

DE GESCHIEDENIS VAN HET ELEKTRISCH LICHT.

DOOR

P. VAN CAPPELLE.

Onze negentiende eeuw, die men zoo gaarne als de bij uitstek verlichte bestempelt, verdient dezen eernaam niet alleen in overdrachtelijken, doch ook in letterlijken zin. Terwijl onze voorouders, wanneer de zon achter den horizon was verdwenen en hen van hare licht- en warmte-aanbrengende stralen beroofde, zich met een druipende vetkaars of een walmend olielampje moesten behelpen, kunnen wij kinderen der 19^{de} eeuw, wanneer de nacht hare vleugelen over het aardrijk heeft uitgespreid, ons baden in een zee van licht, uitgestraald door honderden gasvlammen of door alle lichtbronnen overtreffende elektrische lampen. Tusschen beide tijdstippen ligt een reeks van ontdekkingen en uitvindingen, allen getuigende van den onvermoeiden geest des menschen, die, niet tevreden met het bestaande, steeds naar meerdere volmaking streeft.

Niet in eens is men tot de schoone resultaten gekomen, waarvan wij tegenwoordig de vruchten plukken. Heel wat jaren moesten er verlopen, voordat de vonk, die DAVY tusschen twee koolspitsen waarnam, als vertegenwoordiger der zon kon optreden. De tragsgewijze ontwikkeling van het elektrisch licht na te gaan is het doel van dit opstel. Zooals wij zeiden, was sir HUMPHRY DAVY de ontdekker van het elektrisch licht. Hij merkte in het jaar 1802 op, dat, wanneer men door twee koolstaafjes een sterken elektrischen stroom laat gaan en men vervolgens deze koolstaafjes een weinig van elkander verwijderd,

er een zeer intensief licht ontstaat. Daar hij in staat was gesteld met een batterij van 2000 zink-koperelementen te werken en dus een zeer sterken stroom kon opwekken, gelukte het hem de koolspitsen 11 cM. van elkander te verwijderen, voordat de lichtboog verdween.

Tal van geleerden hebben na DAVY de zoogenaamde »boog van Volta'' nauwkeurig bestudeerd. Zoo maten onder anderen FOUCAULT en FIZEAU de lichtsterkte en vergeleken haar bij die van andere lichtbronnen. Zij vonden, dat wanneer men de intensiteit van het zonlicht als eenheid aanneemt, die van het elektrisch licht $= \frac{1}{2}$, van het Drummond'sch kalklicht $= 0.0066$ en van het maanlicht $= 0.000.003$ is.

Het lag voor de hand de ontdekking van DAVY bij de vervaardiging van kunstlicht toe te passen. Men stuitte daarbij echter op eigenaardige bezwaren: daar de koolspitsen langzaam afbranden en daardoor haar onderlinge afstand al spoedig zoo groot wordt, dat de lichtboog verdwijnt, moest men een inrichting aanbrengen waardoor zij automatisch weder tot elkander werden gebracht.

FOUCAULT en DUBOSCQ waren de eersten, die dit vraagstuk op voldoende wijze oplosten.

In hunne lamp zijn de beide koolstaven bevestigd in dragers, die door middel van twee uurwerken naar elkander toe of van elkander af kunnen worden bewogen. Behalve door de koolspitsen gaat de elektrische stroom nog door de omwindingsdraden van een elektro-magneet, die, zoodra de stroomsterkte een zekere hoogte heeft bereikt, kracht genoeg heeft een anker aan te trekken; neemt de stroomsterkte echter af, dan wordt het anker door een veer, die de aantrekkingskracht van den elektro-magneet tegenwerkt, losgelaten. Al naarmate nu van den stand van dit anker wordt, door middel van een hefboom, het eene of het andere uurwerk vrijgelaten of tegengehouden.

Branden de koolspitsen af en wordt daardoor de lichtboog grooter, dan zal de weerstand in den keten grooter en dien tengevolge de stroomsterkte kleiner worden. De elektro-magneet heeft nu niet meer kracht genoeg om het anker aangetrokken te houden, een der uurwerken wordt daardoor vrijgelaten, hetgeen tengevolge heeft dat de koolspitsen elkander langzaam naderen. Dit duurt zoolang, totdat de lichtboog zijne normale lengte heeft teruggekregen, want de weerstand wordt dan weder kleiner, de stroomsterkte grooter en daardoor de elektro-magneet krachtig genoeg om het anker aan te trekken.

De lampen van SERRIN, JASPAR, SIEMENS, BRUSH en anderen volg-

den al spoedig op die van FOUCAULT en DUBOSCQ en berusten op hetzelfde principe, hoewel de constructie van allen verschillend is.

Vele jaren bleven de elektrische lampen echter beperkt tot de natuurkundige kabinetten; men kon er niet aan denken haar in het groot voor verlichting toe te passen. De kosten toch tot het opwekken van den elektrischen stroom waren veel te groot en bovendien waren het in elkaar zetten en het onderhoud van eene batterij uit zoovele elementen bestaande zeer omslachtig.

Slaagde men er niet in op eenvoudiger en minder kostbare wijze een sterken elektrischen stroom op te wekken, dan moest men het denkbeeld, de electriciteit aan het voortbrengen van kunstlicht dienstbaar te maken, voor goed opgeven. Door de onderzoekingen van den genialen FARADAY kwam men in het jaar 1831 tot de ontdekking, dat men nog op andere wijze dan door middel van de galvanische elementen een elektrischen stroom kan opwekken.

Na de ontdekking van OERSTEDT, dat een magneet onder den invloed van een elektrischen stroom uit den magnetischen meridiaan afwijkt, leidde AMPÈRE in de jaren 1820—1824 uit tal van proeven af, dat er een nauw verband bestaat tusschen magneetkracht en electriciteit. Door de volkomen gelijke werking van solenoïden¹ onderling en van een magneet op eene solenoïde kwam hij tot zijne bekende theorie der magneten. ARAGO kwam verder tot de ontdekking, dat men week ijzer magnetisch kan maken door er een elektrischen stroom om heen te leiden. Door dit nauwe verband tusschen magneetkracht en electriciteit getroffen besloot FARADAY te onderzoeken, of men ook omgekeerd door middel van magneten elektrische stroomen kon opwekken.

Hij toog aan den arbeid en op den 24^{sten} November 1831 maakte hij in de Royal Society te Londen het resultaat zijner onderzoekingen bekend; zij vormen het uitgangspunt van de vele uitvindingen, die men sedert dien tijd met betrekking tot het omzetten van mechanischen arbeid in electriciteit heeft gedaan en hebben hem met recht den naam van »Vader der Elektro-techniek» doen verwerven.

FARADAY kreeg de volgende uitkomsten:

Ontstaat in een geleider op een of andere wijze een stroom, dan

¹ Onder solenoïde verstaat men een spiraalswijze gewonden koperdraad, waarvan de einden tot aan het midden evenwijdig aan de as loopen en aldaar rechthoekig zijn omgebogen, waar zij in kwikbakjes rusten.

zal in een naburigen gesloten geleider een stroom in *tegengestelde* richting ontstaan.

Houdt de stroom in een geleider *op*, dan zal in een naburigen geleider een stroom in *dezelfde* richting ontstaan.

Een stroom, die tot een geleider nadert, heeft dezelfde uitwerking als een stroom, die begint.

Een stroom, die zich van een geleider verwijderd, heeft dezelfde uitwerking als een stroom, die ophoudt.

AMPÈRE had bewezen, dat een magneet in zijne werking gelijk staat met een stelsel evenwijdige cirkelvormige stroomen. Deze stroomen hebben zoodanige richting, dat zij, wanneer de zuidpool van den magneet naar ons is toegekeerd, met de richting, waarin zich de wijzers van een horloge bewegen, overeenstemmen.

Hieruit kan men dus al dadelijk afleiden, dat volgens bovenstaande wetten de beweging van een magneet in de nabijheid van een gesloten geleider een elektrischen stroom in dien geleider zal doen ontstaan; en tevens kan men hieruit de richting bepalen, die de geïnduceerde stroom zal hebben, al naarmate de noord- of zuidpool tot den geleider nadert of er van wordt verwijderd. Het is duidelijk, dat het volkomen onverschillig is of men hierbij den magneet dan wel den geleider zelf beweegt.

Nu was dus het middel gevonden om geheel onafhankelijk van de kostbare en lastige galvanische elementen, eenvoudig door het bewegen van een magneet in de nabijheid van een gesloten geleider, een elektrischen stroom op te wekken. Om een sterken stroom te verkrijgen moest men een krachtigen magneet nemen en een langen geleider, die spiraalswijze is opgerold, terwijl de werking nog werd verhoogd door in de spiraal een weekijzeren kern te plaatsen. Door de beweging van den magneet werd deze staaf beurtelings magnetisch en niet-magnetisch en verhoogde daardoor de werking van den magneet. Beweegt men de magneet eenmaal voorbij den klos, dan verkrijgt men een korten inductiestroom, die, juist op het oogenblik dat de magneet voorbij den klos gaat, van richting verandert. Dit blijkt voldoende uit de vier gevonden wetten. Door dus den magneet snel heen en weer te bewegen verkrijgt men eene opeenvolging van positieve en negatieve stroomen.

Het is niet te verwonderen, dat men al zeer spoedig na de bekendmaking van deze nieuwe ontdekkingen een werktuig vervaardigde, waardoor men, door de beweging van een magneet, een elektrischen stroom kon voortbrengen. Reeds in het jaar 1832 vervaardigde PIRN de eerste magneto-elektrische machine.

Deze bestond uit een hoefmagneet, die door middel van een rad zeer snel onder de weekijzeren kernen van twee draadrollen, die met een doorlopenden draad waren omwonden, kon worden rondgedraaid; daardoor ontstond een reeks van inductie-stroomen, die, van de twee messingklemmen waarin de draad van de klossen eindigde, verder kon worden geleid. PIXII bracht aan zijn werktuig nog een inrichting aan, commutator genoemd, waardoor de afwisselende stroomen als een stroom van dezelfde richting in de buitenleiding stroomde.

Spoedig werden nu aan deze zeer primitive machine verbeteringen aangebracht o.a. door SAXTON en CLARKE, die, in plaats van den zwaren magneet, den inductor voorbij de polen van den magneet lieten ronddraaien.

STÖHRER bouwde een magneto-elektrische machine met drie hoefmagneten, waarvan de zes polen in een cirkel-ontrek waren geplaatst. Boven deze polen werden 6 inductierollen snel rondgedraaid. De draad der inductierollen is zoo gewonden, dat, wanneer de rollen tot de polen naderen, in iedere rol een gelijkgerichte stroom ontstaat. Verwijderen de rollen zich van de magneetpolen, dan wordt er natuurlijk een stroom geïnduceerd in tegengestelde richting. Bij iedere volle omwenteling der machine krijgt men dus 12 stroomen van wisselende richting.

Deze machine van STÖHRER is de overgang tot de groote machines, die later tot voortbrenging van elektrisch licht werden gebruikt.

Aangemoedigd door het gunstige resultaat met deze magneto-elektrische machine verkregen togen verschillende ingenieurs aan het werk, met het doel haar te verbeteren en haar een, voor de praktijk geschikten vorm te geven. Onder de machines, die aldus ontstonden, moeten in de eerste plaats die van de Maatschappij l'Alliance en van den Engelschman HOLMES (1857) genoemd worden.

De Alliancemachine, zooals zij door onzen landgenoot VAN MALDEREN werd verbeterd, bestond uit 64 inductierollen, die 16 aan 16 in 4 evenwijdige cirkels voorbij de polen van 32 hoefmagneten ronddraaiden.

Het eene einde van den draad, die om de inductierollen was gewikkeld, werd aan de as der machine en het andere einde aan een, van de as geïsoleerden, metalen ring bevestigd.

De machine leverde een licht van 150 carrels (1050 kaarsen) en vereischte 5 paardekrachten.

Voornamelijk bij vuurtorens zijn de Alliancemachines nog veelvuldig in gebruik o. a. bij Havre, Calais, Kronstadt en Odessa. Bij Havre zijn 4 machines opgesteld, in beweging gebracht door 2 stoommachines ieder van 5 paardekrachten. Het licht heeft een sterkte, gemeten buiten

het stelsel lenzen, dat de lamp omgeeft, van 3500 carrels en kan op een afstand van 50 kilometer nog duidelijk worden waargenomen.

Een belangrijke rol speelde de Alliancemachine bij de belegering van Parijs in den Fransch-Duitschen oorlog, waar zij het licht leverde, waarmee men de belegeringswerken van den vijand verlichtte.

Dr. W. SIEMENS te Berlijn, die zich door zijne belangrijke uitvindingen op elk gebied der elektro-techniek beroemd heeft gemaakt, voerde in het jaar 1857 eene belangrijke verbetering der magneto-elektrische machines in, door aan den inductor een geheel nieuwen vorm te geven. De Siemensche inductor bestaat uit een ijzeren cylinder, waarin volgens de lengte, diametraal tegenover elkander, twee insnijdingen zijn gemaakt, ieder iets minder dan de halve middellijn diep en $\frac{2}{3}$ der middellijn breed. In de insnijdingen wordt nu zoo lang koperdraad gewikkeld, totdat de cylindervorm weder is bereikt. Het eene einde van den draad wordt aan de as, het andere einde aan een van de as geïsoleerden ring bevestigd. Laat men een aldus gevormden inductor tusschen de polen van hoefmagneten ronddraaien, dan geschieden de stroomwisselingen sneller dan bij de vroeger gebruikte inductierollen, en bovendien trekt men beter partij van de induceerende kracht der magneten.

SIEMENS paste zijn inductor het eerst toe bij de vervaardiging van kleine magneto-elektrische machines, die den stroom moesten leveren voor spoorweg- en andere signalen. Tegenwoordig worden zij veelvuldig toegepast in de telefoonapparaten.

Een schrede verder op den weg der volmaking deed H. WILDE te Manchester, toen hij in plaats van permanente magneten elektro-magneten bezigde. Den stroom, afkomstig van een kleine Siemensche machine, liet hij gaan door de omwindingsdraden van een zeer grooten elektro-magneet, die daardoor sterk magnetisch werd. Tusschen de polen draaide een groote Siemensche inductor.

Bij de eerste machine, die WILDE heeft gebouwd, bestond de kleine Siemensche machine uit 16 evenwijdige hoefmagneten, tusschen wier polen de inductor ronddraaide. Iedere magneet had een draagkracht van 10 Kg., dus het geheele stelsel een draagkracht van 160 Kg. Werd de stroom, door deze kleine machine voortgebracht, door de omwindingsdraden van den grooten elektro-magneet gevoerd, dan verkreeg deze een draagkracht van 5000 Kg. Door deze combinatie kon WILDE dus een veel sterkeren stroom verkrijgen, dan wanneer hij alleen de hoefmagneten had gebruikt.

Zelfs bouwde WILDE een drievoudige machine, waarbij hij den stroom, van de groote machine afkomstig, weder gebruikte om een tweeden elektro-magneet te magnetiseeren. Met een dergelijke machine deed hij op den 3den Maart 1867 in Burlington House in tegenwoordigheid van verschillende geleerden een reeks van proeven, die de verbazing van allen gaande maakten. De machine van WILDE was werkelijk een schrede op den goeden weg, doch zij bezat nog te veel nadeelen dan dat zij met gunstig gevolg tot het voortbrengen van elektrisch licht in het groot kon worden gebezigd; wij noemen hier slechts de sterke verhitting van de inductoren, veroorzaakt door de snelle verwisseling van de polariteit der ijzeren kernen, bij de buitengewoon groote snelheid, waarmede zij ronddraaien (1700 tot 1800 omwentelingen per minuut).

Er zijn in de geschiedenis van het licht verschillende tijdstippen, die van overwegenden invloed zijn geweest op zijne verdere ontwikkeling. In de eerste plaats moet natuurlijk het jaar 1802 genoemd worden, dat als het geboortjaar kan worden aangemerkt; dan volgt het jaar 1831 de bekendmaking der wetten van FARADAY en eindelijk het jaar 1867, waarin WERNER SIEMENS onder den titel »Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete,“ een voordracht hield in de Berlijnsche Akademie van Wetenschappen, die later in de Poggendorffsche Annalen is overgedrukt.

Hij beschreef hierin eene machine, waarin de permanente magneten geheel ontbreken en die alleen is samengesteld uit inductor en elektro-magneet. De omwindingsdraden van den inductor en die van den elektro-magneet vormen een geheel, zoodat zij met de geleiding buiten de machine één gesloten keten uitmaken.

Hoe kan nu eene aldus gebouwde machine, wanneer de cylinder wordt rondgewenteld, stroom leveren? Oppervlakkig zou men zeggen, dat dit onmogelijk was, want, om den elektro-magneet magnetisch te maken, moet men stroom door de omwindingsdraden laten gaan en deze stroom kan niet worden opgewekt, voordat de elektro-magnetten magnetisch zijn. Dit schijnt een cirkelgang te zijn die onmogelijk is. Hoe men, niettegenstaande deze schijnbare tegenstrijdigheid, toch een elektrischen stroom verkrijgt, wordt ons duidelijk gemaakt door een voorbeeld uit het dagelijksch leven door prof. PFAUNDLER te Innsbruck aangehaald, in een voordracht door hem tijdens de elektriciteitstentoonstelling te Weenen gehouden.

Een koopman heeft om zijne zaken te drijven kapitaal noodig, en

van den anderen kant verwerft hij zich door zijne zaken kapitaal. De zaak veronderstelt dus een kapitaal, en het kapitaal eene zaak, en niettegenstaande dit, hooren wij toch dikwijls van menschen die, met niets of bijna niets begonnen en toch rijke kooplieden zijn geworden. Hoe gaat dit in zijn werk?

Met een oorspronkelijk voorhanden zeer klein kapitaal, dat slechts uit eenige centen kan bestaan, wordt een klein zaakje begonnen. Dit werpt eenige winst af, die het kleine kapitaal vermeerderd. De zaak, die hierdoor een weinig kan worden uitgebreid, levert nu al wat meer winst op en zoo groeien steeds kapitaal en zaak gezamenlijk aan. Hier-voor moet echter de koopman zeer vlijtig zijn, en des te meer arbeiden hoe meer hij zijn omzet wil vermeerderen. Heeft nu eenmaal het kapitaal een zekere hoogte bereikt, dan is het niet meer noodig, dat hij de geheele winst telkens weer in de zaak steekt, maar hij kan een zeker gedeelte voor andere doeleinden gebruiken. Hij heeft er slechts voor te zorgen, dat het kapitaal op dezelfde hoogte blijft.

Evenzoo gaat het bij de dynamo-elektrische machine. In het week-ijzer blijft steeds een spoor van magnetisme terug, wanneer men er eens een elektrischen stroom om heeft geleid. Dit zoogenaamde remanente magnetisme speelt dezelfde rol als het zeer kleine kapitaal, waarmede de koopman in het voorbeeld begon. SIEMENS zegt er in zijn meergemelde voordracht het volgende van:

»Der geringe Grad von Magnetismus, welcher im weichsten Eisen stets zurück bleibt, genügt aber um bei wieder eintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes im Schliessungskreise von Neuem ein zu leiten. Es bedarf daher nur eines einmaligen kurzen Strom einer Kette durch die Windungen des festen Electromagnets um den Apparat für alle Zeit leistungsfähig zu machen.»

SIEMENS paste dit principe het eerst toe bij de constructie van eene kleine machine, die moest dienen tot het geven van signalen of tot het doen springen van mijnen; later bouwde hij ook grootere machines tot het voortbrengen van elektrisch licht.

Het ligt niet op onzen weg hier in alle bijzonderheden na te gaan, in hoeverre de dynamo-elektrische machines te verkiezen zijn boven de magneto-elektrischen, slechts ter loops stippen wij een principiëel verschil tusschen beide soorten van machines aan. Terwijl bij de magneto-elektrische machines de magnetiseerende kracht der magneten dezelfde blijft en geheel onafhankelijk is van weerstandsveranderingen in den keten, hangt zij bij de dynamo-machine af van de sterkte van

den stroom. Wordt door een of andere oorzaak de weerstand in den keten grooter en daardoor de stroomsterkte kleiner, dan zal dit tengevolge hebben, dat de magnetiseerende kracht der elektro-magneten kleiner wordt en dit werkt weder verzwakkend op de stroomsterkte. Dit is een voor de praktijk zeer belangrijk onderscheid.

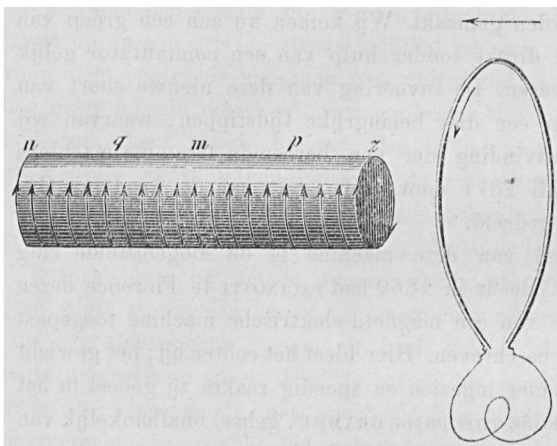
Tot nu toe hebben wij machines besproken, waarin wisselstroomen werden opgewekt, die óf als zoodanig door de draden der buitengeleiding werden opgenomen of eerst door een commutator tot gelijk gerichte stroomen werden gemaakt. Wij komen nu aan een groep van dynamo-machines, die direkt zonder hulp van een commutator gelijk gerichte stroomen leveren. De invoering van deze nieuwe soort van machines vormt weder een dier belangrijke tijdstippen, waarvan wij boven spraken. De uitvinding der zoo beroemde Gramme-machines werd op den 10^{den} Juli 1871 door prof. JAMIN aan de Academie des Sciences te Parijs meêgedeeld.

Het hoofdbestanddeel van deze machine is de zoogenaamde ring van Pacinotti-Gramme. Reeds in 1860 had PACINOTTI te Florence dezen ring bij de constructie van een magneto-elektrische machine toegepast en in *Il nuovo Cimento* beschreven. Hier bleef het echter bij; het gewicht dezer uitvinding werd niet ingezien en spoedig raakte zij geheel in het vergeetboek, totdat ZENOBE THEOPHILE GRAMME, geheel onafhankelijk van PACINOTTI, dezelfde uitvinding nog eens deed en even eens eene magneto-elektrische machine bouwde, die op hetzelfde principe berustte, doch wat constructie betreft niet onbelangrijke verbeteringen had ondergaan.

Gaan wij nu eens na, waaruit deze ring bestaat en waarop zijne werking berust. GRAMME nam een ijzeren ring, omwikkelde hem met een doorlopenden geïsoleerden draad en liet hem daarop tusschen de polen van een magneet ronddraaien. Om te onderzoeken wat er dan zal gebeuren, slaan wij nog eens een blik op de wetten van FARADAY.

Denken wij ons een magneetstaaf en een tot een cirkel gebogen stuk koperdraad, dat wij over dezen magneetstaaf heenbewegen. Volgens AMPÈRE kunnen wij ons voorstellen, dat de magneet is samengesteld uit een stelsel van cirkelvormige stroomen op onderling gelijke afstanden. Beweegt zich de draadring naar de zuidpool toe, dan nadert hij alle stroomen, waaruit wij ons den magneet samengesteld kunnen denken; volgens de wetten van FARADAY zal er dus een stroom van tegengestelde richting ontstaan (in de figuur door een pijl aangegeven). Bij de beweging van den draadring over de magneetstaaf zal deze stroom steeds afnemen, totdat hij, wanneer wij aan het midden van

den magneet zijn gekomen *nul* wordt en daarna van richting verandert. Om dit duidelijk te maken beschouwen wij den draadring in verschillende punten van zijn baan. Is hij b. v. bij het punt *p* van den magneet gekomen, dan nadert hij alle solenoïdstroomen tusschen *n* en *p*, doch verwijdt zich van alle stroomen tusschen *p* en *z*; daar de stroomen tusschen *n* en *p* de overhand hebben, zal er in den draadring een stroom geïnduceerd worden, in een richting tegengesteld



aan die, waarin zich de magneetstroomen bewegen. De sterkte van dezen geïnduceerden stroom zal, zooals dadelijk in het oog valt, kleiner zijn dandie van den stroom welke geïnduceerd werd op het oogenblik, dat de draadring zich boven *z* bevond. Toen naderde hij nl. *alle* solenoïdstroomen, in het tweede

geval slechts diegene tusschen *n* en *p*, terwijl bovendien de stroomen tusschen *p* en *z* het streven hebben een stroom in tegengestelde richting te induceeren. Is de draadring boven *m* gekomen, dan is het aantal stroomen, waarvan hij zich verwijdt, even groot als dat waartoe hij nadert, er zal dus geen stroom geïnduceerd worden. Bij *q* heeft het omgekeerde plaats als bij *p*. Wij verkrijgen dus door de beweging van den draadring over de magneetstaaf twee stroomen van tegengestelde richtingen, die respectievelijk in *z* en *n* hunne grootste sterkte hebben en elkander bij *m* opvolgen.

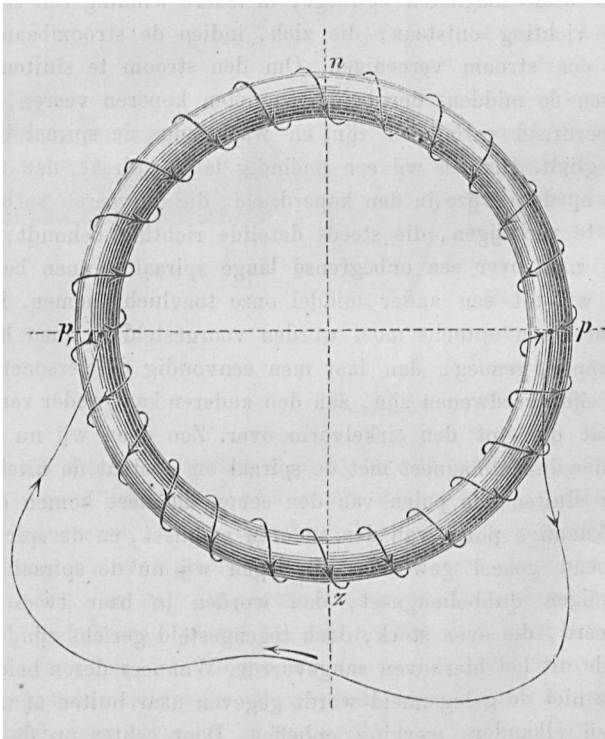
Nu nemen wij twee magneetstaven, plaatsen de gelijknamige polen tegenover elkander en bewegen den draadring over dezen dubbelmagneet. In dit geval zal er in den draadring een stroom geïnduceerd worden, die van het midden van den eersten magneet af, waar hij *nul* is, tot aan de vereenigde noordpolen steeds toeneemt, en daarna weder afneemt tot aan het midden van den tweeden magneet, waar hij van richting verandert. Door het aanwenden van 2-magneten, hebben wij dus ten eerste de sterkte van den geïnduceerden stroom

vergroot en ten tweede het tijdsverloop tusschen twee verwisselingen van stroomrichting langer gemaakt. In het eerste geval toch wisselt de geïnduceerde stroom reeds van richting, nadat de draadring over de halve magneetstaaf is bewogen, terwijl men hem. in het tweede geval, over twee halve magneetstaven kan bewegen, voordat de stroom van richting verandert.

Bewegen wij in plaats van een draadring een spiraalvormige draad over de magneten, dan zal, zoolang de spiraal zich tusschen de middens der beide magneten beweegt, in iedere winding een stroom van dezelfde richting ontstaan, die zich, indien de stroombaan gesloten is, tot één stroom vereenigen. Om den stroom te sluiten plaatsen wij boven de middens der beide magneten koperen veeren, die door een koperdraad verbonden zijn en waar langs de spiraal bij de beweging glijdt. Hadden wij een oneindig lange spiraal, dan waren wij in staat op deze wijze in den koperdraad, die de veeren verbindt, een stroom te verkrijgen, die steeds dezelfde richting behoudt; daar wij evenwel niet over een onbegrensd lange spiraal kunnen beschikken, moeten wij tot een ander middel onze toevlucht nemen. Indien op het tooneel een optocht moet worden voorgesteld en men heeft geen manschappen genoeg, dan laat men eenvoudig de personen die aan de eene zijde verdwenen zijn, aan den anderen kant weder verschijnen; men gaat dus tot den cirkelvorm over. Zoo doen wij nu ook. Wij buigen den dubbelmagneet met de spiraal om, totdat de uiteinden aan elkander sluiten; de polen van den eenen magneet komen dan tegen de gelijknamige polen van den anderen magneet, en de spiraal is een doorlopend geheel geworden. Bewegen wij nu de spiraal over den ringvormigen dubbelmagneet, dan worden in haar twee stroomen geïnduceerd, die even sterk, doch tegengesteld gericht zijn. Dit blijkt voldoende uit het hierboven aangevoerde. Wanneer dezen beiden stroomen dus niet de gelegenheid wordt gegeven naar buiten af te vloeien, zullen zij elkanders werking opheffen. Door echter op de plaatsen, waar deze stroomen elkander ontmoeten, dus op het midden tusschen de beide dubbelpolen (in de figuur bij p en p ,) koperen veeren aan te brengen, waar langs de spiraal bij hare beweging glijdt, en deze veeren onderling door een koperdraad te vereenigen, geeft men aan de stroomen gelegenheid gezamenlijk in dezen koperdraad af te vloeien, waar zij zich dan tot één stroom van onveranderde richting vereenigen. Hoe dit mogelijk is, wordt ons uit de volgende figuur duidelijk. I en II zijn twee galvanische batterijen, waarvan de gelijknamige

polen verbonden zijn. Evenals bij onzen ring stroomen dus in a, b, c, d twee tegengestelde stroomen, die elkander in 1,2 ontmoeten. Verbinden wij nu beide ontmoetingspunten door een koperdraad, dan zullen beide tegengesteld gerichte stroomen als een stroom van onveranderde richting in dien draad afvloeien. Het is ons dus nu gelukt, door de beweging van de spiraal over den ringvormigen dubbelmagneet, in de buitengeleiding een stroom te verkrijgen, die steeds dezelfde richting behoudt.

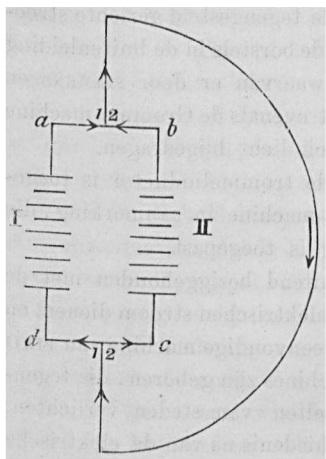
In plaats van een magnetischen ring nam GRAMME een weekijzeren



ring, omwikkelde hem met geïsoleerd koperdraad en liet den aldus gevormden »ring van GRAMME" tusschen de polen van een hoefmagneet ronddraaien. De deelen van den ijzeren ring, die onder de noordpool van den hoefmagneet voorbijgaan, worden door inductie zuidmagnetisch, terwijl zij, voorbij de zuidpool gaande, noordmagnetisch worden. Ieder deeltje wordt dus beurtelings noord- en zuidmagnetisch, doch de plaats van de beide polen in den ijzeren ring, blijft bij de omwenteling steeds dezelfde, en dit is blijkbaar voldoende om dezelfde

werking te verkrijgen als bij de beweging van de draadspiraal om den ringvormigen magneet.

Bij de machine van GRAMME sleepen de koperen veeren die den stroom moeten opnemen, natuurlijk niet direkt tegen de windingen van den ring. Deze zijn groepsge wijze verbonden met rechthoekig omgebogen koperen stukken, die van elkander geïsoleerd zijn en waarvan de eene groep beenen radiaal ten opzichte van de as loopt, terwijl de andere groep een hollen cilinder vormt, waar de as van de machine doorheen loopt. De straalstukken zijn van de as en onderling geïsoleerd. Tegen den koperen cilinder, door de straalstukken gevormd en collector genoemd, zijn de veeren in den vorm van koperen borstels, geplaatst. Natuurlijk moet men zorg dragen de borstels op de goede hoogte aan te brengen; dus moeten de raaklijnen gelegen zijn in een vlak, dat loodrecht staat op de lijn, die de polen van den



hoefmagneet verbindt, want zooals wij gezien hebben is daar de plaats waar de beide tegengestelde stroomen, in den ring geïnduceerd, elkander ontmoeten. Bij het ronddraaien van den ring komen dus steeds andere segmenten van den collector met de borstels in aanraking, doch steeds zijn het juist die segmenten, die verbonden zijn met de draadgroepen waarin de beide stroomen elkander ontmoeten; deze kunnen dus door de straalstukken en de borstels in de buitenleiding afvloeien. Natuurlijk bepaalde GRAMME zich niet tot magneto-elektrische maar bouwde hij ook, voor elektrisch licht en galvanoplastische doeleinden, dynamo-elektrische machines.

Talrijk zijn de veranderingen, niet altijd verbeteringen, die de Gramme-machine door verschillende constructeurs heeft ondergaan. Wij noemen hier o. a. de machines van SCHUCKERT, BURGİN, FEIN enz.

Er blijft nu nog een groep machines over, die evenals de ringmachines, zonder hulp van een commutator gelijkgerichte stroomen leveren, en waarvan het hoofdbestanddeel, de zoogenaamde trommel-inductor, in het jaar 1872 het eerst door VON HEFNER-ALTENECK, chef-ingenieur bij SIEMENS EN HALSKE te Berlijn, werd toegepast.

Het zou ons te ver voeren ook bij dezen inductor nauwkeurig het ontstaan en den loop der stroomen na te gaan; wij moeten ons er mede vergenoegen mede te deelen, dat de trommelinductor bestaat uit een ijzeren cilinder, in de lengte met geïsoleerd koperdraad omwonden, die dicht onder de polen van een rij hoefmagneten of tusschen de gebogen poolstukken van een elektro-magneet, ronddraait, en dat, door eene bijzondere wikkeling, de geïnduceerde tegengesteld gerichte stroomen als stroomen van dezelfde richting door de borstels in de buitenleiding kunnen worden afgeleid. Deze machine, waarvan er door SIEMENS en HÄLSKE reeds velen zijn vervaardigd, heeft evenals de Gramme-machine veel tot de verspreiding van het elektrisch licht bijgedragen.

Onder de machines, waarin eveneens de trommelinductor is toegepast, komt in de eerste plaats de Edison-machine in aanmerking, die in Amerika en ook in Europa veelvuldig is toegepast.

Wij hebben ons tot nu toe bijna uitsluitend beziggehouden met de machines, die tot het voortbrengen van den elektrischen stroom dienen, en gezien, hoe in den loop der tijden uit de eenvoudige machine van PIXII door tal van veranderingen de kolossale machines zijn geboren, die tegenwoordig geheele gebouwen, ja zelfs gedeelten van steden verlichten.

Gaan wij nu eens de ontwikkelingsgeschiedenis na van de elektrische lampen, die reeds bij duizenden daar, waar zij schijnen, den donkeren nacht in dag herscheppen, of in comédie of concertzaal, ja zelfs in de stille woonkamer, een zacht aangenaam licht verspreiden.

In het begin van dit opstel hebben wij reeds met de lamp van FOUCAULT en DUBOSCQ kennis gemaakt en gezien, wie na hen eveneens het vraagstuk, de koolspitsen naarmate zij afbranden automatisch weder naar elkander toe te brengen, hebben opgelost. Al deze lampen, die in de eerste periode van het elektrisch licht werden vervaardigd, hadden echter het nadeel, dat er slechts één lamp in iedere keten kon branden, zoodat men steeds evenveel machines als lampen moest hebben. Zoodra men twee of meer lampen in dezelfde keten schakelde, brandde het licht zeer onrustig en werd dus ongeschikt voor verlichting.

Een eerste vereischte van kunstlicht is natuurlijk, dat het constant is en dat men het kan verdeelen, m. a. w. dat men niet gebonden is aan één lamp van groote lichtsterkte, maar door het aanbrengen van verschillende kleine lampen het licht in de te verlichten ruimte gelijkmatig kan verdeelen. De verdeeling van het elektrisch licht is dan ook een vraagstuk geweest, waaraan verschillende onderzoekers hunne krachten hebben beproefd.

Reeds in het jaar 1854 hield de Italiaan QUIRINI er zich mee bezig, en later beproefden ook DELEUIL, LE ROUX, MERSANNE en anderen tot eene praktische oplossing te geraken, doch eerst in 1876 gelukte het PAUL JABLOCHKOFF een elektrische lamp te vervaardigen, waarvan men er met goed gevolg meer dan een in denzelfden keten kon laten branden.

JABLOCHKOFF plaatste de koolspitsen niet boven doch naast elkander, door een niet geleidende zelfstandigheid gescheiden, die bij groote hitte smelt b. v. gips of kaolin. De koolspitsen zijn door een plaatje graphiet verbonden. Wordt door een aldus gevormde Jablochkoff-kaars de stroom van eene dynamo-machine geleid, dan zal dit plaatje spoedig gloeiend worden, eindelijk vervluchtigen en tusschen de koolspitsen alsdan de lichtboog ontstaan. Naarmate de koolstaven afbranden, zal de zelfstandigheid daartusschen smelten en vervluchtigen. Wij moeten hier nog aanmerken, dat de Jablochkoff-kaarsen slechts met wissel stroomen kunnen worden gespijst. Dit is het gevolg van eene eigenschap, die wij ook bij de overige elektrische lampen aantreffen: dat namelijk de positieve kool, d. i. de koolspits waardoor de stroom in de lamp treedt, twee maal sneller afbrandt dan de negatieve kool; gaat dus door een Jablochkoff-kaars een wisselstroom, dan zijn beide kolen beurtelings positief en negatief en zullen dus gelijkmatig afbranden; terwijl bij een gelijkgerichten stroom de negatieve koolspits de positieve niet bij een kunnen houden en daardoor de lichtboog spoedig zou verdwijnen.

De Jablochkoff-kaars heeft dus geen mechanisme noodig, dat de koolspitsen weer naar elkander toebrengt en is daardoor wat constructie betreft al zeer eenvoudig. Zij mocht zich dan ook bij hare verschijning in eene buitengewone belangstelling verheugen en vond al spoedig vrij groote toepassing. Toch voldeed zij lang niet aan het ideaal, dat men zich van eene elektrische lamp vormde. Een zeer groot nadeel van de elektrische kaarsen is o. a., dat, indien een lamp uitgaat, alle lampen in de keten geheel verduisteren, daar dan de stroom verbroken is. Bovendien is de levensduur van een Jablochkoff-kaars niet groot, zoodat men weer eene inrichting moet aanbrengen, waardoor automatisch een tweede kaars wordt ontstoken, wanneer de eerste is afgebrand.

Bij eene proefneming door den Parijschen gemeenteraad met Jablochkoffsche verlichting genomen kwamen in vier en een halve maand zestig storingen voor, die één tot vijf en veertig minuten duurden en het gevolg waren van beschadiging der machines of gebreken in het automatisch aansteken van nieuwe kaarsen. De Jablochkoff-kaarsen werden dan ook meer en meer verdrongen door de differentiaallampen, waartoe wij nu overgaan.

Zooals wij bij de lampen van FOUCAULT en DUBOSCQ zagen, gaat de volle stroom, die van de machine komt, zoowel door de koolspitsen als door het mechanisme; de lichtboog en de elektromagneet liggen beiden in den hoofdstroom.

De werking nu van eene elektrische lamp hangt geheel af van den stroom, die door de koolspitsen gaat, en het mechanisme heeft dan ook tot taak, de stroomsterkte steeds op dezelfde hoogte te houden. Branden er nu meer lampen in denzelfden stroom, dan zal iedere verandering van den lichtboog in een der lampen dadelijk invloed hebben op de werking der overige lampen, daar met die verandering een toe- of afnemen van den elektrischen stroom gepaard gaat, en daardoor ook het mechanisme der lampen, die zich in normalen toestand bevonden, begint te werken.

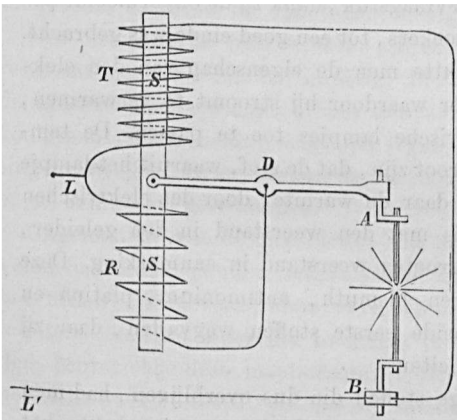
Uit het voorgaande blijkt dus, dat, wanneer men meerdere lampen van de soort, waarover wij tot nu toe hebben gesproken, met dezelfde dynamomachine bedient, het licht door onophoudelijk zeer sterk flikkeren geheel ongeschikt wordt voor het gebruik.

In plaats nu van den vollen stroom zoowel door de koolspitsen als door den elektro-magneet te laten gaan kan men hem ook vertakken. Wanneer men de geleiding, waardoor een elektrische stroom gaat, in twee deelen splitst en de beide takken later weer tot één geheel vereenigt, dan zal de elektrische stroom door beide takken zijn weg nemen. Is nu de weerstand in beide deelen gelijk, dan zullen de stroomsterkten in beide takken even groot zijn. Is daarentegen de weerstand in een van hen grooter, dan zal de stroomsterkte in dien tak kleiner zijn dan in den anderen en wel zoodanig, dat bij tweemaal grooteren weerstand de stroomsterkte tweemaal kleiner is.

Het schema der differentiaallamp is in nevenstaande figuur afgebeeld.

De stroom, die van de buitenleiding in de lamp komt, verdeelt zich bij L in twee deelen. In den eenen tak ligt de solenoïde T, die uit vele windingen van dunnen draad bestaat en dus eenen grooten weerstand heeft, in den anderen tak bevinden zich de solenoïde R, bestaande uit weinig windingen van dikken draad, en de koolspitsen. Beide takken vereenigen zich bij B. In de beide solenoïden R en T bevindt zich een gemeenschappelijke ijzeren kern S, die bevestigd is aan een hefboom, welke bij D draait en aan den anderen arm de bovenste koolspits draagt. De staaf S staat dus onder den invloed der aantrekkende krachten van beide solenoïden, die natuurlijk afhankelijk zijn van de stroomsterkten in de twee takken. Heeft T de

overhand, dan zal de ijzeren staaf *S* naar boven worden getrokken en de bovenste koolspits daardoor dalen. De weerstanden der beide solenoïden zijn nu zoo gekozen, dat bij een bepaalde lengte van den lichtboog de ijzeren staaf door beide solenoïden even sterk wordt aangetrokken en dus in evenwicht is. Branden de koolspitsen verder af, m. a. w. wordt de lichtboog grooter, dan zal door den grooteren weerstand, die daarvan het gevolg is, de stroomsterkte in den tak, waarin de koolspitsen en *R* liggen, kleiner en daarentegen die in *T* grooter worden. De aantrekkingskracht van deze laatste krijgt daardoor de overhand, de ijzeren staaf wordt dieper in *T* getrokken; de bovenste koolspits beweegt zich dus naar beneden en de lichtboog wordt weder op zijne normale lengte teruggebracht.



Gaan wij nu eens na wat er gebeuren zal, wanneer in de geleiding buiten de lamp de stroomsterkte verandert. Wordt de stroom b. v. sterker, dan zal dit natuurlijk ten gevolge hebben, dat zoowel de stroomsterkte in *R* als in *T* toeneemt; daar echter in beide solenoïden de vroegere stroomsterkte met een even groot gedeelte toeneemt, zal dit op de ijze-

ren staaf *S* geen invloed hebben, want de meerdere aantrekking, die zij van *R* ondervindt, wordt opgeheven door de meerdere kracht, waarmee *T* haar aantrekt. Eene verandering van de stroomsterkte buiten de lamp is dus zonder invloed op de geregelde werking van het mechanisme; van daar dat men bij deze constructie verscheidene lampen in denzelfden stroom kan plaatsen, zonder dat de regeling van eene der lampen nadeelig werkt op het licht der overigen. Daar de werking berust op de differentiaal-werking der beide solenoïden, worden deze lampen differentiaallampen genoemd. Toen deze nieuwe type door VON HEFNER-ALTENECK werd uitgevonden en spoedig door de bekende fabriek van SIEMENS en HALSKE werd ingevoerd, was het vraagstuk van de verdeling van het elektrisch booglicht opgelost, en de constructeurs van elektrische lampen volgens andere systemen pasten al

spoedig de differentiaalwerking van twee solenoïden op een ijzeren kern, in hunne lampen toe.

Men was dus nu zoover gekomen, dat men bij de verlichting van pleinen, groote zalen enz. het elektrisch licht met goed gevolg kon toepassen. Hiermede was men echter nog niet tevreden, men wilde het zoover brengen, dat men elektrische lampjes, van gelijke lichtsterkte ongeveer als een gasvlam, overal in de geleiding kon aanbrengen, en daarenboven de lichten naar willekeur kon aansteken en uitdraaien; eerst dan zou men er aan kunnen denken het elektrisch licht als een praktisch bruikbare verlichting tegenover andere lichtsoorten te stellen.

De elektriciteitstentoonstelling te Parijs, die met gulden letters in de annalen der elektrotechniek staat aangeschreven, toonde aan de opgetogen bezoekers, dat ook dit vraagstuk, dank zij de onvermoeide pogingen van verschillende onderzoekers, tot een goed einde was gebracht.

Reeds in het jaar 1845 trachtte men de eigenschap van den elektrischen stroom, om een geleider waardoor hij stroomt te verwarmen, bij de vervaardiging van elektrische lampjes toe te passen. De temperatuursverhooging moet zoo groot zijn, dat de stof, waaruit het lampje is vervaardigd, gaat gloeien en daar de warmte, door den elektrischen stroom ontwikkeld, evenredig is met den weerstand in den geleider, komen slechts stoffen van zeer grooten weerstand in aanmerking. Deze eigenschap bezitten echter alleen bismuth, antimonium, platina en kool, waarvan al dadelijk de beide eerste stoffen wegvallen, daar zij bij een te lage temperatuur smelten.

Met platina en kool, de eenige stoffen die dus overblijven, had men al lang proeven genomen doch steeds vruchteloos; wel gelukte het lampjes te vervaardigen, die licht gaven, doch zij waren niet duurzaam. Men had met verschillende moeielijkheden te kampen. Platina wordt, wanneer de temperatuur dikwijls zoo sterk wisselt als dit in een elektrisch lampje het geval is, spoedig bros, en breekt eindelijk; daarom voor de vervaardiging van een platina-gloeilamp minstens 20 gr. platina noodig heeft, wordt zij, hare geringe levensduur in aanmerking genomen, veel te kostbaar. De pogingen van DE CHANGY, LONTIN, en later die van EDISON om een bruikbare platina-gloeilamp te vervaardigen, bleven dan ook vruchteloos.

Beter waren de uitkomsten, die men met kool verkreeg, ofschoon men ook hierbij vele bezwaren had te overwinnen. De grootste moeielijkheid, die men ondervond, was het zoo volkomen mogelijk luchtledig maken van den ballon, waarin de kooldraad was opgesloten, en dit was

een eerste vereischte, wilde men de lamp ook maar eenigermate duurzaam maken. Toen dan ook in 1879 van Amerika uit met zooveel ophef werd aangekondigd, dat het eindelijk aan EDISON was gelukt eene bruikbare gloeilamp te vervaardigen, bleek het al spoedig dat men te vroeg had gejuicht; het bericht, dat zooveel opzien baarde, werd eenige weken later gevolgd door de tijding, dat EDISON nog moeite had met het luchtledig houden der lampen en dat daardoor de fabricage voorloopig was gestaakt.

Dit ontmoedigde hem echter niet; met ijzeren volharding zette hij zijne onderzoekingen voort en rustte hij niet, voordat hij alle bezwaren te boven was gekomen, zoodat reeds in het jaar 1881 op de elektriciteitstentoonstelling te Parijs honderden Edison's gloeilampjes hun zacht aangenaam licht op de opgetogen menigte lieten schijnen.

Met de proeven van EDISON vallen die van SWAN samen, en het resultaat was niet minder gunstig. De lamp van SWAN, die zich van de Edisonsche hoofdzakelijk door den vorm en de hoedanigheid van den kooldraad onderscheidt, mag zich tegenwoordig in eene groote toelassing verheugen. Later vervaardigden ook LANE-FOX, MAXIM, BERNSTEIN e. a. bruikbare gloeilampen.

Ongelooflijk was de geestdrift, die er na deze gelukte proeven bij velen heerschte; gouden bergen stelde men zich van de toepassing van het nieuwe licht voor; alom vorinden zich maatschappijen met groote kapitalen om het licht der toekomst te exploiteeren. Niet zelden werden echter bij deze maatschappijen de aandeelhouders in plaats van het licht geëxploiteerd, en spoedig hoorde men dan ook, dat verschillende elektriciteitsmaatschappijen te gronde waren gegaan. Bovendien werd het licht in den eersten tijd dikwijls aangelegd door onbevoegde handen, zoodat het niet kon voldoen aan de groote verwachtingen, die men er van koesterde, en zelfs gevaarlijk werd voor de omgeving. In de laatste jaren heeft men dan ook aan verschillende buitenlandsche polytechnische scholen leerstoelen opgericht voor elektrotechniek, zoodat nu de elektrotechnische ingenieurs zoowel theoretisch als praktisch kunnen worden gevormd.

Op deze overdreven opgewondenheid volgde een tijd van reaktie. Het publiek nam eene afwachtende houding aan, men was teleurgesteld door de slechte financiële resultaten, die vele elektrische maatschappijen verkregen, en begreep niet altijd, dat dit niet de schuld was van het elektrisch licht als zoodanig, maar van de wijze, waarop de zaak werd aangepakt, en maar al te dikwijls van een eervergeten directeur,

die het eene uitstekende gelegenheid vond het geld uit de zakken der aandeelhouders te kloppen en in zijn eigen geldlade te doen vloeien.

In den laatsten tijd maakt het elektrisch licht echter, dank zij zijne grootte voordeelen boven andere lichtbronnen, steeds grootere vorderingen; vele steden hebben reeds tot het inrichten van centraalstations, van waar men den elektrischen stroom in de huizen kan leiden, besloten, of hebben dit plan reeds ten uitvoer gebracht. New-York is in deze vooraan gegaan. Reeds op den 6den September 1882 werd het eerste centraalstation in Pearlstreet in gebruik gesteld, en het is later door anderen gevolgd. Dat verschillende steden het voorbeeld volgen, o. a. Berlijn, Milaan, Munchen, om niet te spreken van talrijke steden in Amerika, is wel een bewijs, dat het elektrisch licht in allen deele voldoet en men behoeft geen profetischen blik te hebben om te voorspellen, dat het eenmaal algemeen zal worden toegepast. Toch zal het niet in staat zijn het gas geheel te verdringen, evenmin als deze laatste lichtsoort de petroleum heeft verdrongen. Het zal veeleer met beide lichtsoorten evenzoo gaan als met de vorsten uit het volgend sprookje:

Er was eens een koning, die over een machtig rijk regeerde. Hij had een jongeren broeder, die in vele opzichten ver boven hem stond en door zijn wijsheid en kunde alom beroemd was. Deze wilde zich gaarne van den troon meester maken, daar hij in de eerste plaats aan zijn eerezucht wilde voldoen en in de tweede plaats het volk door een wijze regeering gelukkig wenschte te maken. Er ontstonden daardoor in het land twee partijen; de eene wilde den tegenwoordigen koning behouden, de andere daarentegen diens broeder als vorst huldigen. Daar de beide broeders zagen, dat deze onderlinge tweespalt voor het land, dat zij toch beide liefhadden, nadeelig werd, besloten zij het te verdeelen en ieder over een stuk te regeeren; de onderdanen zouden zodoende kunnen kiezen onder welken vorst zij zich wilden scharen. De gunstige uitwerking van dit wijze besluit liet niet lang op zich wachten; beide helften werden zeer gelukkig en de vorsten beijverden zich, door eene verstandige regeering en het invoeren van verbeteringen en nieuwe uitvindingen in hun rijk, het vertrouwen van hun volk te behouden.

Evenals deze beide broeders zullen het gas en het elektrisch licht het rijk moeten verdeelen, beide zullen trachten zich steeds te verbeteren en daardoor hun gebied te behouden en zoo mogelijk te vergrooten.