetzelfde oogenblik als het begin van verandering in den primairen stroom voorhanden is. Deze onderstelling schijnt juist te zijn, omdat theorie en waarneming zoo goed overeenstemmen. Toch heeft hij ze nog eens beproefd door waarnemingen bij opening; de geringste tijd tusschen opening en de inbrenging van de nevensluiting was voldoende, om van de openingsextrastroomen niets meer te merken. Metingen door zijne wip met een spiraal van 64 ellen lang, geven hem de zekerheid dat een tienduizendste secunde na de opening reeds alle induceerende werking heeft opgehouden.

Op dit punt verschilt hij in opinie met Marianini (Ann. de Ch. et. de Ph. 1844) en du Bois-Reymond (über thier. Electr. I, p. 425), die een veel langere nawerking vonden.

TWEEDE HOOFDSTUK.

INDUCTIE IN EEN NEVENSPIRAAL.

Bevindt er zich naast een primaire induceerende spiraal een gesloten secundaire spiraal, dan ontstaan hierin, zoo als Faraday reeds gevonden heeft, bij sluiten en openen geïnduceerde stroomen van korten duur. Deze sluitings- en openings-inductiestroom zoude op het moment van sluiten en openen van den primairen stroom het maximum van intensiteit aannemen, als er geen extrastroomen ontstonden.

Bij het sluiten wordt er in de primaire spiraal (zooals wij gezien hebben) een extrastroom geïnduceerd, die het aangroeien van de intensiteit tot een constante waarde in den primairen en dus ook in den secundairen stroom vertraagt. Doch ook in de secundaire spiraal ontstaan extrastroomen, die tegengesteld zijn aan den geïnduceerden stroom en dus ook zijn ontwikkeling vertraagen.

In de primaire spiraal wordt ook door het groeien van den geïnduceerden stroom een stroom van tegengestelde richting als de secundaire, dus van dezelfde

richting als de primaire stroom, geïnduceerd, die de aangroeiing van den primairen stroom weêr bevordert. Men verkrijgt dus een reeks van werkingen en terugwerkingen, waarvan de termen achtereenvolgend van hoogere orde zijn en van teeken wisselen.

Bij het openen van den primairen stroom daalt de intensiteit snel tot nul; de oorzaak van inductie in de secundaire spiraal is momentaan, de geïnduceerde stroom stijgt plotseling tot een groote intensiteit en daalt dan, ten gevolge der extrastroomen in de secundaire spiraal, langzaam tot nul.

Nu is de primaire spiraal bij het ontstaan der inductiestroomen geopend, zoodat de tertiaire stroomen niet ontstaan kunnen dan gedurende de overvoering van materie door de openingsvonk. De tertiaire stroomen verraden dan ook alleen hun tegenwoordigheid, door dat ze de openingsvonk van den primairen stroom verzwakken.

Even als de nevenspiralen werken ingeschoven metalen cilindfers en kernen; zijn deze van ijzer, dan treedt geïnduceerd magnetisme op, waarover hierna zal gesproken worden.

Het verloop der inductie in een nevenspiraal bij opening van den primairen stroom, is ook door Helmholtz nagegaan in de gemelde verhandeling. (P. A. LXXXIII, p. 536). Later heeft du Bois-Reymond (Monatsb. d. Berl. Acad. 26 Juni 1862) deze berekeningen ook toegepast op het verloop der geïnduceerde stroomen bij sluiting, waarbij de werking veel ingewikkelder is, zooals wij boven gezien hebben.

a. Inductie in een nevenspiraal bij 't openen van den primairen stroom.

Laat S de induceerende primaire spiraal zijn, die met de galvanische batterij is verbonden, en Σ de geïnduceerde spiraal, die over S geschoven is.

In de primaire geleiding bevindt zich dan: de batterij, een geleiddraad en de spiraal S ; hierin werkt de electromotorische kracht E , waarbij de weêrstand w is; de intensiteit, terwijl ze constant geworden is, noemen wij I en op het moment van openen en sluiten I_0 en I_s ; de potentiaal der primaire spiraal op zich zelve zij P .

In de secundaire geleiding bevindt zich niets dan de spiraal Σ , waarvan de potentiaal op zich zelve II moge zijn en de weêrstand W , terwijl de intensiteit van den geïnduceerden stroom i_0 zij bij openen en i_s bij sluiten.

Noemen wij nog Q de potentiaal der spiralen op elkaâr, dan gelden deze letters voor dit geval a en voor het volgende b .

Door het openen van S wordt in Σ een stroom geïnduceerd, waarvan de totale intensiteit gegeven is door de vergelijking:

$$\int_0^{\infty} i_0 dt = \frac{IQ}{W} \dots \dots \dots (1)$$

Daar de primaire stroom gedurende de inductiewerking geopend is, hebben er geen terugwerkingen van Σ op S plaats. Men heeft dus voor het verloop van den geïnduceerden stroom, nadat de primaire opgehouden heeft, de vergelijking:

$$i_0 = \frac{-II \frac{di_0}{dt}}{W} \text{ (zie Neumann l. c.)}$$

of
$$i_0 W + H \frac{di_0}{dt} = 0.$$

De integraal dezer lineaire differentiaalvergelijking is:

$$i_0 = C e^{-\frac{W}{H} t} \dots \dots \dots (2)$$

Stelt men deze waarde in (1), dan is

$$\int_0^{\infty} C e^{-\frac{W}{H} t} dt = \frac{IQ}{W}$$

of
$$\frac{H}{W} C = \frac{IQ}{W}$$

waardoor C bepaald is, die men in (2) substitueert en dan is:

$$i_0 = \frac{IQ}{H} e^{-\frac{W}{H} t} \dots \dots \dots (3)$$

De vergelijking (3) leert, dat de intensiteit van den geïnduceerden stroom op het moment van openen, waar $t = 0$, plotseling stijgt tot $\frac{IQ}{H}$ en daarna langzamerhand tot 0 zinkt.

Dit plotseling stijgen zal in werkelijkheid niet absoluut zijn, maar toch met een snelheid, welke die van het afnemen tot nul ver overtreft.

De wip van Helmholtz kan echter niet snel genoeg openen en sluiten, om den geïnduceerden openingsstroom gedurende het stijgen van 0 tot $\frac{IQ}{H}$ waar te nemen.

Maar de physiologische werking verraadt de bijzonderheden der stijgende phase; deze is sterker bij afbre-

king tusschen vaste metalen, zoo als platina, zilver, koper, enz. dan bij afbreking tusschen metalen, die los samenhangen, b.v. bij stroomafbreking in kwikbakjes.

ò. Inductie in een nevenspiraal bij het sluiten van den primairen stroom.

Bij het sluiten van den primairen stroom stijgt de intensiteit in de spiraal S langzaam tot I . Gedurende het sluiten hebben wij de intensiteit I_s genoemd; op dat oogenblik wordt dus in de primaire spiraal een stroom

geïnduceerd van de intensiteit $-\frac{P \frac{dI_s}{dt}}{w}$. Te gelijker tijd

wordt er in de nevenspiraal Σ een stroom geïnduceerd van de intensiteit $i_s = -\frac{Q \frac{dI_s}{dt}}{W}$. Terwijl deze laatste

stroom van intensiteit verandert, induceert hij weér in S

een stroom van de intensiteit $-\frac{Q \frac{di_s}{dt}}{w}$ en in Σ zelf een

stroom van de intensiteit $-\frac{\pi \frac{di_s}{dt}}{W}$.

Laat men de stroomen van hoogere dan de 3^{de} orde buiten rekening dan worden de voortgebrachte stroomen in S en Σ bepaald door de beide vergelijkingen,

$$\text{die in } S \text{ door: } I_s w = E - P \frac{dI_s}{dt} - Q \frac{di_s}{dt}, \quad (1)$$

$$\text{die in } \Sigma \text{ door } i_s W = -Q \frac{dI_s}{dt} - \pi \frac{di_s}{dt}, \quad (2)$$

waaruit I_s en i_s moeten bepaald worden.

Deze beide lineaire simultane differentiaalvergelijkingen der 1^{ste} orde kunnen op de volgende wijze volgens de methode van d'Alembert opgelost worden: (Zie Sturm Cours d'analyse II, § 633).

Wij zullen voor 't gemak de indices van i en I weglaten en ze later herstellen.

Uit (1) en (2) worden eerst $\frac{di}{dt}$ en $\frac{dI}{dt}$ geëlimineerd:

Uit (1) volgt:

$$\frac{di}{dt} = -\frac{Iw - E + P\frac{dI}{dt}}{Q} \quad (3) \text{ en uit (2): } \frac{di}{dt} = -\frac{iW + Q\frac{dI}{dt}}{\pi}, \quad (4)$$

$$\text{dus} \quad \frac{Iw - E + P\frac{dI}{dt}}{Q} = \frac{iW + Q\frac{dI}{dt}}{\pi}$$

$$\text{of} \quad \frac{dI}{dt}(\pi P - Q^2) = QiW - \pi Iw + \pi E$$

$$\text{of} \quad \frac{dI}{dt} = \frac{QiW - \pi Iw + \pi E}{\pi P - Q^2} \dots \dots \dots (5)$$

Substitueert men deze waarde voor $\frac{dI}{dt}$ in (4), dan wordt:

$$\frac{di}{dt} = -\frac{PiW - QIw + QE}{\pi P - Q^2} \dots \dots \dots (6)$$

Vermenigvuldigt men (6) met een willekeurigen factor φ en telt men ze bij (5) op, dan verkrijgt men:

$$\frac{dI}{dt}(\pi P - Q^2) + \varphi(\pi P - Q^2)\frac{di}{dt} = QiW - \pi Iw + \pi E - (PiW - QIw + QE)\varphi$$

$$\text{of} \left(\frac{dI}{dt} + \varphi\frac{di}{dt}\right)(\pi P - Q^2) = i(QW - PW\varphi) + I(Qw\varphi - \pi w) + \pi E - QE\varphi \quad (7)$$

$$\text{Stelt men nu} \quad u = I + \varphi i \dots \dots \dots (8)$$

dan is
$$\frac{du}{dt} = \frac{dI}{dt} + \varphi \frac{di}{dt} + i \frac{d\varphi}{dt}$$

of
$$\frac{dI}{dt} + \varphi \frac{di}{dt} = \frac{du}{dt} - i \frac{d\varphi}{dt}$$

en de vergelijking (7) wordt dan:

$$\left(\frac{du}{dt} - i \frac{d\varphi}{dt}\right)(\pi P - Q_2) - i(QW - PW\varphi) - (u - \varphi i)(Qw\varphi - \pi w) - \pi E + QE\varphi = 0$$

of

$$\frac{du}{dt} (P\pi - Q^2) - (Qw\varphi - \pi w)u - i \left\{ \frac{d\varphi}{dt} (\pi P - Q_2) + QW\varphi - PW\varphi - Qw\varphi^2 + \pi w\varphi \right\} - \pi E + QE\varphi = 0$$

Hieraan wordt voldaan door de beide vergelijkingen:

$$\frac{d\varphi}{dt} (\pi P - Q^2) + QW - PW\varphi - Qw\varphi^2 + \pi w\varphi = 0 \quad (9)$$

$$\text{en } \frac{du}{dt} (\pi P - Q^2) - (Qw\varphi - \pi w)u - \pi E + QE\varphi = 0 \quad (10)$$

De vergelijking (9) kan opgelost worden, als φ constant is, hetgeen men onderstellen mag en dan wordt (9):

$$Qw\varphi^2 - (\pi w - PW)\varphi - QW = 0$$

een vierkantsvergelijking, waarvan de wortels zijn:

$$\varphi = \frac{\pi w - PW}{2Qw} \pm \sqrt{\frac{W}{w} + \left(\frac{\pi w - PW}{2Qw}\right)^2}$$

of

$$\varphi' = \frac{\pi w - PW}{2Qw} + \rho, \text{ als men } \sqrt{\frac{W}{w} + \left(\frac{\pi w - PW}{2Qw}\right)^2} = \rho \text{ stelt}$$

en

$$\varphi'' = \frac{\pi w - PW}{2Qw} - \rho.$$

Stelt men deze waarden in de vergelijking (10), dan krijgt men:

$$\frac{du}{dt}(\pi P - Q^2) - (Qw\varphi' - \pi w)u - \pi E + QE\varphi' = 0$$

en een tweede dergelijke, waarin φ'' voorkomt.

Deze lineaire differentiaal-vergelijking der 1^{ste} orde integreerende, wordt:

$$u = e^{\int \frac{Qw\varphi' - \pi w}{\pi P - Q^2} dt} \int e^{-\int \frac{Qw\varphi' - \pi w}{\pi P - Q^2} dt} (\pi E - QE\varphi') dt$$

$$\text{of } u = -(\pi E - QE\varphi') \frac{\pi P - Q^2}{Qw\varphi' - \pi w} + C_e \frac{Qw\varphi' - \pi w}{\pi P - Q^2} t;$$

de tweede geeft een dergelijke waarde u' met een constante C' .

Hierin zijn C en C' bepaald door de conditie, dat, voor $t = \infty$, $I = \frac{EQ}{wW}$ en dan is $C = C' = \frac{E}{W}$.

Wij willen deze waarde voor u en u' symbolisch $\tau_1 + \tau_1'$ en $\tau_2 + \tau_2'$ noemen.

Stelt men nu de gevonden waarden voor φ en u in de vergelijking (8), dan verkrijgt men:

$$\tau_1 + \tau_1' = I + \varphi' i$$

$$\text{en } \tau_2 + \tau_2' = I + \varphi'' i,$$

waaruit I en i kunnen opgelost worden.

Zoo vindt men dan:

$$I_s = \frac{E}{2w\rho} \left\{ 2\rho + \varphi'' e^{-\vartheta' t} \quad -\vartheta'' t \quad -\vartheta'' t \right\},$$

$$i_s = -\frac{E}{2w\rho} \left\{ e^{-\vartheta' t} \quad -\vartheta'' t \right\},$$

waarin

$$\rho = \sqrt{\frac{W}{w} + \left(\frac{WP - w\pi}{2wQ}\right)^2}, \quad \varphi' = -\frac{WP - w\pi}{2wQ} + \rho,$$

$$\varphi'' = -\frac{WP - w\pi}{2wQ} - \rho$$

$$\vartheta' = \frac{WP + w\pi - 2wQ\rho}{2(P\pi - Q^2)} \quad \text{en} \quad \vartheta'' = \frac{WP + w\pi + 2wQ\rho}{2(P\pi - Q^2)}.$$

Zoo lang de noemer van ϑ positief is, als $P\pi > Q^2$, zijn ϑ' en ϑ'' positief en, daar $\vartheta' < \vartheta''$, wordt i_s negatief. De richting van den sluitings-inductiestroom is dus tegengesteld aan die van den induceerenden; dit is het eenige voorkomende geval.

Was $P\pi = Q^2$ dan was $i_s = 0$, omdat ϑ' en ϑ'' dan ∞ zouden worden; dit zou alleen het geval zijn, als de beide spiralen samenvielen, want dan is $P = \pi = Q$. Dit is dus een ideaal geval.

Q^2 kan ook niet grooter dan $P\pi$ zijn, want dan zou de geïnduceerde stroom van gelijke richting met den primairen zijn, hetgeen tegen de werkelijkheid strijdt.

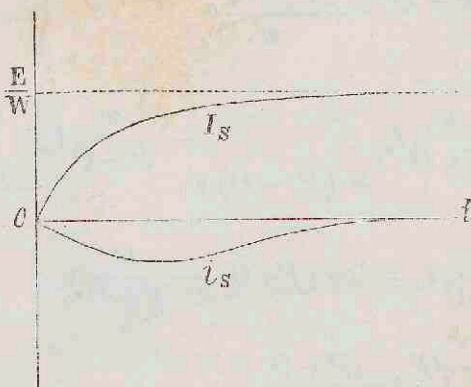
Het ééne mogelijke geval is dus:

$$i_s = -\frac{E}{2w\rho} \begin{pmatrix} -\vartheta' t & -\vartheta'' t \\ e & -e \end{pmatrix}.$$

Het verloop der intensiteit kan hieruit nagegaan worden, als men de vergelijking differentieert ten opzichte van den tijd:

$$\frac{di_s}{dt} = -\frac{E}{2w\rho} \begin{pmatrix} -\vartheta' t & -\vartheta'' t \\ -\vartheta' e & +\vartheta'' e \end{pmatrix}$$

Fig. 2.



In de figuur is het verloop der intensiteit van den primairen stroom door I_s en van den geïnduceerden door i_s aangegeven.

Voor $t = 0$, is $i_s = 0$ en $\frac{di_s}{dt} = -\frac{EQ}{P\pi - Q^2}$ dus negatief. Voor kleine waarden van t blijft i_s nega-

tief, doch aangroeiend tot een maximum wanneer $\frac{di_s}{dt} = 0$. Daarna nadert de lijn, welke i_s aangeeft, asymptotisch tot de abscis.

De beschouwing van $\frac{d^2i_s}{dt^2}$ leert, dat voor $t = 0$ de kromme i_s concaaf is ten opzichte van de abscis.

Is de weerstand van S gelijk aan dien van Σ , dus $w = W$, en zijn de spiralen S en Σ gelijk, dus $P = \pi$, dan wordt $\rho = 1$, $\varphi' = +1$, $\varphi'' = -1$, $\vartheta' = \frac{w}{P+Q}$ en $\vartheta'' = \frac{w}{P-Q}$; dan worden:

$$I_s = \frac{E}{2w} \left\{ 2 - e^{-\frac{w}{P+Q}t} - e^{-\frac{w}{P-Q}t} \right\},$$

$$i_s = -\frac{E}{2w} \left\{ e^{-\frac{w}{P+Q}t} - e^{-\frac{w}{P-Q}t} \right\}.$$

Met het groeien van P neemt dus, voor gelijke tijden, de intensiteit i_s af.

Ten tijde t_m zal i_s een maximum worden; dan is

$$\frac{di_s}{dt} = -\frac{E}{2w} \left\{ \frac{P+Q}{w} e^{-\frac{w}{P+Q} t_m} + \frac{P-Q}{w} e^{-\frac{w}{P-Q} t_m} \right\} = 0$$

$$\text{of} \quad -(P+Q) e^{-\frac{w}{P+Q} t_m} + (P-Q) e^{-\frac{w}{P-Q} t_m} = 0$$

$$\text{of} \quad \log(P-Q) - \frac{w}{P-Q} t_m = \log(P+Q) - \frac{w}{P+Q} t_m,$$

$$\text{waaruit:} \quad t_m = \frac{P^2 - Q^2}{2wQ} \log \frac{P+Q}{P-Q}$$

Deze t_m neemt af met het groeien van Q .

Is $Q = 0$, dan is $t_m = \frac{P}{w}$; is $Q =$ bijna P , dan is t_m bijna nul.

Is Q maar een weinig kleiner dan $P = \pi$, dan kan men het laatste lid in de bovenstaande waarden voor I_s en i_s verwaarloozen tegen de eerste.

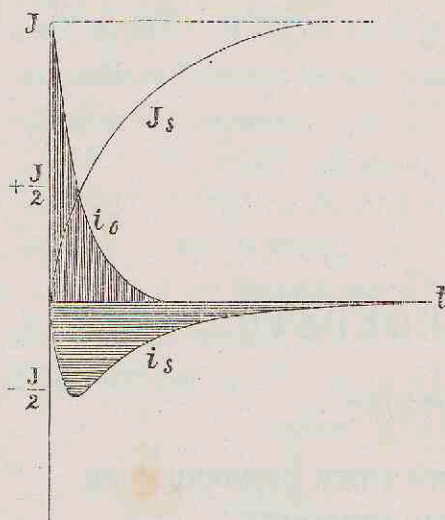
Aanvankelijk is dan $I_s = 0$ en $i_s = 0$, doch zeer spoedig

$$I_s = \frac{E}{2w} \text{ en } i_s = -\frac{E}{2w}.$$

De intensiteit van den geïnduceerden stroom zou dus aangroeien even als die van den primairen, doch alleen in teeken verschillen.

De intensiteit i_s van den openings-inductiestroom zou volgens formule (3) van geval *a* voor $t = 0$ bijna $\frac{E}{w}$ zijn (als Q iets kleiner dan P is) en dus het dubbele van i_s .

Fig. 3.



Daar de totale intensiteiten gelijk zijn, zoo moet de intensiteit van den openings inductiestroom veel sneller dalen dan die van den geïnduceerden.

Het verloop der intensiteit van beide stroomen is in de figuur hiernaast voorgesteld door de krommen i_o en i_s . De beide gearceerde vlakken zijn gelijk van inhoud.

Is $P = Q$, dan is het laatste lid van de vergelijkingen voor I_s en i_s voor $t = 0$ onbepaald; dit geval is onmogelijk.

De resultaten van bovenstaande berekening zullen maar tot zekere grenzen met die der waarneming overeenstemmen, omdat du Bois-Reymond de stroomen van hoogere dan de 3^{de} orde buiten rekening heeft gelaten. Waren deze mede opgenomen, dan verkrijgt men volgens bovenstaande methode voor het verloop der stroomen twee simultane differentiaal-vergelijkingen, die in 't algemeen niet op te lossen zijn. Een dergelijke methode als die van Murphy voor de influentie van twee conductoren met statische electriciteit geladen (zie Grinwis, Wiskundige theorie der wrijvings-electriciteit, p. 148) zou zich hier ook laten toepassen, als de mathematische vorm der geleiders (spiraalen) zich maar handelbaar betoonde.

In allen gevalle stuiten wij hier dus op mathematische bezwaren, die de nauwkeurigheid tot zekere grenzen beperken.

DERDE HOOFDSTUK.

METINGEN VAN DEN DUUR DER GEINDUCEERDE GALVANISCHE STROOMEN.

A. Zuivere volta-inductie.

De gewone methode om den duur te bepalen bestaat hierin, dat men nagaat, hoe lang de geïnduceerde stroom na het sluiten of openen van den primairen stroom nog galvanometrische, mechanische of physiologische werking vertoont. Vóór wij overgaan tot de beschouwing dezer waarnemingen, willen wij in 't kort de methode van Weber nagaan om den duur en de intensiteit beide te bepalen, die in de toepassing wel bezwaren oplevert, doch theoretisch van zóó groot belang is, dat ze verdient voorop gesteld te worden. (Zie Weber *Electrod. Maassb.* 1846 § 13).

Laat men den geïnduceerden stroom gelijktijdig door een galvanometer en een dynamometer gaan, dan kan men uit de aangave van beide instrumenten den duur en de gemiddelde intensiteit gedurende de eenheid van tijd bepalen.

De onmiddellijke werking van den stroom, die door

beide instrumenten gaat, is een draaiingsmoment. Bij den galvanometer is dit evenredig aan de intensiteit i en het magnetisch moment m der naald; bij den dynamometer is dit moment evenredig aan de intensiteit i van den stroom, die door de vaste rol gaat, en ook aan de intensiteit i van den stroom in de bifilairrol, omdat beide stroomen hier op elkaâr werken.

Duurt deze stroom een korten tijd ϑ gelijkmatig, zoo dat i geen functie van t is, dan is de uitslag s van den galvanometer

$$s = \int_0^{\vartheta} cmi \, d\vartheta = cm i \vartheta = ki \vartheta$$

en de uitslag van s' van den dynamometer

$$s' = \int_0^{\vartheta} c' i^2 \, d\vartheta = c' i^2 \vartheta = k' i^2 \vartheta$$

waarin c en c' , k en k' constanten zijn, die volgens de wijze zooals deze in de verhandeling van Weber, p. 79 en 80 aangegeven is, kunnen bepaald worden.

Hieruit volgt:

$$\vartheta = \frac{k'}{k^2} \times \frac{s^2}{s'}$$

en

$$i = \frac{k}{k'} \times \frac{s'}{s}$$

zoodat men uit den uitslag van beide instrumenten ϑ en i kan bepalen.

In de toepassing heeft deze methode een groot bezwaar: het is zeer moeilijk een constanten stroom te verkrijgen voor geregelde schommelingen in den dynamometer en

daarbij komen ook nog de extra-stroomen in den sluitdraad van den dynamometer zelven. Een reeks van proeven, door Thalen (P. A. CXII bl. 125—153, 1861) onder de leiding van Weber zelven met een grooten inductor van Ruhmkorff genomen hebben alleen het resultaat geleverd, dat de duur der geïnduceerde stroomen met de snelheid van openen afneemt. Hij onderzocht de zuivere volta-inductie d. i. de werking der primaire spiraal, waaruit de kern verwijderd was, op de secundaire spiraal. Uit dit onderzoek blijkt tevens, hoe moeilijk het voor hem was, het juiste oogenblik van stroomafbreking te bepalen.

Galvanometrische werkingen. Guillemin heeft volgens de eerste door ons aangegeven methode proeven genomen (Compt. rend. Lp. 1104, 1860). Hij gebruikte als induceerende spiraal een koperdraad van 600 meters lang en $\frac{1}{4}$ millimeter dik. Hieromheen bevond zich een secundaire veel langere spiraal, die door een ijzerdraad van 300 el lang en $\frac{1}{3}$ millim. dik gesloten werd. Door een disjunctor kon hij den primairen stroom op een bepaald oogenblik sluiten of openen. Op verschillende tijden hierna werd de lange ijzerdraad vervangen door een nevensluiting, waarin een galvanometer geplaatst was.

Op deze wijze vond hij bij enkele proeven, dat de geïnduceerde stroom, zoowel na het openen als na het sluiten, nog 0.005 seconde werking vertoonde.

Ook in de geopende spiraal is op deze wijze door Marianini (Ann. de Ch. et de Ph. XI p. 395, 1844) een duur van den geïnduceerden stroom waargenomen.

Physiologische werking. Deze is evenredig met de dichtheid der electriciteit. Hoe sneller een stroom

zijn maximum van dichtheid verkrijgt, en verliest, hoe krachtiger de physiologische werking is. Helmholtz heeft bewezen, dat de manier van afbreken van den primairen stroom invloed heeft op deze werking. Houdt men de einden der geïnduceerde spiraal in de handen, terwijl de induceerende stroom door het rukken van een draad uit een kwikbakje wordt verbroken, dan gevoelt men een sterkeren schok, naarmate dit uitrukken sneller geschiedt. Bij sterke inductoren is het raadzaam, met ééne hand beide einden te verbinden, zoodat de stroom alleen door de hand gaat en niet door het geheele lichaam. Helmholtz kon door zijn wip (zie P. A. LXXXIII p. 538) de verbinding der primaire spiraal met de batterij en der secundaire met het lichaam zeer snel na elkaar verbreken. De physiologische werking was dan dezelfde als bij langeren tusschentijd. Hieruit leert men twee dingen: vooreerst, dat de geïnduceerde stroom sneller tot een maximum stijgt, dan de tijd tusschen de beide afbrekingen door de wip duurt, en vervolgens, dat de physiologische werking van het tweede gedeelte van den openings-inductiestroom, dat bij een zeer korten tusschentijd niet opgevangen wordt, zeer klein is. Helmholtz kon met de wip niet snel genoeg afbreken, om een onderscheid te voelen.

De schok door de sluitings-inductiestroomen verkregen is veel zwakker, ten minste bij niet sterke induceerende stroomen.

Henry heeft (Phil. Mag. XVIII p. 482, 1841) waargenomen, dat de geïnduceerde stroom, door een batterij van 30 Daniëlsche elementen verkregen, bij sluiting een even sterke of zelfs nog sterkere physiologische werking geeft dan bij opening. Hiervoor kan als reden aangegeven worden, dat bij zulk een krachtige batterij de

extrastroomen in de primaire spiraal onbeduidend worden, omdat de weêrstand zoo groot is, terwijl de intensiteit bij gelijke toeneming van electromotorische kracht en weêrstand niet veel veranderd is. De gewone oorzaak van vertraging bij sluiting zou dan vervallen.

B. Invloed van het ontstaan en verdwijnen van magnetisme op de versterkte geïnduceerde galvanische stroomen.

Om krachtige inductiestroomen te verkrijgen, brengt men weekijzeren kernen in de primaire spiraal. Zonder deze kernen zijn de geïnduceerde stroomen in de secundaire spiraal zóó zwak, dat men alleen met een krachtige batterij werking van eenige beteekenis kan verkrijgen; uit mijn onderzoek is dan ook duidelijk gebleken, dat de krachtige inductie-electriciteit van den inductor van Ruhmkorff voornamelijk aan de weekijzeren kern te danken is. Doch de ingebrachte kern doet meer dan de stroomen versterken: zij influenceert tevens op den duur van den induceerenden en den geïnduceerden stroom. De werking, die hierbij plaats heeft, is zeer gecompliceerd, zoo als zich ook laat begrijpen, want men heeft hier te doen met de onderlinge werking van drie geleiders.

Gesteld, men heeft in de primaire spiraal een weekijzeren staaf als kern gebracht, nadat de primaire in eene zeer lange secundaire spiraal was geschoven, dan gebeurt het volgende:

Bij het sluiten van den primairen stroom wordt het ijzer magnetisch en tevens ontstaat hierin een geïnduceerde stroom, die loodrecht op de as der primaire spiraal gericht en van tegengestelde richting is als de primaire stroom. Het ijzer zal dan niet direct de gewone hoeveelheid magnetisme verkrijgen, want de ontstane geïn-

duceerde stroom in de staaf wekt ook magnetisme op in tegengestelden zin, maar het magnetisme zal aangroeien zoo lang de inductie duurt. Dit aangroeien induceert echter weêr een stroom in de primaire spiraal, die den stroom der batterij vertraagt. Wij hebben dus vier werkingen, die stroomen induceeren in de secundaire spiraal: de primaire stroom, het magnetisme, de geïnduceerde stroom in de staaf en de terugwerking van deze op den primairen stroom. Hierbij is de terugwerking der secundaire spiraal op de primaire en den magneet nog niet eens gerekend. Bij het openen van den primairen stroom ontstaan er evenzoo inductiestroomen in de staaf, die het ijzer nog magnetisme meêdeelen op het oogenblik, dat dit door het ophouden van den primairen stroom reeds zou verdwenen zijn, zoodat niet direct na opening alle magnetisme verdwenen is.

Uit het meêgedeelde kan de vertragende werking der geïnduceerde stroomen in het ijzer reeds nagegaan worden. Hierbij komt nog de coërcitiefkracht van het ijzer; dat wil zeggen, de ijzermoleculen hebben tijd noodig om den stand, waarin ze door de magnetiseerende kracht gedwongen worden, intemen en te verlaten.

Bedenkt men nu, dat al deze werkingen gelijktijdig plaats hebben, dan behoeft men zich niet te verwonderen, dat hiervan nog geen algemeene mathematische theorie geleverd is. Wij kunnen dan ook niet anders doen, dan de waarnemingen, die hierop betrekking hebben, kort vermelden.

Het zoeken naar de oorzaken van vertraging in het magnetisme heeft aanleiding gegeven tot veel waarnemingen en strijd. Men was het spoedig eens, dat twee oorzaken bestonden, de coërcitiefkracht en de geïnduceerde stroomen in de ijzermassa. In den

laatsten tijd wordt de tweede als de voornaamste beschouwd.

Faraday zocht de reden van vertraging in het ijzer zelf. Volgens hem is de vertraging tot een maximum grooter, naarmate de magneet langer in rust is geweest. Hij magnetiseerde door een spiraal een weekijzeren hoef, die drie dagen in rust was geweest, en dan bedroeg de tijd van aangroeiing tot een maximum 98 seconden en meer. Na opening der batterij en onmiddellijk daaropvolgende sluiting, maar 20—30 seconden. Als de hoef, na korte intervallen, herhaalde malen gebruikt werd, scheen hij in staat direct het maximum van kracht aan te nemen. (Zie Exp. Res. XXII, 2650).

Bij zijn proeven „Over de magnetisering van het licht” (Draaiing van het polarisatievlak) zag hij, dat bij het sluiten der batterij, terwijl dus de stroom om zijn grooten magneet liep, het door draaiing van het polarisatievlak nieuw ontstane beeld niet dadelijk zijn vollen glans verkreeg; bij opening der batterij verdween het beeld „opvallend” op eens (Exp. Res. XIX, 2170). Doch in een andere onderzoeking constateert hij den tijdduur voor de verdwijning (Exp. Res., 2332).

Dit laatste constateert ook Page in het Americ. Journal vol. XI p. 66 enz. De spiraal, die om een magneet was gewonden, gaf nog een halve seconde na het afbreken van de verbinding met de zuil een vonk.

Voor de omkeering van het magnetisme moot dan ook een zekere tijd noodig zijn. Dit bewijst Plücker (P. A. XCIV, p. 40) op de volgende wijze: Magnetiseert men de polen van een hoef niet even sterk, hetgeen men door een ongelijke omwinding der beenen kan verkrij-

gen, en legt men op de polen een glasplaat, waarop ijzervijlsel gestrooid is, dan richt zich dit volgens de verbindingslijn der beide polen van den hoof. Keert men nu den stroom om, zoodat de sterkere pool de zwakkere wordt, dan bemerkt men een beweging in het ijzervijlsel, doch eerst een paar secunden na de stroomomkeering.

Dat het ontstaan van de inductiestroomen de voornaamste reden van vertraging is, heeft Helmholtz bewezen (P. A. LXXXIII, p. 335). Hij legde in de spiraal, waardoor de stroom der batterij liep, een bundel zeer dun verlakt ijzerdraad, zoogenaamd bloemendraad, van 0,123 strepen dik, waarin, volgens hem, geen inductiestroomen ontstaan kunnen; dan was de stroom na de opening plotseling verdwenen. Gebruikte hij dikker ijzerdraad, waarin wel inductiestroomen ontstaan kunnen, dan nam hij een duur van den openingsstroom waar, grooter dan de duur van 't openen.

Alle oorzaken van het ontstaan van inductiestroomen in de electromagnetische ijzermassa bij 't begin en 't eind der magnetiseering hebben dus tengevolge, dat de geïnduceerde stroom in de spiraal, die de ijzermassa omgeeft, langzamer verloopt. Daardoor is de physiologische werking geringer, doch de galvanometrische blijft dezelfde, want deze hangt alleen af van de totale hoeveelheid doorstroomende electriciteit.

Terwijl dus alle weekijzeren kernen den inductiestroom zeer versterken door haar verkregen magnetisme, geeft toch deze versterking dan alleen een maximum van physiologische werking, als de inductiestroomen in het ijzer zelf niet ontstaan kunnen.

Magnus heeft (P. A. XLVIII p. 95 enz.) proeven genomen voor de physiologische werking der extrastroomen in een spiraal, waarin verschillende kernen werden gebracht. Hierbij werden de einden der spiraal met de zuil en tevens met twee handvatsels verbonden, zoodat men bij stoomafbreking den schok kon voelen. Metalen, waarin geen magnetisme kan opgewekt worden, dus alle behalve het ijzer, kunnen natuurlijk niet anders dan den stroom verzwakken; hoe slechter geleider, in dit geval, hoe sterker physiologische werking. De schok bij opening van den stroom is het sterkst, als er in de spiraal een bundel dun ijzerdraad ligt; opengesneden dunne ijzeren cylindere werken ook sterk; ijzeren staven het zwakst. Dezelfde resultaten verkrijgt men voor de geïnduceerde stroomen in een secundaire spiraal.

Dat wel de physiologische, maar niet de galvanometrische werking versterkt wordt, heeft Dove bewezen door zijn differentiaal-inductor (P. A. XLIX, p. 72). De galvanische stroom loopt hierbij door twee gelijke spiralen, die zich in gelijke secundaire spiralen bevinden. De einden der secundaire spiraal werden zóó verbonden, dat de geïnduceerde stroomen bij 't openen b. v. tegen elkaar in liepen. Zoodoende kon hij het verschil tusschen de werking van verschillende kernen waarnemen. Was b. v. de galvanometrische werking van een bundel ijzerdraad gelijk aan die van een ijzeren staaf, dan moest hij draden uit den bundel nemen, om ook gelijke physiologische werking te verkrijgen.

Het verschil van duur der inductiestroomen in de staaf en in den bundel kon hij tevens zeer goed waarnemen. Hij legde namelijk in de ééne spiraal een staaf, en in de andere een bundel ijzerdraad van zóó groot aantal draden,

dat de galvanometrische werking der laatste de sterkste was. Daarna nam hij zooveel draden uit den bundel, dat de staaf iets de bovenhand verkreeg. Bij opening van den stroom week toch de naald van den galvanometer, die met de inductierollen verbonden was, eerst in den zin van den inductiestroom der draden af en daarna naar den tegongestelden kant. Dit is een duidelijk bewijs, dat in de eenheid van tijd de hoeveelheid electriciteit, die de naald doet afwijken, eerst in de spiraal, waarin de draden liggen, grooter is, ofschoon de totale hoeveelheid in de spiraal, waarin de staaf ligt, grooter is.

Twee gelijke stukken van een geweerloop, waarvan het ééne overlans doorgesneden was, werkten op den galvanometer even sterk, maar de physiologische werking van het doorgesneden stuk was veel krachtiger. Met de physiologische werking komt volgens Dove de magnetiseerende overeen. De eerste krachtige stoot van een bundel ijzerdraad is krachtiger dan die van een staaf, zoodat een stalen naald magnetisch werd door den inductiestroom der draden, ofschoon er nog 30 draden bijgelegd moesten worden, om op den galvanometer hetzelfde effect te verkrijgen als van de staaf. De magnetiseering van week ijzer is schijnbaar hiermeê in strijd. In 't begin zal dit wel magnetisch worden in den zin van den geïnduceerden stroom van de secundaire spiraal der draden, doch de geïnduceerde stroom der secundaire spiraal van de staaf duurt langer en keert het magnetisme later om, zoodat bij slot van rekening het weeke ijzer andersom gemagnetiseerd is, dan men verwacht had. Deze verklaring berust op het feit, dat magnetisme door een zwakkeren stroom dan die, waardoor het ontstaan is, wordt omgekeerd.

Stroomen, die physiologisch en magnetisch het krachtigst werken, geven volgens Poggendorff ook de krachtigste vonken (P. A. XCV, p. 159). Draadbundels werken volgens hem het best.

Nauwkeuriger, vooral wat den tijd betreft, dien het magnetisme noodig heeft om tot zekere sterkte te stijgen, is de zaak door Bectz onderzocht (P. A. CV p. 497).

Door een commutator, die met een bepaalde groote snelheid werd rondgedraaid, kon hij een magnetiseerende en een inductiespiraal korten tijd na elkaâr sluiten en openen. Daar beide spiralen zich op de armen van een weerkijzeren hoof bevonden, induceerde de ontstane magneet in de primaire spiraal na openen of sluiten een stroom in de secundaire, die door een spiegelboussole werd gemeten.

Om te zorgen, dat niet direct een tweede inductiestroom op den eersten volgde, was een nevensluiting aangebracht.

Zijn resultaten, bij het gebruik van verschillende kernen verkregen, zijn de volgende:

Zonder kern in de primaire spiraal: bij opening een inductiestroom, die direct tot een maximum steeg en 0,003 seconden ongeveer duurde; bij sluiting een stroom, die in 0,012 seconden tot een maximum steeg en ongeveer 0.056 seconden duurde. De integraalstroom d. i. de geïnduceerde stroom, als de secundaire spiraal gelijktijdig met de primaire geopend werd, is echter in beide gevallen gelijk.

Met verschillende kernen in de primaire spiraal nam hij bij sluiting een gelijk groeien en afnemen der geïnduceerde stroomen waar. Zoowel bij een bundel van 1000 draden en bij ijzervijlsel, als bij een massieven ijzeren cylinder in de primaire spiraal steeg de

stroom in 0,008 sec. tot een maximum en duurde, ook bij alle drie, ongeveer 0,030 seconden.

Dit is een sterk bewijs, dat de tweede bovengenoemde oorzaak, dus de inductiestroomen in het ijzer, de reden van vertraging moet zijn, want hoe zou in ijzervijlsel en in den cylinder de coërcitiefkracht dezelfde zijn?

Bij opening verdween het magnetisme van verschillende kernen zeer verschillend: draadbundels en cylinders met ijzervijlsel verloren bijna oogenblikkelijk hun magnetisme; een overlans opengesneden geweerloop tamelijk snel, in 0,008 sec.; een gesloten geweerloop of een massieve staaf langzamer, na 0,03 sec.

Hierin stemmen dus de meeste proeven overeen, dat de vertraging bij de magnetiseering van een ijzerkern door eene spiraal bijna alleen de inductiestroomen, die in het ijzer ontstaan, tot oorzaak heeft en dat deze vertraging terugwerkt op de extrastroomen in de primaire en op de geïnduceerde stroomen in de secundaire spiraal.

VIERDE HOOFDSTUK.

WAARNEMINGEN DER GEINDUCEERDE GALVANISCHE STROOMEN VOLGENS DE GRAPHISCHE METHODE.

Uit proeven, door den Hoogleeraar Donders voor eenige jaren genomen, was hem gebleken, dat de inductie-electriciteit, die bij opening van den primairen stroom tusschen de uiteinden der secundaire spiraal overspringt, uit meer dan één vonk bestaat. Hij gebruikte volgens de methode, die ook Feddersen heeft gevolgd bij zijn waarnemingen der ontlading eener Leidsche flesch, (P. A. CXIII en CXIV) een betrekkelijk langzaam draaienden spiegel. Alleen, wanneer de einden der secundaire spiraal zich zóóver van elkaâr bevonden, dat de grootste slagafstand nagenoeg bereikt was, zag men in den spiegel de vonk enkel (zie Nederl. Archief voor Genees- en Natuurkunde, 1865, II bl. 332).

Het veelvuldig gebruik van inductievonken, om den physiologischen tijd te bepalen, deed bij hem den wensch ontstaan, om nauwkeurig deze vonken te onderzoeken. Gedurende den loop van het jaar 1868 werden door hem verschillende proeven genomen volgens een betere en uitmuntende methode, die straks door mij vermeld zal

worden. Zijn resultaten zijn in de Koninklijke Academie van Wetenschappen medegedeeld en in de Onderzoekingen, gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool, II 1868—69, bl. 316—318, kort vermeld. Zeer terecht zag prof. Donders in, dat de door hem reeds verkregen resultaten voor de theorie der inductie-electriciteit van groot gewicht zijn, en dat deze methode nog veel meer beloofde, indien hem maar de tijd voor een uitvoeriger en geregeld onderzoek gegeven ware.

Door bemiddeling van mijn Promotor, den Hoogleraar Grinwis, werd mij door prof. Donders toegestaan, dit onderzoek voort te zetten, en hij had zelfs de welwillendheid een afzonderlijk vertrek op het Physiologisch Laboratorium voor mij beschikbaar te stellen, terwijl prof. Buijs Ballot mij vergunde alle noodige instrumenten uit het Physisch Kabinet te gebruiken.

Op hun raad heb ik deze taak aanvaard, en zoo ik veel tijd en moeite heb besteed, om veel en nauwkeurig te experimenteren, dan is mijn lust daartoe zeker aangevuurd door zulke hulp en leiding.

§ 1. METHODE.

De meeste mijner proeven werden gedaan met den grooten inductor van Ruhmkorff uit het Physisch Kabinet alhier. Hiermede verkreeg men voor eenige jaren, met 6 à 10 cellen van Grove als induceerende batterij, electrische vonken van 25 centim. lengte. Door een onbekende oorzaak is deze inductor later in sterkte afgenomen en was nu, gedurende den geheelen tijd van mijn onderzoek, van een constante sterkte en gaf vonken van 8 à 10 centim. lengte. Niet bij alle proeven heb ik echter den volledigen inductor gebruikt, want

een rationeel onderzoek der geïnduceerde galvanische stroomen dient van de eenvoudige proef met twee spiralen, een induceerende en een geïnduceerde, uit te gaan. Om bij deze delicate proef een werking te verkrijgen, krachtig genoeg, om volgens de aangewende methode gemeten te worden, heeft men een zeer lange secundaire spiraal noodig, en die vond ik ook aan den inductor van Ruhmkorff, als de binnenste primaire spiraal en kern er uit verwijderd waren.

Het zal dus raadzaam wezen, een beschrijving van dezen inductor, die op plaat I afgebeeld is, vooraf te laten gaan.

In het centrum bevindt zich een bundel van eenige honderden draden week ijzer, die in een dunnen houten cylinder zijn gedreven. Dit is de zoogenaamde magnetische kern. Hier omheen is een spiraal gewonden van 300 windingen 2 c. M. dik met zijde omsponnen koperdraad, en wel zóó stevig, dat het draad om het hout knelt en bundel en spiraal ééne massa vormen, die, na verwijdering van de beide dikke ronde gutta-percha-platen aan de uiteinden, waarvan de eene in de figuur zichtbaar is, er uitgenomen kan worden. Deze primaire spiraal dus, waardoor de stroom der batterij gaat, vormt met de magnetische kern het induceerend gedeelte. De uiteinden der primaire spiraal eindigen in *B* en *C*.

Om deze spiraal bevindt zich een cylinder van hard caoutchouc, waarop de geïnduceerde draad is gewonden. Deze bestaat uit veel dunner $\frac{1}{4}$ m. M. dik met zijde omsponnen koperdraad van 100000 meter lengte. Bij dezen inductor zijn de windingen nog niet in vakken verdeeld, zoo als de „machines cloisonnées” volgens Poggendorff's voorschrift, maar strekken zich over de geheele lengte uit en vormen verscheiden lagen, door dun caout-

chouc gescheiden. De uiteinden dezer secundaire spiraal bevinden zich in *a* en *b*.

Beneden in den toestel bevindt zich de condensator, bestaande uit twee gevouwen bladen tin van groote oppervlakte, door een lap gevouwen taf gescheiden. Met deze tinbladen communicceeren de knoppen *A* en *D*.

Op deze tinbladen kan zich de primaire stroom verbreiden, als zijn geleider geopend wordt. De extrastroom in de primaire spiraal, de geïnduceerde in de secundaire spiraal en de geïnduceerde magnetische stroomen in de kern werken bij sluiting den primairen stroom tegen, en bij opening versnellen ze dus den primairen stroom, die dan een uitweg vindt op den condensator. De openingsvonk van den primairen stroom is dan ook veel zwakker bij het gebruik van den condensator.

Tot den volledigen inductor behoort ook nog de interruptor van Foucault, dien ik echter nooit gebruikt heb, want mijn onderzoek vereischt de openings- en sluitingsstroomen van elkaâr afgezonderd te houden en den tijd van stroomomkeering nauwkeurig te kunnen bepalen. Daarom zal ik er verder geen melding van maken.

Om nu den geïnduceerden stroom, door dezen inductor verkregen, te onderzoeken, laat men zijn werkingen op een snel draaienden cylinder registreeren.

Deze cylinder (zie plaat I) is van geel koper, heeft een middellijn van 19 c.M. en is 25 c. M. lang. De as is aan het ééne eind van een vaarschroef voorzien, die in een vaste moerschroef loopt, zoodat de cylinder, bij draaiing door de kruk aan het andere eind der as, een voortgaande beweging verkrijgt. De cylinder wordt gelijkmatig met papier bekleed, dat door den walm eener petroleumlamp wordt zwart gemaakt. Vóór den cylinder

staat een stemvork op een geïsoleerden voet, die aan den éénen arm een stalen veertje draagt, dat onder geringe spanning op het papier van den cylinder rust en aan den anderen arm een dergelijk stukje metaal als tegenwicht. Wordt nu het ééne eind a der secundaire spiraal met den cylinder in G en het andere b met de stemvork S verbonden, dan vindt de geïnduceerde stroom een geleiding, die alleen op de plaats tusschen veertje en cylinder, dus een papierdikte, afgebroken is. Hier zal dus de stroom met een vonk door het papier slaan en een merk achterlaten.

Op gewoon papier ziet men de geslagen openingen; op bewalmd papier ziet men openingen door een witte plek omgeven, die ontstaan is door het weggeslagen roet. Wordt nu de cylinder snel rondgedraaid, terwijl de stemvork is aangestroken, dan liggen de merken der overgegangene vonken op de chronoscopische sinuslijn, die het veertje der trillende stemvork op den cylinder schrijft.

Het groote voordeel dezer methode bestaat hierin, dat men den cylinder vrij uit de hand kan omdraaien, omdat de stemvorktrillingen, als chronoscopische eenheden, den duur van één omdraaiing en van twee achtereenvolgende vonken juist meten.

De primaire stroom wordt gedurende één omdraaiing van den cylinder twee malen gesloten en geopend. De primaire stroom, namelijk, gaat van de zinkpool der batterij naar den knop B , van dáár door de primaire spiraal, komt bij C er weêr uit en gaat door den knop F in het koperen veertje, hetwelk er mede verbonden is. De platinapool der batterij is met den knop E en dus met het andere koperen veertje verbonden. Beide veertjes veeren stevig tegen een ring, die door harde bladen caoutchouc van den cylinder is geïsoleerd, stevig er

aan is bevestigd en dus om dezelfde as meêdraait. Deze ring is in viere verdeeld en bestaat voor de eene helft uit koper en voor de andere uit ivoor. Bij één om-draaing van den cylinder wordt dus de primaire stroom, als beide veertjes op koper rusten, gesloten, — als ze op ivoor overgaan, geopend, — bij overgang op koper weêr gesloten en op het tweede ivoren quadrant weêr geopend. Bovendien staan deze veertjes op een geïsoleerden voet, die aan een plank is verbonden, welke de voortgaande beweging van den cylinder mede maakt, zoodat de koperen veertjes steeds op den ring slepen. Om deze opening en sluiting van den primairen stroom geregeld en plotseling te doen plaats hebben, moet de scheiding tusschen koper en ivoor scherp zijn en de geheele ring telkens met fijn schuurpapier en doeken zuiver gehouden worden. Maar een hoofdzaak is ook het volgende: het zijn niet rechtstreeks de koperen veertjes, die op den ring slepen, maar scherpe zilveren mesjes, die op de uiteinden der veertjes zijn geschroefd en loodrecht op den ring staan. Deze mesjes slijden den primairen stroom af, als ze over de scherpe grenslijn van koper en ivoor glijden. De vroegere door prof. Donders aangebrachte platina-stiften voldeden minder goed, omdat ze door afslijten en schoonmaken van vorm veranderden en slechter dan zilver geleiden. Met deze mesjes kan men honderden malen achtereen openen en sluiten, zonder eenige onregelmatigheid te bespeuren. Ik meen door ervaring te kunnen verzekeren, dat deze manier van sluiten en afbreken boven alle tot nog toe bekende de voorkeur verdient.

Heeft men nu den cylinder ééns omgedraaid, zoodat de kruk weêr op dezelfde plaats rust, dan heeft men op deze ééne sinuslijn twee ontladingen bij sluiten en openen

verkregen. Op dezelfde rol kunnen aldus 20 en meer proeven gedaan worden.

De gebruikte stemvork maakte 246 trillingen per secunde, waarvan elke trilling op het papier door het meetinstrument, dat Dr. Engelmann mij ten gebruike afstond, gemakkelijk tot in twintigste deelen kon worden uitgemeten, zoodat deze methode een bepaling van vijfduizendste deelen van secunden best toelaat. Het aantal trillingen dezer stemvork werd bepaald door gelijktijdig registreeren harer trillingen en van de secunden eener klok, die zoodanig in de primaire geleiding was opgenomen, dat haar secundeslinger den primairen stroom opende en sloot. De geringe invloed der temperatuur was door prof. Donders bepaald door de verandering van het aantal zwevingen met een andere stemvork, die op onveranderde temperatuur werd gehouden. Aan het eind der proef worden stemvorkveertje en de beide koperen veertjes *E* en *F* door hefboompjes, die in de figuur niet zijn aangegeven, van cylinder en ring afgeleight, het papier van den cylinder afgenomen, de proeven genummerd, bij elke proef de opmerkingen aangeteekend en daarna het papier door een oplossing van vernis in alcohol gehaald, om het koolzwart te fixeeren.

De éénnige weêrstand, welken de geïnduceerde galvanische stroomen bij deze proeven moeten overwinnen, is, behalve die van den geleider, de weêrstand van dun papier. Door mij zijn verschillende papiersoorten gebruikt naar dat de proeven dit vereischten: voor zwakke stroomen zeer dun vloeipapier of zoogenaamd bloempapier, hetgeen wel een minimum van weêrstand mag heeten; voor sterkere stroomen mailpapier en velijn, dat aan de ééne zijde geglansd was. Chemisch geprepareerd papier, dat door geel bloedloozout en nitras amoniae was ge-

haald (het laatste om het papier vochtig te houden), zooals het voor de schrijftelegraphen wordt gebruikt, geeft ook een scherp tracé van den stroom, doch deze methode voldoet minder dan het mail- of bloempapier. Hiermede hebben dr. Hoorweg en prof. Donders proeven gedaan. Geïnduceerde stroomen, die physiologisch voelbaar zijn, kunnen ook op het gebruikte bloempapier geregistreerd worden: dat is voor mij een bewijs voor de gevoeligheid van het procédé.

Door deze methode wordt dus de geïnduceerde stroom geregistreerd; er blijft nog maar ééne questie over, namelijk: het oogenblik van openen en sluiten van den primairen stroom even nauwkeurig naast elke proef te registreren.

Er behoort experimenteele kennis toe, om de moeilijkheid dezer questie, en dus ook hare oplossing, te kunnen waardeeren, want een nauwkeurigheid tot in duizendste deelen van secunden is een vereischte. Hoe mij dit volkomen gelukt is, kan ik dan ook eerst aangeven, nadat ik eenige resultaten zal hebben meêgedeeld. Nog ééne zaak, waarop in dit onderzoek zeer moet gelet worden, is de volgende. Wil men krachtige geïnduceerde stroomen in hun geheel opvangen, dan moeten alle geleiders van deze stroomen zooveel mogelijk geïsoleerd zijn; alle geleidraden moeten uit dik koperdraad bestaan, dat met een laag gutta-percha bedekt is, en het geheele apparaat, hetwelk voor de meting dient, moet op een tafel staan, die door glazen pooten of op een andere wijze goed geïsoleerd is. Absolute isoleering gedurende een geruimen tijd is onmogelijk; doch deze kan ook dan alleen geeischt worden, als men absolute cijfers wil verkrijgen. Ofschoon ik geëxperimenteerd heb, alsof het mij om zulke absolute cijfers te

doen ware, wil ik ze echter alleen als relatieve groot-heden beschouwen, en zoo ik enkele absolute cijfers, b. v. die voor de snelheid der geïnduceerde electriciteit, aanvoer, dan dienen deze alleen om de methode te doen waardeeren.

In hoeverre ze naast of boven die van andere waar-nemers staan, laat ik aan mijne lezers ter beoordeeling over.

Om het oogenblik van openen en sluiten van den primairen stroom den lezer duidelijk te maken, diene als type mijner proeven een reeks van sluitings- en openingsontladingen van den volledigen Ruhmkorff, die resp. op plaat II en III zijn gegeven. Als induceerende stroom is een batterij van 10 cellen van Grove gebruikt en de cylinder was met mailpapier omkleed. Volgens de aangegeven methode verkrijgen wij na ééne omdraaiing van den cylinder op de sinuslijn twee proeven bij sluiten en bij openen. De sluitingsontlading zoowel als de openingsontlading geeft een reeks van meer dan honderd vonken, die in het begin op eenigen afstand, doch later stijf naast elkaâr zijn gelegen en 12, 13 à 14 trillingen lang duren. Later zullen wij op deze ontla-dingen uitvoerig terugkomen; wij gaan nu over tot de registratie van den primairen stroom.

Wanneer is de primaire stroom gesloten en geopend?

Natuurlijk op het moment, dat de mesjes van de veêren *E* en *F* (zie pl. I) over de scheiding van ivoor en koper gleden. Niets is dus eenvoudiger dan het stemvork-veertje en de veeren *E* en *F* van cylinder en ring af te lichten en den cylinder terug te draaien, tot dat de mes-jes, weêr over die scheiding gaande, de vonk herhalen, het stemvorkveertje neêr te laten en een tikje te geven, zoodat dit punt op den cylinder worde opgeteekend. Het

punt, dat men alzoó even vóór of nagenoeg gelijk met de eerste vonk der ontladingen verkrijgt, zou dan het moment van openen of van sluiten aangeven. Maar iedereen zal inzien, dat deze manier van registreeren niet de beste is. Al gaat men met een scherpe loupe den stand der mesjes na, al werkt men nog zoo nauwkeurig, men hangt hier toch van de geoefendheid van oog en hand af, en de proeven, die op deze manier gedaan worden, bewijzen dit dan ook.

Veel beter methode is deze, dat men de electriciteit zich zelve laat registreeren. Maar de sluitingsvonk van den primairen stroom kan men niets laten verrichten, want deze is te zwak; ook de sterkere openingsvonk kan men niet door papier laten slaan, omdat de geringste weêrstand de sluiting, die toch de opening vooraf moet gaan, verhindert. Daarom heb ik aldus geregistreerd:

Na afloop der proef, waarbij de cylinder zoo snel mogelijk uit de vrije hand is gedraaid, b.v. in $\frac{1}{8}$ secunde, worden stemvorkveertje en mesjes even van cylinder en ring afgelicht, de cylinder teruggedraaid tot het punt, van waar men is uitgegaan, en dan weêr veertje en mesjes noêrgelaten, zoodat ze weêr rusten. Nu strijkt men de stemvork niet aan, draait den cylinder zeer langzaam rond, vooral op de punten van scheiding tusschen ivoor en koper, dan beschrijft het stemvorkveertje een rechte lijn midden over de sinuslijn. Op het moment van sluiten en openen van den primairen stroom springen er tusschen stemvorkveertje en cylinder weêr vonken over, doch de reeks van honderden vonken valt samen en vormt één gaetje op de rechte lijn, hetgeen nu het juiste moment van openen en sluiten aangeeft. (Zie pl. II.) Bij zeer langzame draaiing is deze samenvalling zeer goed te verkrijgen.

Blijkbaar hebben wij bij dit procédé den volgenden gang van zaken:

Gesteld, dat de eerste der ontladingsvonken x trillingen later komt dan het oogenblik, waarop de primaire stroom is gesloten (of geopend), zoodat de geheele stroom van vonken x trillingen verschoven is. Draait men nu zóó langzaam, dat de stroom tot één vonk is gereduceerd, dan is de vraag, hoeveel deze vonk te laat komt.

Zooals uit andere mijner proeven blijkt, heeft de snelheid van sluiten en openen geen invloed op den duur der ontlading van den geïnduceerden stroom. De geheele ontlading is nu echter, bij de zeer langzame draaiing, tot één vonk gereduceerd en daarom hebben wij, als men de snelheid van draaiing in de eerste proef v noemt, den geheelen duur van den geïnduceerden stroom t en de vertraging t' , in de tweede proef die snelheid v' , terwijl de duur van den geïnduceerden stroom dezelfde gebleven, en de vertraging x' trillingen op het papier is,

bij de 1 ^{ste} proef een duur van de ontlading = 14 trillingen = vt .	
en een vertraging x	= vt' .
bij de 2 ^{da} proef een duur van de ontlading = 1 vonk = $v't$.	
en een vertraging x'	= $v't'$.

Omdat nu 14 trillingen tot een 1 vonk of minder dan $\frac{1}{280}$ trilling zijn gereduceerd, is $v' < \frac{1}{280} v$ en dus ook $x' < \frac{1}{280} x$; meet men dus den afstand tusschen de ééne vonk der registratie van den primairen stroom en de eerste vonk der ontlading, dan kan de fout in dit geval geen $\frac{1}{280}$ der waarde bedragen. Is deze afstand b.v. $\frac{1}{30}$ trilling, dan is de vertraging $\frac{1}{30} \times \frac{1}{246}$ sec. = 0,000136

secunde, welke waarde geen $\frac{1}{2}$ millioenste van een secunde fout is. (Natuurlijk heeft de meting van trillingen in dertigste deelen bezwaren, die grootere fouten dan de bovenstaande doen binnensluipen, doch het is ons nu om de waardeering der methode te doen.)

De aandachtige lezer zal bemerkt hebben, dat deze methode in de praktijk eenvoudig hierop neêrkomt, dat dezelfde proef tweemalen gedaan wordt: eens zeer snel en daarna zeer langzaam, waardoor de tijd geëlimineerd wordt.

Naar deze methode zijn door mij verschillende zaken onderzocht, die wij in deze orde zullen laten volgen. Vooreerst: de zuivere Volta-inductie, of de werking van enkel twee spiralen op elkaâr; daarna de inductie door een spiraal, waarin verschillende ijzeren kernen zijn gebracht, en die van den inductor van Ruhmkorff. Vervolgens: de invloed van weêrstand en van een Leidsehe flesch op den geïnduceerden stroom; dan de invloed der openings- en sluitingsstromen bij snel openen en sluiten op elkaâr, en eindelijk de unipolaire inductie. Een wijziging der methode zal ons de beelden der ontlading geven.

§ 2. ZUIVERE VOLTA-INDUCTIE.

Het eenvoudigste geval, dat zich bij de inductie voordoet, is de inductie in een secundaire spiraal door een ingeschoven primaire.

Niets zou gemakkelijker geweest zijn om deze proef te doen, dan uit den inductor van Ruhmkorff de kern van ijzerdraden uit te nemen en dan met de twee overblijvende spiralen te experimenteren, doch deze kern was bij den door mij gebruikten inductor zóó stevig in de

primaire spiraal bevestigd, dat ik beide moest verwijderen en dan een andere primaire spiraal er inbrengen. Deze bestond uit ééne laag windingen van 30 meter lang en $2\frac{1}{4}$ millimeter dik omspannen koperdraad. A priori zou men van zulk een tamelijk lange primaire spiraal en zulk een lange secundaire van 100000 meter, die op den inductor gewonden is, met 10 goede cellen van Grove als induceerende batterij een vrij krachtige werking verwachten. Doch ze is uiterst zwak en physiologisch slechts even voelbaar. Toch gelukte het mij zeer goed de ontladingen dezer geïnduceerde stroomen op bloem- en mailpapier te registreeren. Ik geef hier de gemiddelde resultaten uit honderden proeven.

Op bloempapier verkrijgt men een sluitings-ontlading, die $\frac{1}{2}$ trilling duurt en uit 10 à 12 afzonderlijke vonkjes bestaat. De eerste vonk is zwak, de tweede en derde goed zichtbaar en de volgende weêr afnemend. Op mailpapier verkrijgt men een ontlading, die uit 2, 3 of 4 beter zichtbare vonken bestaat en ongeveer $\frac{1}{4}$ trilling duurt. De openings-ontlading duurt korter: op bloempapier $\frac{1}{3}$ trilling, uit 7 à 8 vonkjes bestaande, waarvan de eerste de krachtigste is; op mailpapier $\frac{1}{5}$ trilling lang 3 à 4 vonken, die zeer goed met het bloote oog zichtbaar zijn.

Registreert men ook den primairen stroom, dan ziet men, dat elke ontlading iets vertraagd is, de openings-ontlading $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{25}$ trilling. Deze vertraging beantwoordt aan den tijd, dien de electriciteit gebruikt om door de geheele secundaire winding te stroomen en aan te groeien tot zulk een sterkte, dat ze door het papier kan slaan. Op dikker papier is de vertraging altijd iets grooter, en bij de sluitings-ontlading iets grooter dan bij de openings-ontlading; omdat de eerste sluitingsvonk zwak is en de

afstand tot de registratievonk van den primairen stroom dus onzeker wordt, geef ik alleen de vertraging bij opening.

Uit deze resultaten volgt dus, dat op bloempapier de sluitingsontlading bijna 0,002 seconden duurt (1 trilling = $\frac{1}{246}$ sec.); de openingsontlading is korter en duurt bijna 0,0013 seconden, terwijl beide uit afzonderlijke vonken bestaan, die bij de openingsontlading sterker zijn, vooral de eerste daarvan. Beetz verkreeg een sluitingsontlading van 0,012 sec. en een openingsontlading van 0,003 seconde.

Verder, dat de inductiestroom, die volgens alle physici gelijktijdig met den primairen stroom ontstaat, in $\frac{1}{20} \times \frac{1}{246}$ sec. = $\frac{1}{4920}$ seconde de 50000 meters van den secundairen draad doorloopt en aangroeit tot genoegzame intensiteit, om door bloempapier te kunnen slaan: dat zou een snelheid zijn van 246000 kilometers per seconde.

Op dit laatste punt komen we later terug.

§ 3. PRIMAIRE SPIRAAL, DOOR IJZERKERNEN VERSTERKT.

De eerste kern was een staaf week ijzer van 82 centimeters lengte en 22 millimeters dikte. Bij het gebruik van 10 Grove'sche cellen als induceerende batterij, evenals in de vorige proeven, verkregen wij de volgende resultaten, waaruit men, in verband met de vorige §, kan nagaan, welk een grooten invloed een kern op den geïnduceerden stroom uitoefent.

De sluitingsontlading duurt op bloempapier	10	trillingen.
„ mailpapier	2 ³ / ₄	„
„ velijnpapier	2 ¹ / ₂	„
De openingsontlading duurt op bloempapier	10 ¹ / ₂	„
„ mailpapier	4	„
„ velijnpapier	3	„

De sluitingsontlading begint met een zwakke vonk, die ongeveer $\frac{1}{10}$ trilling vertraagd is.

De openingsontlading begint met een krachtige vonk, die $\frac{1}{20}$ trilling vertraagd is. Deze ontlading is dus, zooals uit bovenstaande cijfers blijkt, iets langer van duur dan die bij sluiting, en ook zijn de vonken krachtiger van aanzien. Bovendien zal ons later blijken, dat de openingsontlading een weêrstand van een 14 m.M. dikke luchtlaag kan overwinnen, of, met andere woorden, vonken geven van die lengte, terwijl de sluitingsontlading geen langere vonken dan van 6 m.M. kan geven.

Bij de openingsontlading gaat dus langere duur met grootere mechanische werking gepaard.

De vonken hebben bij de ontladingen op mailpapier hetzelfde karakter als die op velijnpapier van Pl. II, doch vertoonen geen interrupties. Men telt er ongeveer 20 op een trilling; die op bloempapier verschillen hiervan zeer weinig.

Afwisselend hiermede werden proeven gedaan met een kern, die uit een bundel van 45 draden week ijzer van $53\frac{1}{2}$ c.M. lengte en 1 m.M. dikte bestond, zoodat de geheele bundel ongeveer 11 m.M. dik was. Door gloeiing waren deze draden met een geoxydeerde laag bedekt, waardoor ze voldoende geïsoleerd waren.

Vergelijkt men deze massa ijzer met die van de staaf, dan ziet men, dat ze veel geringer is. De geïnduceerde stroomen, die hiermede verkregen werden, waren dan ook veel korter van duur.

De sluitingsontlading duurde op bloempapier	1½ trillingen
„ mailpapier	$\frac{3}{4}$ „
„ velijnpapier	$\frac{1}{2}$ „
De openingsontlading duurde „ bloempapier	1½ „
„ mailpapier	$\frac{3}{4}$ „
„ velijnpapier	$\frac{1}{4}$ „

De ontladingen komen veel overeen met die der staaf, behalve dat ze van veel korteren duur zijn. De sluitingsvonken treden bijna even krachtig op als de openingsvonken, doch de vertraging is bij de eerste iets grooter.

Uit deze opgaven, die weêr de gemiddelde zijn uit vele proeven, kan men dus zien, dat de openingsontlading, behalve die op velijnpapier, even lang duurt als de sluitingsontlading, maar dat haar vertraging geringer is.

Bij volgende proeven met weêrstand zal ons blijken, dat de openingsontladingen vonken kunnen geven van 6 m.M. en die bij sluiting van 5 m.M.

Na deze resultaten moet ik ook het volgende opmerken:

De gewone bewering, dat de openingsontlading krachtiger vonken zou geven dan die bij sluiting, omdat ze van korteren duur is, schijnt dus hier geen stand te houden. Mij komt het veel waarschijnlijker voor, dat het sneller groeien tot een maximum van stroomsterkte de reden is, want de totale duur heeft weinig of geen invloed: zelfs zouden de resultaten met de staaf ons tot het besluit brengen, dat de langere duur de reden is. De totale duur heeft weinig invloed, maar de geringe vertraging en de eerste krachtige vonk staan, dunkt mij, in verband met de krachtige werking.

Tot dit geval van inductie behoort ook die van den

volledigen inductor van Ruhmkorff, waarbij dus nu de bundel uit honderden dunne draden week ijzer bestaat, terwijl de primaire spiraal veel langer is en drie lagen windingen telt.

Deze krachtige inductiestroomen willen wij nauwkeurig nagaan, omdat vele der bijzonderheden ook in de andere gevallen voorkomen.

Wij beginnen, met de inductie door een batterij van 10 Grove'sche cellen op mailpapier te registreren. Hierbij gebruiken wij geen condensator en verbinden knop *a* met de stemvork en *b* met den cylinder.

De sluitingsontlading begint met eenige zwakke vonken, doch reeds na $\frac{1}{3}$ trilling ongeveer treden meer krachtige op. De ontlading gaat dan over in een geheel andere: er komen krachtige vonken, die met interrupties van één trilling ongeveer op elkaâr volgen; sommige van deze hebben geen witte plek om zich heen, doch tegen het licht ziet men de vrij groote openingen op regelmatigen afstand. Na 6, 7 of 8 van deze volgt een 4, 5, 6 of 7 trillingen lange reeks van snel op elkaâr volgende vonken, eerst ongeveer 12 op één trilling, later meer en bij sommige proeven wel 30 op één trilling. Deze vonken nemen naar het eind regelmatig in grootte af en volgen steeds sneller op elkaâr. De geheele duur der ontlading is 13 à 14 trillingen of $\frac{13}{246}$ à $\frac{14}{246}$ secunde. Drie perioden zijn duidelijk hierbij waar te nemen: de eerste van $\frac{1}{3}$ trilling lang, uit kleine toenemende vonken bestaande, de tweede van 6, 7 à 8 trillingen, waarin de vonken met interrupties van 1 trilling ongeveer op elkaâr volgen en de derde periode van 4 à 7 trillingen lang, die in afnemende snel op elkaâr volgende vonken bestaat. De sluitingsinductiestroom klimt dus in $\frac{1}{3}$ trilling tot

zekere intensiteit, behoudt deze 6 à 8 trillingen lang, en neemt dan gedurende 4 à 7 trillingen weêr af.

Hierbij moet opgemerkt worden, dat er in de tweede periode onder de alléén staande vonken enkele kunnen voorkomen, die door 3 à 4 kleine vonken zijn vervangen.

De vertraging bedraagt $\frac{1}{10}$ trilling ongeveer.

De hierop volgende openingsontlading vertoont een ander karakter, want zij heeft maar twee perioden; bovendien hebben alle vonken een krachtiger aanzien dan die van de sluitingsontlading. De eerste vonk is hier de krachtigste, de tweede komt eerst na een interruptie van ruim één trilling, de derde na wat korter interruptie en bij de vierde of vijfde begint de geregelde ontlading. Deze geeft eerst 6 of 7 vonken op ééne trilling, later 12 ongeveer en meer naar het einde wel 30 op ééne trilling. De geheele stroom van vonken is dus van de eerste vonk af tot de laatste toe afnemende in grootte van vonken en in duur van interruptie. Men zou hier bijna even goed ééne periode kunnen aannemen, want de periode van interrupties is hier niet zoo scherp begrensd.

De geheele ontlading duurt 14 à 15 trillingen en maakt een sierlijk figuur, — als een geslingerd snoer parelen.

De vertraging is bij deze ontlading kleiner, doch scherper te bepalen, omdat de eerste vonk krachtig is; zij bedraagt in de meeste proeven $\frac{1}{20}$ trilling.

De tweede sluitingsontlading komt volkomen met de eerste overeen, evenals de tweede openingsontlading met de voorgaande.

Bovenstaande beschrijving is toepasselijk op 25 proeven, die in den loop van een uur ongeveer op hetzelfde vel papier werden genomen. De registratie van den primairen

stroom, ter bepaling van de vertraging, geschiedde na elke proef direct. Op elk vel met proeven liggen deze registratievonken zuiver op een rechte lijn, zooals het behoort. Plaat II en III geven al deze bijzonderheden zeer goed terug, maar de interrupties, die op plaat III zoo fraai en talrijk voorkomen, schijnen hetgeen ik boven van die der sluitingsontladingen gezegd heb te weerspreken. De reden hiervan is, dat in de beide reeksen van proeven, die op de twee platen zijn teruggegeven, de verbinding van *a* met den cylinder en van *b* met de stemvork is genomen. Reeds vooraf wil ik den lezer waarschuwen, dat de interrupties geen kenmerk zijn der openings- of sluitingsontladingen, doch gemodificeerd worden door de verbindingswijze. Meer afbeeldingen dezer ontladingen, ook bij de andere wijze van verbinding, zouden dit duidelijker aantoonen.

Na deze proef op mailpapier, die reeds vroeger als type heeft gediend, willen wij nauwkeurig onderzoeken, welke van de genoemde bijzonderheden als constant mogen beschouwd worden. Daarvoor mogen verschillende proeven, die anders en onder andere omstandigheden genomen zijn, dienen.

a. Vooreerst wat den duur betreft. Wij moeten in 't oog houden, dat het papier om den cylinder als weêrstand werkt en wij moeten dus wel acht geven op het gebruikte papier. Hoe dunner papier, hoe langer de ontladingen van den geïnduceerden stroom aanhouden, en wel om twee redenen: vooreerst zullen door dunner papier de laatste zwakke vonkjes der ontlading nog zichtbaar zijn, maar ten anderen, zal vooral ook de geringere weêrstand van dunner papier den duur van den stroom verlengen, waarvoor later sprekende bewijzen zullen gegeven worden.

Aan deze beide omstandigheden is het toe te schrijven, dat men, als alle andere omstandigheden dezelfde blijven, op bloempapier een sluitingsstroom, die 17 trillingen duurt, en een openingsstroom van 18 trillingen duur verkrijgt.

Op het geglansd velijnpapier, dat dikker dan het mailpapier is, duurt de sluitingsontlading 5 trillingen en de openingsontlading 8 trillingen. Men meene nu niet, dat op dit dikker geglansd velijnpapier de geheele staart der ontladingen is weggebleven, omdat de laatste vonken der ontladingen, die altijd de zwakste zijn, geen intensiteit genoeg hadden, om door dit papier te slaan. De totale duur is verkort, waarvan de weêrstand de reden is, zooals wij later zien zullen.

Het gebruik van den condensator heeft op den duur der ontladingen geen invloed. Het was gemakkelijk afwisselend met en zonder condensator te werken, zoodat ik telkens zijn invloed op den duur beproefd, maar niet waargenomen heb.

Evenmin bracht het sneller openen en sluiten eenige verandering in den duur, als dit maar niet zóó snel plaats heeft, dat de sluitings- en openingsontladingen op elkaâr kunnen werken. Draaide ik den cylinder ééns of 4 malen per secunde rond, de ontladingen duerden in beide gevallen toch een zelfde aantal trillingen.

Dat de sterkte der batterij van invloed is, spreekt van zelf, doch de duur der ontladingen neemt niet toe evenredig met het aantal cellen.

Het is ook van veel belang op te merken, dat de duur der sluitingsontlading bijna altijd kleiner is dan die bij opening; bij een sterke batterij staan beide ontladingen in dit opzicht gelijk. Beide feiten mogen blijken uit de volgende vergelijkende waarnemingen met een batterij van 1—10 cellen van Grove.

Aantal cellen.	Duur der sluitingsontlading.			Duur der openingsontlading.		
	Bloempapier.	Mailpapier.	Velijnpapier.	Bloempapier.	Mailpapier.	Velijnpapier.
1	3	trill. 0	trill. 0	trill. 6	trill. 2½	trill. 1½
2	6	» 2¼	» 0	» 9	» 6½	» 4
3	9	» 5	» 0	» 11	» 7½	» 5
4	10	» 7	» 2	» 12	» 8½	» 5½
5	13	» 8½	» 2¼	» 14	» 10	» 6½
6	14	» 10	» 3	» 14	» 11	» 7
7	14	» 11	» 3	» 13	» 11½	» 7
8	14½	» 12½	» 3½	» 15	» 12½	» 7½
9	15	» 13½	» 3½	» 16	» 13	» 8
10	16½	» 14	» 4½	» 17½	» 15	» 8½

Meer dan 10 cellen heb ik nooit gebruikt en bij proeven met weêrstand nooit meer dan vier, omdat ik vreesde den inductor te overspannen.

Bovenstaande cijfers geven ook geen aanleiding, om verder te gaan. Om de batterij zooveel mogelijk constant te houden, moeten de zinkplaten goed met kwik geamalgameerd worden, zoodat, bij het uit elkaâr nemen der cellen, deze platen helder blank uit het verdund zwavelzuur komen; dan blijft de batterij gedurende eenige uren vrij wel constant.

De verbinding der cellen is niet onverschillig. Om grooten weêrstand buiten de batterij te overwinnen, moet men de cellen achter elkaâr plaatsen, waarbij het zink der 2^{de} cel met het platina der eerste verbonden is, het zink der 3^{de} met het platina der 2^{de}, enz. Deze verbinding was voor mijn proeven de beste, want een verbinding der cellen naast elkaâr, waarbij alle zinkpolen één geheel vormen, en evenzoo alle platinapolen, gaf minder krachtige werking.

Bij de proeven voor de Volta-inductie, waarbij de

primaire spiraal korter was, stonden beide verbindingen gelijk.

De verbindingswijze (a met stemvork en b met cylinder, of a met cylinder en b met stemvork) heeft alléén invloed op de interrupties, zooals nader blijken zal.

b . De interrupties, waarvan ik boven ter loops melding heb gemaakt, verdienen wel een nauwkeurig onderzoek.

Zooals wij mededeelden, kwamen ze het meest voor in de 2^{de} periode van de sluitingsontlading, als b met den cylinder en a met den stemvork is verbonden. Bij 't gebruik van het veljnpapier, waarop de interrupties zeer groot zijn (enkele van 3 trillingen lang), ziet men duidelijk onder de proef electricisch licht over het papier vliegen, hetgeen niet mogelijk zou zijn, als de electriciteit den kortsten weg koos tusschen stemvorkveertje en cylinder. Nu vindt men, blijkbaar in verband daarmede, in zoodanige gevallen niet zelden een tegen schuins opvallend licht zichtbare doffe korrelige streep of veeg in het koolzwart, zich over een grooter of kleiner deel der interruptie uitstrekkende tot aan de plaats der voorafgaande vonk, vooral wanneer deze een betrekkelijk groot gaatje in het papier heeft geslagen. De doffe streep doet zich voor, alsof tot op zekeren afstand uit elk punt der sinuslijn electriciteit naar die opening gevloeid ware: blijkbaar gaat ze, nagenoeg den kortsten weg volgende, overal uit van de naar het gaatje gekeerde zijde der trillingen.

Keert men den geïnduceerden stroom om, door knop b met de stemvork en a met den cylinder te verbinden, dan vertoon en de openingsontladingen de meeste interrupties, zie pl. III, terwijl ze boven meer in de sluitingsontlading voorkwamen. De ontlasting, die op pl. III gegeven is, kan dus, wat de inter-

rupties betreft, zoowel voor een openings- als voor een sluitingsontlading doorgaan. Nu weet men van elders, dat de sluitingsinductiestroom de tegengestelde richting van den openingsinductiestroom heeft, zoodat het zeker is, dat de ontlading andere interrupties vertoont, als de electriciteit van a door den cylinder naar het stemvorkveertje gaat, dan wanneer ze den omgekeerden weg neemt. Denkt men hierbij aan de groote oppervlakte van den cylinder, dan laat zich wel begrijpen, dat deze van invloed is. Ik maakte aan de uiteinden G en S der beide even lange geleidraden aG en bS scherpe punten en bracht ze daarna op den cylinder, zoodat de stroom niet den geheelen cylinder behoeft te passeeren. De stroom gaat dan b. v. van a door het papier, een centimeter lengte door den cylinder, weêr door het papier en komt zoo in den geleiddraad b . Met andere woorden: ik liet beide electroden a en b registreeren. Bij sluiting van den primairen stroom verkrijgt men dan twee registraties naast elkaâr, evenzoo bij opening (zie pl. IV). Tusschen de registratie van a en die van b is echter, wat het aanzien der vonken betreft, geen onderscheid hoegenaamd te zien; alleen de interrupties zijn verschillend. De electrode a geeft bij sluiting minder interrupties dan b , doch bij opening meer dan b . Verschil van weg en dus invloed van cylinder treedt hierbij sprekend op. Dat er evenwel zeer fraaie interrupties van even langen duur als bij de gewone methode zijn, maar wat minder in aantal, omdat ook de geheele ontlading wegens den dubbelen papierweêrstand korter is, (volgens de gewone methode werd er naast geregistreerd) bewijst, dat de cylinder, die hier voor een zeer klein gedcelte wordt doorloopen, niet de eenige oorzaak van de interrupties is. Latere proeven bevestigen dit (zie § 8).

De dikte van het papier is, zooals wij vermeldden, van grooten invloed op den duur der interrupties, zoodat ze op velijn- grooter dan op mailpapier zijn en op bloempapier weêr kleiner dan op mailpapier. In sommige proeven verkreeg ik op bloempapier zelfs geen enkele interruptie, maar dan ziet men op afstanden van een heele of halve trilling sterkere vonken, die boven de voorafgaande en volgende zwakkere uitkomen, zoodat hier de ledige plekken door zwakke vonkjes zijn aangevuld, hetgeen evenzoo een bewijs voor periodiciteit is.

Van welken invloed de sterkte der batterij op het verschijnsel is, leeren de volgende cijfers voor den duur der eerste interruptie bij de openingsontlading in 4 proeven op velijnpapier, als ik 1 tot 10 cellen van Grove als induceerende batterij gebruikte (zie pl. V, waarop twee proeven zijn afgebeeld).

DUUR DER EERSTE INTERRUPTIE BIJ OPENEN.

	1 ^{de} PROEF.	2 ^{de} PROEF.	3 ^{de} PROEF.	4 ^{de} PROEF.
1 Cel	0 trill.	0 trill.	0 trill.	0 trill.
2 »	$\frac{3}{4}$ »	1 »	$\frac{1}{4}$ »	$1\frac{1}{4}$ »
3 »	$1\frac{1}{3}$ »	$1\frac{1}{3}$ »	$\frac{3}{4}$ »	$1\frac{1}{4}$ »
4 »	$1\frac{1}{4}$ »	$1\frac{1}{4}$ »	$1\frac{1}{4}$ »	$2\frac{1}{3}$ »
5 »	$1\frac{3}{8}$ »	$1\frac{3}{8}$ »	2 »	$2\frac{1}{4}$ »
6 »	2 »	$1\frac{3}{4}$ »	2 »	$2\frac{3}{8}$ »
7 »	$2\frac{1}{4}$ »	$1\frac{7}{8}$ »	2 »	$2\frac{3}{4}$ »
8 »	$2\frac{1}{4}$ »	$1\frac{7}{8}$ »	2 »	$2\frac{1}{2}$ »
9 »	$2\frac{1}{4}$ »	$2\frac{3}{4}$ »	$2\frac{1}{3}$ »	$2\frac{7}{8}$ »
10 »	$2\frac{1}{4}$ »	3 »	3 »	3 »

Men ziet duidelijk, dat de duur der eerste interruptie grooter is, naarmate de batterij sterker is.

Deze 4 proeven werden (twee aan twee) direct na elkaar genomen.

Dat de vier proeven niet juist dezelfde cijfers hebben geleverd, dit laat zich toeschrijven aan het niet homogeeene papier, doch de geregelde aangroei van den duur, op één uitzondering na, bewijst het aangegeven feit voldoende.

Bij sluiting, in deze zelfde proeven, is de eerste interruptie wel grooter bij 10 cellen dan bij eenige der voorgaande, doch het aangroeien is niet zoo regelmatig. Men moet hierbij ook bedenken, dat de sluitingsontlading eerst bij een batterij van 5 cellen op dit papier goed zichtbaar wordt en de eerste zwakke vonken (zie boven) de interrupties niet scherp begrenzen.

c. De beschouwing der vonken, afgezien van de interrupties, leert ons niet veel.

Het aantal vonken op het eind der ontlading is op veljnpapier gewoonlijk 16 op ééne trilling, bij sluiten en openen; op mailpapier 25 à 30 en op bloempapier nog meer. In 't midden is dit aantal geringer, zoodat men soms niet weten kan, waar de interrupties ophouden. Bij de meeste proeven evenwel begint na de ontlading in vonken, die 3, 2 of 1 trilling van elkaar staan, plotseling de ontlading in vonken van 20 op één trilling.

Het microscopisch onderzoek der afzonderlijke vonken vertoont een opening in het papier, die vrij groot is bij de eerste vonken der ontlading, en bij de volgende, vooral die der laatste periode, kleiner; soms zijn ze schuins geslagen, soms zijn er papiervezelen in de gaatjes blijven hangen of kooldeeltjes; bij de laatste vonken zijn de openingen twijfelachtig maar blijven de witte plekjes zichtbaar, die ook om de grootere en kleinere openingen

te zien en ontstaan zijn, doordat de kooldeeltjes zijn weggespat en tot grootere vereenigd, zoodat het witte papier zichtbaar wordt. De rand der opening is bruin gebrand. Dat bruin gebrande gedeelte is aan de keerzijde van het papier zichtbaar en altijd worden er kooldeeltjes door het papier geslagen, die op den cylinder zichtbaar zijn, als het papier er is afgenomen. Tegen het licht zijn de openingen duidelijk te zien. Tusschen twee naastliggende vonken is in vorm geen onderscheid te zien; men kan ook niet onderscheiden, in welke richting de electriciteit door het papier is gegaan. Keert men het papier op den cylinder om, zoodat het stemvorkveertje op de witte zijde schrijft, dan komen er even goed gaatjes met witte plekken er omheen op de zwarte zijde.

§ 4. INVLOED VAN WEERSTAND.

De methode, die wij in ons experimenteel onderzoek volgen, bestaat eigenlijk hierin, dat den geïnduceerden stroom de weêrstand van dun papier wordt aangeboden, en uit de werking hierop concluderen wij tot den duur en het verloop van den stroom. Om te weten, welke deze duur is, als er geen weêrstand is buiten dien der geleiders, zou men een methode moeten volgen, die den stroom geen hinderpalen hoegenaamd in den weg legde. Tot zulk een methode geraakte prof. Donders door een kunstgreep, die ik met een kleine wijziging ook heb toegepast. Hij zegt op bl. 317 van de Onderzoekingen gedaan op het Physiol. Lab. te Utrecht II 1868—69: „Kan, bij contact van de trillende stemvorkveer met metaal, de inductie-electriciteit terstond geregeld afvloeien, dan duurt de ontlading veel langer en ontladen

zich na 0,1 sec. (24 trillingen) na de opening nog vonken bij overgang der veer van metaal op papier."

Deze proeven werden genomen door den cylinder met bladtin te bekleeden, dit met papier te bedekken en uit het papier vóór de plaats, waar de openings- en sluitingsontladingen moeten plaats hebben, een rechthoekigen driehoek te snijden, zoodat de veer metaalcontact vond. Op een lijn, evenwijdig aan en nabij de ééne rechthoekszijde, lagen op al de omgangen de eerste vonken der openings- en sluitingsontladingen in of vóór de respectieve driehoeken, en de veer verliet den driehoek aan de hypotenuse, na van den eersten omgang, die bij het hoekpunt van den scherpen hoek lag, tot den laatsten een steeds toenemende uitgebreidheid metaalcontact gehad te hebben.

Ik heb het bladtin, dat dienen moest om de trillingen te zien, weggelaten, ten einde de proef te kunnen laten fotografheeren, en sneed eenvoudig, nadat het papier beroet was, op de bovengenoemde plekken met een scherp mes driehoeken uit. Het scherpe rustende stemvorkveertje liep dan van 't papier over het koper en kwam daarna op het papier terug, zonder het papier te scheuren. Zelfs op bloempapier gelukte de proef aldus zeer goed.

Het gevolg dezer uitsnijding is dus, dat de stroom gedurende de ontlading een korter of langer tijd geen weêrstand vindt. Het zekerste is, althans de eerste en de laatste vonken op 't papier te laten komen; dan is de duur niet twijfelachtig, want men kan uit de voorgaande en volgende trillingen zeker genoeg vinden, hoeveel onzichtbare trillingen de stemvorkveer over koper heeft geloopt. Op pl. VI is deze proef met resultaat afgebeeld.

Duurt nu de geïnduceerde stroom van 4 goede cellen van Grove op velijnpapier bij opening $6\frac{1}{2}$ trillingen, dan heeft het metaalcontact het volgende effect:

OPENINGSONTLADINGEN.

$\frac{1}{2}$ trill. op papier	2 trill. op metaal	$4\frac{1}{2}$ trill. op papier, geeft samen	7 trill.
$\frac{1}{2}$ » » »	$3\frac{1}{2}$ » » »	$4\frac{1}{2}$ » » » » »	$8\frac{1}{2}$ »
$\frac{1}{2}$ » » »	8 » » »	$3\frac{1}{2}$ » » » » »	12 »
$\frac{1}{2}$ » » »	$8\frac{1}{2}$ » » »	3 » » » » »	12 »
$\frac{1}{2}$ » » »	$9\frac{1}{2}$ » » »	3 » » » » »	13 »
$\frac{1}{2}$ » » »	11 » » »	$2\frac{1}{2}$ » » » » »	14 »
$\frac{3}{4}$ » » »	19 » » »	$1\frac{1}{2}$ » » » » »	$21\frac{1}{4}$ »
1 » » »	22 » » »	1 » » » » »	24 »
1 » » »	28 » » »	$\frac{1}{2}$ » » » » »	$29\frac{1}{2}$ »
1 » » »	25 » » »	$\frac{1}{2}$ » » » » »	$26\frac{1}{2}$ »
1 » » »	27 » » »	$\frac{1}{2}$ » » » » »	$28\frac{1}{2}$ »

Uit de laatste proeven vooral blijkt, dat de stroom, waar hij zonder weêrstand is, ongeveer 5 maal zoolang duurt.

Op bloempapier, waar ik de proef op de openings- en sluitingsontladingen toepaste, duurde de ontlading bij openen en bij sluiten 16 trillingen en had het metaal-contact het volgende effect:

SLUITINGSONTLADINGEN.

OPENINGSONTLADINGEN.

Op papier.	Op metaal.	Op papier.	Samen.	Op papier.	Op metaal.	Op papier.	Samen.
1 trill.	$2\frac{1}{2}$ trill.	13 trill.	$16\frac{1}{2}$ trill.	1 trill.	1 trill.	$14\frac{1}{2}$ trill.	$16\frac{1}{2}$ trill.
$\frac{1}{2}$ »	6 »	12 »	$18\frac{1}{2}$ »	$\frac{3}{4}$ »	$3\frac{1}{2}$ »	12 »	$16\frac{1}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	10 »	10 »	$20\frac{1}{2}$ »	$\frac{3}{4}$ »	7 »	10 »	$17\frac{3}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	$10\frac{1}{2}$ »	10 »	21 »	$\frac{3}{4}$ »	9 »	9 »	$18\frac{3}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	12 »	7 »	$19\frac{1}{2}$ »	$\frac{3}{4}$ »	14 »	6 »	$20\frac{3}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	15 »	6 »	$21\frac{1}{2}$ »	$\frac{3}{4}$ »	$17\frac{1}{2}$ »	5 »	$23\frac{1}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	16 »	5 »	$21\frac{1}{2}$ »	$\frac{3}{4}$ »	18 »	5 »	$23\frac{3}{4}$ »

In een andere proef op velijnpapier, waar de driehoek zóó was uitgesneden, dat bij de eerste proeven de 1^{ste} vonk op koper viel en bij de latere op papier, verkreeg ik het volgende:

OPENINGSONTLADINGEN.

Op papier.	Op metaal.	Op papier.	Samen.
0 trillingen.	$\frac{1}{4}$ trillingen.	$5\frac{1}{2}$ trillingen.	$5\frac{3}{4}$ trillingen.
0 »	$1\frac{1}{2}$ »	$5\frac{1}{4}$ »	$6\frac{3}{4}$ »
0 »	$2\frac{1}{2}$ »	5 »	$7\frac{1}{2}$ »
0 »	$3\frac{1}{3}$ »	4 »	$7\frac{1}{2}$ »
0 »	$4\frac{1}{2}$ »	4 »	$8\frac{1}{2}$ »
0 »	7 »	$3\frac{1}{2}$ »	$10\frac{1}{2}$ »
0 »	8 »	$3\frac{1}{2}$ »	$11\frac{1}{2}$ »
op den rand	$9\frac{1}{2}$ »	3 »	$12\frac{1}{2}$ »
$\frac{1}{4}$ trillingen.	$9\frac{1}{2}$ »	$2\frac{1}{2}$ »	$12\frac{1}{4}$ »
$\frac{1}{2}$ »	18 »	2 »	$20\frac{1}{2}$ »
$\frac{1}{2}$ »	$15\frac{1}{2}$ »	2 »	18 »
1 »	15 »	2 »	18 »
1 »	17 »	2 »	20 »
$1\frac{1}{4}$ »	20 »	2 »	$23\frac{1}{4}$ »
$1\frac{1}{4}$ »	$21\frac{1}{2}$ »	$1\frac{1}{2}$ »	$24\frac{1}{4}$ »
$1\frac{3}{4}$ »	25 »	$\frac{1}{4}$ »	27 »

Deze proeven leeren ons twee feiten:

1° dat de stroom bij weêrstand = 0 langer duurt; 5 maal zoo lang zonder, als met den weêrstand van velijnpapier; ruim $1\frac{1}{2}$ maal zoo lang zonder, als met den weêrstand van bloempapier. Dit feit kon verwacht worden, want wij wisten reeds, dat dezelfde stroom van 4 cellen op velijnpapier $6\frac{1}{2}$ trillingen en op bloempapier 16 trillingen duurt.

2° dat de openings- en sluitingsinductiestroom even lang duren. Hiervoor spraken reeds alle ontladingen, doch deze proef op bloempapier bij geen weêrstand bewijst het ons weêr.

Deze beide feiten leiden ons van zelf tot de volgende vragen:

Welke voorstelling moet men zich van de ontlading vormen, om het eerste feit en tevens het boven gevondene,

dat de eerste interruptie grooter is naarmate de batterij sterker is, te verklaren?

Hoe kan men het 2^{de} feit overeenbrengen met de gewone theorie, dat de geheele werking van den openingsinductiestroom krachtiger is dan die van den sluitingsinductiestroom, omdat de duur korter is?

Ter beantwoording der 1^{ste} vraag wil ik geen hypothesen maken, want het is reeds vóór mij door anderen gedaan, waarop wij in 't Besluit zullen wijzen.

De beantwoording der 2^{de} vraag heb ik reeds boven gegeven (zie bl. 51).

Naast deze proeven staat de volgende van prof. Donders, waarbij de weêrstand nul door dien van mica is vervangen. Als men namelijk driehoeken van mica op het papier plakt, zoodat het stemvorkveertje gedurende een steeds langer gedeelte der ontlading over mica loopt, dan wordt de stroom verkort, naarmate de mica-weerstand langer duurt. Bij een proef op velijnpapier, waarop de openingsontlading van 4 cellen van Grove 7 trillingen duurde, waren 3 trillingen op mica voldoende om de rest der ontlading weg te doen blijven.

De gewone door mij gebruikte weêrstand was de luchtweêrstand tusschen de beide spitsen van een vonkenmicrometer, die in den geleiddraad van *a* of *b* met de stemvork werd gebracht. Met dezen weêrstand zijn vele proeven gedaan, want hierbij komen drie zaken duidelijk voor den dag:

1° de grootere mechanische werking der openingsontlading; 2° een vertraging, die klimt met den weêrstand, en 3° de invloed van den condensator.

Wij gebruikten hiervoor den volledigen Ruhmkorff, doch eerst zonder condensator, en 4 Grove'sche cellen. De vonkenmicrometer werd in den geleiddraad tusschen b en de stemvork gebracht. Het moment van sluiten of openen van den primairen stroom werd altijd geregistreerd bij micrometerafstand = nul.

Voor de openingsontladingen verkregen wij op veljnpapier (zie plaat VII):

Afstand der spitsen.	Duur der ontlading.	Vertraging.
0 millim.	6,4 trillingen.	0,05 trillingen.
1 »	4,8 »	0,05 »
2 »	4,5 »	0,05 »
3 »	4, »	0,05 »
4 »	4,3 »	0,05 »
5 »	3,2 »	0,05 »
6 »	3,2 »	0,06 »
7 »	2, »	0,06 »
8 »	2,5 »	0,12 »
9 »	2,5 »	0,15 »
10 »	1,5 »	0,32 »
11 »	1,9 »	0,33 »
12 »	1,8 »	0,35 »
13 »	1,6 »	0,44 »
14 »	1,5 »	0,51 »
15 »	1,2 »	0,60 »
16 »	0,5 »	0,72 »
17 »	0,25 »	0,68 »
18 »	0,50 »	0,74 »
19 »	1 vonk	0,74 »
20 »	0,2 »	0,74 »
21 »	1 vonk	0,70 »
22 »	1 »	0,70 »
23 »	niets	—

De duur der ontladingen neemt dus af met het toenemen van den weêrstand, doch niet evenredig. Zet men de weêrstanden als abscissen op een lijn af en neemt men den duur als ordinaten, dan verkrijgt men een lijn van parabolischen vorm.

De vertraging klimt met den weêrstand tot ongeveer $\frac{3}{4}$ trilling als maximum en schijnt dan niet verder toe te nemen, zooals men boven zien kan, en bovendien uit alle andere proeven blijkt. Men zou kunnen denken, dat men hier met een niet waarnemen der eerste vonk te doen had in plaats van met een vertraging, doch dit is bij de openingsontladingen niet mogelijk, want hier is de eerste vonk de krachtigste en de éénige, die tot 23 millimeter luchtweêrstand overgaat.

Bij deze resultaten houde men in 't oog, dat de weêrstand hier bestaat in een toenemenden luchtweêrstand en een constanten papierweêrstand (den gewonen draadweêrstand buiten rekening latende).

De ontladingen, die men bij dezen weêrstand verkrijgt, gelijken volkomen op de gewone, wat interrupties, aantal vonken, enz. betreft.

Brengt men den vonkenmicrometer tusschen δ en den cylinder, dan bemerkt men eerst geen verschil, doch bij grooteren weêrstand behoudt men de constante unipolaire ontlading van a (zie later), hetgeen te voorzien was.

De sluitingsontlading, die op dit velijnpapier, bij den micrometerafstand $= 0$, drie trillingen lang duurt, blijft met 2 millim. weêrstand reeds geheel weg. Bij 1 millim. weerstand kreeg ik soms nog één enkel vonkje. Ziedaar een kapitaal verschil met de openingsontladingen, die een luchtweêrstand van 22 millim. kunnen overwinnen.

Met dit spoedig ophouden der sluitingsontladingen alleen niet tevreden, willen wij eens zien, welke vonken dezer ontleding het eerst wegblijven, om tot het verloop der ontleding te kunnen besluiten.

Wij brengen daartoe den vonkenmicrometer op afstanden kleiner dan 1 en experimenteeren op bloempapier. Ziehier de resultaten met 3 Grove'sche cellen:

OPENINGSONTLADING.			SLUITINGSONTLADING.	
Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.	Duur.	Vertraging.
0 millim.	$8\frac{1}{2}$ trillingen.	$\frac{1}{20}$ trilling.	$8\frac{1}{4}$ trillingen.	$\frac{1}{20}$ trilling.
$\frac{1}{4}$ »	$4\frac{1}{2}$ »	$\frac{1}{20}$ »	4 »	$\frac{1}{8}$ »
$\frac{2}{4}$ »	4 »	$\frac{1}{20}$ »	niets	—————
$\frac{3}{4}$ »	4 »	$\frac{1}{20}$ »	»	—————
$\frac{4}{4}$ »	3 »	$\frac{1}{20}$ »	»	—————

Uit deze en vele andere proeven volgt dus, dat de één trilling lange sluitingsontlading, die met $\frac{1}{4}$ millim. luchtweêrstand nog komt, over de eerste en het begin der tweede trilling verdeeld is, zoodat men hieruit kan besluiten, dat de gewone ontleding van $8\frac{1}{4}$ trilling na een halve trilling ongeveer haar maximum heeft, zooals wij vroeger reeds beweerd hebben (zie bl. 52).

De openingsontladingen beginnen, evenals altijd, met een krachtige vonk.

Deze proeven met 3 cellen van Grove vertoonen de sluitingsontladingen als zeer zwak, doch in duur, bij den micrometerafstand nul, even lang als de openingsontladingen.

Met 10 cellen van Grove zijn ze krachtiger en kunnen dan reeds 5 millim. luchtweêrstand overwinnen.

Ziehier de resultaten op bloempapier:

OPENINGSONTLADINGEN.			SLUITINGSONTLADINGEN.		
Afstand der spilsen.	Duur.	Vertraging.	Duur.	Vertraging.	
1 millim.	15 trillingen.	$\frac{1}{20}$ trilling.	13 trillingen.	$\frac{1}{20}$ trilling.	
2 »	10 »	$\frac{1}{20}$ »	$7\frac{1}{2}$ »	$\frac{2}{20}$ »	
3 »	10 »	$\frac{1}{20}$ »	7 »	$\frac{3}{20}$ »	
4 »	9 »	$\frac{1}{20}$ »	7 »	$\frac{4}{20}$ »	
5 »	8 »	$\frac{1}{20}$ »	$6\frac{1}{2}$ »	$\frac{4}{20}$ »	
6 »	8 »	$\frac{1}{10}$ »	niets	_____	
7 »	7 »	$\frac{1}{10}$ »	»	_____	

Karakteristiek is het op ééns wegblijven van de $6\frac{1}{2}$ trillingen lange sluitingsontlading na 5 millim. luchtweêrstand bij verschillende proeven. Hierbij komt nog iets:

De sluitingsontlading, die, zonder luchtweêrstand onderzocht, geen eigenlijke interrupties vertoont, maar periodisch krachtiger vonken, bestaat bij luchtweêrstand van 1, 2, 3, 4 en 5 millim. uit een ontlading, die met $\frac{1}{2}$ trilling lang zwakke toenemende vonken begint en dan 4 trillingen lang interrupties heeft, zoodat er maar een paar vonken op 1 trilling komen; daarna komen nog 2 of $2\frac{1}{2}$ trillingen lang stijf naast elkaar gelegen vonken van 20 op 1 trilling ongeveer. Beide feiten bewijzen onze vroegere opgave van het verloop van den sluitingsstroom in 3 perioden.

Doet men dezelfde proeven met den condensator, dan bemerkt men twee groote verschillen. Vooreerst kan men veel verder gaan met den weêrstand bij de openingsontlading en de vertraging is veel geringer.

De condensator werd in den primairen stroom opgenomen door den koperen knop *C* met *D* en *B* met *A* te verbinden.

Met een batterij van 4 Grove'sche cellen deed ik een half uur na elkaâr de twee volgende proeven op bloempapier, terwijl de batterij reeds 5 uren gewerkt had, zoo-

dat haar sterkte niet veel kan veranderd zijn gedurende deze beide proeven.

OPENINGSONTLADINGEN.

ZONDER CONDENSATOR.			MET CONDENSATOR.		
Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.	Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.
0 millim.	13 trill.	0,05 trill.	0 millim.	13 trill.	0,05 trill.
2 »	$5\frac{1}{4}$ »	0,05 »	2 »	$5\frac{1}{2}$ »	» »
4 »	4 »	0,07 »	4 »	$4\frac{1}{2}$ »	» »
6 »	$3\frac{1}{2}$ »	0,10 »	6 »	$3\frac{1}{2}$ »	» »
8 »	3 »	0,14 »	8 »	3 »	» »
10 »	$2\frac{1}{2}$ »	0,10 »	10 »	$2\frac{2}{3}$ »	» »
12 »	2 »	— »	12 »	2 »	» »
14 »	$1\frac{1}{2}$ »	0,13 »	14 »	$1\frac{1}{2}$ »	» »
16 »	1 »	0,12 »	16 »	$1\frac{1}{2}$ »	» »
18 »	1 »	0,20 »	18 »	$1\frac{1}{2}$ »	» »
20 »	$\frac{1}{2}$ »	0,27 »	20 »	$1\frac{1}{4}$ »	» »
22 »	$\frac{1}{8}$ »	0,42 »	22 »	$1\frac{1}{4}$ »	» »
24 »	één vonk	0,48 »	24 »	$1\frac{1}{4}$ »	» »
26 »	niets	— »	26 »	1 »	» »
			28 »	1 »	» »
			30 »	$\frac{3}{4}$ »	0,09 »
			32 »	$\frac{3}{4}$ »	— »
			34 »	$\frac{3}{4}$ »	0,09 »
			36 »	$\frac{1}{2}$ »	0,10 »
			38 »	$\frac{1}{2}$ »	0,10 »
			40 »	$\frac{1}{8}$ »	0,10 »
			42 »	één vonk	0,10 »
			44 »	»	—

De condensator versnelt dus den openingstroom, verlengt zijn duur en doet hem grooteren weêrstand overwinnen.

De sluitingsontladingen bleven in beide gevallen bij 2 millim. weêrstand geheel weg.

Op velijnpapier verkreeg ik met 4 sterker cellen het volgende :

OPENINGSONTLADINGEN.

ZONDER CONDENSATOR.			MET CONDENSATOR.		
Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.	Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.
25 millim.	één vonk	0,62 trill.	25 millim.	1 trill.	0,17 trill.
30 »	niets	—	30 »	2 vonken	0,14 »
35 »	»	—	35 »	1 »	— »
			40 »	1 »	0,20 »
			45 »	1 »	0,22 »
			50 »	1 »	0,20 »
			55 »	1 »	0,21 »
			60 »	1 »	0,20 »
			65 »	1 »	0,25 »

waarbij het boven gezegde nog sterker uitkomt.

§ 5. INDUCTIESTROOMEN, DOOR EEN LEIDSCH FLESCHE VERSTERKT (zie Pl. VIII).

Het versterken der ontladingen van de inductiestroomen door een Leidsche flesch is een bekende zaak.

Wij plaatsten de flesch tusschen a en b (zie plaat I), zoodat a met het buitenbekselsel en b met het binnenbekselsel der flesch verbonden was, of omgekeerd, hetwelk geen verschil oplevert.

De geïnduceerde electriciteit, die dan uit de einden a en b der secundaire spiraal komt, verbreidt zich over de bekselselen der flesch; die van a over het buitenbekselsel, die van b over het binnenbekselsel, waar ze zich condenseert, doch oogenblikkelijk daarna door de geleidingen $a G$ en $b S$ tusschen stemvorkveer en cylinder ontlaaft. Dat ze niet terugkeert in de secundaire spiraal, blijkt uit de proeven.

Deze ontladingen zijn veel krachtiger dan de gewone,

ofschoon ze minstens even lang duren. De afzonderlijke vonken hebben een ander aanzien: ze zien er woester uit; de witte plekken om de gaatjes zijn veel grooter en vloeien ineen. De gaatjes hebben ook een geheel ander karakter: waren zo vroeger uitgebrand, nu gelijken ze op gaatjes, die met een scherpe punt in het papier zijn gestoken, zoodat het papier er om heen een opstaanden rand vertoont, en wel altijd opstaande bij openen zoowel als bij sluiten, zoowel wanneer *a*, als wanneer *b* met de stemvork verbonden is, zoodat men zou denken, dat de electriciteit steeds van den cylinder door het papier naar het stemvorkveertje ging, hetgeen toch onmogelijk altijd kan plaats hebben. Doch men moet hier voorzichtig wezen, om de richting te willen definiëeren, want er is meer te zien. De vonken zijn verbonden; het is even alsof elke vonk een staart heeft, die haar met de volgende verbindt of ook wel met een volgende, die geen gaatje heeft geslagen; zoodat het mij voorkomt, alsof de komende electriciteit een gaatje slaat en de keerende door datzelfde gaatje haar weg terugneemt.

Het aantal vonken is op velijnpapier kleiner dan bij de ontladingen zonder Leidsche flesch, maar wij hebben hier een andere verdeeling. Vooreerst zijn er geen interrupties, zoodat de ontlading op mailpapier b. v. direct met een twintigtal vonken op één trilling begint. Dat aantal wordt naar het eind der ontlading kleiner en op de laatste trillingen komen er maar 6 of 8 of nog minder, terwijl de ontladingen in hetzelfde geval, maar zonder flesch in den stroom, veel interrupties vertoonen en het aantal vonken naar het eind grooter wordt.

Op bloempapier, waarop ik met en zonder Leidsche flesch met 5 Grove'sche cellen naast elkaâr registreerde, was dit onderscheid ook duidelijk te zien:

OPENINGSONTLADINGEN.

MET LEIDSCH FLESCHE.		ZONDER LEIDSCH FLESCHE.	
Geheele duur.	Aantal vonken.	Geheele duur.	Aantal vonken.
14½ trill.	op de 1 ^{ste} trill. 24	13 trill.	op de 1 ^{ste} trill. 10
» »	3 ^{de} » 24	» »	3 ^{de} » 12
» »	7 ^{de} » 20	» »	7 ^{de} » 20
» »	12 ^{de} » 12	» »	12 ^{de} » 24
» »	laatste » 8		

SLUITINGSONTLADINGEN.

MET LEIDSCH FLESCHE.		ZONDER LEIDSCH FLESCHE.	
Geheele duur.	Aantal vonken.	Geheele duur.	Aantal vonken.
13 trill.	op de 1 ^{ste} trill. 30 ongeveer.	12½ trill.	op de 1 ^{ste} trill. 30 ongeveer.
» »	3 ^{de} » 30 »	» »	3 ^{de} » 30 »
» »	7 ^{de} » 30 »	» »	7 ^{de} » 30 »
» »	12 ^{de} » 12 »	» »	12 ^{de} » 40 »

Bij de openingsontladingen zonder Leidsche flesch ziet men bovendien enkele grootere vonken, doch bij die met de Leidsche flesch nemen ze geregeld in grootte en aantal af.

De vertraging is in beide gevallen ongeveer dezelfde.

De geheele duur der ontladingen is met Leidsche flesch iets langer, zooals uit bovenstaande cijfers blijkt.

Brengt men een vonkenmicrometer in den geleiddraad 68, dan blijven de sluitingsontladingen weg. De openingsontlading geeft een harden slag en registreert op het papier enkele vonken met groote dofwitte plekken er om heen, waarvan er bij 25 millim. afstand der spitsen en zonder condensator nog maar ééne overgaat, die $\frac{3}{4}$ trilling vertraging heeft. Grooteren weêrstand kan deze ontlading niet overwinnen, terwijl de ontlading zonder

Leidsche flesch in dit geval een luchtweêrstand van 40 m.M. kon overwinnen en dan dezelfde vertraging had.

Resumeeren wij deze resultaten, dan blijkt ons, dat de ontladingen, met Leidsche flesch in den stroom, krachtiger zijn, geen interrupties hebben, iets langer zijn dan de gewone, dat het aantal vonken kleiner is en afneemt naar het eind der ontlading en dat deze minder luchtweêrstand dan de gewone kunnen overwinnen.

Dat deze ontladingen zóó afwijken van de gewone, verwondert ons niet, want wij hebben hier te doen met geheel andere; de electriciteit raakt eerst opgehoopt op de bekleedselen der Leidsche flesch en ontleedt zich dan.

§ 6. INVLOED DER OPENINGS- EN SLUITINGSSTROOMEN OP ELKAÂR.

De methode van ons onderzoek is er op ingericht, om altijd de openings- en sluitingsontladingen uit elkaar te houden, ten einde ze elk afzonderlijk te kunnen onderzoeken. Wat er gebeurt, als beide stroomen op elkaar kunnen inwerken, is à priori wel te voorzien; want hoe wij ons de inductie-werkingen ook mogen voorstellen, die bij opening moeten toch altijd in tegengestelden zin van die bij sluiting genomen worden, zoodat een wederzijdsche opheffing of omkeering bij deze proeven te verwachten is. Sluit men b. v. den primairen stroom, dan wordt de kern magnetisch en induceert een stroom in de secundaire spiraal; wordt nu geopend, vóór dat de kern het maximum van magnetisme heeft aangenomen, dan heeft er of een omkeering, of een geheele of gedeeltelijke vernietiging van magnetisme plaats en dus ook van den inductiestroom. Het is maar de vraag, hoe

snel deze omkeering of vernietiging van stroomen kan plaats hebben.

Door strookjes papier op het koper, of van bladtin op het ivoor van den ring van den cylinder te plakken, gelukte het mij zeer goed, sneller na elkaâr te sluiten en te openen, dan de tijd, waarin de stroomen kunnen verlopen. De gewone openingsontlading van 10 niet sterke Grove'sche cellen duurde op mailpapier 8 trillingen en de sluitingsontlading 6 trillingen, terwijl het openen soms minder dan één trilling na het sluiten plaats had.

Werd $\frac{1}{2}$ trilling na het sluiten van den primairen stroom weêr geopend, dan bleef de verdere sluitingsontlading en ook de geheele openingsontlading weg: had dit na $\frac{3}{4}$ trilling plaats, dan verkreeg ik $\frac{1}{2}$ trilling lang openingsvonken. Evenzoo in het andere geval: werd 2 trillingen, nadat de primaire stroom geopend was, weêr gesloten, dan verkreeg ik niets; werd na 3 trillingen gesloten, dan verkreeg ik 2 trillingen lang sluitingsvonken, die zeer snel optraden. De openingsvonken krimpen bij de omkeering snel in, en $\frac{1}{10}$ trilling na het laatste zeer kleine openingsvonkje komt reeds de eerste sluitingsvonk, zoodat de overgang van de ééne ontlading tot de andere in $\frac{1}{10}$ trilling plaats heeft.

Een vrij regelmatige reeks (overigens bij deze methode niet naar verkiezing te verkrijgen) geeft onderstaande tabel:

Een	openingsontlading	van	2	trillingen	en	dan	sluiten,	geeft	niets.	
»	»	»	3	»	»	»	»	2	trillingen	sluitingsontlading.
»	»	»	$3\frac{1}{2}$	»	»	»	»	$2\frac{1}{2}$	»	»
»	»	»	4	»	»	»	»	3	»	»
»	»	»	5	»	»	»	»	4	»	»

De eerste regel dezer tabel bewijst nog niet zoo rechtstreeks, dat er vernietiging heeft plaats gehad, doch ik

heb er nader de proef van genomen. Werd namelijk na 3 trillingen weêr geopend, dan had deze stroom weêr zijn normalen duur van 8 trillingen, hetgeen toch onmogelijk zou zijn, als er nog eenige confuse werking plaats had gehad.

Deze proeven leeren ons weêr de verbazende snelheid der electriciteit, omdat zich de ommekeer van stroom in den korten tijd van $\frac{1}{20}$ trilling of $\frac{1}{4920}$ sec. tot aan het eind der 100000 meter lange secundaire spiraal kan voortplanten.

Voor sommige physiologische proeven zijn deze resultaten in een ander opzicht van gewicht: als men een vonkenmicrometer in den geïnduceerden stroomgeleider brengt en de spitsen op zulk een afstand stelt, dat er maar één vonk overgaat, dan kan men, terstond daarna sluitende, na $\frac{1}{50}$ sec. een tweede openingsvonk verkrijgen van gelijke sterke.

§ 7. UNIPOLAIRE INDUCTIE.

Tot nu toe hebben wij in ons onderzoek de beide uiteinden der secundaire spiraal vereenigd, of op zóó geringen afstand gebracht, dat de ontladingsvonk van den geïnduceerden stroom den sprong kon doen. Nu echter is de vraag aan de orde, of er aan de einden der niet gesloten secundaire spiraal inductiewerking is waar te nemen. Zooals wij van elders reeds weten, is dit werkelijk het geval. Deze spanningsverschijnselen bestempelt du Bois-Reymond (*Jahresberichte*, 1845) met den naam van unipolaire inductie, niet te verwarren met de inductie van denzelfden naam, die door draaiing

van een magneet om zijn as ontstaat, en door Weber is onderzocht.

Om de unipolaire ontladingen te registreeren, verbonden wij *a* of *b* met de stemvork, terwijl de andere geïsoleerd bleef.

Deze ontladingen duren kort, doch bestaan eveneens uit afzonderlijke vonkjes.

Met 10 cellen van Grove verkreeg ik op mailpapier, als *a* met de stemvork verbonden was en *b* geïsoleerd, een sluitingsontlading, die zeer zwak en slechts $\frac{1}{4}$ trilling lang 4 vonkjes gaf, doch een openingsontlading van $1\frac{1}{2}$ trillingen; als *b* met de stemvork verbonden en *a* geïsoleerd was, eene sluitingsontlading van $1\frac{1}{4}$ trillingen en een openingsontlading van $1\frac{1}{2}$ trillingen.

Verbindt men, terwijl de ééne electrode met de stemvork verbonden is, de andere met de gasleiding, dan zijn de ontladingen reeds veel krachtiger:

<i>a</i> geeft dan bij sluiting	een ontlading van	$2\frac{1}{2}$	trillingen.
" opening	"	"	$4\frac{1}{2}$ "
<i>b</i> geeft dan " sluiting	"	"	$5\frac{1}{2}$ "
" opening	"	"	4 "

Een bijzonderheid, die alleen aan de unipolaire ontladingen eigen schijnt te zijn, is de volgende. De ontladingen, die zonder verbinding van *a* of *b* met de gasleiding plaats hebben, bestaan kennelijk uit twee gedeelten: het 1^{ste} gedeelte begint met een tamelijk krachtige vonk; de volgende vonken nemen af, totdat de ontlading een halve trilling ongeveer geduurd heeft; dan volgt een interruptie en daarna het 2^{de} gedeelte, dat met het 1^{ste} geheel overeenkomt, doch wat krachtiger vonken heeft.

Dat de unipolaire ontladingen niet zoo zwak zijn, als ze schijnen, blijkt uit de proeven met weêrstand, en dan treedt weêr bovenstaande bijzonderheid in een anderen vorm op.

Bracht ik, namelijk, een vonkenmicrometer in den geleiddraad tusschen *a* en de stemvork, terwijl *b* geïsoleerd was, en daarna in den geleiddraad tusschen *b* en de stemvork, terwijl *a* geïsoleerd was, dan verkreeg ik met klimmenden weêrstand de volgende resultaten op mailpapier:

OPENINGSONTLADINGEN.

Van <i>a</i> .			Van <i>b</i> .		
Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.	Afstand der spitsen.	Duur.	Vertraging.
0 millim.	1 trill.	$\frac{1}{20}$ trill.	0 millim.	1 trill.	$\frac{1}{20}$ trill.
2 »	1 »	$\frac{2}{20}$ »	2 »	1 »	$\frac{2}{20}$ »
4 »	1 »	$\frac{3}{20}$ »	4 »	$\frac{3}{4}$ »	$\frac{3}{20}$ »
6 »	$\frac{1}{2}$ »	$\frac{10}{20}$ »	6 »	$\frac{3}{4}$ »	$\frac{3}{20}$ »
8 »	$\frac{1}{4}$ »	$\frac{11}{20}$ »	8 »	$\frac{1}{4}$ »	$\frac{12}{20}$ »
10 »	$\frac{1}{4}$ »	$\frac{11}{20}$ »	10 »	$\frac{1}{4}$ »	$\frac{14}{20}$ »
12 »	één vonk	$\frac{12}{20}$ »	12 »	$\frac{1}{4}$ »	$\frac{14}{20}$ »
14 »	» »	$\frac{13}{20}$ »	14 »	één vonk	$\frac{14}{20}$ »
16 »	» »	$\frac{13}{20}$ »	16 »	» »	$\frac{15}{20}$ »
18 »	niets	— »	18 »	niets	— »

De ontlading van *a* maakt bij den 4 tot 6 millim. grooten afstand der spitsen een sprong in duur en vertraging, waarvan de reden is, dat het 1^{ste} gedeelte (zie boven) dan weg blijft, nadat het bij de vorige ontladingen reeds ingekrompen was. Evenzoo heeft dit plaats bij de ontlading van *b* bij den 6 tot 8 millim. grooten afstand der spitsen.

Met den condensator kan de unipolaire inductie

een weêrstand van 38 millim. overwinnen. Hierbij herhalen zich de eigenschappen van den condensator, die op bl. 70 gegeven zijn.

§ 8. BEELDEN DER ONTLADINGSVONKEN.

(Zie pl. IX en X.)

Door een kleine wijziging in onze methode is het mij gelukt, zeer fraaie afbeeldingen van de enkele vonken der ontlading van de geïnduceerde stroomen op 't papier te verkrijgen, die als tegenhangers van Feddersen's beelden van gewicht zijn.

Laat men de beide uiteinden der geïnduceerde spiraal, die in scherpe punten uitloopen, op den cylinder schrijven, zoo als wij in § 3^b reeds deden, dan wordt de stroom door een dubbele reeks vonken geregistreerd. De stroom gaat dan uit de ééne electrode door het papier, door een gedeelte van den cylinder, weêr door het papier in de andere electrode over, of omgekeerd.

Brengt men echter de uiteinden zóó dicht bij elkaâr, dat de electriciteit den weg óver het papier verkiest boven dien van tweemaal dóór het papier, dan gaat ze tusschen de uiteinden vlak over 't papier, vooral als de electroden met de punten naar elkaâr toe zijn gekeerd, en is gedwongen haar weg in het roet te teekenen. Elke vonk teekent dan haar weg af, en de geheele ontlading bestaat uit een reeks van afbeeldingen.

Deze weg bestaat uit drie gedeelten. Het middelste hiervan vertoont zich als een scherp zwart lijntje, gevormd door roet, dat is blijven liggen, zooals men onder het microscoop duidelijk zien kan; ter weêrszijden hiervan is het roet in loodrechte richting weggespat, zoodat

twee witte zoomen het zwarte lijntje begrenzen. Het is alsof de vonk zelf geen mechanische werking uitoefent, doch wel de verhitte lucht, die aan weërszijden uitwijkt en het roet wegveegt. Bij zeer snelle draaiing wordt elke openings- en sluitingsontlading in een reeks van deze vonkenbeelden geanalyseerd.

Bij de ontladingen zonder Leidsche flesch in den geïnduceerden stroom beginnen deze met een enkele vonk; dan volgt een interruptie van eenige trillingen lang en later komen verscheiden vonken stijf naast elkaâr. Deze lange interrupties moeten gedeeltelijk toegeschreven worden aan vonken, die men op eenigen afstand van het papier, niet tusschen de uiteinden der electroden ziet overspringen, niettegenstaande de weg tusschen de uiteinden de kortste is.

Plaatst men de schrijvende electroden op zulk een afstand, dat de weêrstand door papier en cylinder gelijk is aan dien door het roet over 't papier, dan verkrijgt men afwisselende ontladingen. De ontladingen door het papier zijn, evenals vroeger in § 3^b, aangegeven door gaatjes op de geschreven rechte lijnen door witte plekken omgeven, de ontladingen over 't papier door de drie bovengenoemde gedeelten. Zoodoende kan men afwisseling in een zelfde ontlading verkrijgen en bemerkt dan spoedig, dat de zwarte lijn het gaatje vervangt en de witte zoomen de witte plek om het gaatje.

Brengt men een Leidsche flesch in den geïnduceerden stroom, dan worden de vonken veel krachtiger, doch vormen dezelfde beelden. Deze ontladingen hebben plaats in vonken zonder interrupties, (zie bl. 72) zoodat ze zeer regelmatig worden en een reeks van ellipsvormige figuren vertoonen, die vooral fraai uitkomen, als de schrijvende punten het papier maar even raken. Laat men de punten niet schrijven,

maar het roet er dicht langs bewegen, dan verkrijgt men, in plaats van ellipsen, dof witte banden, die volkomen op de afbeelding van Feddersen van de ontlading eener met statische electriciteit geladen Leidsche flesch gelijken. (Zie pl. VII fig. 20 in de P. A. CXIII). Plaatst men de uiteinden dicht bij elkaâr op den cylinder, dan verkrijgt men bij zeer snelle draaiing meer cirkelvormige beelden, omdat de zwarte lijn en de witte zoomen breeder worden.

Om de beelden zeer fraai en groot te verkrijgen, liet ik de electriciteit langere wegen afleggen. Ik omkleedde daarvoor den cylinder met dik papier, zoodat, terwijl ik de electroden veel verder van elkaâr bracht (1 centim.), de electriciteit toch over, in plaats van door het papier, ging. De duur der ontladingen neemt dan af en ook het aantal vonken, doch deze zijn veel langer en breeder. Het beeld der ontlading van iedere vonk in drie evenwijdige gedeelten blijft dan eens bestaan en vormt een zigzaglijn, een vertakte, of een kromme lijn; dan weêr lost het zich op in twee symmetrische, of ook wel niet symmetrische deelen, die twee tegen elkaâr ingaande vlammen vertoonen.

Hoe fraai en gedetailleerd deze beelden der ontlading mogen zijn, het is mij onmogelijk, nu reeds de feiten aan te geven, die als constant mogen beschouwd worden. Vorm van de electroden, onderlinge afstand, meer of mindere drukking op het papier, enz. zijn hier te zeer van invloed, om het beeld in zijn algemeenen vorm te schetsen. De afbeeldingen op pl. IX en X geven ook maar enkele vormen terug.

Zeker is het, dat deze beelden in fijnheid en details voor die van Feddersen niet behoeven onder te doen, zoodat ik van plan ben, volgens deze methode, doch met

verbeterde instrumenten, een geheel nieuwe reeks van proeven te nemen.

De lezer beschouwe dus deze laatste proeven als de eerste eener nieuwe reeks, waarvoor ik tijd en gelegenheid hoop te vinden.

Algemeene opmerking. De lezer zou de opmerking kunnen maken, dat al de in dit hoofdstuk vermelde feiten misschien zeer juist de eigenschappen van den door mij gebruikten grooten inductor van Ruhmkorff terug geven, doch minder de eigenschappen van de geïnduceerde galvanische stroomen in 't algemeen. Ter geruststelling wil ik daarom mededeelen, dat ik ook met een kleineren inductor van Ruhmkorff en met het „schlittenapparat” van du Bois-Reymond proeven heb gedaan, die analoge resultaten opleverden; doch deze inductoren werkten te zwak, om de stroomen onder alle omstandigheden goed na te kunnen gaan.

VIJFDE HOOFDSTUK.

OVERZICHT EN BESLUIT.

Terwijl ik voor de vele bijzonderheden naar de vorige bladzijden verwijs, wil ik hier in 't kort de voornaamste gevonden feiten bij elkaar voegen:

1°. De zuivere Volta-inductiestroomen zijn zeer zwak (nauwlijks voelbaar), duren op bloempapier bij sluiting 0,002 secunde en bij opening 0,0013 secunde. In deze proeven bestond de induceerende batterij uit 10 cellen van Grove, de primaire spiraal uit 30 meter omsponnen koperdraad van $2\frac{1}{4}$ m.M. dik en de secundaire spiraal was die van den grooten inductor van Ruhmkorff.

Deze ontladingen bestaan, evenals alle volgende, uit afzonderlijke vonken; de vertraging der ontlading, d. i. de tijd tusschen het openen of sluiten van den primairen stroom en de eerste vonk van den inductiestroom, is bij openen iets geringer dan bij sluiten, — in beide gevallen minder dan $\frac{1}{20}$ trilling (1 trilling = $\frac{1}{246}$ secunde).

2°. Brengt men ijzerkernen in deze primaire

spiraal, dan worden de geïnduceerde stroomen veel krachtiger en van langeren duur. Een staaf van 82 c.M. lengte en 2,2 c.M. dikte geeft, met dezelfde induceerende batterij, stroomen, die op bloempapier bij sluiten 10 trillingen en bij openen $10\frac{1}{2}$ trillingen duren. De vertraging der ontlading is weêr bij openen geringer dan bij sluiten. De openingsstroomen kunnen een luchtlaag van 14 m.M. overwinnen; die bij sluiten maar van 6 m.M. Brengt men, in plaats van de staaf, een bundel van 45 draden $53\frac{1}{2}$ c.M. lang en 1 m.M. dik ijzerdraad in de prim. spiraal, dan verkrijgt men geïnduceerde stroomen van korteren duur dan met een staaf; doch dezelfde bijzonderheden herhalen zich.

3°. De volledige Ruhmkorff geeft de krachtigste stroomen en leert ons de volgende feiten:

a. De ontladingen hebben plaats in honderden afzonderlijke vonken, die in het begin met interrupties, doch later geregeld op elkaâr volgen, toenemen in aantal en afnemen in grootte. Van de openingsontladingen is de eerste vonk de krachtigste, van de sluitingsontladingen de vonken der 2^{de} trilling.

b. De duur der sluitings- en openingsontladingen is gelijk, als namelijk de weêrstand gering is; op bloempapier b. v. duren ze beide 17 à 18 trillingen. Sneller openen of sluiten heeft op den duur geen merkbaar invloed. De duur der ontladingen neemt toe met het aantal cellen der batterij, doch niet in evenredigheid.

c. De interrupties der ontladingsvonken komen of in de sluitingsontladingen of in de openingsontladingen het meest voor, al naardat de electrode *a* met de stemvork of met den cylinder is verbonden; als men echter beide electroden op den cylinder laat schrijven, dan komen in beide dubbele registraties der ont-

ladingen toch interrupties voor, zoodat ze een gevolg moeten wezen van de beweging der electriciteit in de geleiders. De eerste interruptie der openingsontladingen neemt regelmatig toe met de sterkte der batterij, die der sluitingsontladingen ook, doch minder regelmatig.

d. De vertraging der openingsontladingen is $\frac{1}{20}$ trilling of minder; die der sluitingsontladingen $\frac{1}{10}$ trilling of minder.

e. Proeven zonder weêrstand (als de uiteinden der secundaire spiraal in metallisch contact zijn) leeren, dat dan alle ontladingen veel langer duren; terwijl omgekeerd groote weêrstand, b. v. van mica, den duur verkort.

f. Moeten de ontladingen een luchtlaag tusschen de spitsen van een vonkenmicrometer overwinnen, dan blijven bij de krachtigste stroomen de sluitingsontladingen reeds bij een afstand van 5 m.M. der spitsen geheel weg. Met toenemenden luchtweêrstand neemt de openingsontlading geregeld in duur af en vertoont een toenemende vertraging. De invloed van den condensator is hierbij zeer merkbaar: openingsstroomen, die bij een afstand der spitsen van 24 m.M. tot één vonk zijn gereduceerd en 0,48 trilling vertraging hebben, kunnen met den condensator een afstand der spitsen van 42 m.M. overspringen en hebben dan maar 0,1 trilling vertraging.

g. Een Leidsche flesch, in de secundaire geleiding gebracht, versterkt schijnbaar de ontladingen, omdat ze meer geraas maken en haar vonken krachtiger merkteekens op het papier hebben, doch deze ontladingen kunnen geen zoo grooten weêrstand overwinnen als de gewone. Het aantal vonken neemt

naar het eind der ontladingen in aantal af en ze volgen zonder interrupties op elkaar.

h. Sluit en opent men zóó snel na elkaar, dat de inductiestroomen geen tijd hebben, om geregeld te verloop en, dan verkrijgt men geheele of gedeeltelijke opheffing van werking, en een plotselinge overgang (in $\frac{1}{2}$ trilling) van de ééne ontlading tot de andere.

i. De unipolaire ontladingen zijn kort van duur ($1\frac{1}{2}$ trilling), bestaan ook uit afzonderlijke vonken en kunnen bijna even grooten weerstand overwinnen als de gewone ontladingen. Beide uiteinden der secundaire spiraal geven dezelfde ontladingen. Men kan den duur van de ontlading aan één der beide einden verlengen, door het andere met de aarde te verbinden.

k. De beelden der ontladingen, die als een verdere analyse der vonken kunnen beschouwd worden, hebben ons, behalve de reeds gevonden feiten, tot nu toe niets naders geleerd omtrent de ontladingswijze, dan dat de vonk zelf geen mechanische werking schijnt uit te oefenen, maar wel de lucht, waardoor ze gaat.

Dit overzicht der feiten doet ons zien, dat niet alleen het toetsen der theorie het doel mijner proeven is geweest, maar dat ik alle verschijnselen, die de natuur volgens onze uitmuntende methode van waarnemen wilde opleveren, heb opgeteekend.

Toch heb ik de mathematische theorie als basis van verdere beschouwingen voorop gesteld, ook omdat ze toch door sommige der gevonden feiten bevestigd wordt. De resultaten der zuivere Volta-inductie stemmen met die van Bectz (zie het III^{de} Hoofdstuk, B) vrij wel overeen, ofschoon onze methode voor het waarnemen dezer zwakke stroomen niet de beste is. De berekening

van du Bois-Reymond, in het II^{de} Hoofdstuk gegeven, wordt door onze waarnemingen bevestigd.

Verder dan de zuivere Volta-inductie is de mathematische theorie nog niet gegaan; zoodra men ijzerkernen in de primaire spiraal brengt, om krachtige inductiestroommen te verkrijgen, komt men in zeer samengestelde gevallen, die nog niet mathematisch behandeld zijn.

Omtrent den invloed der magnetische kernen bij de versterkte stroommen, die in § 3 van het IV^{de} Hoofdstuk ook zoo sprekend optreedt, vindt de lezer, in het III^{de} Hoofdstuk B, andere waarnemingen en tevens de oorzaken voor het verschillend verloop dezer inductiestroommen.

Verscheiden nieuwe feiten staan echter geheel op zich zelve en kunnen dienen tot den opbouw eener theorie der electriche ontladingen, waarvoor reeds meer bouwstoffen geleverd zijn.

Onder deze nieuwe feiten reken ik:

1°. De ontlading in enkele vonken, die zich ook in de beelden van § 8 vertoont

2°. Het toenemen in aantal dezer vonken naar het eind der ontladingen.

3°. De even lange duur der sluitings- en openingsontladingen, bij geen en bij geringen weêrstand, terwijl toch de openingsontladingen veel grooteren weêrstand kunnen overwinnen.

4°. De interrupties, — vooral het toenemen der eerste interruptie met de sterkte der batterij.

5°. De verlenging der ontladingen door metaalcontact der electroden en de verkorting door weêrstand b. v. van mica.

6°. Het toenemen der vertraging bij klimmenden weêrstand.

Omtrent deze feiten wil ik het volgende opmerken.

Wij leeren de inductiestroomen kennen uit hun uitwerkselen. Hiervan zijn de licht- en warmteverschijnselen, de physiologische en magnetische werkingen reeds goed bestudeerd. Ik heb mij uitsluitend bepaald tot een methode, die ons vooral de mechanische werkingen leert kennen, en het is dus niet vreemd, dat wij hier feiten vinden, die ons een voorstelling van een mechanische ontlading geven, als de meeste andere methoden niet geven konden.

Dit is de oscilleerende ontlading.

Dat deze bij de ontlading eener met statische electriciteit geladen Leidsche flesch plaats heeft, is reeds door Feddersen bewezen (P. A. CXIII en CXVI), die door een snel draaienden spiegel het beeld der vonk op een photographisch geprepareerde plaat wierp en zoo een gestreept beeld verkreeg, dat op heen- en weergangen der electriciteit wees.

Voor de ontladingen der geïnduceerde galvanische stroomen kan ik ter analogie op de recente proeven van Helmholtz wijzen, waarvan onder den titel „Ueber die elektrische Oscillationen” in de Verhandlungen des naturhistorischen medizinischen Vereins zu Heidelberg, 1869, een résumé voorkomt. Helmholtz kon aan een kikvorschzenuw 45 maxima en minima van de ontlading tusschen de bekleedselen eener Leidsche flesch waarnemen, en ook de unipolaire ontladingen zonder Leidsche flesch gaven hem deze oscillaties.

Ik goef deze aanwijzingen alleen met het doel, om een nadere beschouwing mijner feiten uit te lokken, zeer goed wetende, dat aan meer bevoegde rechters de beslissing toekomt, of werkelijk mijn proeven iets kunnen bijdragen tot de kennis der nog zoo raadselachtige elektrische verschijnselen.

OPMERKINGEN OMTRENT DE PHOTOGRAPHIEËN.

Negen proeven uit den rijken voorraad mogen voldoende zijn, om de taal der trillingen verstaanbaar te maken en tevens eenige der voornaamste ontladingen te doen zien, zoo als ze zich werkelijk vertoonen.

Ik moest mij wegens de geringe potentiëele energie der beurs tot een klein aantal bepalen, terwijl ik verder in de keus geleid werd door de volgende omstandigheden:

1°. Alleen het velijn- en mailpapier, niet het bloempapier, leenden zich tot de photographische behandeling, zoodat geen der delicate proeven op bloempapier zijn overgenomen.

2°. Sommige stroomen registreerden zich zóó zwak, b. v. die der zuivere Volta-inductie en der unipolaire inductie, dat een beschrijving beter voldeed dan een afbeelding.

3°. Enkele feiten vertoonden zich alleen onder het microscoop en verdwenen in de photographie.

4°. Andere feiten kwamen eerst voor den dag na eliminatie der bijomstandigheden uit gevarieerde proeven, waarvan een enkele niets kon leeren.

Tot recht begrip der methode moet men in 't oog houden, dat de photographieën negatieve beelden zijn, want de origineele proeven vormen witte figuren op een zwart veld. Alle ontladingen gaan van links naar rechts in deze afbeeldingen.

De ongeregelde of ontijdige ontladingen, die op plaat II onderaan en in de 6de registratie van onderen, op plaat IV links

onderaan en op plaat VIII in het midden voorkomen, zijn ontstaan door geringe sporen van onzuiverheden op den cylinderring, die zich nu en dan vormden.

Omtrent de afzonderlijke platen moet ik vermelden:

Plaat II en III geven de gewone ontladingen op mailpapier bij verbinding van *b* met de stemvork en van *a* met den cylinder (zie § 3^b). De vonk op de rechte lijn geeft het moment van sluiten of openen van den primairen stroom. Bij deze verbinding komen de meeste interrupties in de sluitingsontladingen voor; was *a* met de stemvork en *b* met den cylinder verbonden geweest, dan zouden de openingsontladingen deze talrijke interrupties vertoond hebben.

Plaat IV geeft de ontladingen bij openen; de boogjes verbinden de bij elkaar behorende ontladingen (zie § 3^b).

Plaat V geeft twee der vier beschreven proeven terug. De inverse cijfers geven het aantal cellen der batterij aan. De lezer houde de eerste vonk links in het oog en mete haar afstand tot de tweede vonk naar de rechterhand.

Op plaat VI is de zwarte driehoek het koper van den cylinder, waarmede het stemvorkveertje in contact komt.

Op plaat VII geven de inverse cijfers den afstand der spitsen in m.M. aan. De verticale rechte lijn, door alle registratievontken van den primairen stroom getrokken, diende mij met de kleinere lijnen, door de eerste vonk van den secundairen stroom gaande, bij de uitmeting der vertraging.

Op plaat VIII is de primaire stroom, om de figuren zuiver te behouden, niet geregistreerd.

Plaat IX en X geven beelden der ontladingsvontken bij geringen afstand der schrijvende electroden. Tal van andere afbeeldingen, ook op grooteren afstand der electroden, moesten achterwege blijven; bovendien geven deze beide platen niet de fijne details terug.

Daar op plaat II, evenals op plaat III, IV en VIII, dezelfde proef herhaalde malen voorkomt, kan de lezer oordeelen over de correctheid der methode, die ons dezelfde stroomen altijd weer onder dezelfde gedaante teruggeeft.

Gaarne vermeld ik nog, dat de photographieën met veel zorg door den Heer W. C. van Dijk alhier zijn vervaardigd.

STELLINGEN.

I.

Galvanische electriciteit is een trilling.

II.

De ontlading der geïnduceerde galvanische stroomen geschiedt op oscilleerende wijze.

III.

Niet de kortere duur der openingsinductiestroomen is de oorzaak van de krachtiger werking, maar hun sneller groeien tot een maximum van intensiteit.

IV.

Electrische werking is nooit momentaan.

V.

De inductie-theorie van Neumann staat boven die van Weber.

VI.

De snelheid der electriciteit kan alleen bij benadering bepaald worden.

VII.

Zeer juist zegt een Duitsch schrijver: „Ohne die mathematische Behandlungsweise wäre die höhere Optik dem formlosen und unscheinbaren Haufen von Gläsern zu vergleichen, in den ein prächtiges Glasgemälde zusammenfallen würde, wenn man es der Einfassungen beraubte.”

VIII.

Ten onrechte zegt Airy in § 99 van zijn *Undulatory theory of Optics*: „Light polarized in one plane cannot be made to furnish light polarized in the perpendicular plane.”

IX.

De bewering van F. Mohr: „ein doppelt so warmer Körper würde auch eine doppelte Anzahl Schwingungen verursachen" is valsch.

X.

De scheikunde is een onderdeel der natuurkunde.

XI.

Het streven van den wortel der planten naar de duisternis en van den stengel naar het licht is nog niet verklaard.

XII.

Sommige der zoogenaamde nevelvlekken zijn gasvormig.

XIII.

De stof der kometen is hoogst waarschijnlijk identisch met die der gasvormige nevelvlekken.

XIV.

Zonder kennis der differentiaalvergelijkingen is geen wetenschappelijke behandeling der physica mogelijk.

XV.

De verkeerde levensbeschouwing van Darwin: „Zoo volgt er dus uit den strijd der natuur, uit hongersnood en dood, het verhevenste wat wij op aarde kunnen vinden, het ontstaan der hoogere dieren,” is een gevolg van zijn eenzijdige natuurbeschouwing.

XVI.

Terecht zegt A. Fick in zijne *Anatomie und Physiologie der Sinncsorgane*: „In der That, mag man vom Zusammenhange des Leiblichen und Geistigen glauben was man will, die Wahrnehmung als solche betrachtet, ist und bleibt ein immaterieller Hergang.”

XVII.

Empirische kennis is dikwijls aanmatigend, terwijl de wetenschappelijke natuurkunde bescheiden is en twijfelt, omdat zij poogt te doorgronden.

XVIII.

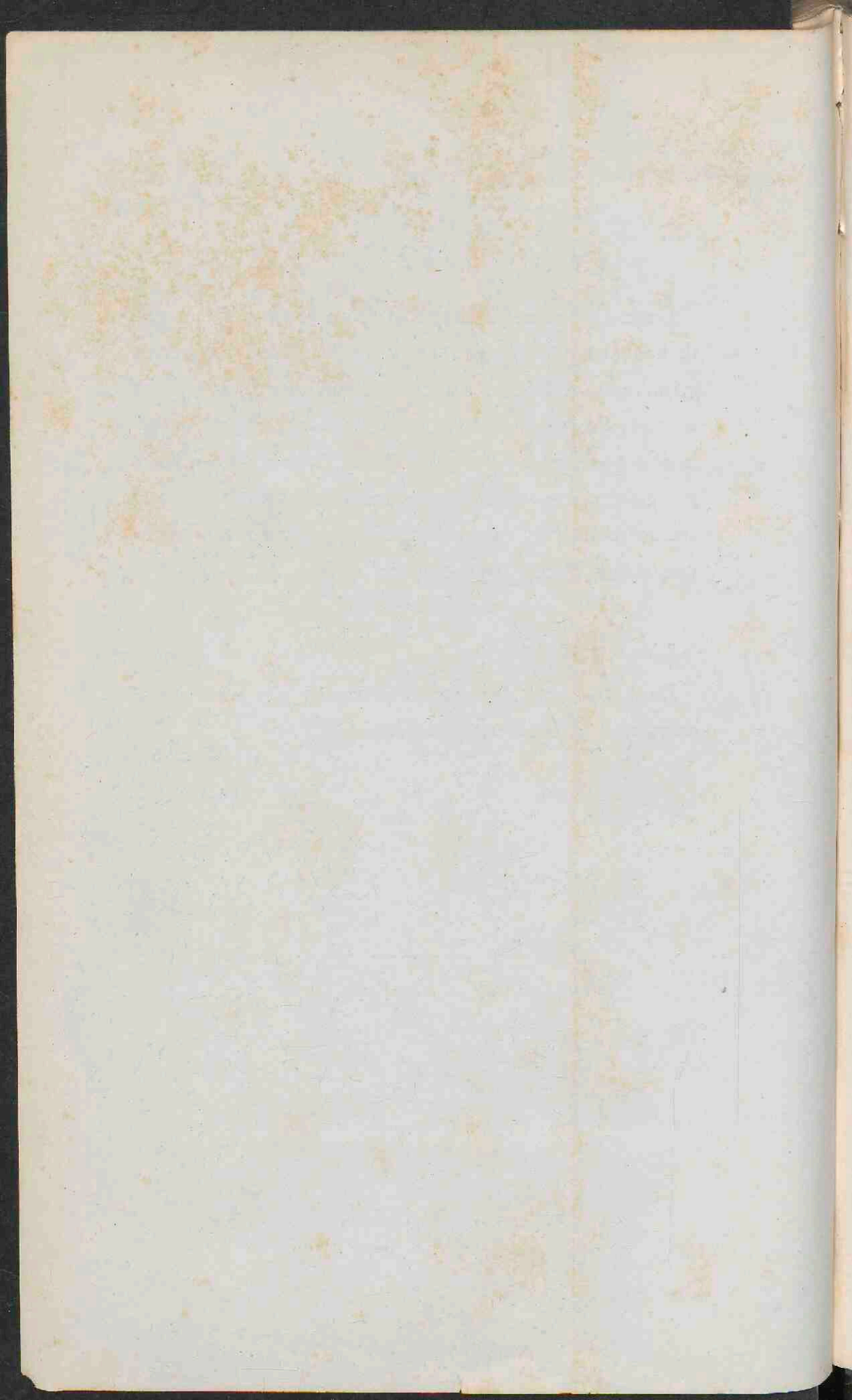
Natuurwetenschap veredelt den godsdienstigen zin, zonder dien te verminderen.

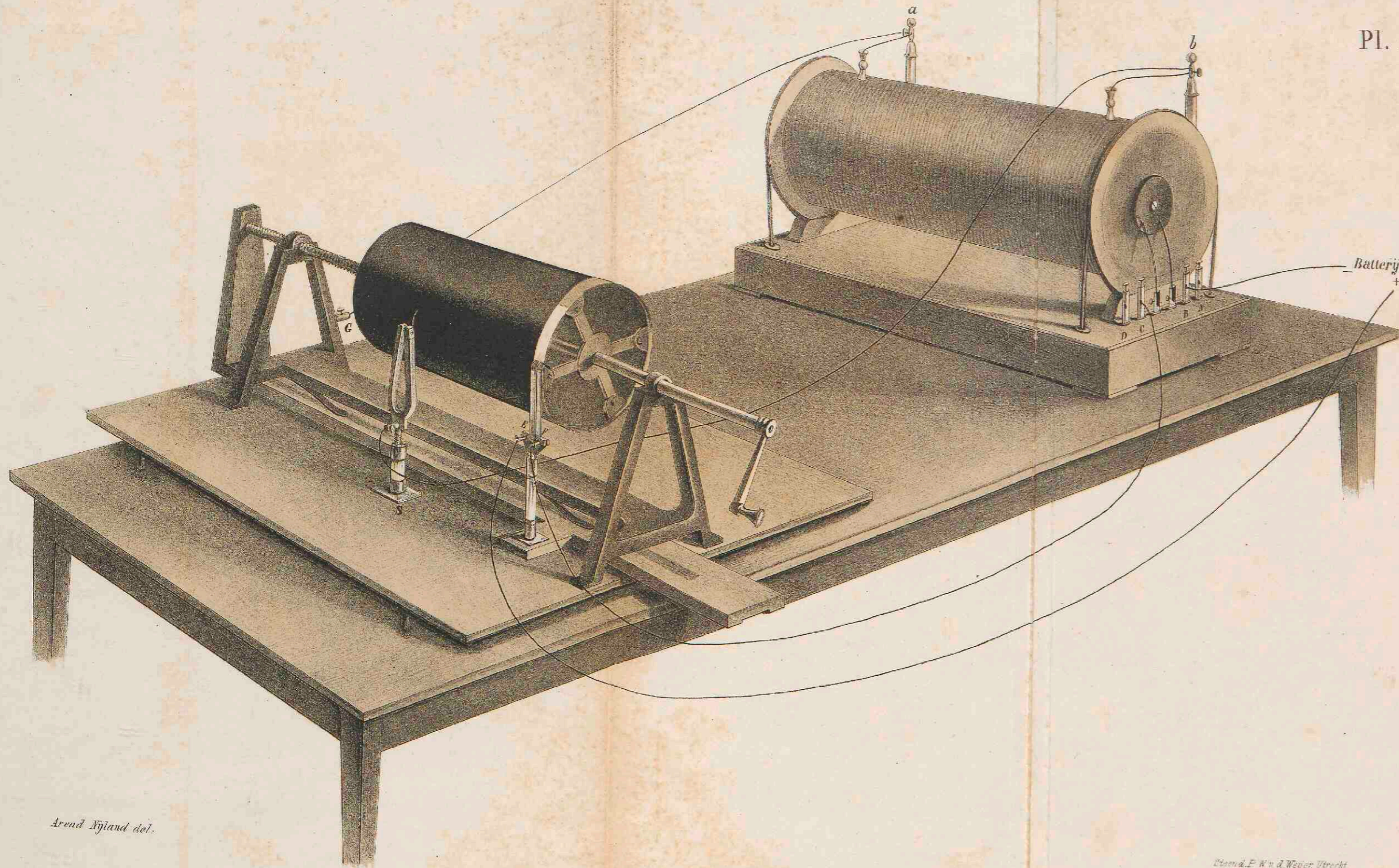
XIX.

Gaarne zeg ik met Pieter Rabus (1699): „Voor mij, ik kan niet anders zien, of ik hebbe reden, mij zelven gelukkig te agten, in het midden van een eeuw geboren te zijn, in welke eenige weinige Mannen met onvermoeide naarstigheit het pad gebaant hebben, waar langs weetgierige menschen kunnen geraken tot een geheel andere bevatting van zaken, dan welke zij van hunne voorouders hadden overgenomen.”

XX.

De liefde van den onderwijzer voor zijn werk openbaart zich in liefde tot zijn leerlingen.





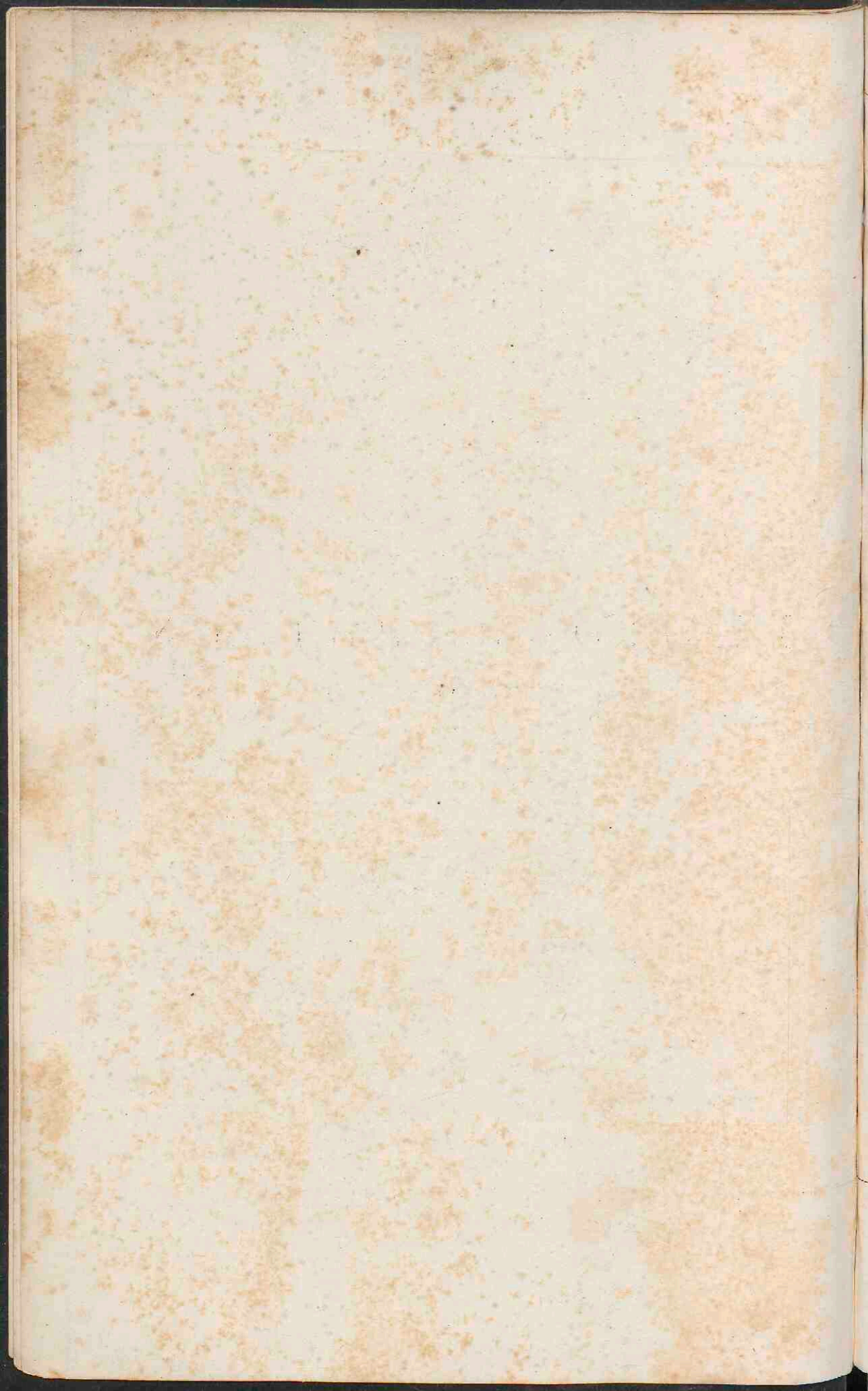
Arend Nyland del.

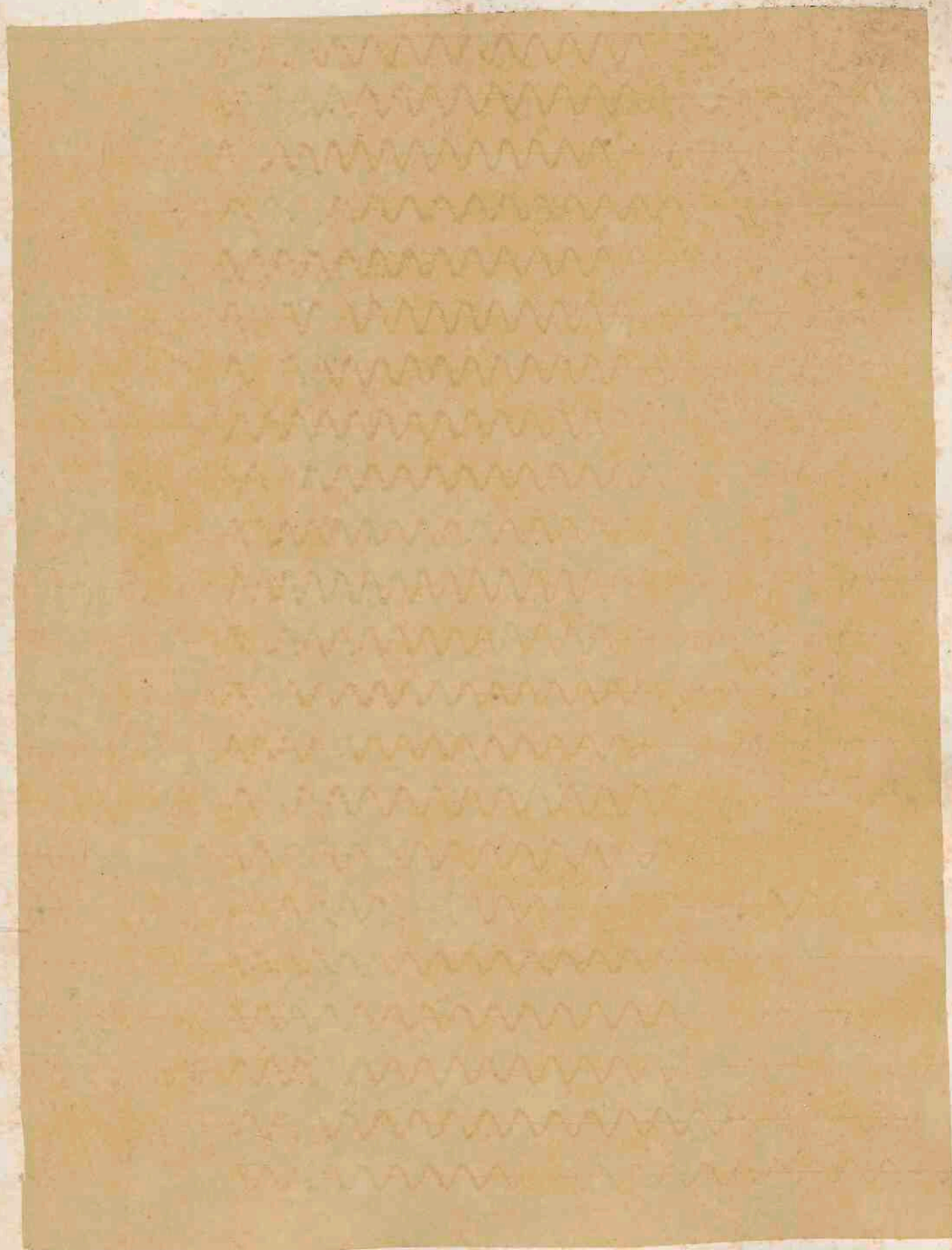
Utrecht, F. W. & Weger, Urecht.

INDUCTOR VAN RUHKORFF MET REGISTRATIE - TOESTEL.

PHOTOGRAPHIËN.

(ZELFDRUK.)

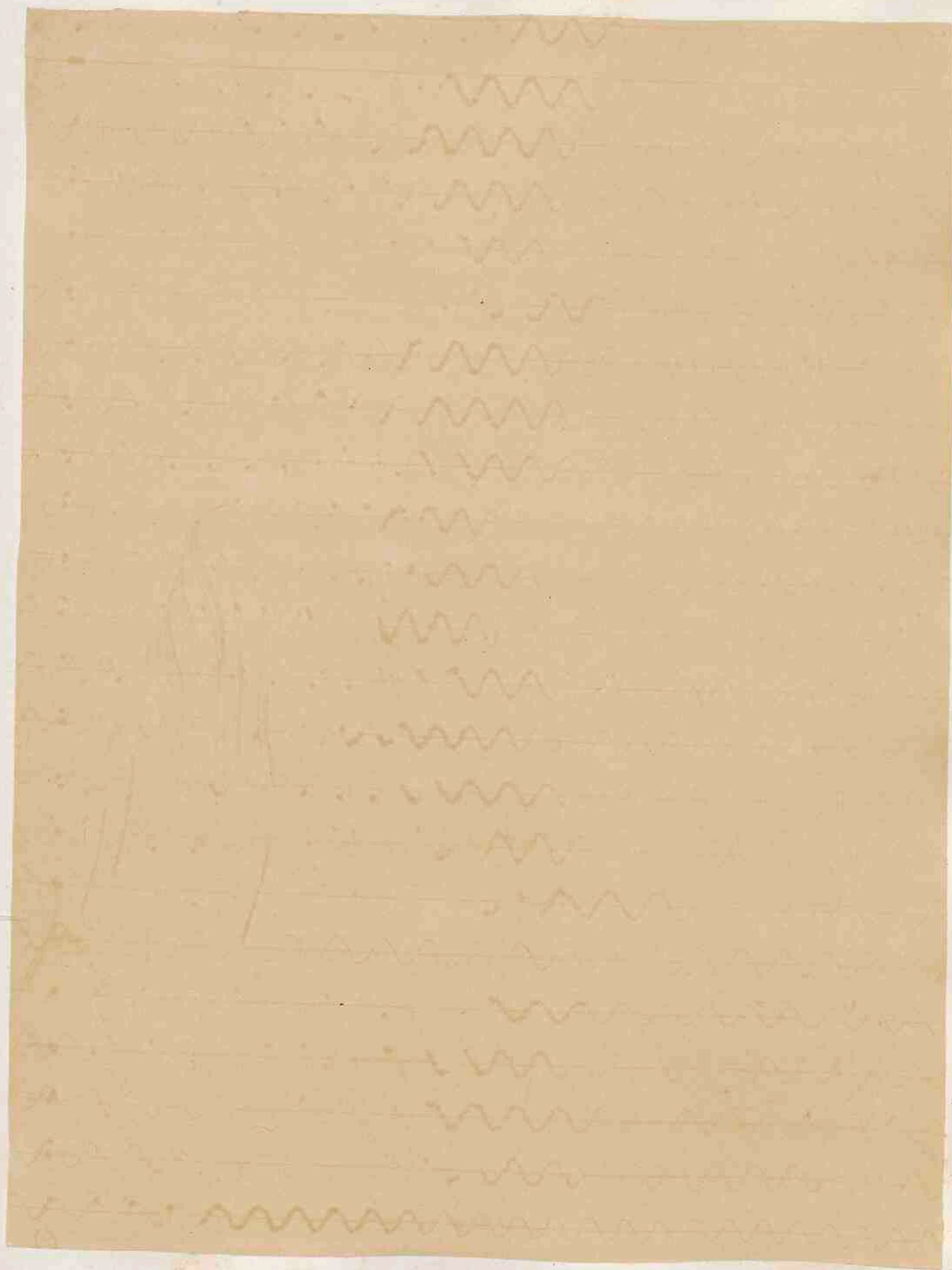




Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 10 cellen van Grove.

Sluitingsontladingen. (*Mailpapier.*)

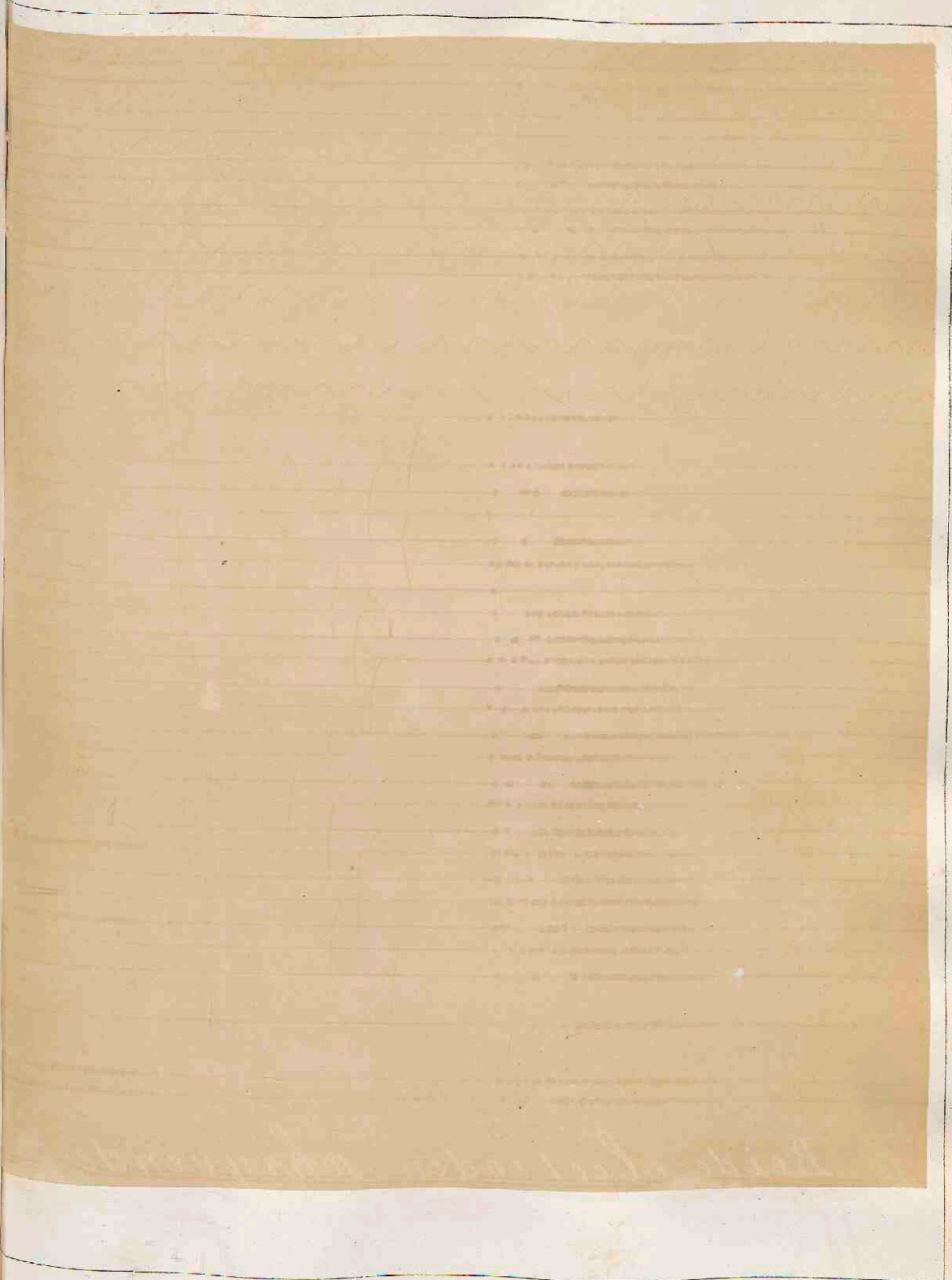
Weinig interrupties, omdat b met de stemvork en a met den cylinder was verbonden.



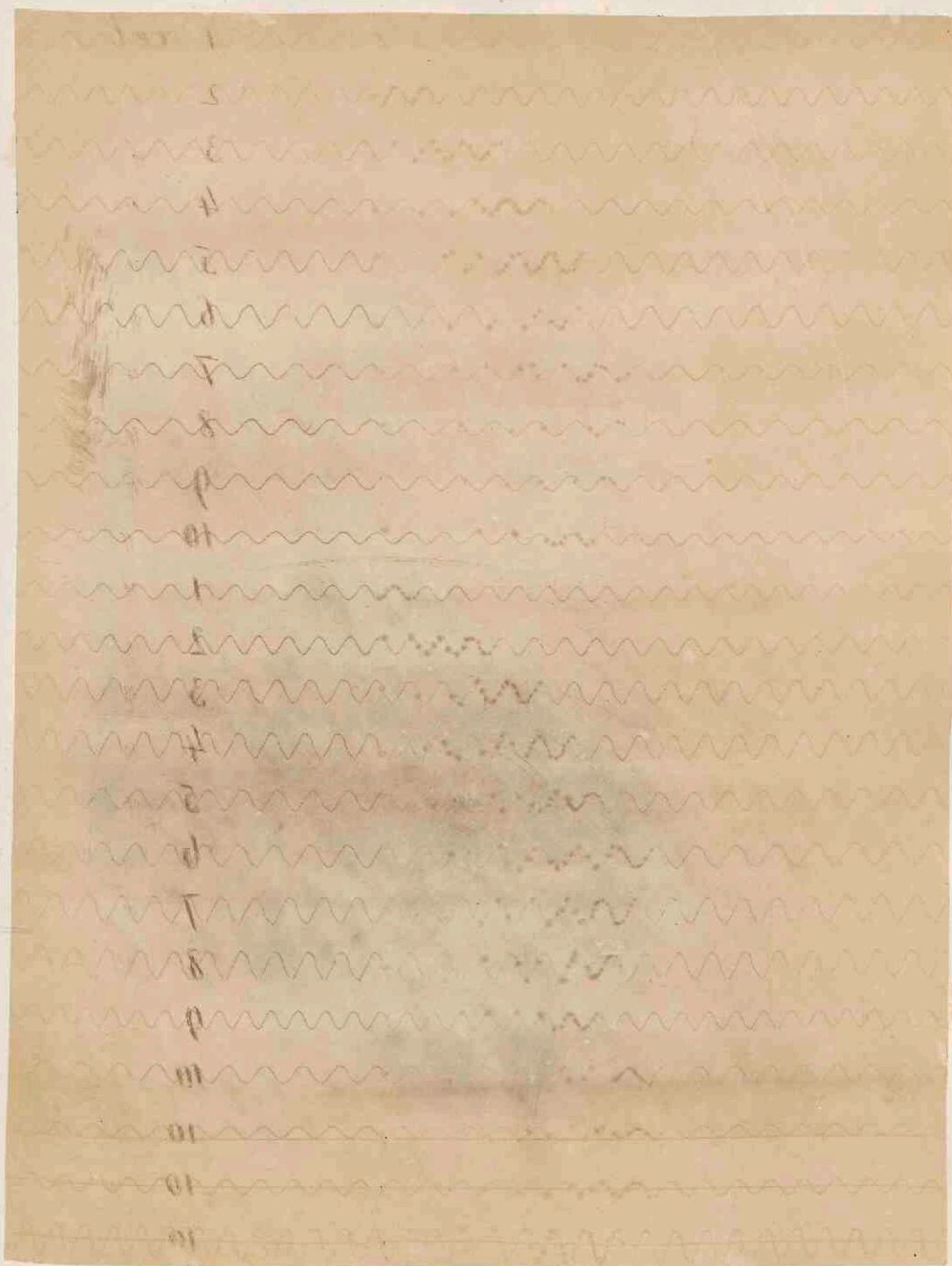
Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 10 cellen van Grove.

Openingsontladingen. (*Velijnpapier*.)

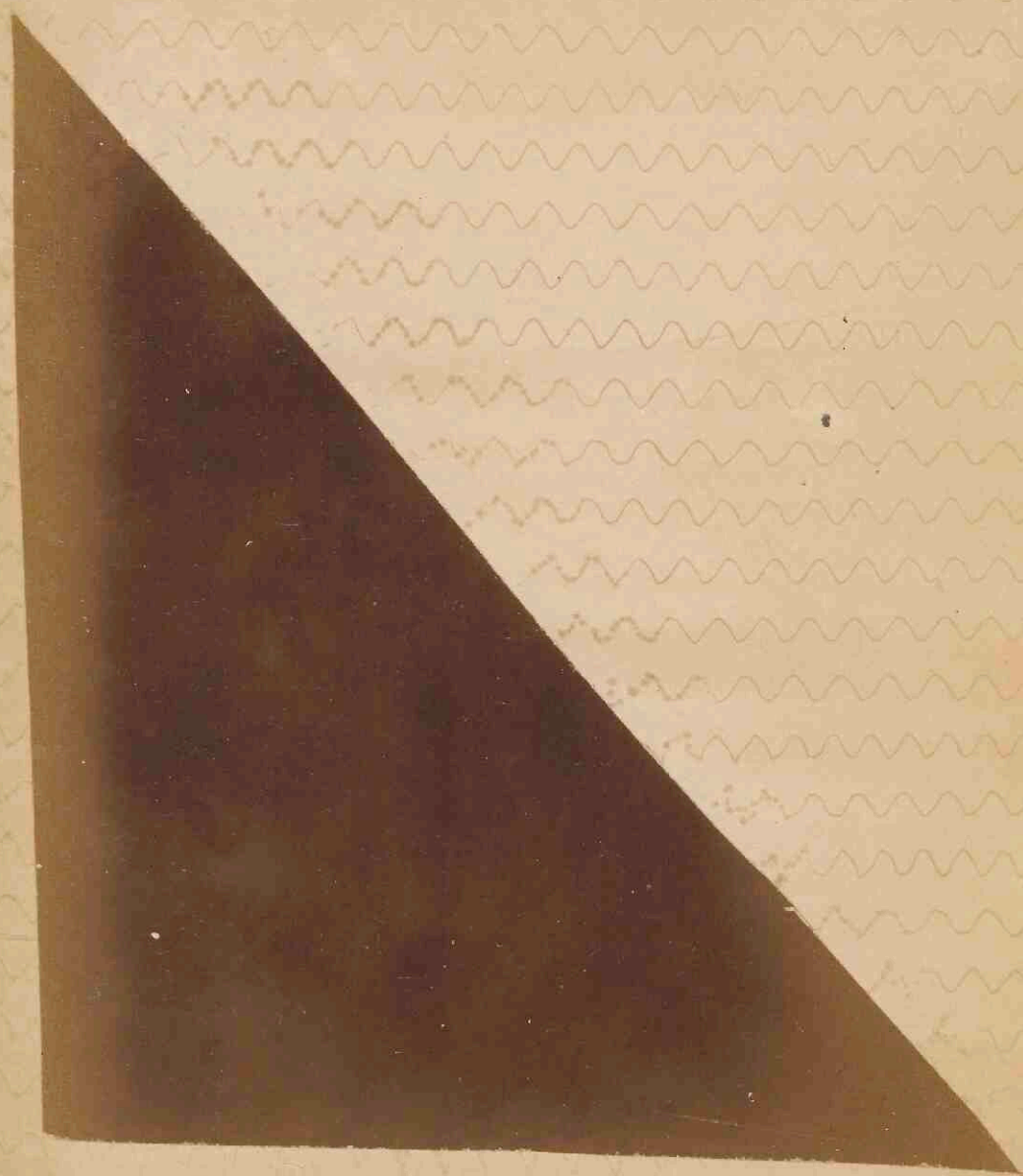
Veel interrupties, omdat b met de stemvork en a met den cylinder was verbonden.



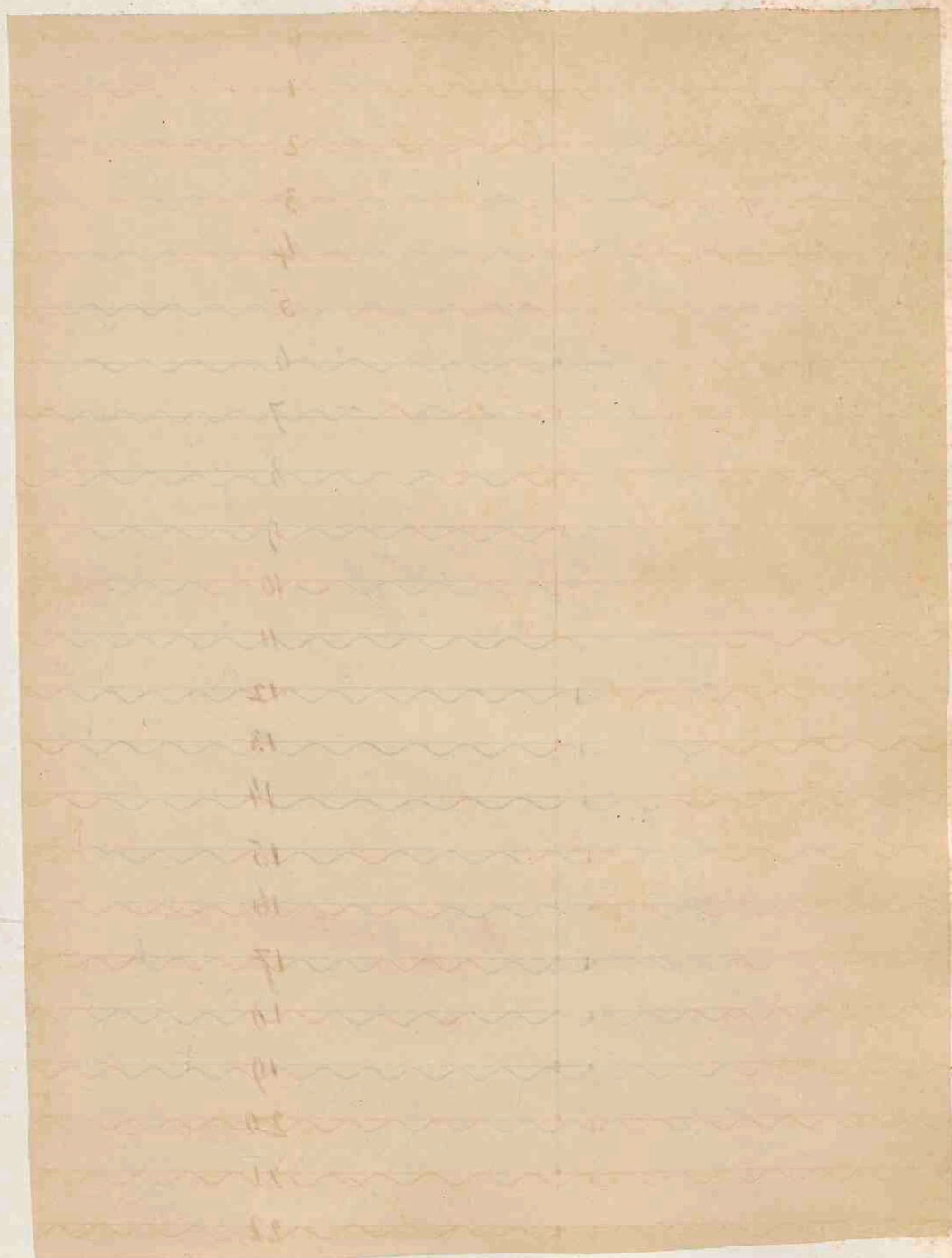
Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 10 cellen van Grove.
Beide electroden schrijvende. (*Mailpapier.*)



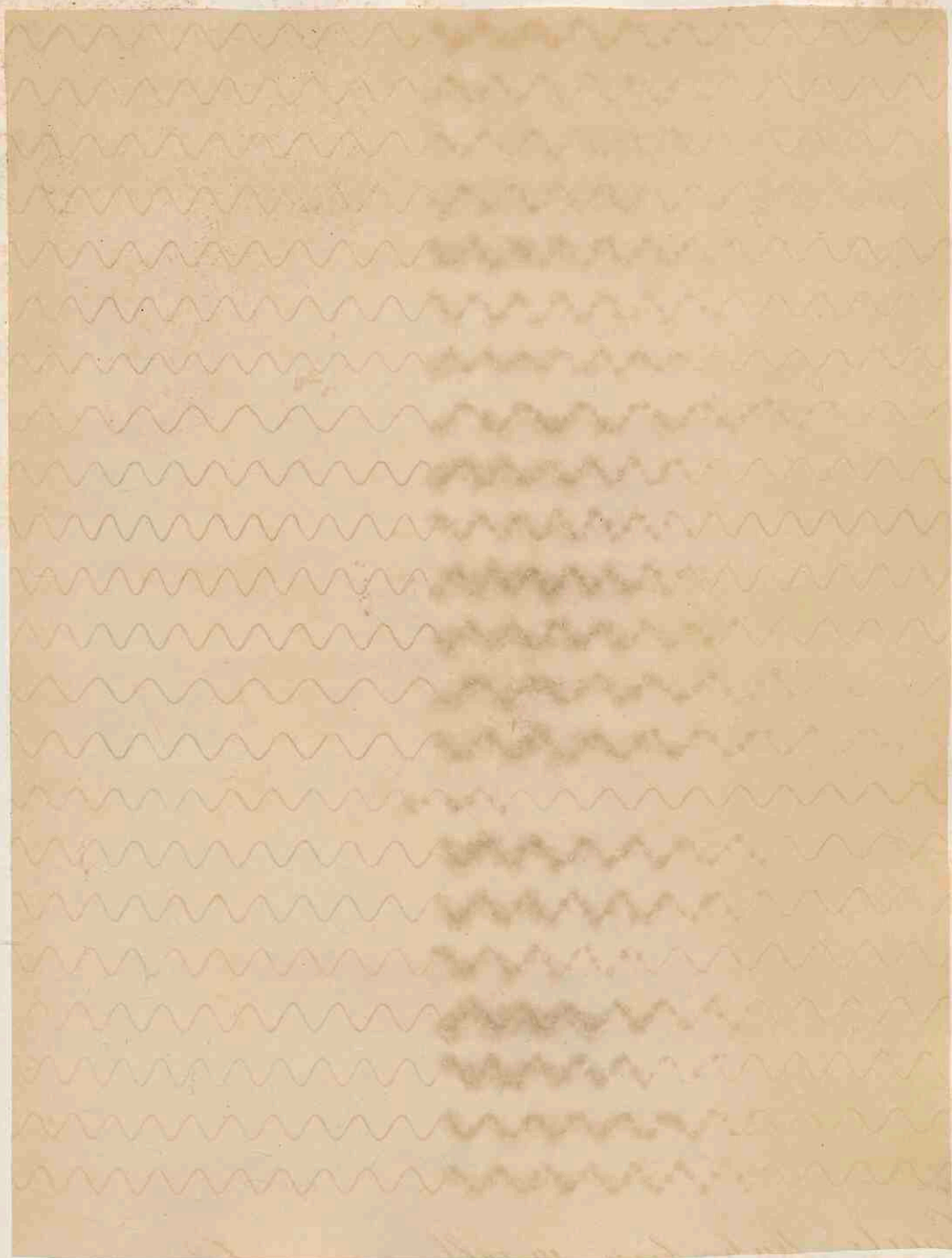
Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 1-10 cellen van Grove.
Duur der eerste interruptie bij openen. (*Velijnpapier.*)



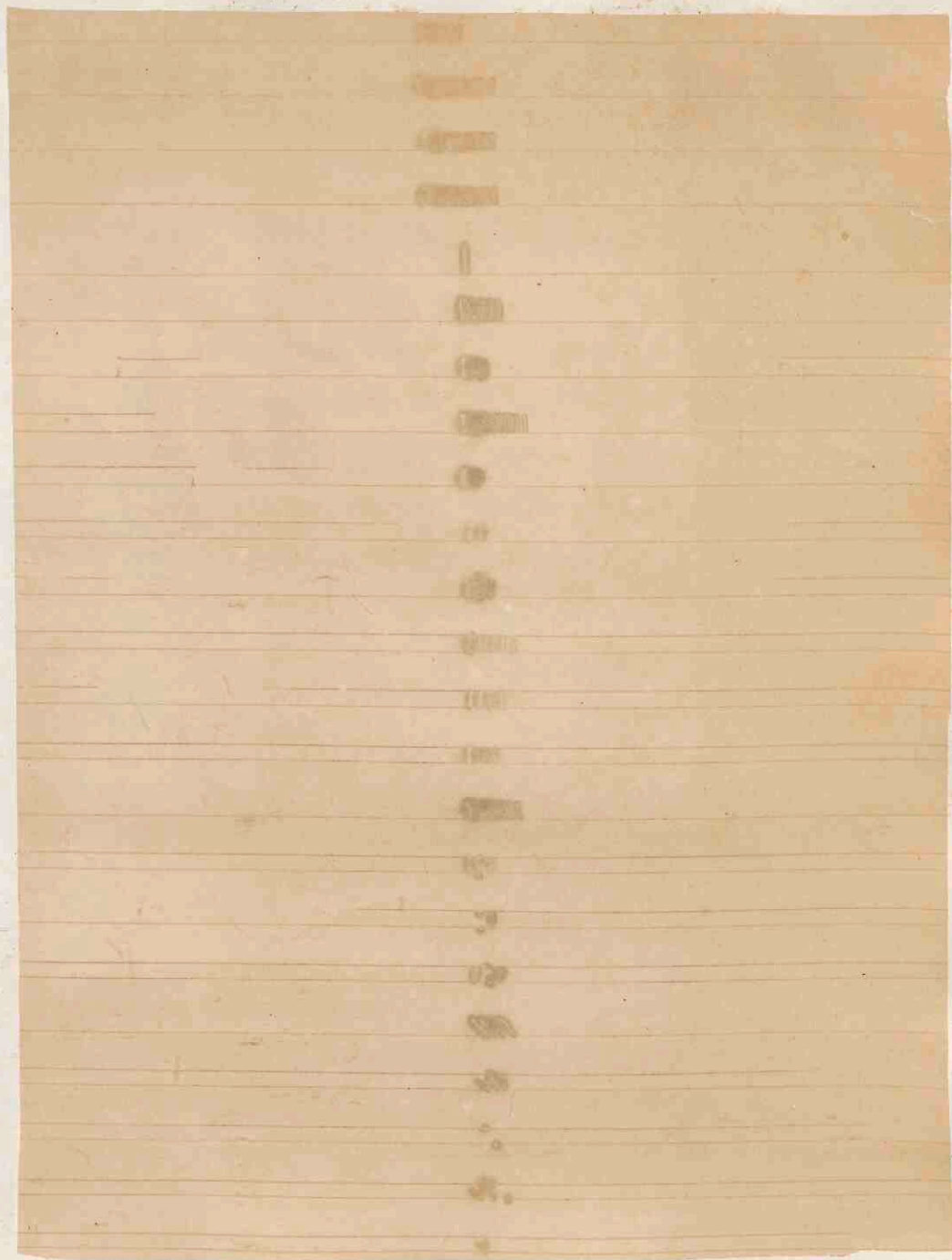
Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 8 cellen van Grove.
Toenemende duur der openingsontlading bij toenemend metaalcontact. (*Velijnpapier.*)



Groote Ruhmkorff, zonder condensator; 4 cellen van Grove.
 Openingsontladingen met vonkenmicrometer. (*Velijnpapier.*)

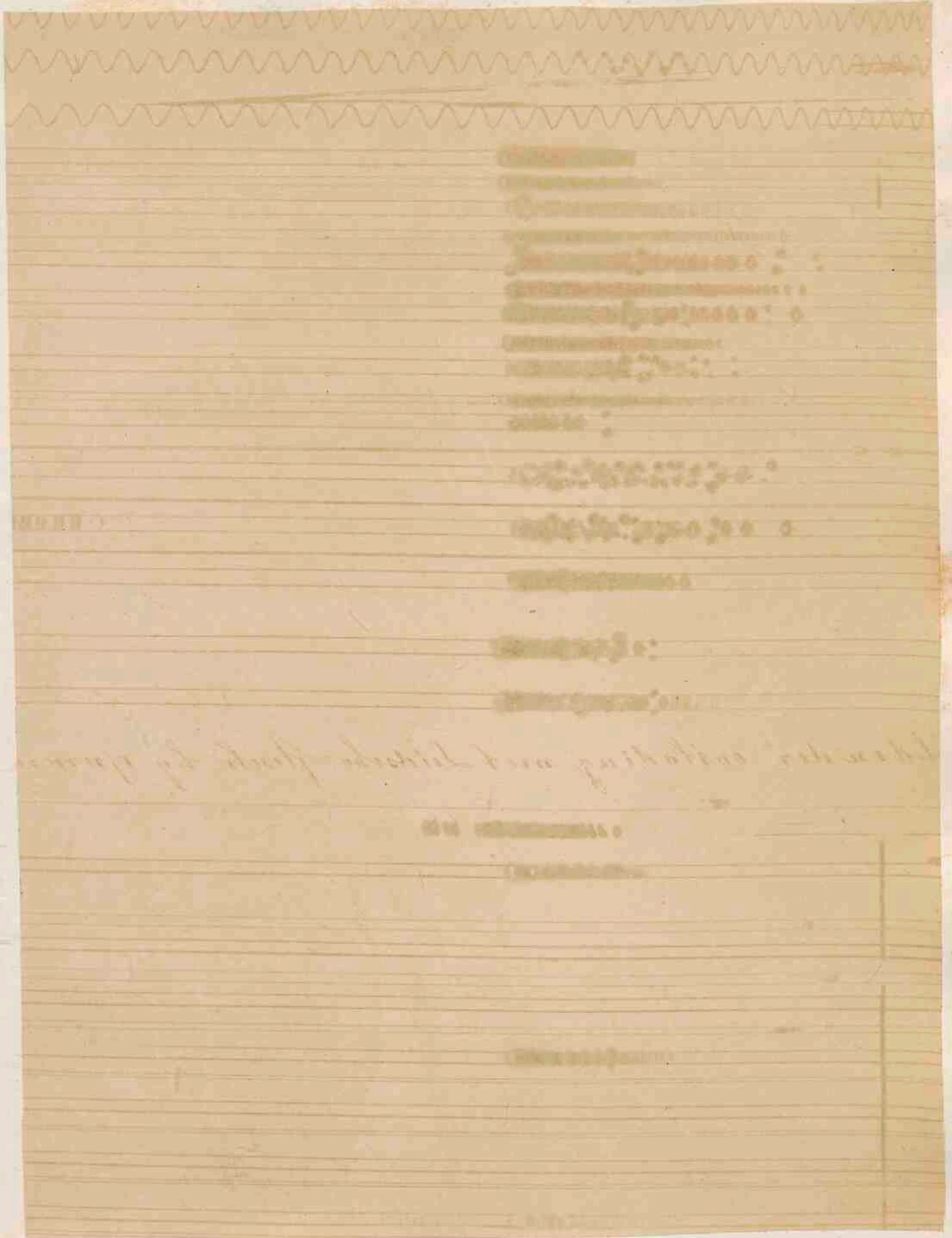


Groote Ruhmkorff, 10 cellen van Grove.
Openingsontladingen met Leidsche flesch. (*Felijnpapier*)



Groote Ruhmkorff, 10 cellen van Grove.

Beelden der ontladingsvonken bij sluiten, met Leidsche flesch. (*Felijnpapier.*)



Groote Ruhmkorff, 10 cellen van Grove.

Beelden der ontladingsvonken bij openen , met Leidsche flesch. (*Velijnpapier.*)

