



Over de electriche warmte- en lichtverschijnselen die door de rigting des strooms gewijzigd worden

<https://hdl.handle.net/1874/313772>

17

DISSERTATIO PHYSICA INAUGURALIS

DE

CALORIS ET LUMINIS ELECTRICI PHAENOMENIS,
QUAE FLUXUS DIRECTIONE MODERANTUR.

7565061

17.
DISSERTATIO PHYSICA INAUGURALIS

DE

**CALORIS ET LUMINIS ELECTRICI PHAENOMENIS,
QUAE FLUXUS DIRECTIONE MODERANTUR,**

QUAM,

ANNUENTE SUMMO NUMINE,

EX AUCTORITATE RECTORIS MAGNIFICI

HENRICI EGBERTI VINKE,

THEOL. DOCT. ET PROF. ORD.,

NEC NON

AMPLISSIMI SENATUS ACADEMICI CONSENSU

ET

NOBILISSIMAE FACULTATIS MATHESIOS ET PHILOSOPHIAE
NATURALIS DECRETO,

Pro Gradu Doctoratus

SUMMISQUE IN

MATHESI ET PHILOSOPHIAE NATURALIS HONORIBUS
AC PRIVILEGIIS.

IN ACADEMIA RHENO-TRAJECTINA,

RITE ET LEGITIME CONSEQUENDIS,

ERUDITORUM EXAMINI SUBMITTIT

JOHANNES TIP,

Rheno-Trajectinus.

A. D. XI. M. DECEMBRIS ANNI MDCCCLIV, HORA II.

TRAJECTI AD RHENUM,
APUD C. BIELEVELT.

MDCCCLIV.

PARENTIBUS
OPTIMIS CARISSIMIS

SACRUM.

INLEIDING.

Na de ontdekking der Voltasche zuil, leerde men haar warmte-voortbrengend vermogen spoedig kennen, en het gloeijen en smelten van metaaldraden door den galvanischen stroom werd algemeen beproefd. De wetten, waarnaar de ontwikkeling van warmte door den galvanischen stroom plaats heeft, bleven echter lang onbekend en zijn eerst in de laatste jaren ontdekt. De vroegere waarnemingen verspreiden over deze wetten weinig licht.

CHILDREN ¹⁾ vond het eerst, dat de metalen door denzelfden stroom meer verwarmd worden, naarmate zij dezen minder gemakkelijk geleiden. Hij plaatste in de keten verschillende metaaldraden van dezelfde lengte en breedte en zag, dat sommige hunner gloeiden en andere niet; de eersten waren minder goede geleiders dan de laatsten.

JOULE ²⁾, een Engelsch natuurkundige, was de eerste,

1) GILB. Ann. XXXVI, 364.

2) Philos. Mag. (3), XIX, 260.

die waarnam, dat de hoeveelheid warmte, in draden van verschillend metaal gedurende eenen zekeren tijd ontwikkeld, evenredig is aan den weerstand dezer draden, en voorts, dat die hoeveelheid, bij denzelfden draad, evenredig is aan het quadraat der stoomsterkte.

Gelijke uitkomsten verkreeg LENZ ¹⁾ uit zijne proeven over de verwarming van draden door den galvanischen stroom. Bijna gelijktijdig met hem heeft EDMUND BECQUEREL ²⁾ zijne onderzoekingen hierover medegedeeld en dezelfde wet bevestigd.

Wat de verwarming van vloeistoffen betreft, zoo vond DE LA RIVE ³⁾, dat deze, bij dezelfde vloeistof en denzelfden stroom, grooter is, wanneer men de vloeistof door vliezen in cellen verdeelt, dan wanneer zich geen vliezen daarin bevinden. Hij besloot hieruit, dat de verwarming afhangt van den weerstand, welken de stroom ondervindt.

EDMUND BECQUEREL heeft dezelfde wet gevonden bij verwarming van vloeistoffen als bij die van metalen, wanneer men de hoeveelheid warmte, die bij de ontleding der vloeistof gebonden of vrij wordt, in rekening brengt. Hij onderzocht drie gevallen; vooreerst: wanneer de vloeistof eene oplossing van een metaalzout, en de positieve electrode van hetzelfde metaal is als dat, waaruit de basis van het zout bestaat.

In dit geval wordt het metaal aan de negatieve

1) Pogg. Ann. LXI, 18.

2) Arch. de l'Elect. III, 181.

3) Arch. de l'Elect. III, 175.

pool afgezet, maar ook eene even zoo groote hoeveelheid van datzelfde metaal geoxydeerd en opgelost aan de positieve pool, terwijl aan geene der beide polen gasontwikkeling plaats heeft. De warmte, die aan de negatieve pool gebonden wordt, ten gevolge der decompositie van het zout, is gelijk aan de hoeveelheid, die aan de positieve pool vrij wordt door de vorming van het zout, zoodat hetgeen aan den eenen kant aan warmte verloren wordt, aan den anderen kant weder hersteld wordt. In dit geval was dus geene warmte meer in rekening te brengen en vond BECQUEREL, dat de hoeveelheid warmte, die de stroom voortbrengt in gelijke tijden, evenredig is aan het kwadraat der stroomsterkte en den weerstand.

In het tweede geval, door BECQUEREL onderzocht, is het vocht gedestilleerd water, dat, door toevoeging van eenig zuur of alkali, geleidend gemaakt is; maar nu zijn de beide electroden van platina. Het water wordt in zijne elementen ontleed en aan beide polen is ontwikkeling van gas. Ten gevolge van de ontleding van het water wordt er eene hoeveelheid warmte gebonden, gelijk aan die, welke vrij wordt, wanneer dezelfde hoeveelheden waterstof en zuurstof, als door den stroom gevormd zijn, zich weder tot water verbinden. Door onderscheidene natuurkundigen is de hoeveelheid warmte bepaald, welke ontstaat bij verbranding van waterstof met 1 cub. decim. zuurstof; wanneer men derhalve de hoeveelheid gas kent, die, gedurende eenen bepaalden tijd, door de galvanische ontleding van het water gevormd is, dan weet men

insgelijks hoeveel warmte hierbij geabsorbeerd is. Telt men deze hoeveelheid warmte op bij de warmte, die door den doorgang van den stroom ontstaat, dan is de som evenredig aan het quadraat der stroomsterkte en den weerstand.

Eindelijk heeft BECQUEREL deze belangrijke wet nog bevestigd gevonden voor een derde geval, wanneer namelijk de vloeistof eene oplossing van een alkalisch zout is, bijv. sulphas sodae, en de positieve electrode uit een metaal bestaat, dat zich gaarne met zuurstof verbindt, zooals koper of zink, terwijl de negatieve electrode van platina is. In dit geval moet de warmte, die de doorgang van den stroom voortbrengt, vermeerderd worden met de hoeveelheid warmte, door de ontleding van het water gebonden, en verminderd worden met die, welke door de oxydatie van de positieve electrode vrij wordt.

De onderzoekingen van BOTTO hebben dezelfde resultaten opgeleverd als die der vermelde natuurkundigen. Zijne verhandeling komt voor in de *Mémoires de l'Académie de Turin*, Ser. 2. vol. VIII.

JOULE en BOTTO hebben insgelijks aangetoond, op welke wijze de verwarming der galvanische keten zamenhangt met de chemische werkingen in de cellen.

Door toepassing van de wet van OHM, welke leert, dat de stroomsterkte evenredig is aan de electromotorische kracht en omgekeerd evenredig aan den weerstand, op de wet der verwarming door den galvanischen stroom, kan men deze laatste onder eenen anderen vorm brengen. Zij W de warmte in de galvanische keten ontwikkeld,

R haar weerstand, S de stroomsterkte en E de electromotorische kracht, dan is, volgens de wet van JOULE,

$$W = S^2 \times R$$

en volgens de wet van OHM

$$S = \frac{E}{R}$$

derhalve, R eliminerende,

$$W = E \times S$$

dus is de warmte, die in de geheele galvanische keten ontwikkeld wordt gedurende eenen bepaalden tijd, in zamengestelde reden van de electromotorische kracht en de stroomsterkte.

De beteekenis van de bovenstaande formule wordt ons duidelijk, wanneer wij ons herinneren, dat indien kracht verbruikt wordt, deze weder onder eenen anderen vorm moet optreden. Zoo veroorzaakt de wrijving van twee lichamen tegen elkander warmte; hier is dus de mechanische kracht in warmte veranderd; evenzoo treedt de chemische kracht, die in de cellen verbruikt wordt, weder als warmte te voorschijn. Hoe grooter de chemische werking is, des te grooter zal de hoeveelheid ontwikkelde warmte zijn, en, daar de chemische werking in de cellen afhangt van de electromotorische kracht, d. i. van de sterkte der chemische verwantschappen, welke in de cellen in werking treden, en van de stroomsterkte, zoo zal de ontwikkelde warmte ook hiervan afhangen.

De warmte dus, die in de geheele galvanische keten ontwikkeld wordt, heeft haren oorsprong alleen in de werkingen, die in de cellen plaats hebben. Wij zijn

hiervan een proefondervindelijk bewijs verschuldigd aan P. A. FAVRE (*Recherches thermiques sur les coarants hydro-électriques*). Hij toont tevens aan, dat de warmte, in metalen sluitdraden ontwikkeld, complementair is met de warmte, die in de cellen ontstaat, zoodat de som dezer hoeveelheden warmte gelijk is aan die, welke overeenstemt met de chemische werkingen, die in de cellen plaats grijpen; en eindelijk, dat, indien de stroom in zijnen weg nog vloeistoffen ontleedt, er evenveel warmte gebonden wordt als wanneer die ontleding door andere oorzaken plaats hebben, en dat die warmte ontnomen wordt aan de geheele warmtehoeveelheid, welke de chemische werkingen in de cellen voortbrengen.

De wet der galvanische warmteontwikkeling, in de formule $W = S^2 \times R$ uitgedrukt, geldt niet alleen voor de geheele galvanische keten; zij is, blijkens hierboven vermelde onderzoekingen, op elk gedeelte der keten, hetzij metaal of vocht, toepasselijk, mits men door R en W versta den weerstand van dat gedeelte en de daarin ontwikkelde warmte. Als onmiddellijke gevolgen leidt men hieruit af, dat de warmte-hoeveelheden, door zéénelfden stroom in de verschillende gedeelten der keten ontwikkeld, aan hunne respectieve weerstanden evenredig zijn; dat zij voorts onafhankelijk zijn van de rigting des strooms.

Er zijn echter door de natuurkundigen, vooral ten opzichte der laatste gevolgtrekking, eenige afwijkingen van de algemeene wet opgemerkt. Ik heb getracht in deze verhandeling een algemeen overzicht dier afwijkingen te geven en dit overzicht in twee deelen gesplitst,

waarvan het eerste de verschijnselen bij eene volkomene (onafgebroken) geleiding behandelt, het tweede die, welke zich bij eene afgebroken geleiding voordoen.

Onder de verschijnselen, die de verwarming eener volkomene geleiding vertoont, behoort vooreerst de bekende proef van PELTIER, ten tweede de ongelijkmatige verwarming eener vloeistof aan de beide polen.

Bij de behandeling der verschijnselen, die bij afgebroken geleiding ontstaan, was ik genoodzaakt behalve de warmteverschijnselen ook de lichtverschijnselen te vermelden, daar deze altijd gepaard gaan, wanneer de stroom eenen nietgeleider op zijnen weg ontmoet. Bij de verklaring echter van het bekende lichtverschijnsel van NEEFF moest ik de proeven van FARADAY over de electriche ontladingen te hulp roepen, en zoo was ik op het terrein der wrijvingselectriciteit. Daarom heb ik het niet ongepast geacht vooraf de lichtverschijnselen te vermelden, welke de wrijvingselectriciteit veroorzaakt en reeds vroeg bekend zijn geweest. Daarna zijn de verschijnselen met galvanische electriciteit vermeld, waarbij mijne waarnemingen en die van anderen onderling zijn vergeleken.

HOOFDSTUK I.

OVER DE VERSCHIJNSELEN BIJ VOLKOME NE GELEIDING.

§ 1.

PELTIER heeft voor ongeveer twintig jaren eene belangrijke ontdekking gedaan ten aanzien der verwarming van metalen door eenen galvanischen stroom. Hij heeft zijne onderzoekingen bekend gemaakt in de *Annales de Chim. et de Phys.* vol. 56. Zijn toestel was op de volgende wijze zamengesteld. Twee thermo-electrische paren, bestaande uit antimonium en bismuth, werden met hunne soldeerplaatsen zeer dicht tegenover elkander geplaatst; het bismuth van het eerste paar was door middel van een koperdraad met het antimonium van het tweede verbonden, terwijl het antimonium van het eerste door middel van eenen galvanometer met 84 windingen met het bismuth van het tweede in verbinding was. Tusschen de beide soldeerplaatsen werd de draad geklemd, die door eenen galvanischen stroom verwarmd

werd. Deze laatste draad was onbewegelijk, maar het thermo-electrische gedeelte van den toestel was verschuifbaar langs eene lengte van 15 centimeters; hierdoor kon dus de temperatuur van den te onderzoeken draad ook over dezelfde uitgestrektheid gemeten worden. Ten einde den invloed der omringende lucht te verhinderen, was de geheele toestel met eene glazen kast overdekt; eindelijk werd de sterkte van den galvanischen stroom, die door den draad geleid werd, gemeten door eene magneetnaald.

Vooreerst onderzocht PELTIER homogene draden en vond, dat deze over hunne geheele lengte gelijkelijk door den stroom worden verwarmd, behalve aan hunne uiteinden, waar zij met andere draden in verbinding staan. Of deze uiteinden sterker of minder sterk verwarmd worden dan het overige gedeelte van den draad hangt, volgens PELTIER, van het geleidend vermogen der metalen af, waarmede de draad verbonden is. Wat de lengte van den draad betreft, deze doet niets tot zijne verwarming af, wanneer slechts de sterkte van den stroom dezelfde blijft. Ten aanzien der wetten, volgens welke de verwarming van draden van de stroomsterkte en van de middellijn des draads afhankelijk is, zijn zijne resultaten niet juist. Zij komen niet overeen met die van JOULE, LENZ EN BECQUEREL, hetwelk zijne oorzaak daarin heeft, dat PELTIER geene rekening heeft gehouden van de afkoeling des draads en dat de wijze, waarop hij zijne proeven genomen heeft, hoe vernuftig ook, toch alleen de temperatuursverschillen van de verschillende uiteinden der bismuth en

antimonium paren aanwijzen, daar de sterkte van den thermo-electrischen stroom afhangt van het verschil in temperatuur der soldeerplaats en het andere uiteinde van het thermo-electrisch element.

PELTIER heeft daarna een onderzoek ingesteld naar de verwarming van heterogene draden en daartoe draden gebruikt van verschillende metalen, die aan elkander gesoldeerd waren. Het is vooral de soldeerplaatst der metalen, die nu door PELTIER onderzocht werd. Wanneer de draad uit ijzer, zink en koper bestond, zoodat het zink tusschen het ijzer en koper geplaatst was, dan was de verwarming aan de soldeerplaats van ijzer en zink het sterkst, wanneer de galvanische stroom van het ijzer naar het zink ging, het zwakst daarentegen, wanneer de stroom in tegengestelde rigting ging. Aan de soldeerplaats van koper en zink vond hij de sterkste verwarming, wanneer de stroom van zink naar koper ging en de minste verwarming bij tegengestelden stroom. De merkwaardigste resultaten gaven bismuth en antimonium. Wanneer namelijk een stroom door de soldeerplaats dezer metalen geleid werd in de rigting van bismuth naar antimonium, dan werd er, in plaats van warmte, koude veroorzaakt, terwijl een stroom van antimonium naar bismuth warmte voortbragt. Volgens de meening van PELTIER zou het verschillend geleidend vermogen der aan elkander gesoldeerde metalen, hiervan eene verklaring geven. Hij zegt namelijk, dat wanneer de negatieve stroom van eenen beteren in eenen slechteren geleider komt, de verwarming grooter is dan wanneer de po-

satieve stroom in die rigting gaat. Later is echter gebleken, dat zijne verklaring niet juist is.

Het vreemde van het verschijnsel deed bij BECQUEREL en DE LA RIVE het vermoeden ontstaan, dat de aanwijzing van de galvanometernaald niet toe te schrijven was aan eene verhooging of daling van temperatuur aan de soldeerplaats, maar aan geïnduceerde stroomen, die daarin van de bekende geïnduceerde stroomen zouden verschillen, dat zij eenigen tijd aanhouden, terwijl de laatsten slechts een oogenblik bestaan bij het sluiten of breken van den primairen stroom. Dit vermoeden heeft PELTIER gelogenstrafd door gebruik te maken van eenen luchtthermometer in plaats van den galvanometer. Door den bol van den luchtthermometer werd eene staaf van bismuth en antimonium gebragt, zoodat de soldeerplaats zich in het midden bevond; het opene einde der buis dompelde in gekleurden alcohol. Ging nu de galvanische stroom van antimonium naar bismuth, dan daalde de alcohol in de buis, derhalve werd er warmte ontwikkeld; ging de stroom van bismuth naar antimonium, dan steeg het niveau der vloeistof, derhalve ontstond er koude. Eindelijk heeft PELTIER zijne proeven nog op eene andere wijze ingerigt, door namelijk twee metalen staven in haar midden kruisvormig op elkander te solderen. Twee der uiteinden, uit verschillend metaal bestaande, werden met eenen galvanischen stroom in verbinding gebragt: en op het oogenblik, dat deze verbroken werd, werden de beide andere uiteinden van het kruis met den galvanometer verbonden. Deze toestel, uit bismuth en

antimonium bestaande, is zoo gevoelig, dat men slechts eenen thermo-electrischen stroom, ontstaande door verwarming met de hand van een element uit koper en zink, behoeft, om de verwarming of verkoeling, naarmate van de rigting des strooms aan de soldeerplaats, waar te nemen.

MOSER 1) heeft het eerst de waarneming van PELTIER bevestigd. Hij vervaardigde een kruis van antimonium- en bismuthstaven, elk 4,9" lang, 0,45" breed en 0,03" dik, aan welker uiteinden koperdraden gesoldeerd waren. Met eene kleine batterij van koper- en zinkplaten, $\frac{1}{2}$ " van elkander verwijderd en met eene oppervlakte van $\frac{5}{8}$ □", verkreeg hij wel zekere maar toch zwakke werkingen. Deze waren sterker bij gebruik van een element, bestaande uit koper en zink, $\frac{3}{4}$ " van elkander verwijderd en eene oppervlakte van $2\frac{3}{4}$ □" bezittende. De zinkplaat was geamalgameerd en de vloeistof was water met tamelijk veel zwavelzuur. Het gebruik van dikkere staven van antimonium en bismuth scheen hem de verkoeling niet zoo goed aan te toonen als de dunnere. Uit de door hem vermelde proeven blijkt, dat het maximum van koude evenzeer eene aanhoudende werking van den stroom vereischt als de verwarming.

Tot eigene overtuiging heeft insgelijks LENZ 2), dezelfde proef gedaan met aan elkander gesoldeerde bismuth en antimoniumstaven; de soldeerplaats was eenig-

1) Dove. Repert. I, 353.

2) Pogg. Ann. XLIV, 342.

zins uitgehold en deze holte met water aangevuld. De staven waren met smeltend ijs omringd, zoodat de temperatuur van het water tot 0° daalde. Wanneer nu de stroom van bismuth naar antimonium ging, had er zulk eene verkoeling plaats, dat het water bevroor.

Na LENZ hebben WARTMANN ¹⁾ en PIANCINI ²⁾ de waarneming van PELTIER bevestigd, zonder echter eene juiste verklaring van het verschijnsel te geven. Men zocht haar even als PELTIER in het ongelijk geleidend vermogen der beide metalen; GMELIN gaf ³⁾ eene diergelijke verklaring. Hij meent, dat antimonium de positieve electriciteit beter dan de negatieve geleidt, bismuth daarentegen de negatieve beter dan de positieve. Wanneer nu antimonium met de positieve en bismuth met de negatieve pool der galvanische batterij verbonden zijn, zoo treedt de positieve electriciteit in het antimonium en de negatieve in het bismuth, tot dat zij, aan de soldeerplaats komende, aldaar grooteren weerstand vinden en, onder ontwikkeling van warmte, verbonden worden. In het tegengestelde geval vinden de beide electriciteiten terstond weerstand bij het intreden in den sluitdraad en veroorzaken hierdoor eene strooming der ongelijknamige electriciteit van de soldeerplaats naar de uiteinden. Hierdoor heeft de verbinding der beide electriciteiten in de uiteinden plaats, en dien te gevolge, verwarming aan deze plaatsen en koude aan de soldeerplaats.

1) Arch. de l'Elect. I, 74.

2) Ibid. 1, 579.

3) Pogg. Ann. XLIV, 33.

Eene betere verklaring gaf POGGENDORFF ¹⁾. Hij meent terecht, dat het verschijnsel met de thermo-electriciteit in verband staat. Door den hydro-electrischen stroom wordt in den sluitdraad een thermo-electrische stroom voortgebracht, die in tegengestelde rigting van den eersten loopt. Om dit op eene eenvoudige wijze aan te toonen, verbond hij ²⁾ eene der polen eener thermo-electrische zuil tegelijk met eene galvanische batterij en eenen galvanometer. Wanneer men de andere pool een oogenblik met de galvanische batterij verbindt en terstond daarop met den galvanometer, zoo wijkt de naald sterk af en juist in die rigting als zij door den galvanischen stroom zoude bewogen worden. In plaats van hydro-galvanische kan men insgelijks magneto-electrische of thermo-electrische stroomen nemen.

Nog verdienen vermelding de proeven, welke TYN-DALL ³⁾ gedaan heeft ter overtuiging van RICHARD ADIE, die, in weerwil van de sprekende bewijzen, nogtans de waarheid van het feit bleef ontkennen. Deze proeven hebben echter niets nieuws bekend gemaakt, waarom wij dezelve ook alleen aanhalen zonder verdere beschrijving.

FRANKENHEIM ⁴⁾ en QUINTUS ICILIUS ⁵⁾ hebben, onafhankelijk van elkander, de wet gevonden, waarnaar de hoeveelheid warmte, die op de soldeerplaats van metalen

1) POGG. Ann. XLIII, 324.

2) POGG. Ann. LVIII, 76.

3) Philos. Mag. (4), IV.

4) POGG. Ann. XCI, 161.

5) POGG. Ann. LXXXIX, 377.

vrij of gebonden wordt, afhangt van de sterkte van den galvanischen stroom. Volgens hunne waarnemingen komt deze niet overeen met de wet van JOULE, maar is de verwarming of verkoeling op de soldeerplaats nagenoeg evenredig aan de stroomsterkte. Uit deze wet volgt dus ook, dat de verwarming in verkoeling overgaat tegelijk met de verandering van rigting van den galvanischen stroom. Wat den invloed van de dikte der staven betreft, vond FRANKENHEIM, dat deze zeer gering is, daar de warmte bij dikkere staven nagenoeg even groot als bij dunnere althans niet kleiner is.

§ 2.

De ongelijkmatige verwarming der galvanische keten heeft niet alleen plaats bij sluiting met aan elkander gesoldeerde metalen, maar ook, wanneer zich eene vloeistof in de keten bevindt. Reeds sedert lang heeft men dit verschijnsel waargenomen. In het jaar 1805 was BUNTZEN ¹⁾ bezig met de ontleding van water door eenen galvanischen stroom. Hij bediende zich hiertoe van eene zuil uit 1500 koper- en zinkplaten bestaande. Nadat hij de verwarming van het water gedurende de ontleding had waargenomen, wilde hij ook de temperatuursverhooging van de beide pooldraden onderzoeken. Hiertoe bragt hij deze draden in twee Vvormige buizen, in welker spits thermometers geplaatst waren. Nadat de ontleding eenige minuten had voortgeduurd, stond de thermometer aan

1) GILB. Ann. XXV, 149.

de positieve pool op 42° , aan de negatieve op 8° , terwijl de temperatuur der kamer 10° was. Na eenigen tijd steeg de thermometer aan de negatieve pool tot 10° , en eindelijk stonden beide op 15° .

OERSTED deed dezelfde waarneming, door water te ontleden in een vat van witte was, waarin de pooldraden zijner zuil alsmede twee thermometers dompelden. Eenigen tijd na de sluiting der keten was de temperatuur aan den positieven draad $20\frac{1}{2}^{\circ}$, aan den negatieven 18° , terwijl de temperatuur der omgevende lucht 10° was. OERSTED vermeldt het aantal platen zijner zuil niet.

DE LA RIVE ¹⁾ heeft, bij de ontleding van water, insgelijks de hoogere temperatuur der positieve pool waargenomen en schrijft dit verschijnsel toe aan de ongelijke hoeveelheid gas, die aan de beide polen gevormd wordt.

De waarnemingen van WALKER ²⁾ bevestigen hetgeen zijne voorgangers vermeld hebben. Met eene Danielsche batterij van 460 cellen ontleedde hij gedestilleerd water, in twee glazen bevat, die door eenen katoenen draad onderling verbonden waren en waarin thermometers hingen. Het water, waarin de positieve pooldraad dompelde, had steeds eene hoogere temperatuur dan het andere.

Geheel in strijd met deze waarnemingen zijn twee proeven van MACKRELL, vermeld in de *Archives de*

1) Pogg., Ann. XV, 264,

2) Pogg., Ann. LV, 62.

l'Electricité, I. 577. Met eene zuil van 120 paren ontleedde hij water, bevat in eene tweemaal regthoekig omgebogen huis, waarin de pooldraden der zuil dompelden. Spoedig geraakte de vloeistof aan het koken, eerst aan de negatieve pool, daarna voortgaande naar de positieve en altijd in dezelfde rigting, om het even welke draad ook het eerst werd ingedompeld. Vervolgens bragt hij de vloeistof in eene houten doos, waarin twee kaarten geplaatst waren, die tot diaphragmen dienden. Een thermometer, die in het positieve gedeelte dompelde, toonde 59° aan, een ander in het negatieve slechts 58° . Daarop verbond hij dezen toestel met de zuil en liet de ontleding gedurende 10 minuten plaats hebben, waarna de thermometer in het positieve gedeelte 65° aanwees en de andere 68° ; de eerste was dus 6° gestegen en de laatste 10° . Deze proeven toonen eene grootere verwarming aan de negatieve pool aan, maar laten aan juistheid veel te wenschen over. Vooreerst vermeldt MACKRELL niet of de pooldraden wel juist in alle opzichten gelijk waren; vervolgens moeten de kaarten, die in de tweede proef gebruikt werden, door haren grooteren weerstand eene ontwikkeling van warmte teweeg gebragt hebben en zeer waarschijnlijk in ongelijke mate, daar zij al ligt, in dikte of in een ander opzicht, konden verschillen; eindelijk kan de plaatsing der thermometers eene derde oorzaak van het verschijnsel geweest zijn. Welligt was de eene thermometer digter bij eene der kaarten dan de andere.

Uit het weinige, dat MACKRELL van zijne proeven vermeldt, mag men dus zijn resultaat nog niet voor waar-

heid houden, daar toch zoo vele andere waarnemingen het tegendeel bewijzen.

Ook de proeven, die ik genomen heb, en waarbij zeer verschillende vochten gebezigd zijn, bevestigen de uitkomsten der vroegere waarnemers. Ik heb mij bediend van eene Uvormige glazen buis, 4,5 centimeter wijd, bevestigd in een houten blokje, gelijk fig. 4 zulks aantoot. Een koperen standaard *A* draagt een koperplaatje *B*, dat door middel van de schroef *s* hooger of lager kan gesteld worden. Aan dit plaatje zijn twee haakjes bevestigd *a*, *b*, waaraan twee thermometers hangen, die met hunne bollen in de beide einden der buis dompelen.

C en *D* zijn de electroden, van eenen cilindrischen vorm, waaraan nog een reep verbonden is, zooals fig. 2 dit duidelijker aantoot. Zij zijn beide geheel en al uit één stuk platinablik gesneden en hebben volkomen dezelfde afmetingen. De breedte van den reep is 4,5 millim. en de middellijn van het cilindrische gedeelte is zoo lang, dat de electroden met eenige, doch geringe, wrijving in de buis kunnen op- en nedergeschoven worden. *E* en *F* zijn twee kwikbakjes, waarin zoowel de pooldraden van de batterij *G* als de reepen der electroden dompelen. Ten einde den invloed der uitstralende warmte tusschen de twee armen der buis tegen te gaan, is hiertusschen een beschot van gutta-percha *H* geplaatst.

De batterij bestond uit Grovesche cellen, doorgaans 6 in aantal, somwijlen, wanneer er groote weerstand in de keten aanwezig was, uit meer.

Fig. 2.

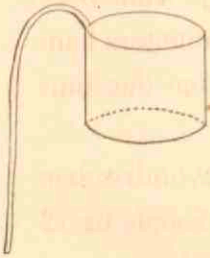
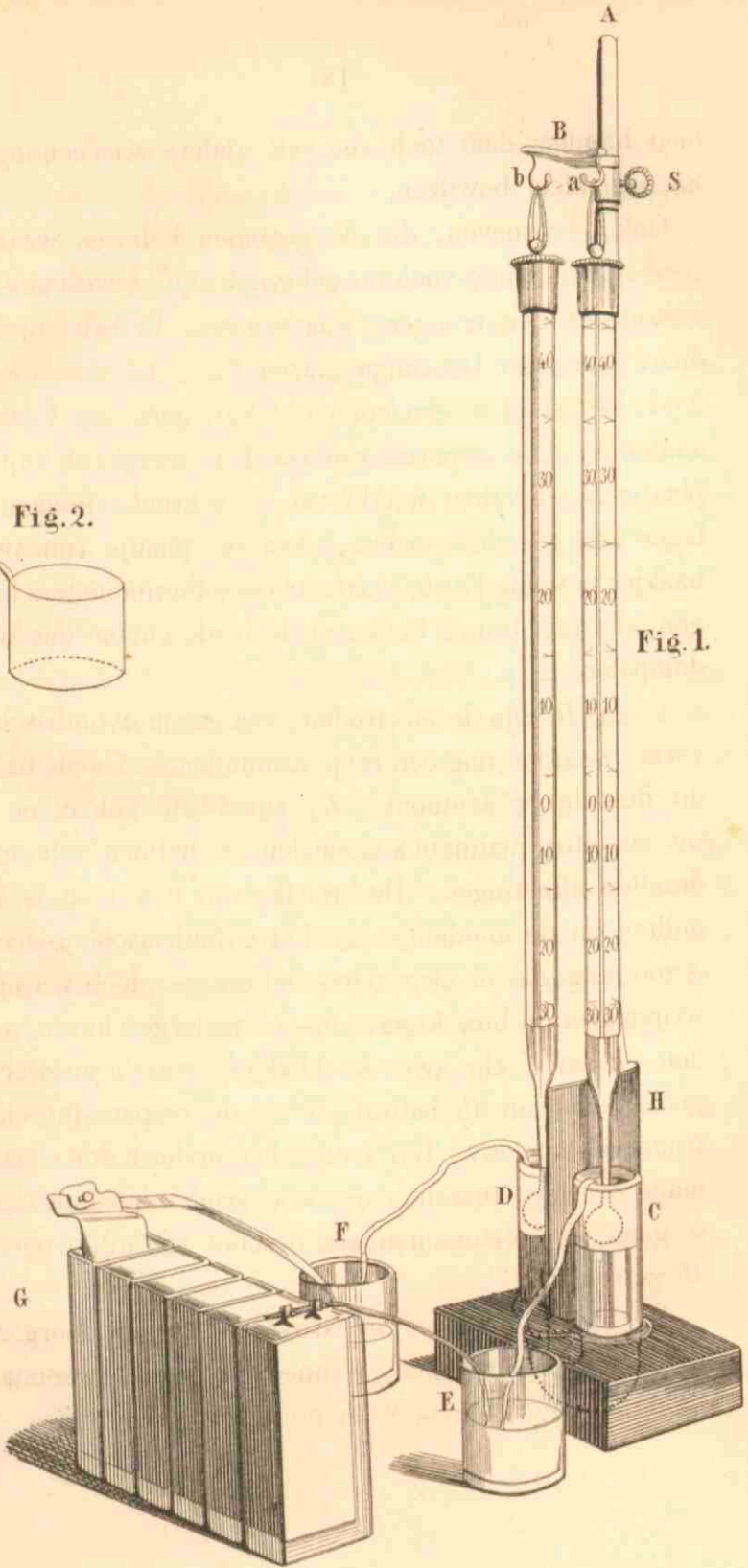


Fig. 1.



De thermometers behoorden tot eenen psychrometer van AUGUST, vervaardigd door J. G. GREINER JUN^r. te Berlijn. De schalen waren verdeeld in graden van RÉAUMUR; elke graad was in vijf gelijke deelen verdeeld, die nog gemakkelijk, op het oog, in twee gelijke deelen konden verdeeld worden, zoodat men naauwkeurig tienden van een' graad kon aflezen.

Beide thermometers dompelden evenver in de buis en hunne bollen waren door de cilindervormige electroden omgeven, zoodat zij zoo dicht mogelijk bij de electroden geplaatst waren en ook de afstand van deze tot de bollen dezelfde was aan weërszijden. Op deze wijze, meende ik, was men het zekerste, dat aan de beide uiteinden de omstandigheden zooveel mogelijk dezelfde waren voor de thermometers, hetgeen een vereischte is om uit de aanwijzingen van warmtegraad een juist besluit te kunnen afleiden. Met dezen toestel ging ik op de volgende wijze te werk. De buis werd gevuld met eene vloeistof tot op die hoogte, dat de electroden juist onder de oppervlakte der vloeistof waren; dan werden de thermometers daarin geplaatst, en men wachtte zoo lang, tot dat beide dezelfde temperatuur aanwezen. Daarop werd de keten gesloten en tegelijk de tijd genoteerd; na verloop van eenige minuten werd op de schalen der thermometers de temperatuur aan weërszijden afgelezen, waaruit men de verwarming der vloeistof aan beide polen kon afleiden.

Bij de eerste proeven heb ik den stroom gedurende geruimen tijd door dezelfde vloeistof laten gaan, terwijl daarbij zijne rigting van tijd tot tijd omge-

keerd werd. Dit geschiedde om mij te vergewissen, dat noch de thermometers noch eenig ander gedeelte van den toestel eene oorzaak van misleiding was. Na mij hiervan overtuigd te hebben, heb ik vloeistoffen van verschillenden aard aan eene of meer proeven onderworpen en bij allen, op *twee* na, de grootste verwarming gevonden aan de positieve pool. De twee vloeistoffen, die eene uitzondering maakten, waren oplossingen van nitras argenti en acetas plumbi, welke, zooals bekend is, een hyperoxyde aan de positieve pool geven. Het resultaat, dat ik van deze verkreeg, was onzeker. Somwijlen was de verwarming iets grooter aan de positieve, somwijlen iets grooter aan de negatieve; maar dan toch was het verschil zeer gering en welligt aan uitwendige storende invloeden toe te schrijven. Meestal was de verwarming aan beide polen gelijk; zoodat ik nog geene genoegzame zekerheid omtrent deze vloeistoffen door mijne proeven verkregen heb.

Uit de volgende waarnemingen zal de grootere verwarming aan de positieve pool (bij vloeistoffen, die geen hyperoxyde geven) duidelijk blijken.

I. *Zeer verdund zwavelzuur* (1 dl. zwavelzuur op 20 dln. water).

De aanvankelijke temperatuur aan de beide polen was $4^{\circ}.4$

na 5'	aan de pos. pool	$7^{\circ}.4$	aan de neg. pool	$6^{\circ}.4$
» 10'	» » » »	$9^{\circ}.6$	» » » »	$8^{\circ}.5$
» 15'	» » » »	$11^{\circ}.4$	» » » »	$10^{\circ}.4$
» 20'	» » » »	13°	» » » »	12°

De rigting van den stroom hierop omgekeerd zijnde,
was de temperatuur,

na 5',	aan de pos. pool	13°.	3,	aan de neg. pool	13°
» 10'	» » » »	15°.	2	» » » »	14°.
» 15'	» » » »	16°.	6	» » » »	15°.
» 20'	» » » »	17°.	9	» » » »	16°.

De rigting van den stroom weder omgekeerd zijnde,
was de temperatuur,

na 5',	aan de pos. pool	18°.	4,	aan de neg. pool	18°.
» 10'	» » » »	19°.	6	» » » »	19°.
» 15'	» » » »	20°.	6	» » » »	20°.
» 20'	» » » »	21°.	6	» » » »	21°.

De verwarming steeg toen niet hooger.

De omkeering van de rigting des strooms heb ik nog
meermalen ook bij andere vloeistoffen gedaan; in de
volgende waarnemingen komt zij echter niet voor, daar
alleen op de aanvankelijke rijzing in temperatuur te
letten is, waarover wij nog nader spreken zullen.

II. *Verdund salpeterzuur.*

De aanv. temp. was aan de beide polen 41°.

na 3', was die aan pos. pool 49°, aan de negat. 43°.

III. *Sterk salpeterzuur.*

De aanv. temp. was aan de beide polen 41°.

na 5', was die aan de pos. pool 23°.

IV. *Verdund zoutzuur.*

De aanv. temp. was aan de beide polen 41°.

na 5', was die aan de pos. pool 22°.

V. *Sterke potaschoplossing.*

De aanv. temp. was aan de beide polen 40°.

na 7', was die aan de pos. pool 16°.

VI. *Nitras potassae* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.5$
na 7', was die aan de pos. pool $22^{\circ}.4$, aan de negat. $20^{\circ}.9$.

VII. *Nitras sodae* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $40^{\circ}.4$
na 7', was die aan de pos. pool 48° , aan de negat. $44^{\circ}.1$.

VIII. *Sulphas sodae* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen $44^{\circ}.8$
na 7', was die aan de pos. pool $47^{\circ}.8$, aan de negat. $45^{\circ}.9$.

IX. *Carbonas potassae* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.8$
na 7', was die aan de pos. pool 20° , aan de negat. $48^{\circ}.2$.

X. *Sulphas cupri* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.6$
na 7', was die aan de pos. pool $43^{\circ}.8$, aan de negat. 43° .

XI. *Sulphas zinci* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.8$
na 7', was die aan de pos. pool $47^{\circ}.2$, aan de negat. $44^{\circ}.5$.

XII. *Chloridum ferri* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.6$
na 7', was die aan de pos. pool $43^{\circ}.8$, aan de negat. 43° .

XIII. *Chloridum stanni* (oplossing van).

De aanv. temp. was aan de beide polen. $44^{\circ}.7$
na 7', was die aan de pos. pool 33° , aan de negat. 26° .

Met al deze vloeistoffen is de proef meermalen herhaald, ten einde zeker van het verschijnsel te zijn, en steeds was het resultaat hetzelfde.

De reden, waarom ik bij deze vloeistoffen alleen de

aanvankelijke rijzing in temperatuur vermeld heb, is de volgende. Toen ik de proef met eene oplossing van salpeter deed, nam ik, in den aanvang, eene grootere verwarming aan de positieve pool waar; maar al spoedig werd het verschil in temperatuur aan de beide polen kleiner en kleiner, tot dat eindelijk eene geheele omkeering plaats had en de grootste verwarming aan de negatieve pool werd waargenomen. Hetzelfde had plaats bij nitras sodae en carbonas potassae. Het verschijnsel kwam mij eerst zeer vreemd voor; maar, bij nadere overweging, meende ik de oorzaak niet ver te moeten zoeken. Bij het begin der proef heeft men, in beide armen der buis, dezelfde vloeistof; maar zoodra de stroom doorgaat verandert deze ieder oogenblik. Bij nitras potassae b. v. wordt het salpeterzuur naar de positieve pool en de potasch naar de negatieve pool gedreven, zoodat de vloeistof steeds zuurder wordt, naarmate ze digter aan de positieve pool is en steeds meer alkalisch, hoe digter bij de negatieve pool. Men toont dit gemakkelijk aan door de zoutoplossing met een weinig sap van roode kool te kleuren. Spoedig zal men de roode kleur, door het zuur veroorzaakt, aan de positieve pool zien en de groene kleur, welke het alkali te weeg brengt, aan de negatieve. Door deze ontleding blijft dus de vloeistof in de buis niet overal dezelfde. Zij verandert aan de polen van chemische en physische eigenschappen. Aan de eene pool zal hare soortelijke warmte grooter zijn dan aan de andere; evenzoo zal haar vermogen om den stroom te geleiden niet aan beide polen gelijk

zijn. Wanneer nu, tengevolge der ontleding, de weerstand aan de negatieve pool steeds grooter en grooter wordt dan aan de positieve, dan zal, alle andere omstandigheden gelijk zijnde, de verwarming aan de eerste steeds grooter en grooter worden dan aan de laatste. Om deze reden heb ik den weerstand van potasch en salpeterzuur bepaald en gevonden, dat, wanneer beide geconcentreerd zijn, de weerstand van potasch meer dan tweemaal zoo groot is als die van salpeterzuur.

Dit geschiedde op de volgende wijze.

In een houten bakje, van binnen met glazen wanden voorzien, wordt de vloeistof gedaan, die men onderzoeken wil. Twee platinaplaatjes, die dezelfde breedte hebben als de inwendige breedte van het bakje, zijn verschuifbaar langs een liniaal, waarop eene schaal is afgeteekend. Deze plaatjes dienen als electroden. In de galvanische keten zijn nog aanwezig eene tangentenboussole en een rheostaat; zoodat de stroom gaat b. v. van de batterij door de winding der boussole naar eene der electroden, van hier door de vloeistof naar de andere electrode om dan door de windingen van den rheostaat naar de batterij terug te keeren. Nadat, bij eenen zekeren afstand der electroden, de naald tot rust gekomen en hare afwijking opgeteekend is, brengt men door verschuiving van eene der electroden deze nader bij elkander en men bepaalt hoeveel windingen van den rheostaat op de houten rol moeten opgewonden worden om de naald tot hetzelfde punt terug te brengen. Hetzelfde doet men met eene tweede

vloeistof, daarbij zorgende, dat de verschuiving der electroden in beide gevallen juist even groot zij. Gesteld, men had den afstand der electroden in beide gevallen a millim: kleiner gemaakt en daarvoor bij de eene vloeistof A windingen moeten opwinden en bij de andere vloeistof B windingen, dan is de verhouding der weerstanden dezer vloeistoffen $\frac{A}{B}$. Zoo heb ik voor gelijke afstanden der electroden bij potasch en salpeterzuur in het eerste geval 32 windingen en in het tweede 45 windingen afgewonden, derhalve is de verhouding der weerstanden $\frac{3}{1}\frac{2}{5}$ of 2.13 tot 1.

De potasch had een spec. gewigt van 1,106

Het salpeterzuur » » » » » 1,265.

Daar dus potasch en salpeterzuur zeer ongelijke weerstanden bezitten, ziet men de mogelijkheid van de genoemde omkeering der verwarming aan de polen gemakkelijk in. Waarschijnlijk heeft ook het, door den stroom, ontstaande verschil van soortelijke warmte des vochts in de beide armen der buis invloed op de omkeering. Hieromtrent mis ik echter bepaalde opgaven. Om deze redenen heb ik alleen de aanvankelijke rijzing in temperatuur aan de beide polen aangegeven, daar, alleen in het begin der proef, de vloeistof in de geheele buis dezelfde is en de verandering daarin, door eenen zwakken stroom, gedurende zeer korten tijd teweeg gebragt, ook gering is.

Hoe zal men deze grootere verwarming aan de postieve pool uit bekende feiten verklaren? DE LA RIVE, die het verschijnsel waarnam bij ontleding van water, schreef

het toe aan de ongelijke gasvorming, welke aan de beide polen plaats heeft; maar is deze verklaring voldoende? Ik meen grond te hebben deze vraag ontken- nend te beantwoorden. Wanneer men namelijk de vloeistoffen, welke ik onderzocht heb, nagaat, dan kan men ze in twee groepen verdeelen. De eerste groep bevat die vloeistoffen, bij welker ontleding, door den galva- nischen stroom, aan beide polen gas gevormd wordt; deze zijn: verdund zwavelzuur, verdund salpeterzuur, verdund zoutzuur, de oplossingen van potasch, salpeter, ni- tras sodae, sulphas sodae en van carbonas potassae. De tweede groep bevat de overige vloeistoffen, bij wier gal- vanische ontleding slechts aan de positieve pool een gas gevormd wordt; deze zijn: de oplossingen van sulphas cupri, sulphas zinci, chlor ferri en chlor. stanni als- mede sterk salpeterzuur. Het laatste zuur onderscheidt zich bovendien nog van de vier voorgaande zoutoplos- singen hierin, dat deze een metaal afzetten aan de ne- gatieve pool, terwijl het sterk salpeterzuur noch afzet- ting van metaal in vasten vorm, noch ontwikkeling van gas, maar alleen chemische ontleding aan deze pool vertoont. De verklaring nu van DE LA RIVE is alleen van toepassing op de vloeistoffen der eerste groep, maar is niet voldoende voor de overige, daar bij deze slechts aan de positieve pool gasvorming plaats heeft, waar- door dus aan deze pool warmte zoude opgeslorpt worden en, dien ten gevolge, de verwarming der vloeistof aan deze pool ook geringer dan aan de andere zoude zijn. De uit- komsten der proeven leeren echter het tegendeel en bewijzen derhalve, dat de ongelijkmatige vorming van

gas aan de beide polen niet voldoende is om de grootere verwarming aan de positieve pool te verklaren. Het zijn dus de vloeistoffen der tweede groep en vooral de oplossingen der daar genoemde metaalzouten, die ons noodzaken eene andere verklaring aan te nemen. Vooral de oplossingen der metaalzouten, zeide ik, omdat bij hare ontleding aan de negatieve pool een metaal wordt afgezet, hetwelk gepaard gaat met ontwikkeling van warmte, daar de lichamen steeds bij overgang van den vloeibaren in den vasten toestand warmte doen vrij worden; zoodat men bij deze vloeistoffen eene bron van verkoeling aan de positieve en eene bron van verwarming aan de negatieve pool heeft en desnietteenstaande de verwarming der vloeistof aan de positieve pool grooter is dan aan de andere.

Kunnen de chemische werkingen, die in de ontledingscel plaats hebben, hierbij ook in aanmerking komen? Op grond van hetgeen FAVRE aangetoond heeft, meen ik deze vraag insgelijks ontkennend te moeten beantwoorden. Zijne reeds op bl. 6 vermelde onderzoekingen toch hebben het bewijs geleverd, dat alle chemische werkingen, die in de galvanische batterij plaats hebben, zamenwerken tot het daarstellen van den galvanischen stroom, zoodat de warmte, welke door die werkingen, ware er geen stroom ontstaan, plaatselijk ontwikkeld zoude zijn, nu door dezen over de geheele keten verdeeld wordt. Indien er in de keten eene ontledingscel is, zal de chemische ontleding, die daarin plaats heeft, den stroom verzwakken en daardoor de hoeveelheid warmte, in de keten ontwikkeld,

verminderen, weshalve de verkoeling of onttrekking van warmte, welke met deze ontleding gepaard gaat, niet plaatselijk is maar zich over de geheele keten uitstrekt. Zij kan derhalve niet ter verklaring dienen van de ongelijke verwarming aan de beide electroden der ontledingscel, en wij zijn alzoo genoodzaakt het bestaan eener ons nog onbekende oorzaak van verwarming aan de positieve pool aan te nemen, voor welke aanneming wij grond hebben in de verschijnselen, die bij afgebroken geleiding plaats hebben en waarover wij thans zullen handelen.

HOOFDSTUK II.

OVER DE VERSCHIJNSELEN BIJ AFGEBROKEN GELEIDING.

§ 1.

De warmteverschijnselen, in het vorige hoofdstuk beschouwd, verschillen van die, welke zich bij afgebroken geleiding vertoonen en wier beschouwing ons thans zal bezig houden. Wanneer de galvanische keten niet gesloten is, d. i. wanneer zich een nietgeleider, b. v. lucht, in de keten bevindt, dan zal, indien de stroom genoegzame spanning bezit, de verbinding der positieve en negatieve electriciteit steeds plaats hebben onder verschijnsel van licht. Zulk een lichtverschijnsel neemt men niet waar, wanneer de sluiting der keten uit eenen goeden geleider bestaat, en hierin ligt juist het verschil tusschen de warmteverschijnselen van den galvanischen stroom bij volkomene en bij afgebroken geleiding, dat deze laatste steeds met lichtverschijnselen gepaard gaan, de eerste daarentegen niet.

Met zeer groote galvanische batterijen heeft men, bij toenadering der pooldraden, in de lucht, eene vonk zien overspringen. Met batterijen van geringe grootte geschiedt dit niet, dan wanneer men in de keten eene inductiespiraal brengt, uit vele windingen bestaande. De vonk ontstaat dan telkens als de stroom verbroken wordt en is een gevolg van de inducerende werking der windingen op elkander, waardoor een extra-stroom geboren wordt, die, bij het openen der keten, dezelfde rigting met den hoofdstroom heeft en eene groote spanning bezit, zoodat de lucht de ontlading onder het verschijnen van eene vonk niet beletten kan. Behalve deze vonk, die bij opening der keten plaats heeft, zijn er nog meer lichtverschijnselen, die bij afgebroken geleiding tot stand komen, b. v. de galvanische lichtboog, het glimlicht, dat in het luchtledige plaats heeft, enz.; maar voordat wij hiertoe overgaan zal het niet ongepast zijn in korte woorden de lichtverschijnselen te herinneren, welke de wrijvings-electriciteit ons aanbiedt, daar toch de overeenkomst der verschijnselen, die de galvanische en de wrijvings-electriciteit doen ontstaan, onmiskenbaar groot is.

Sedert lang is het bekend, dat, wanneer men den geladen conductor eener electriseermachine met de hand of met eenen anderen geleider nadert, er eene vonk ontstaat. Deze vonk vertoont zich even goed, wanneer de conductor positief als wanneer deze negatief geladen is, mits slechts de digtheid der electriciteit in beide gevallen even groot zij. Men noemt de vonk, die van den positief geladen conductor afkomstig is, positieve

vonk, in tegenstelling van die, welke men van den negatief geladen conductor verkrijgt en daarom negatieve vonk heet. Men kan de vonk doen overspringen van goede geleiders, zooals metalen, en evenzoo van slechte geleiders, zooals hars, glas enz. Den afstand, waarop de vonken overspringen, noemt men de *slagwijdte*. Deze hangt van verschillende oorzaken af; vooreerst van de digtheid der electriciteit, ten tweede van den vorm der geleiders en eindelijk van de niet geleidende middenstof. Wat de kleur der vonken betreft, zoo is deze verschillend in verschillende gassen en tevens afhankelijk van de stof, waaruit de geleider bestaat. FARADAY heeft hierover proeven gedaan en hiervan eene beschrijving gegeven in POGG. ANN. XLVII, 536.

Behalve in gassen kan men de vonken ook verkrijgen in water, terpentijnolie en meer andere stoffen.

Bij de ontlading eener batterij verkrijgt men evenzeer vonken, die echter niet van de vorige verschillen; waarbij opgemerkt moet worden, dat het onverschillig is of het binnenbekleedsel positief of negatief geladen is.

De electriche ontlading heeft niet altijd plaats onder den vorm van eene vonk. Zij kan nog op twee andere wijze geschieden, vooreerst als eene pluim en ten tweede als een gloed, gewoonlijk glimlicht of glimmen genoemd. De pluim bestaat uit eenen divergerenden flaauwen lichtkegel, uit purperkleurige stralen zamengesteld. Zij is reeds in het begin der voorgaande eeuw door GRAY 1) aan eene ijzeren stang, met wier uiteinde

1) Philos. transact. 1735.

eene gewreven glazen buis in aanraking was, waargenomen. Zij ontstaat, wanneer op eene plaats van den geëlectriseerden geleider de spanning te groot wordt, hetwelk vooral plaats heeft aan de scherpe kanten en hoeken van den conductor of eenig' anderen geleider. Men kan haar echter gemakkelijker tot stand brengen door den conductor met de hand te naderen, doch steeds op grooteren afstand dan dien, welke vereischt wordt tot het overpringen van vonken.

De electriche pluim gaat van een zeker geluid vergezeld, hetwelk ontstaat, door de snel op elkander volgende ontladingen en daarom ook des te hooger van toon wordt, hoe sneller de opeenvolging der ontladingen geschiedt. Dit geluid is verschillend naar mate de pluim positief of negatief is; in het laatste geval is het sissend, terwijl de positieve pluim een knetterend geluid veroorzaakt, hetgeen doet vermoeden, dat de negatieve pluim uit elkander sneller opvolgende ontladingen bestaat. Er is echter nog meer verschil tusschen de positieve en negatieve pluim; de eerste is namelijk uitgebreider en ontstaat gemakkelijker dan de laatste. Wanneer men eene puntige metalen staaf nabij eenen positief geladen conductor brengt, dan ontstaat aan deze laatste op eenen bepaalden afstand een sterretje, dat in glans toeneemt, wanneer men den conductor meer nabij komt, maar niet van gedaante verandert. Is daarentegen de conductor negatief geladen, dan ziet men aanvankelijk ook een sterretje aan de metalen punt, maar bij grootere toenadering ontstaat hieraan eene pluim, die zich naar den conductor heen

uitbreidt en bij nog kleineren afstand springen er vonken over. Zoo ziet men, dat het sterretje (glimmen) in eene pluim en de pluim in vonken overgaat, maar tevens, dat de positieve pluim gemakkelijker ontstaat dan de negatieve.

Het sterretje, waarvan zoo even gesproken is, is die wijze van ontlading, die glimmen genoemd wordt. OTTO VON GUERICKE ¹⁾ zag het glimmen aan eenen met de hand gewreven zwavelkogel en HAUKS BEE ²⁾ nam het waar aan zijne hand, wanneer hij haar zeer nabij eene gewreven glazen buis bragt. Men kan het glimmen aan lichamen met ronde oppervlakte waarnemen, maar toch minder gemakkelijk dan aan puntige, omdat tot het glimmen de hoogst mogelijke spanning der electriciteit vereischt wordt.

Wanneer men de toppen der vingers nabij den conductor eener goed werkende electriseermachine brengt, dan ziet men ze zeer duidelijk glimmen. De kleur van het glimlicht is violet, derhalve minder rood dan het licht der pluim. Het glimmen gaat niet, evenals de pluim, vergezeld van geluid, maar is gepaard met eenen luchtstroom. De luchtdeeltjes worden hierbij steeds met kracht van elkander afgestooten, zoodat men reeds op eenigen afstand van de plaats, waar het glimmen plaats heeft, den wind kan voelen. Hieruit volgt, dat verdunning der lucht het glimmen bevordert. Om dezelfde reden kan men het negatieve glimmen, dat volgens

1) Experimenta Magdeburg 1672.

2) Philos. transact. 1706.

FARADAY ¹⁾ zeer moeilijk in de lucht onder gewone drukking ontstaat, gemakkelijk in verdunde lucht verkrijgen. Het schijnt zelfs, dat aldaar het glimlicht bijzonder aan de negatieve electriciteit en de pluim aan de positieve eigen is. Vergelijkt men hiermede de positieve en negatieve Lichtenbergsche figuren, dan blijkt, dat de negatieve electriciteit zich meer zamentrekt terwijl de positieve meer geneigd is zich uit te breiden. Men verkeert echter, zoowel omtrent de electriche figuren als omtrent de genoemde electriche lichtverschijnselen, nog in het duistere wat de oorzaak betreft, waardoor het verschil in positief en negatief ontstaat. Daarbij moet opgemerkt worden, dat het verschil bij de lichtverschijnselen niet zoo bepaald is als bij de figuren. De figuren zijn of straalvormig, wanneer zij positief zijn of zij bestaan uit concentrische ringen, wanneer zij door negatieve electriciteit zijn voortgebracht; maar noch de pluim noch het glimmen komt *uitsluitend* aan de positieve of negatieve electriciteit toe. Later zullen wij nog gelegenheid hebben hierover te spreken en daarbij opmerken, dat ook de positieve electriciteit het glimlicht kan vertoonen.

§ 2.

De genoemde lichtverschijnselen ontstaan niet alleen met behulp der electriseermachine, maar komen ook door galvanische stroomen tot stand, en zelfs vertoonen zij zich dan veel schooner. Voor dat wij deze licht-

1) Pogg. Ann. XLVIII, 424.

verschijnselen der galvanische electriciteit bespreken, moeten wij melding maken van den galvanischen lichtboog, welks ontdekking wij aan HUMPHRY DAVY verschuldigd zijn.

Tot het voortbrengen van dezen lichtboog gebruikte deze groote natuurkundige de zeer krachtige batterij der Royal Institution. De pooldraden werden verbonden met twee koolspitsen en deze tot op $\frac{1}{30}$ " bij elkander gehouden; oogenblikkelijk ontstond er een licht, zoo sterk, dat het oog het nauwelijks verdragen kon. Bij verwijdering der koolspitsen nam het licht in uitgebreidheid toe en vormde eenen lichtenden boog. Na DAVY hebben nog andere natuurkundigen o. a. HARE en WILKINSON dit verschijnsel waargenomen, maar men behoefde hiertoe zeer groote batterijen. Toen echter de uitvinding der constante cellen had plaats gehad, kon men met minder omslag den galvanischen lichtboog verkrijgen en werd deze proef ook overal herhaald. De sterkte van het licht is buitengewoon groot en komt het zonnelicht zeer nabij. FIZEAU en FOUCAULT ¹⁾, alsmede CASSELMANN ²⁾ hebben hierover proeven in het werk gesteld.

DE LA RIVE ³⁾ bragt den lichtboog niet alleen tusschen koolspitsen maar ook tusschen metalen tot stand. GASSIOT ⁴⁾ en WALKER ⁵⁾ zagen hem reeds vroeger tus-

1) POGG. Ann. LXIII, 463.

2) POGG. Ann. LXIII, 576.

3) POGG. Ann. LXXVI, 170.

4) POGG. Ann. XLVI, 330.

5) POGG. Ann. LV, 62.

schen twee koperdraden, die de pooldraden eener batterij van 160 Daniëlsche cellen waren.

Hoe lossers de metalen zijn, des te gemakkelijker ontstaat de lichtboog, omdat deze uit gloeiende deeltjes bestaat, die van de eene pool worden losgerukt en naar de andere overgevoerd worden en dus als geleiders van den electrischen stroom dienen. Daarom kan men den lichtboog zeer gemakkelijk verkrijgen tusschen koolspitsen. Wat de overvoering der fijne deeltjes betreft, zoo is de meening hierover verschillend. DE LA RIVE houdt het er voor, dat de overvoering altijd plaats heeft van de positieve naar de negatieve pool. Latere onderzoekingen hebben echter geleerd, dat deze stelling niet algemeen geldt, maar dat de geaardheid der beide pool-einden hierop insgelijks eenen invloed uitoefent. MAAS ¹⁾ plaatste eene fijnkorrelige koolspits aan de positieve pool en daartegenover eene grofkorrelige aan de negatieve pool. Wanneer nu de lichtboog gevormd werd, verkreeg hij enkel overvoering van de negatieve pool naar de positieve, en daarbij werd de fijnkorrelige spits stomper, terwijl de grofkorrelige uitgehold werd. VAN BREDA ²⁾ heeft door weging voor en na de proef het gewigtsverlies der beide polen bepaald. Hij is tot het besluit gekomen, dat de overvoering der gloeiende deeltjes aan beide kanten plaats heeft en gelooft zelfs, dat de negatieve pool meer verliest dan de positieve. Bovendien is er volgens hem geene bepaalde overvoering van de eene naar de andere pool, maar worden

1) Instit. 1849, 46.

2) Pogg. Ann. LXX, 326.

de deeltjes naar alle rigtingen heen geworpen. Geheel beslist is deze zaak nog niet; maar zeer waarschijnlijk is het, dat de grootste overvoering of losrukking plaats heeft aan de positieve pool, omdat deze, zoo als wij straks nader zullen zien, eene hoogere temperatuur bezit dan de negatieve. Dit wordt nog bevestigd door de toepassing van de werking des lichtboogs op de graveerkunst. PRING 1) verbond namelijk eene stalen plaat met de positieve pool eener batterij en bragt daarop teekeningen te voorschijn door middel van eene platinanaald, die met de negatieve verbonden was. Bij elke verwijdering der naald van de plaat sprongen er deeltjes van deze laatste af en zoo kwamen er gegraveerde teekeningen tot stand. Bij omkeering der polen meende hij afzetting van kleine deeltjes op de plaat gezien te hebben.

De ontwikkeling van warmte aan de polen, waartusschen de lichtboog gevormd wordt, is buitengemeen groot. Zij is grooter dan die, welke de stroom, alleen bij doorgang door deze geleiders, veroorzaakt. Er moet dus nog op eene andere wijze door den stroom warmte voortgebracht worden, welke wijze ons echter tot nog toe onbekend is. Men kan metalen doen smelten en branden door tusschen hen eenen lichtboog tot stand te brengen. DESPRETZ 2) heeft met eene batterij van 496 Bunsensche elementen kool doen vervlugtigen. Hij plaatste een staafje suikerkool tusschen de polen van eenen lichtboog in eenen glazen bol, waarin

1) Dingl. Journ. XC, 181.

2) MÜLLER, Neueste Fortschr. d. Physik. 414.

de lucht tot 5 millim. verdund was. De kool begon te gloeijen en de bol werd met een zwart kristallijn poeder bedekt. Hij meent zelfs sporen van smelting der kool waargenomen te hebben.

Opmerkelijk is het, dat de ontwikkeling van warmte aan beide polen niet gelijk is; zij is grooter aan de positieve dan aan de negatieve. DE LA RIVE heeft dit waargenomen als hij den lichtboog vormde tusschen twee platinapunten. De positieve punt gloeide het eerst en het sterkst. Was de platinapunt positief en eene platinaplaat aan de negatieve pool bevestigd, dan smolt de punt; bij omkeering van den stroom had dit niet plaats maar werd de plaat, wanneer deze niet te dik was, doorboord. Bij de straks vermelde proeven van GASSIOT en WALKER was dit evenzeer het geval. Zij zagen den lichtboog tusschen twee koperdraden ontstaan, die elkander kruisten zonder aanraking. De positieve draad werd daarbij van het kruisingspunt tot aan zijn vrije uiteinde roodgloeijend en boog zich om, terwijl de negatieve draad betrekkelijk koud bleef. Zij hebben deze proef meermalen, met verwisseling der draden, herhaald en altijd hetzelfde resultaat verkregen.

Deze proef heb ik op dezelfde wijze gedaan met eene hatterij van 40 cellen van Grove, terwijl de pooldraden twee dunne platinadraden waren. Een schoone lichtboog ontstond op de kruisingsplaats; maar daarbij begonnen beide, zoowel de positieve als de negatieve draad, te gloeijen, altijd echter de positieve het eerst en het sterkst.

Het ombuigen van den positieven draad vertoonde

zich in sterkere mate dan bij GASSIOT en WALKER; want telkens, wanneer de draden begonnen te gloeijen, brandde een stuk van den positieven, juist aan de plaats van kruising, af. Het ombuigen van den draad is een gevolg der groote hitte, die hij verkrijgt, waardoor hij eenigermate week wordt. Die hitte was voor de dunne platinadraden, die ik gebruikte, zoo groot, dat de positieve draad afbrandde. Mijne proeven komen dus in hoofdzaak overeen met die van GASSIOT en WALKER, dat namelijk de ontwikkeling van warmte het grootst is aan de positieve pool.

Nog eene bijzonderheid moet hierbij vermeld worden. Het schijnt, dat GASSIOT en WALKER met de verbazende batterij, waarvan zij zich bediend hebben, den lichtboog hebben verkregen zonder voorafgaand contact der draden. Met de batterij, die ik gebruikte, gelukte dit niet; altijd moesten de draden elkander eerst aanraken. Het contact der draden is echter niet noodzakelijk. De ontlading eener Leijdsche flesch is voldoende, volgens HERSCHEL 1). Door de ontlading worden namelijk reeds deeltjes van den eenen kant naar den anderen gevoerd, en hierop berust juist het bestaan van den lichtboog; het zijn de gloeiende deeltjes, die den stroom geleiden. In zeer verdunde lucht kan de lichtboog zelfs op grooten afstand, zonder eenig hulpmiddel tot stand komen. DESPRETZ 2) verkreeg dien met eene krachtige batterij op eenen afstand van bijna 5 centi-

1) Pogg. Ann. XLIX, 122. LX, 381.

2) Instit. 1853, 33.

meters, niet alleen tusschen koolspitsen maar ook tusschen metalen. De verwijdering neemt toe met het aantal cellen der batterij.

Ook τυκτον ¹⁾ heeft de meerdere warmteontwikkeling aan de positieve pool nader bevestigd. Hij zag namelijk den sluitdraad gloeijen en smelten, wanneer deze de positieve pool was; was dezelve daarentegen de negatieve dan bleef hij betrekkelijk koud. Zijne proeven verdienen kortelijk vermeld te worden. Hij dompelde de pooleinden eener galvanische batterij, bestaande uit Danielsche cellen, in bakjes gevuld met kwik. Wanneer nu de sluitdraad eerst met het eene uiteinde gebragt werd in het bakje, dat met de positieve pool in verbinding stond, en daarna met het andere uiteinde in contact werd gebragt met het kwik van het andere bakje, begon dit uiteinde te gloeijen en smolt zelfs tot een bolletje. Dit duurde zoo lang, totdat dit uiteinde van den sluitdraad geheel in het kwik gedompeld was. Wanneer daarentegen de proef omgekeerd gedaan werd, d. i. eerst het eene uiteinde van den sluitdraad gestoken werd in het bakje, dat met de negatieve pool in verbinding stond, en daarna het andere uiteinde in contact gebragt werd met het kwik van het andere bakje, ontstond er slechts eene vonk, maar de draad gloeide niet, en er werd, in het laatste geval, meer kwik vervluchtigd dan in het eerste.

Wanneer de pooleinden in kwik dompelen, is het onverschillig uit welk metaal de sluitdraad be-

1) Pogg. Ann. LXX, 85.

staat. TYRTOV gebruikte draden van platina, goud, zilver, koper, geelkoper, ijzer, zink, tin, lood, bismuth, Berlynsch zilver en verkreeg daarbij altijd dezelfde resultaten, maar wanneer in plaats van kwik een ander metaal, hetzij in vasten hetzij in gesmolten toestand, gebezigd werd, waren de verschijnselen van gloeiing gelijk voor beide polen. — In het eerste geval van de proef van TYRTOV vormt het einde van den sluitdraad, dat met het kwik in contact gebragt wordt, de positieve pool en dan smelt het tot een bolletje; in het tweede geval is het uiteinde de negatieve pool, en dan gloeit het niet. Het kwik is daarentegen in het tweede geval de positieve pool en in het eerste geval de negatieve en wij hebben gezien, dat in het tweede geval, er meer kwik vervlugtigde dan in het eerste, derhalve zien wij hier alweder eene grootere ontwikkeling van warmte aan de positieve dan aan de negatieve pool.

Dezelfde proef heb ik in het werk gesteld met eene batterij van 40 Grovesche cellen. De sluitdraad was een zeer dunne draad van platina, die met zijne uiteinden in kwik gebragt werd. Ik heb in beide gevallen, zoowel wanneer de draad de positieve als wanneer bij de negatieve pool was, smelting verkregen — wellicht was de draad al te dun voor zulk eene krachtige batterij — maar toch was de middellijn van het gesmolten bolletje aan het positieve einde van den draad zeker tweemaal grooter dan die van het andere.

De waarneming van TYRTOV sluit zich onmiddellijk aan die van GASSIOT en WALKER; ook bij zijne proef

ontstaat een lichtboog tusschen den draad aan de eene zijde en het kwik aan de andere zijde. Het kwik begint namelijk te verdampen, zoodra de keten gesloten is, en daardoor wordt het contact verbroken; maar de stroom heeft toch gelegenheid om door te gaan door de overvoering van gloeiende deeltjes, zooals dit bij den lichtboog plaats heeft. De reden, waarom TYRTOV het verschijnsel alleen bij gebruik van kwik heeft waargenomen, is waarschijnlijk deze, dat zijne batterij niet krachtig genoeg was om den lichtboog bij de andere metalen tot stand te brengen, hetwelk bij kwik daarom des te gemakkelijker geschiedt, dewijl dit metaal spoedig verdampt en door zijne vloeibaarheid eene grootere bewegelijkheid heeft, waardoor het contact gemakkelijker gebroken wordt.

§ 3.

De lichtverschijnselen, in den aanvang van dit hoofdstuk vermeld, ontstaan zoowel in verdunde lucht als in lucht onder gewone drukking en zijn daarbij in het eerste geval veel schooner. Het fraaiste lichtverschijnsel is zeker wel datgene, hetwelk FARADAY het eerst waarnam en onder de benaming van donkere ontlading, § 1544 zijner *Experimental Researches on Electricity* 1) beschreef.

In eenen glazen bol waren twee koperen staven, 0,3 Eng. duim dik, diametraal tegenover elkander ge-

1) Pogg. Ann. XLVIII, 430.

plaatst, welke door den glazen wand heen, van elkander verwijderd of nabij elkander gebragt konden worden. Deze toestel vormde dus, hetgeen men het electriche ei noemt. De lucht werd uit den bol gepompt, dan de eene staaf in verbinding gebragt met den conductor der electriseermachine, terwijl de andere met den grond verbonden was. De staven werden daarop met hare uiteinden in den bol in aanraking gebragt en vervolgens, terwijl electriciteit door de machine ontwikkeld werd, langzaam van elkander verwijderd.

Op het oogenblik der scheiding verscheen aan het einde der negatieve staaf een aanboudend glimmen, terwijl het positieve einde geheel donker bleef. Bij grootere verwijdering ontstond eene purperkleurige streep aan het einde der positieve staaf, welke naar de tegenoverstaande staaf gerigt was. Deze streep werd grooter naarmate de afstand tusschen de staven grooter werd, maar bereikte nooit de negatieve staaf, welke steeds voortging met glimmen. De ruimte tusschen het glimmen en de purperen streep bleef donker en bedroeg ongeveer $\frac{1}{16}$ tot $\frac{1}{20}$ Eng. duim. Het verschijnsel was hetzelfde, hetzij de machine positieve of negatieve electriciteit gaf. Altijd was de streep aan de positieve, het glimmen aan de negatieve staaf en daartusschen eene donkere ruimte. Ook had hetzelfde verschijnsel plaats als aan de uiteinden der staven bollen geplaatst werden.

Dit buitengewoon schoone lichtverschijnsel hebben MASSON en BREGUET door middel van extra-stroomen insgelijks doen ontstaan, hetwelk zij in hunne *Mémoire*

sur l'Induction 1) hebben bekend gemaakt. Zij bedienden zich van eene batterij van 8 elementen, bestaande uit cylindere van koper en zink, welke door vliezen van elkander gescheiden waren en respectievelijk in eene oplossing van zwavelzuur koperoxyde en water dompelden. De sluiting der keten geschiedde door middel van eene spiraal van tweemaal met katoen omwonden koperdraad, hetwelk 1300 meters lang en 2,5 millim dik was. Met deze spiraal waren nog twee draden verbonden, wier uiteinden in verbinding stonden met de twee koperen bollen van het electriche ei, waarin de lucht, door middel van eene luchtpomp zeer verdund was. Ten einde den hoofdstroom afwisselend te sluiten en te openen maakten zij gebruik van een' stroomafbreker van bijzondere inrigting, waarvan eene beschrijving in genoemde verhandeling voorkomt.

De extra-stroom, die bij opening van den hoofdstroom onstond, had nu geenen anderen weg dan door de luchtledige ruimte en deed hierin het bedoelde lichtverschijnsel ontstaan. Als de bollen 2 millim. van elkander verwijderd waren sprongen er schitterende vonken over; bij vergrooting des afstands bedekte de eene bol zich met een violet licht, dat zich nog achter den bol langs de staaf uitstreckte; de andere bleef daarentegen donker, maar wierp naar den tegenoverstaanden bol eene lichtende roode streep. Dikwijls namen zij eene donkere ruimte tusschen deze roode streep en het violette licht waar. In plaats van ko-

1) Ann. d. Chim. et d. Phys. (3) IV, 129.

peren bollen gebruikten zij insgelijks bollen van ander metaal en koolspitsen, hetgeen echter geene verandering in het licht teweegbragt.

Dit lichtverschijnsel komt juist overeen met hetgeen FARADAY waargenomen heeft, alleen vermelden MASSON en BREGUET, dat het violette licht zich aan de positieve pool van den extra-stroom vertoont, hetwelk echter door FARADAY aan den negatieven bol is gezien. Ten einde te weten of de vermelding van MASSON en BREGUET juist was, heb ik zelf het lichtverschijnsel door eenen extra-stroom meermalen tot stand gebragt en daarbij altijd het violette licht aan de negatieve pool waargenomen, waarom ik dus geloof dat MASSON en BREGUET zich bij het opnoemen der polen vergist hebben. — Er zoude echter nog eenige twijfel kunnen bestaan, zoo men niet alleen den stroom, die bij breking van den hoofdstroom ontstaat, maar insgelijks den stroom, die bij making van dezen ontstaat, in aanmerking moest nemen.

Men kan echter met genoegzame zekerheid zeggen, dat de laatste extra-stroom te zwak is om het lichtverschijnsel voort te brengen, waarvoor men een bewijs heeft in het overspringen van de vonk alleen bij breking van den hoofdstroom en niet bij zijne making. Bovendien levert de volmaakte overeenkomst, die dit lichtverschijnsel met datgene heeft, wat door eenen in eenen tweeden draad geïnduceerden stroom wordt voortgebragt, een nieuw bewijs van de onjuistheid der opgaaf van MASSON en BREGUET. Later zullen wij op dit lichtverschijnsel nog terugkomen; hier moge echter

kortelijk vermeld worden op welke wijze ik mij overtuigd heb, dat het alleen bij breking van den hoofdstroom ontstaat. Daartoe heb ik gebruik gemaakt van een dubbel bliksemrad van NEEFF. Dit instrument bestaat uit twee koperen schijven, die aan dezelfde isolerende as verbonden zijn en waarvan de eene den inducerenden, de andere den geïnduceerden stroom ontvangt. Beide schijven zijn aan hare randen met ronde stukjes glas ingelegd en worden elk door twee koperen veren gedrukt, waardoor de beide stroomen geleid worden. Van elk paar veren drukt er eene altijd op het koperen gedeelte der schijf, terwijl de andere bij draaijing der schijven afwisselend op glas en koper drukt, waardoor de hoofdstroom gedurig gemaakt en gebroken wordt. Nu is de plaatsing der stukjes glas in de beide schijven zoodanig, dat bij regtsche draaijing der schijven alleen de inductie-stroom, die bij breking ontstaat, en bij linksche draaijing alleen de inductie-stroom, die bij making ontstaat, kan doorgaan. Worden nu de schijven snel in ééne rigting gedraaid, dan verkrijgt men eene snelle opeenvolging van stroomen allen in dezelfde rigting. Brengt men nu de schijven respectievelijk in verbinding met de beide draden van eenen inductor, en de uiteinden van den geïnduceerden draad met de bollen van het electrische ei, dan ziet men het lichtverschijnsel alleen bij regtsche draaijing ontstaan, derhalve bij gedurige breking van den hoofdstroom. De rigting van dezen geïnduceerden stroom, bij breking van den hoofdstroom, is gelijk aan die van den hoofdstroom en laat zich

door den galvanometer gemakkelijk bepalen, waardoor men zich dan ook overtuigen kan, dat het de negatieve pool is, die met een violet licht bedekt is en dat de roode lichtende streep van de positieve pool afkomstig is.

Het bekende lichtverschijnsel van NEEFF ¹⁾ is ook inderdaad niet anders dan dat van MASSON en BREGUET en is door RIESS ²⁾ terecht teruggebracht tot het lichtverschijnsel bij de donkere ontlading van FARADAY.

In korte woorden mogen wij hier vermelden, hetgeen NEEFF heeft waargenomen. Hij gebruikte zijnen magneet-electrometer, beschreven in POGG. Ann. XLVI, 404, waarvan de hamer met een platinaplaatje was bedekt, terwijl aan het aanbeeld een platinapunt bevestigd was. Men weet, dat er bij dezen toestel, tusschen den hamer en het aanbeeld, eene vonk ontstaat, welke geenszins aan verbranding van metaal is toe te schrijven, wanneer een zwakke galvanische stroom gebezigd wordt. Dit licht beschouwde NEEFF door een mikroskoop en onderscheidde daarin schitterende witte puntjes, omgeven van een violet lichtomhulsel. Deze witte puntjes waren onmeetbaar klein en vertoonden zelfs bij 66malige vergrooting nog geene middellijn. Zij ontstonden steeds aan eene der polen, nooit tusschen de beide polen, waarom NEEFF ze aan de oneffenheid der metaaloppervlakte toeschrijft. Het violette licht was zwak en vertoonde zich als een licht-

1) POGG. Ann. LXVI, 414.

2) POGG. Ann. XCI, 290.

omhulsel aan de platinapunt en als een horizontale schijf op het plaatje. Dit geheele lichtverschijnsel ontstond echter altijd aan de negatieve pool, terwijl de positieve pool donker bleef. Hieruit besloot NEEFF, dat de negatieve pool de oorsprong is van het elektrische licht. De positieve pool hield hij voor den oorsprong der warmte, waarvoor hij het volgende bewijs leverde. Het gebeurde namelijk somwijlen, dat eene stalen naald, die in plaats van de platinapunt was gebruikt, bij aanwending van eenen iets sterkeren stroom, plotseling begon te gloeijen, wanneer ze de positieve pool was, nimmer als zij de negatieve was.

Deze stelling, dat de negatieve pool de oorsprong van het licht en de positieve die der warmte is, werd voor eene gewigtige ontdekking gehouden. Vooral MOIGNO ¹⁾ was hierover in verrukking en leverde het volgende als bewijs voor de waarheid dezer stelling. Hij bragt twee bollen van platina in het luchtledige, welke de polen waren van eenen inductie-stroom, door middel van een stroomafbreker voortgebracht. Hij zag altijd den negatieven bol met licht bedekt, terwijl de andere donker bleef. Evenzoo zag hij hetzelfde bij het ontstaan van eenen lichtboog tusschen twee koolspitsen. Op het oogenblik, dat de keten gesloten werd, begon de negatieve pool te lichten en eerst later verspreidde de positieve pool, ten gevolge der grootere hitte, een veel sterker licht dan dat der negatieve.

1) Répert. d'Opt. mod. III, 1088.

RIESS echter meende, dat het verschijnsel van NEEFF niet nieuw was, maar reeds door FARADAY was waargenomen. Hij toonde dit aan, door de vonken, die bij den magneet-electromotor verbazend snel op elkander volgen, eerst langzaam en vervolgens sneller en sneller na elkander te doen overspringen. Dit geschiedde door eene platinapunt, die aan eene schroef bevestigd was, boven een platinaplaatje te stellen en nu deze beide met de uiteinden van eenen geïnduceerden draad te verbinden. Was de afstand tusschen de punt en het plaatje zoo groot, dat de ontladingen zeer langzaam op elkander volgden, dan bespeurde hij aan geene der beide polen eenig licht; door vermindering des afstands volgden de vonken elkander sneller op, tot dat, bij eenen zeer geringen afstand, de stroom van vonken zijnen glans verloor, eene zilverwitte, matte kleur verkreeg en zich een violet licht aan de negatieve pool vertoonde, waarin eene menigte schitterende puntjes ontstonden. Volgens RIESS is de verklaring van dit verschijnsel deze: bij het ontstaan van eene vonk wordt de lucht met kracht uiteengedrongen, doch ook terstond weër door de omringende lucht zamengedrukt; is echter de opeenvolging der vonken zeer snel, dan blijft de lucht daar ter plaatse verdund, en wanneer nu die verdunning der lucht eene zekere grens heeft bereikt, dan veranderen de vonken in eenen gloed.

Deze verdunning der lucht wordt bij den magneet-electromotor van NEEFF teweeg gebracht door de snelle heen- en weergang van het hamertje, waardoor de von-

ken snel op elkander volgen en het is dus niet vreemd, dat ook hier die violette gloed zich vertoont.

Op deze wijze is het verschijnsel van NEEFF in empirischen zin toegelicht, maar blijft nog in den grond, even als dat van FARADAY, voor ons duister; eene theoretische verklaring is hiervan nog niet gegeven. — Hetgeen echter NEEFF uit zijne waarneming besluit, dat namelijk de negatieve pool de oorsprong van het electriche licht is, komt mij voor nog aan eenige bedenking onderhevig te zijn, daar men het licht niet alleen aan de negatieve maar ook aan de positieve pool verkrijgen kan. Hiervan strekt tot bewijs hetgeen FARADAY zegt ¹⁾; wanneer namelijk in eene glazen klok, waarin de lucht verdund is, de uiteinden van twee metaalstaven, 0,2 E. duim dik, ongeveer 4 E. duim van elkander verwijderd zijn, dan kan men gemakkelijk aan beide staven het lichten verkrijgen. Derhalve, bij grooteren afstand der polen, kunnen beide lichten. Het verschijnsel bevestigt dus alleen, dat in verdunde lucht, bij geringen afstand der polen, de negatieve pool licht geeft, terwijl de positieve pool donker blijft.

Het electriche licht in het luchtledige is in de laatste jaren door meerderen natuurkundigen onderzocht; zij bedienden zich van eenen inductie-toestel van RUHKORFF, die zich hiertoe bijzonder goed laat gebruiken. Deze toestel bestaat namelijk uit twee goed geïsoleerde spiralen van koperdraad; de een is van dik draad en heeft weinige windingen, de andere van dun draad en

1) Pogg. Ann. XLVIII, 426.

heeft een groot aantal windingen. In den eersten draad bevindt zich een bundel ijzeren cylinders, die door den galvanischen stroom magnetisch worden, en dien ten gevolge een hamertje in beweging brengen, waardoor de stroom afwisselend gebroken en gesloten wordt. De spanning, welke de geïnduceerde stroom bezit, is bij dezen toestel zeer groot, zoo dat de ontlading door de lucht reeds plaats heeft, wanneer de einden van den draad 4 duim van elkander verwijderd zijn en in verdunde lucht zelfs bij eenen afstand van 2 palm.

QUET heeft het electriche licht in verdunde lucht met dezen toestel waargenomen 1). Het violette licht van de negatieve pool vertoonde zich zeer schoon, het bestond uit lagen, die afwisselend helder en donker waren. Het roode licht, dat zich van de positieve naar de negatieve pool uitstreckte, bestond eveneens uit afwisselende heldere en donkere lagen, waarvan degenen, die het digst bij de negatieve pool waren, eenen ronden vorm hadden en met de holle zijde naar deze pool gekeerd waren, zonder echter deze aan te raken; tusschen het roode en violette licht vertoonde zich weder de donkere ruimte. Het verschijnsel vertoonde zich evenzoo in eene verdunde atmosfeer van dampen van houtgeest, terpentijnolie, alcohol, naphtaolie, chloridum stanni enz. De lagen, die het roode licht zamenstellen, hadden niet allen denzelfden toon van rood, hetgeen vooral bij chloridum stanni het geval was. Het roode licht vertoonde zich niet

1) Compt. Rend. XXXV, 949.

alleen *tusschen* de twee polen, maar bedekte evenzeer de positieve pool, als de negatieve door het violette licht bedekt werd. Bij toenadering der polen werd het violette licht sterker, het roode zwakker en eindelijk onmerkbaar. — QUET overtuigde zich insgelijks, dat het lichtverschijnsel alleen ontstaat bij breking van den hoofdstroom, door de beweging van het hamertje langzaam met de hand te doen plaats hebben.

MASSON heeft zijne waarnemingen, vermeld op pag. 43, insgelijks bevestigd gevonden door middel van den toestel van RUMKORFF ¹⁾. Hij zag, behalve het roode en violette licht, ook nog een wit phosphorescerend licht, dat den geheelen bol vervulde. Het licht werd sterker, wanneer hij twee inductiestroomen tegelijk in denzelfden draad en in dezelfde rigting liet gaan; was daarentegen de rigting der stroomen tegengesteld, dan vertoonde zich het violette licht aan beide polen en het roode licht tusschen beide in. Het laatste verdween als de polen op eenen afstand van 4 à 5 centimeters van elkander verwijderd waren, zoodat de ruimte tusschen de beide polen toen volkomen duister was.

Gedurende het lichtverschijnsel is de temperatuur aan de negatieve pool grooter dan aan de positieve, hetwelk DESPRETZ ²⁾ door middel van eenen thermometer heeft aangetoond. Hetzelfde resultaat verkreeg hij, als aan de einden van de geïnduceerde spiraal fijne ijzerdraadjes bevestigd waren, en deze, in de lucht,

1) Compt. Rend. XXXVI, 255.

2) Compt. Rend. XXXVII, 371.

nabij elkander gebragt werden; het negatieve draadje, of dat gedeelte van den draad, waaraan zich het violette licht in het luchtledige vertoont, gloeide en smolt tot een klein bolletje. Deze proef is insgelijks door GASSIOT ¹⁾ met platinadraadjes gedaan en gaf dezelfde uitkomst.

De proeven, die ik met den toestel van RUHMKORFF genomen heb, hebben geene nieuwe resultaten opgeleverd; zij hebben alleen de vroegere waarnemingen bevestigd:

1°. Wanneer de uiteinden van den geïnduceerden draad met de beide bollen van het elektrische ei verbonden zijn, dan bedekt zich, bij verdunning der lucht, de negatieve bol met een *violet* licht, dat zich somwijlen over de geheele staaf, waaraan deze bol bevestigd is, uitstrekt. De positieve bol daarentegen blijft, zoolang de afstand der bollen niet zeer groot is, donker en werpt slechts eenen cilindrischen of zwak divergerenden *rooden* lichtbundel naar den negatieve bol toe.

2°. Tusschen dit violette en roode licht vertoont zich altijd eene donkere ruimte.

3°. Zoowel het violette als roode licht bestaat uit afwisselende heldere en donkere lagen. Zijn de bollen van het elektrische ei verticaal boven elkander geplaatst, dan zijn de lagen in het roode licht horizontaal, terwijl het violette licht in concentrische ringen verdeeld is, waarvan ik er slechts drie heb kunnen tellen; het aan-

1) Phil. Mag. (4) VII, 97.

tal donkere lagen in het roode licht is daarentegen zeer groot.

4°. De sterkte van het roode licht is veel grooter dan die van het violette.

5°. De kleur van het licht aan beide polen is onafhankelijk van de stof, waaruit zij bestaan.

6°. Op de negatieve pool vertoonen zich, in het violette licht, altijd schitterend witte puntjes.

7°. De temperatuur is aan de negatieve pool grooter dan aan de positieve. — Dit heb ik bevestigd gevonden door de proef van DESPRETZ en GASSIOT en bovendien door de volgende. De uiteinden van den geïnduceerden draad waren in twee kwikbakjes gedompeld en deze door een dun platinadraadje verbonden. Dompelt men eerst het eene uiteinde van het draadje in het negatieve bakje en daarna het andere in het positieve bakje, dan gloeit dit laatste uiteinde van het platinadraadje; in het omgekeerde geval daarentegen ziet men geene gloeiing; er ontstaat dan alleen eene vonk. Het gloeijen heeft dus plaats aan de negatieve pool; hierbij wordt verondersteld, dat, even als bij de lichtverschijnselen, zoo ook bij gloeiing alleen de inductiestroom, die bij de breking van den hoofdstroom ontstaat, in aanmerking komt. De reden, waarom de grootste warmteontwikkeling bij inductiestroom en bij primaire stroomen niet aan dezelfde pool plaats heeft, is geheel onbekend; maar men mag vermoeden, dat insgelijks de inductiestroom, die bij making van den hoofdstroom ontstaat, ook eenig aandeel hierin heeft, althans evenzeer tot verwarming der keten bij-

draagt, waardoor de tegenstelling van positieve en negatieve pool geringere beteekenis behoudt, omdat dan dezelfde pool gedurig afwisselend positief en negatief is. De beide gevallen van verwarming der polen, bij primaire en bij secundaire stroomen, verschillen dus daarin, dat in het eerste de rigting van den stroom dezelfde blijft, terwijl in het laatste geval onophoudelijk stroomen in tegengestelde rigtingen aanwezig zijn, en men kan dus de tegengestelde resultaten, die zij opleveren, nog niet als tegenstrijdige beschouwen.

§ 4.

Ten slotte zijn nog de lichtverschijnselen te vermelden, welke de electroden van krachtige batterijen vertoonen, wanneer zij in vloeistoffen dompelen. HARE en MACKRELL namen bij deze lichtverschijnselen ook die van gloeiing en smelting der electroden waar. De eerste ¹⁾ gebruikte hiertoe eenen deflagrator uit 300 metaalparen bestaande, elk 7 duim lang en 3 duim breed; de pooldraden waren van ijzer en platina en dompelden in eene verzadigde oplossing van chloruretum calcii; wanneer nu de ijzerdraad negatief en de platinadraad positief was, begon de eerste sterk te gloeijen en smolt; wanneer daarentegen de ijzerdraad positief was, dan gloeide hij veel minder sterk. HARE schrijft de grootere ontwikkeling van warmte aan den negatieven draad aan de verbranding van het cal-

1) DE LA RIVE, Arch. de l'Elect. I, 578.

cium toe. Hierin stemt echter MACKRELL ¹⁾ niet met hem overeen, maar meent uit zijne proeven te mogen afleiden, dat, wanneer de electroden eener batterij in eene zure oplossing dompelen, de cathode eene hoogere temperatuur bezit dan de anode. Wij zullen zijne proeven hier kortelijk vermelden.

Een gewoon drinkglas bevatte verdund zwavelzuur (4 dl. zwavelz. op 40 dln. gedestill. water), waarin de pooldraden eener batterij van 120 metaalparen dompelden. Vooreerst gebruikte hij ijzerdraden en zag dat, wanneer eerst de positieve en daarna de negatieve draad ingedompeld werd, deze laatste met eene roode vlam verbrandde; werd daarentegen eerst de negatieve en daarna de positieve draad ingedompeld, dan gloeide deze tot ongeveer $4\frac{1}{2}$ duim in de vloeistof, maar verbrandde niet. — Vervolgens gebruikte hij als eene der electroden een platinaplaatje, terwijl de andere achtereenvolgens uit draden van verschillende metalen bestond; altijd werd het platinaplaatje het eerst ingedompeld. Was nu de andere electrode een ijzerdraad en positief dan gloeide zij bij indompeling in het vocht even als in de vorige proef; slechts in aanraking met de vloeistof zijnde, smolt zij. — Koperdraad als negatieve electrode verbrandde met blaauwe vlam, als positieve electrode gloeide het tot 4 duim in de vloeistof. — Een reep zink verbrandde als negatieve electrode met purpervlam, en gloeide als positieve electrode 4 duim lang in de vloeistof. —

1) DE LA RIVE, Arch. de l'Elect. I, 575.

Sulfuretum antimonii smolt en verbrandde, wanneer het negatief was, waarbij zich een oranjekleurig poeder aan de oppervlakte vormde; wanneer het positief was, gaf het witte dampen van zich.

Een ijzerdraadje positief zijnde en een stukje houtskool negatief, dan gloeide dit laatste, wanneer het ook het laatst met de vloeistof in aanraking kwam; in het tegengestelde geval had dit niet plaats.

Twee platinaplaatjes de electroden zijnde, waarvan het negatieve het eerst was ingedompeld, werd het andere zeer warm en verkreeg eene lichtende blaauwe tint; werd daarentegen het negatieve plaatje het laatst ingedompeld, dan ontstond er geen licht, maar er hadden verscheidene kleine ontploffingen plaats.

MACKRELL vermeldt tevens, dat de gasontwikkeling niet plaats had aan de plaat, die het eerst was ingedompeld, maar aan de andere, die tevens gloeide.

QUET 1) nam het lichten der platinaelectroden in water, dat door zwavelzuur of potasch geleidend gemaakt was, onder den invloed eener batterij van 40 groote Bunsensche elementen waar. Volgens zijne meening is een platinadraad, dit tot electrode dient, niet gloeiend, maar omgeven van een lichtomhulsel, waarvan de kleur verschillend is voor de beide polen. Bij gebruik van het water met zwavelzuur vermengd, is de kleur van de negatieve electrode violet en herinnert het violette licht, dat de negatieve pool bedekt bij de electriche ontladingen in verdunde lucht, door middel

1) Compt. Rend. XXXVI, 1012.

van den toestel van RUHKORFF; somwijlen komen er groene plaatsen in dit licht voor; de kleur van de positieve electrode is daarentegen rood. In de verdnde oplossing van potasch, heeft de negatieve electrode een lichtomhulsel van rose kleur; waaruit QUET besluit, dat de kleur niet aan de electroden zelven toekomt.

Hij merkt tevens op, dat de gemakkelijkheid, waarmede het lichten der electroden geschiedt, niet voor beide dezelfde is; gewoonlijk is het de negatieve electrode, die zich met een lichtomhulsel omgeeft. Om dit verschijnsel te voorschijn te brengen kan men of de beide electroden tegelijk indompelen en wachten tot de temperatuur der vloeistof zoo hoog gestegen is, dat het van zelf plaats grijpt, of men kan eerst de positieve electrode indompelen en daarna met de negatieve de vloeistof aanraken of voorzigtig daarin steken. Wij mogen hierbij voegen, dat men ook even goed eerst den negatieven draad en daarna den positieven kan indompelen, ofschoon dan het lichten van den laatsten zwakker is.

Gedurende het lichten der electroden heeft de gasontwikkeling bijna niet plaats, maar men vermeent een aanhoudend knetterend geluid, dat ophoudt zoodra de electroden niet meer lichten, waarbij dan ook tevens de gasontwikkeling weder met kracht aanvangt.

De waarnemingen van MAAS ¹⁾ verdienen hier insgelijks vermelding, daar hij deze lichtverschijnselen met draden van verschillend metaal en in verschillende vloeistoffen heeft tot stand gebracht. Zijne batterij bestond

1) Repert. d'Opt. Mod., III, 1089.

uit 70 kleine Grovesche elementen. De kleuren, welke hij aan de electroden waarnam, zijn in de volgende tabel opgenoemd:

Aan de neg. pool.	Zoutzuur.	Zwavelzuur.	Salpeterzuur (sterk).	Potasch.
Platina	<i>geel-groen.</i>	<i>violet.</i>	<i>blaauw.</i>	<i>wit.</i>
Zilver	<i>groen.</i>	<i>blaauw en</i>	<i>groen-blaauw</i>	<i>geel.</i>
Koper	<i>blaauw.</i>	<i>blaauw.</i>	<i>blaauw.</i>	<i>geel-wit.</i>
IJzer	<i>azuurblaauw</i>	<i>violet.</i>	<i>geel.</i>	<i>violet.</i>
Idem	<i>wit, over eene grootere lengte.</i>	<i>verbrandt buiten de vloeistof.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>

Aan de pos. pool.

Platina	<i>rood.</i>	<i>rood.</i>	<i>wit.</i>	<i>rood.</i>
Zilver	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>rood.</i>	<i>idem.</i>
Koper	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>geene wer- king.</i>	<i>geel-rood.</i>
IJzer	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>hel-rood.</i>

Na deze zuren en potaschoplossing gebruikt te hebben, stelde MAAS er belang in, het verschijnsel waar te nemen ook in zoutoplossingen; de kleuren, die daarbij ontstonden, waren:

Aan de neg. pool.	Nitras plumbi.	Nitras potassae.	Sulphas sodae.	Chloruretum sodii.
Goud	<i>violet</i> (prachtig).	<i>violet.</i>	<i>geel-wit.</i>	<i>geel-wit.</i>
Platina	<i>violet.</i>	<i>wit-violet.</i>	<i>idem.</i>	<i>zuiver geel.</i>
Zilver	<i>violet, groen.</i>	<i>violet.</i>	<i>idem.</i>	<i>geel-wit.</i>
Koper	<i>groen.</i>	<i>wit.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Maillechort.	<i>violet, groen, rood.</i>	<i>violet</i> (verbrandt).	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
IJzer	<i>violet.</i>	<i>wit.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Zink	<i>idem.</i>	<i>wit (smelt).</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Houtskool . .	<i>idem.</i>	<i>geel-wit</i> (verbrandt).	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>

Aan de pos. pool.	Nitras plumbi.	Nitras potassae.	Sulphas sodae.	Chloruretum sodii.
Goud	<i>rood.</i>	<i>rood.</i>	<i>rood.</i>	<i>rood.</i>
Platina	<i>idem.</i>	<i>idem</i> (knetteren).	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Zilver	<i>idem.</i>	<i>wit-rood.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Koper	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Maillechort.	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
IJzer	<i>idem.</i>	<i>rood, daarna</i> <i>groen.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Zink	<i>idem.</i>	<i>rood.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>
Houtskool. .	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>	<i>idem.</i>

Uit deze opgaven blijkt, dat het rood alleen aan de positieve pool voorkomt, terwijl de overige kleuren van het spectrum aan de negatieve pool optreden, behalve het oranje, dat nergens vermeld is geworden; het violet komt zeer dikwijls aan die pool voor, vervolgens het geel-wit, dat alle metalen in sulphas sodae en, met uitzondering van platina, ook in de oplossing van chloorsodium vertoonen. Het wit ontstaat alleen bij eenen sterken stroom en bij niet al te geconcentreerde oplossingen. Het groen verschijnt eenmaal aan de positieve pool, bij het ijzer; eindelijk komen blaauw en geel menigvuldig alleen aan de negatieve pool voor.

MAAS maakt insgelijks de opmerking, dat het verschijnsel zich gemakkelijker aan den negatieven draad vertoont dan aan den anderen.

Onlangs heeft de Hoogleraar VAN DER WILLIGEN ¹⁾, te Deventer, het lichten der electroden waargenomen met eene eene batterij van 40 Bunsensche elementen,

1) Proeven betreffende den Galvanischen Lichtboog.

elk van $\pm 4,6 \square$ decim. werkende oppervlakte en gevuld met gewoon salpeterzuur en verdund zwavelzuur (1 deel zwavelzuur en 5 deelen water). De wijze, waarop hij zijne proeven in het werk stelde, is dezelfde als die, waarop QUER te werk ging. Eene der electroden wordt in eene vloeistof gedompeld en daarna de andere voorzigtig met deze vloeistof in aanraking gebracht, vervolgens trekt men de laatste electrode tot op eenen kleinen afstand terug of men schuift haar al dieper en dieper in.

In de eerste plaats werd als vloeistof gebezigd, gewoon onverdund zwavelzuur uit den handel en als electroden platinadraadjes van $\frac{1}{2}$ millim. dik. Was de negatieve electrode in de vloeistof gedompeld en werd dan voorzigtig de positieve electrode met de vloeistof in aanraking gebracht, dan geraakte zij 1), zoodra er contact plaats greep, 3 à 4 millim. lang in gloed. Werde de negatieve electrode het laatst in aanraking gebracht, dan had met deze hetzelfde plaats. Werde de positieve electrode van de oppervlakte al dieper en dieper ingeschoven, dan zag men haar ongeveer nog $4\frac{1}{2}$ centimeter lang in de vloeistof lichten, waarbij zich als min of meer roode puntjes over hare oppervlakte bewogen; werd de negatieve electrode eveneens, nadat zij was gaan gloeijen, al dieper en dieper ingeschoven, dan greep met haar in 't algemeen het-

1) Ik heb gemeend het geslacht van het woord *electrode* vrouwelijk te moeten nemen even als *synode* en *methode*, waarin de nitgang *ode* dezelfde beteekenis heeft als in *electrode*.

zelfde plaats; maar toch, vooral wanneer de vloeistof reeds eenige malen tot deze proeven gediend had, trad er eenig onderscheid tusschen de beide electroden op.

Wanneer namelijk de negatieve electrode het laatst in aanraking kwam, kon men met haar lavendel blaauwe vonkjens op de oppervlakte verkrijgen; met de positieve electrode verkreeg men niet dan zeer kleine gele vonkjens. Wanneer de negatieve electrode al dieper en dieper werd ingeschoven, vertoonde zij nog van onderen aan de punt steeds een lavendelblaauw kransje.

Het gebruik van ijzerdraad tot electroden leverde geene andere verschijnselen op dan die van platina-draad. Wanneer echter de positieve electrode een ijzerdraad was en de negatieve een platinadraad, en men de positieve electrode het eerst indompelde dan werd het verschijnsel van gloeijen of lichten niet waargenomen aan den laatst ingebragten negatieven draad; maar zoodra deze met de oppervlakte in aanraking kwam begon de positieve ijzerdraad te lichten, — tegen den gewonen regel, — waarbij zich het licht al loopend van boven naar beneden langs den draad voortplante.

De vloeistof werd, na eenigen tijd voor deze proeven gebezigd te zijn, zeer troebel, hetgeen waarschijnlijk aan afgescheiden zwavel moet worden toegeschreven. Zoo lang eene der electroden in den beschreven buitengewonen toestand verkeerde, was de gasontwikkeling of chemische ontleding zwak. Werde de lichtende draad nog dieper ingeschoven, dan hield het buitengewone verschijnsel op met een meer of minder hoorbaren

knap, en dan trad plotseling krachtige gasontwikkeling op. Onder de ontledingsproducten werden zwavelwaterstof en zwaveligzuur opgemerkt.

Verdund zwavelzuur leverde dezelfde verschijnselen op als onverdund, maar in minder sterke mate. Men kon echter geene gloeiing van den draad tegen de oppervlakte verkrijgen; daarentegen was het lavendel blaauwe licht aan de negatieve electrode veel duidelijker dan met onverdund zwavelzuur. De Hoogleeraar merkt verder op, dat zoolang eene der electroden in dezen buitengewonen toestand verkeerde, de intensiteit van den doorgelaten stroom veel zwakker was, hetgeen de tangenten-boussole, waarvan de magneetnaald bij de eindelijke opheffing van dien toestand van 42° tot 30° uitsloeg, bewees.

Bij gebruik van eene oplossing van chloruretum sodii kwam werkelijk een kleine lichtboog tot stand met de negatieve electrode, maar niet met de positieve, die alleen enkele kleine gele vonkjes gaf. De kleur van den lichtboog was groen-geel gelijk het licht der soda. Geene der electroden echter kon lichtend verkregen worden in de vloeistof. Met ijzerdraad kwam de lichtboog aan de negatieve electrode even goed, misschien zelfs beter, dan met platina tot stand.

Eene oplossing van sulphas potassae gaf gelijksoortige verschijnselen als chloruretum sodii, maar de lichtboog was slechts een klein begin en vertoonde het violette licht der potasch. De geringe oplosbaarheid van sulphas potassae in water verklaart de zwakte van den lichtboog.

Het ontstaan van den lichtboog aan de negatieve electrode geeft volgens den Hoogleraar, de verklaring van de verbranding dier electrode bij de proeven van MACKRELL, daar de verbranding juist onder den invloed van zulk eenen lichtboog, tusschen de negatieve electrode en het zwavelzuur, zal ontstaan zijn. Daar echter MACKRELL dezen lichtboog niet gezien, of althans niet vermeld heeft, zoo is er nog geene genoegzame zekerheid om deze verklaring aan te nemen. Immers de Hoogleraar vermeldt niet, dat er verbranding van de negatieve electrode, bij het ontstaan van den lichtboog, plaats greep en wij houden het er dus voor, dat zulks ook niet plaats gehad heeft, maar meenen dan ook, dat MACKRELL zulk eenen lichtboog zou waargenomen hebben, indien deze zoo sterk ware geweest, dat de verbranding van den draad daarvan het gevolg zou geweest zijn. Hoewel wij deze opmerking meenden te moeten maken, zijn wij toch meer geneigd om deze verklaring aan te nemen, dan in te stemmen, met MACKRELL, die meent, dat de galvanische stroom eene grootere ontwikkeling van warmte aan de negatieve pool veroorzaakt dan aan de positieve, daar deze meening toch in strijd is met latere waarnemingen. Het is echter te betreuren, dat MACKRELL zijne proeven niet juist beschreven heeft. Had hij vermeld wat er plaats greep bij de verbranding, welligt ware er dan meer licht over de zaak verspreid.

Het lichten der electroden moet, volgens den Heer V. D. WILLIGEN, misschien meer worden toegeschreven aan een lichten van de omgevende gas-atmosfeer,

dan wel aan een eigenlijk gloeijen van het metaal; omdat het licht eene soort van onbestendigheid heeft; omdat de wijze en snelheid van voortplanting van het licht langs den draad van boven naar beneden, in het geval met den positieven ijzerdraad (pag. 62), niets heeft, wat een gloeijen van den draad kan herinneren; omdat dit daarentegen een voorkomen heeft, waardoor men genoopt wordt te denken aan iets gelijk aan een loopend vuurtje, aan de voortplanting van eene soort van gloren en glimmen, omdat eindelijk het verschijnsel eerst goed in eene donkere kamer is waar te nemen.

Voor dat wij over den aard van het verschijnsel onze meening uitspreken, mogen eerst nog de proeven vermeld worden, welke ik zelf in het werk gesteld heb en wier uitkomsten vrij wel, doch niet geheel en al overeenkomen met die van den Heer v. D. WILLIGEN, hetgeen waarschijnlijk aan kleine verschillen in de bijzonderheden der proefneming is toe te schrijven.

De batterij, waarvan ik mij bediende, bestond uit 40 Grovesche elementen, gevuld met zeer verdund zwavelzuur (1 deel zwavelzuur op 20 deelen water), en salpeterzuur. — De electroden waren platinadraadjes van $\frac{1}{2}$ millim. dik, welke altijd na elkander in de vloeistof gedompeld werden, waarbij ook altijd de laatste draad zeer voorzigtig met de vloeistof in aanraking werd gebragt en daarna een weinig teruggetrokken of dieper in de vloeistof ingedompeld werd. Het algemeene verschijnsel is dit, dat altijd de laatst ingedompelde draad begint te lichten; is deze de negatieve draad, dan vertoont zich het lichtverschijnsel in

veel sterkere mate, dan wanneer het de positieve draad is.

Eerst heb ik als vloeistof gebruikt onverdund zwavelzuur, wat, vóór het reeds eenigmalen tot deze proeven gediend had, een onderscheid aan de beide electroden opleverde. De negatieve electrode namelijk vertoonde een schoon en sterk *violet* licht tot 5 centimeters lang in de vloeistof; de positieve daarentegen een minder sterk *rood* licht, dat verdween, zoodra de draad slechts tot eene geringe diepte in de vloeistof was ingedompeld.

Het lichten aan den positieven draad ontstond het best, wanneer deze draad voor het eerst de keten sloot; de tweede maal gelukte het bijna niet; de negatieve draad daarentegen vertoonde het verschijnsel verscheidene malen achter elkander zeer schoon. Dit komt overeen met waarnemingen van QUET EN MAAS, (pag. 58,60) die het lichten ook gemakkelijker aan de negatieve electrode dan aan de positieve verkregen. — Zoo lang het verschijnsel aan eenen der draaden plaats heeft is de intensiteit van den stroom gering; zoodra het ophoudt, slaat de naald der tangentsboussole terstond veel verder uit. Dit bewijst, dat er gedurende het lichtverschijnsel een groote weerstand in de keten aanwezig is, welke moet worden toegeschreven aan eene dampvormige atmosfeer, die zich om den lichtenden draad vormt, waardoor het contact tusschen dezen draad en de vloeistof opgeheven is. Het ontstaan van deze atmosfeer laat zich verklaren, door de groote verwarming van de electrode bij sluiting der

keten, waardoor de vloeistof den spaeroidaal toestand aanneemt. Ten bewijze hiervan heb ik een' der pooldraden in verbinding gebragt met een sterk verhit schaaltje, waarop zich een droppel water in spaeroidaal toestand bevond; de andere pooldraad was verbonden met een der uiteinden van den draad eens galvanometers, wiens andere uiteinde in den droppel water gestoken werd.

Met de batterij van 40 elementen verkreeg ik eenen geringen uitslag van de galvanometernaald; met 4 element was de uitslag nul; derhalve is de weerstand van waterdamp zeer groot ¹⁾.

Zoolang een der draden licht verspreidt, heeft daaraan geene merkbare gasontwikkeling plaats, wat zeer waarschijnlijk het gevolg is van het ontstaan der dampvormige atmosfeer, waardoor geen contact meer is tusschen de vloeistof en den draad. De gasontwikkeling heeft alleen in geringe mate plaats aan den draad, die donker is; dit is juist het tegenovergestelde van hetgeen MACKRELL (pag. 57) vermeldt, maar heeft, meen ik, meer waarschijnlijkheid voor zich, daar QUET en v. D. WILLIGEN insgelijks vermelden, dat de gasontwikkeling zwak is zoolang eene der electroden licht, maar krachtig optreedt, wanneer het lichtverschijnsel ophoudt.

Gedurende het lichtverschijnsel stegen er prikkelende dampen op, welke dezelfde waren als die, welke bij verwarming van sterk zwavelzuur ontstaan; maar tevens

1) POGGENDORFF heeft reeds (Ann. LII, 539) eene soortgelijke proef aangegeven.

was daarbij het zwavelwaterstofgas door den reuk zeer goed herkenbaar. Eindelijk werd de vloeistof, na eenigen tijd tot deze proeven gediend te hebben, zeer troebel en vertoonde een bruin zwart praecipitaat, hetwelk zeer waarschijnlijk zwavellood zal geweest zijn, vermengd met organische deeltjes, welke het zwavelzuur bij verhitting altijd donker kleuren.

Het lichtverschijnsel gaat vergezeld van een knetterend geluid afkomstig van den draad, waar het licht is. Dit geluid is niet bij alle vloeistoffen even sterk, bij verdund zwavelzuur was het sterker dan bij onverdund zuur; en bij andere vloeistoffen, zooals salpeterzuur en eene oplossing van nitras potassae, was het meer afgebroken en krassend, veel overeenkomst hebbende met het geluid, dat men hoort, wanneer waterdamp uit een kolfje, waarin water kookt, door eene omgelegen buis in koud water geleid wordt. Tweemaal ontstond er bij gebruik van verdund zwavelzuur, een muzikale toon vergezeld van eene trilling in den negatieven draad, welke door den waarnemer, die dezen draad vasthield, duidelijk gevoeld werd.

Verdund zwavelzuur leverde dezelfde lichtverschijnselen op als onverdund zwavelzuur; maar veel zwakker; even zoo deden ijzerdraadjes als electroden hetzelfde als platinadraadjes, ofschoon het licht aan de negatieve electrode van ijzer mij meer blaauw toescheen.

Hierbij moge vermeld worden, dat het mij vrij moeilijk was de kleur juist te bepalen, zoowel bij deze als de volgende proeven; het onderscheid echter tusschen het negatieve en positieve licht was duidelijk.

Het anomale verschijnsel, dat de Heer v. D. WILLIGEN met den positieven ijzerdraad en negatieven platina-draad heeft waargenomen, pag. 62 heb ik slechts gedeeltelijk kunnen zien; toen namelijk de negatieve electrode met de vloeistof in aanraking kwam, nadat de positieve reeds ingedompeld was, begon de eerste als naar gewoonte te lichten, hield echter hiermede bij dieper indompelen spoedig op, waarop de positieve draad een oogenblik een rood licht verspreidde.

Dit komt slechts in zooverre overeen met hetgeen de Heer v. D. WILLIGEN vermeldt, dat, in dat geval, de eerst ingedompelde draad slechts een oogenblik lichtte, hetgeen ik in geen ander geval waargenomen heb; maar aanvankelijk lichtte toch de laatst ingedompelde electrode.

In eene oplossing van chloorsodium was het licht aan de negatieve pool schitterend *geel-wit*, en aan de positieve pool *rose*, terwijl er sterke dampen van chloor opstegen. Het is mij niet gelukt eenen lichtboog met eenen der beide draden te verkrijgen.

Eene oplossing van salpeter gaf geene nieuwe verschijnselen als alleen het, reeds vermelde, krassend geluid aan de positieve pool. Het licht aan deze pool was zoo zwak, dat het alleen in het donker zichtbaar was; het had eene blaauwachtige tint, terwijl de negatieve pool een sterk paars licht gaf.

Salpeterzuur veroorzaakte hetzelfde geluid als de vorige vloeistof en gaf een sterk *wit* licht aan de negatieve pool en *rood* licht aan de positieve.

Deze proeven komen met de vorige in de volgende

punten overeen; vooreerst toonen zij aan, dat het lichten der beide electroden niet even sterk is, maar aan de negatieve sterker dan aan de positieve; ten tweede bevestigen zij het verschil in kleur, welke het licht aan de beide electroden heeft en ten derde toonen zij aan, dat de kleur van het licht aan de negatieve electroden verschillend is voor de verschillende vloeistoffen, waarin de electroden dompelen, doch dat het positieve licht doorgaans de roode kleur vertoont.

Wat den lichtboog betreft, waarvan de Heer v. D. WILLIGEN melding maakt, ik heb dien in geen geval kunnen opmerken.

Op de vraag, is het verschijnsel eene gloeiing van de electrode of niet, meen ik hetzelfde antwoord te moeten geven als QUET en v. D. WILLIGEN. Het verschijnsel heeft eene soort van onbestendigheid, waardoor men niet aan gloeiing maar aan glimmen genoopt wordt te denken. Bovendien is de overeenkomst, die dit verschijnsel met het electriche licht in verdunde lucht heeft, voor mij insgelijks eene reden om het niet voor eene gloeiing der electrode te houden. Immers de electroden zijn, zoolang zij lichten, niet met de vloeistof in aanraking, maar door eene gas-atmosfeer daarvan afgescheiden en vertoonen juist dezelfde verschijnselen, welke wij bij de electriche ontladingen in verdunde lucht vermeld hebben. Het verschil in licht aan de beide polen, ten aanzien der kleur, wordt waargenomen, niet alleen wanneer de polen in verdunde lucht geplaatst zijn; maar ook wanneer zij in vloeistoffen dompelen. Om deze redenen meen ik het

verschijnsel voor een lichten zonder gloeiing te mogen houden. Eindelijk geeft de verschillende kleur, welke vooral de negatieve electrode in verschillende vloeistoffen vertoont, ons recht om te denken, dat het licht afkomstig is van de omgevende atmosfeer.

De verschijnselen, waarvan in deze verhandeling een beknopt overzicht gegeven is, leeren ons in weinig woorden het volgende:

1°. Op de soldeerplaats van twee metalen wordt door eenen galvanischen stroom koude of warmte ontwikkeld naarmate van de rigting des strooms.

2°. Zoowel bij volkomene als bij afgebroken geleiding is de ontwikkeling van warmte aan de positieve pool grooter, dan aan de negatieve, behalve wanneer bij afgebroken geleiding, de verwarming geschiedt door inductiestroommen, die elkander snel opvolgen, in welk geval de grootste warmteontwikkeling plaats heeft aan de negatieve pool van den inductiestroom, die bij brekings des primairen strooms ontstaat.

3°. Als gevolg der grootere warmteontwikkeling aan de positieve pool bij primaire stroommen is de overvoering van stof, bij den galvanischen lichtboog, ook grooter van de positieve naar de negatieve pool, dan omgekeerd.

4°. De lichtverschijnselen door wrijvings-electriciteit voortgebracht zijn verschillend naarmate zij aan positief of negatief geladen geleiders ontstaan. In verdunde lucht behoort het violette glimlicht vooral aan de ne-

gatieve en de roode pluim aan de positieve electriciteit. Bij grooten afstand der geleiders vertoonen zij beide het glimlicht; doch de violette kleur blijft aan de negatieve en de roode aan de positieve electriciteit behooren.

5°. De lichtverschijnselen door inductiestroomen voortgebracht zijn ook verschillend naarmate zij aan de positieve of negatieve pool optreden. In verdunde lucht vertoont zich bij eenen zekeren afstand der polen insgelijks de roode pluim aan de positieve en het violette glimlicht aan de negatieve pool; bij grooteren afstand daarentegen zijn beide met licht bedekt, de negatieve pool met violet, de positieve met rood licht.

6°. De electroden eener krachtige galvanische batterij kunnen, in eene vloeistof gedompeld, licht verspreiden; de negatieve doet dit gemakkelijker dan de positieve. Dit licht heeft eene verschillende kleur aan elke der electroden, die ook gewijzigd wordt door de vloeistof, waarin zij dompelen.

Onze kennis aangaande de genoemde verschijnselen is voorzeker gering, daar bij allen het *waarom* nog onbeantwoord gebleven is; het is dus voor den voortgang der wetenschap in dit opzigt van belang, dat nieuwe proeven worden in het werk gesteld, die het verband tusschen warmte, licht en electriciteit duidelijker aantoonen en daardoor den nevel, waarin de vermelde verschijnselen nog gehuld zijn, meer doorzigtbaar maken.

N A A M L I J S T.

	Blz.		Blz.
RICHARD ADIE.....	14.	LENZ.....	2, 12.
BEQUEREL (EDMUND).....	2.	MAAS.....	36, 58.
BOTTO.....	4.	MACKRELL.....	16, 55.
VAN BREDA.....	36.	MASSON.....	43, 52.
BREGUET.....	43.	MOSEK.....	12.
BUNTZEN.....	15.	NEEFF.....	47.
CASSELMANN.....	35.	OERSTED.....	16.
CHILDREN.....	1.	PELTIER.....	8.
HUMPHRY DAVY.....	35.	PIANCINI.....	13.
DESPRETZ.....	37, 52.	POGGENDORFF.....	14.
FARADAY.....	43.	PRING.....	37.
FAYRE.....	6.	QUET.....	51, 57.
FIZEAU.....	35.	QUINTUS ICILIUS.....	14.
FOUCAULT.....	35.	RIESS.....	49.
FRANKENHEIM.....	14.	DE LA RIVE. 2, 16, 35, 36, 38.	
GASSIOT.....	35, 38, 53.	TYNDALL.....	14.
GMELIN.....	13.	TYRTOV.....	40.
GRAY.....	31.	WALKER.....	16, 35, 38.
OTTO V. GUERICKE.....	33.	WARTMANN.....	13.
HARE.....	35, 55.	WILKINSON.....	55.
HAUKSBEE.....	33.	V. D. WILLIGEN.....	60.
JOULE.....	1, 4.		

THESES.

I.

De natuurkundige wetenschappen behooren onder de leer-
vakken van het lager onderwijs opgenomen te worden.

II.

De leerling moet het eerste onderrigt in de wis- en na-
tuurkunde door aanschouwing en niet door leerboeken ont-
vangen.

III.

Men mag uit de proeven van MACKRELL niet besluiten,
dat de verwarming, door den galvanischen stroom, aan de
negatieve pool grooter is dan aan de positieve.

Dissert. bl. 17, 56.

IV.

Voorbarig is het besluit van NEEFF, dat de negatieve pool
de oorsprong van het electrische licht is. *Dissert. bl. 48.*

V.

Het lichtverschijnsel, dat de electroden eener krachtige

galvanische batterij vertoonen, wanneer zij in eene, den stroom geleidende, vloeistof dompelen, moet niet aan een gloeijen der electroden toegeschreven worden.

VI.

Wij kunnen de verklaring, welke RIESS geeft, voor het ontstaan der electriche figuren, niet aannemen.

Die Lehre v. d. Reibungselekt. Bd. II, S 212.

VII.

De gebonden electriciteit werkt evenzeer naar buiten als de vrije.

VIII.

Bij de scheikundige ontleding van een zamengesteld ligchaam wordt dezelfde hoeveelheid warmte opgeslorpt, die bij de verbinding zijner elementen vrij wordt.

IX.

De gewone verdeeling der enkelvoudige lichamen in metalen en metalloïden berust op geenen goeden grond.

X.

NIEPCE is de uitvinder der daguerreotypie.

XI.

De benaming van ademhaling der planten is onjuist.

XII.

Teregt verdeelt VOGT de derde klasse der gewervelde dieren in twee klassen, die der Reptiliën en der Amphibiën.

XIII.

De Bryozoa behooren van de Polyphen afgescheiden te worden

XIV.

Men kan niet met zekerheid zeggen, dat de maan geenen dampkring heeft.

XV.

Het is zeer waarschijnlijk, dat de zon buiten de photosfeer nog eene andere niet zelf-lichtende atmosfeer bezit.

XVI.

De steenkolen zijn gevormd op de plaats, waar vroeger de planten, waaruit zij ontstaan zijn, groeiden.

