

# De elektrische stroom als een bewegingsverschijnsel deel I

Prof. Dr. H. A. Lorentz

Den Haag, 1890

Voor een zeer talrijk publiek hield in "Diligentia" de Leidsche hoogleeraar dr. Lorentz eene door helderheid uitmuntende voordracht over de nieuwe denkbeelden, die in de laatste tientallen jaren veld gewonnen hebben omtrent het wezen van den electrischen stroom, denkbeelden die vooral aan het onderzoek van Faraday en Maxwell te danken zijn.

Hoewel met overtuiging voor de nieuwe theorie in 't krijt tredende, ontveinsde de spreker zich geenszinds de moeilijkheden, het bezwarende van eene aannemelijke verklaring, 't welk vooral te wijten is aan de omstandigheid dat het beeld, waaronder Faraday om de elektrische verschijnselen voorstelt, zoo geheel verschilt van de voorstelling die wij ons daarvan vroeger maakten. Wij hebben toch de elektrische verschijnselen leeren beschouwen als teweeggebracht door eene positieve en eene negatieve vloeistof, en wij verstonden onder die benamingen de raadselachtige stof die zich ophoopte aan het oppervlak der geleiders, zonder ons intusschen veel te bekommeren over hetgeen plaats heeft in de ruimte daaromheen en daartusschen. Wanneer men dan op eenmaal die vloeistof teruggebracht ziet tot de rol van historische merkwaardigheid, dan is de overgang van de eene opvatting tot de andere wel groot. Bovendien verkeert de nieuwe theorie nog in staat van wording, en zelfs een physicus – zoo verklaarde spreker – die na lang wikken en wegen de nieuwe leer van Faraday omhelst, gevoelt zich in die nieuwe woning maar niet zoo dadelijk thuis en blijft onwillekeurig nog hechten aan de bekende plekjes in het oude verblijf. Toch zou spreker zijn betoog inkleeden, alsof de oude theorie niet meer bestond, niet omdat hij die theorie nu reeds als onherroepelijk veroordeeld wilde beschouwd zien, maar omdat door haar tijdelijk op zij te zetten, zijne verklaring van de nieuwe leer aan duidelijkheid en ongedwongenheid zou winnen. Bovendien zou hij zich bepalen tot een enkel onderwerp, bij uitstek geschikt om van de nieuwe theorie een gunstig denkbeeld te geven.

De quaestie in enkele woorden in deze: in hoever kan de elektrische stroom opgevat worden als een bewegingsverschijnsel en van welken aard is de beweging die daarbij plaats heeft? Ieder weet dat, als een spitse geleider met den conductor eener electriseermachine verbonden wordt, alsdan eene uistrooming van electriciteit plaats heeft. Plaatst met bij de plek van uistrooming eene kaarsvlam, dan ziet men de vlam ter zijde uitwijken. Die zoogenaamde elektrische wind is eene beweging van de omringdende lucht, die de electriciteitsbeweging vergezelt, en op eene dergelijke wijze gaat deze laatste ook bij de electrolyse met eene verplaatsing der gewone stof gepaard. De vraag is echter, of ook een elektrische stroom, in een metalen geleider, in een beweging bestaat. Zoo ja, dan moeten de algemeene wetten, die voor het ontstaan en verdwijnen van bewegingen gelden, ook hier doorgaan.

Men weet, hoe de snelheid van een lichaam afhangt van de grootte der krachten die er op gewerkt hebben, van den tijd der beweging en van de massa stof die in beweging komt is, bij den val der lichamen, een van de krachten, de weerstand, zoo groot., dat zij de zwaartekracht opheft, dan zal het lichaam eene standvastige snelheid hebben gekregen, en dat moment van standvastige snelheid zal te spoediger intreden, naarmate, bij gelijk oppervlak, het vallende lichaam minder stofmassa heeft. Een ander voorbeeld van de wijze waarop beweging kan ontstaan en verdwijnen, levert een spoortrein. Tusschen twee halten van den trein kan men drie perioden onderscheiden. Vooreerst dient de drijfkracht om den trein zekere snelheid te geven; in de tweede periode waarin de voorttrekkende kracht den weerstand moet overwinnen, is de snelheid standvastig; eindelijk volgt de

derde periode, waarin de weerstand de overhand krijgt en den trein doet stilstaan. Daarbij valt op te merken dat, evenmin als beweging volkomen plotseling kan ontstaan, evenmin een lichaam plotseling kan ophouden zich te bewegen. Ook al heeft de drijfkracht opgehouden, loopt de trein nog door, omdat er in is opgehoopt eene hoeveelheid van beweging, die in staat is den weerstand van den weg te overwinnen.

Er zijn dus twee factoren die bij de beweging in 't spel zijn, de massa en de weerstand. De eerste moet aanstonds in beweging worden gebracht, maar de tweede ontwikkelt zich eerst langzamerhand. Zoo zal van twee treinen, de eene zwaar maar zich bewegende over een gemakkelijken weg, de tweede licht en rijdende langs een ruwen weg, en door gelijke krachten voortgetrokken, de eerste aanvankelijk veel langzamer rijden, maar zoodra de weerstand zicht openbaart, zou weldra de zwaardere trein het in snelheid van den lichtereren kunnen winnen.

Tot verdere opheldering stond spreker stil bij de beweging eener vloeistof. Als water met standvastige snelheid door een buis loopt, heeft de drijfkracht niet anders te doen, dan de wrijving aan de wanden der buis te overwinnen. Bij het begin van de strooming is er tijd noodig om het water eene steeds toenemende snelheid te geven, die men weldra standvastig ziet worden als de wrijving meer en meer optreedt. En wil men dan de strooming doen ophouden, dan kan men dat niet plotseling doen. Er zit nog een zekere hoeveelheid van beweging in het water, die moet uitwerken. Op dit verschijnsel berust de door Montgolfier uitgevonden waterram, waarvan spreker de werking liet zien. Met den electricischen stroom kan men nu eene proef nemen, welke veel overeenkomst heeft met die van de waterram. Voor ondersteld, dat van de twee sluitdraden eener batterij elementen, de eene A uitloopt in een kwikbak, en men van den anderen, die in windeingen rondom een klos loopt, het uiteinde B in de hand houdt, dan zal bij het indompelen van dit uiteinde in het kwik de stroom gesloten worden, maar een vonk zal niet ontstaan. Bij het uithalen van den draad B daarentegen, zal men wel een vonk zien. Op dat oogenblik is de stroom dus krachtiger, en waaraan is dat anders toe te schrijven dan aan de in de klos bestaande beweging, die hier evenzoo werkt als de beweging in de waterkolom in den toestel van Montgolfier? Wanneer de strooming in het water plotseling gestremd wordt, zagen wij de opeengehoopte hoeveelheid van beweging in staat om het water hoog uit te werpen. En zoo ook bij het plotseling verbreken van den electricischen stroom, doet de beweging in staat om het water hoog uit te werpen. En zoo ook bij het plotseling verbreken van den electricischen stroom, doet de beweging in de klos de electriciteit doorstroomen en den weerstand in het luchtlaagje tusschen kwik en sluitdraad overwinnen.

Wij vinden hier dus de derde periode van de straks beschreven spoortreinbeweging terug, en de gelijkenis uit de tweede en de eerste periode is even opvallend, als men let op den weerstand, die zich bij den electricischen stroom door warmteontwikkeling openbaart, en op den tijd die noodig is om in een draad een electricischen stroom op te wekken en die afhangt van de massa der stof, welke daarbij in beweging moet gebracht worden.

Om dit laatste aan te toonen, werd door spreker gebruik gemaakt van eene stroomverdeeling. Zooals met behulp van gloeiende plantinadraden werd aangetoond, zijn bij splitsing van de geleider in twee takken, die zich verder op weer vereenigen, de beide stroomen aan elkander gelijk, wanneer de weerstanden even groot zijn. Bezigt men nu echter, om de intensiteiten der twee stroomen met elkander te vergelijken, een gevoeliger hulpmiddel, een differentiaalgalvaometer, dan kan het geval zich voordoen, dat al zijn de twee weerstanden en dus ten slotte ook de stroomsterkten even groot, toch gedurende een korten tijd onmiddellijk na het begin der electriciteitsbeweging, de eene stroom het van den anderen wint. Dit is het geval, wanneer een electricische stroom in den eenen tak meer massa in beweging heeft te brengen, dan een even sterke stroom in den tweeden tak, maar dan zal ook, bij het verbreken van de geleiding vóór het vertakkingspunt, de beweging in den

eerstgenoemden tak iets langer voortduren dan in den laatstgenoemden, wat men op nieuw aan een uitslag van den galvanometer bemerkt.

Dergelijke proeven leeren dat, als gelijke electriche stroomen rondloopen door twee even lange draden, maar waarvan de een gewikkeld is rondom een staaf weekijzer, alsdan die beide stroomen niet dezelfde hoeveelheid stof in beweging brengen. Reeds de vorm van de draden is van invloed op de werking, in tegenstelling met het stroomen van water door buizen van gelijke lengte en breedte, doch van verschillende gedaante. Zal men bij deze laatste bij doorstroming van water dezelfde uitwerking zien, bij den electriche stroom hangt veel van den vorm van den draad af. Slechts ééne verklaring is daarvoor: namelijk, dat ook bij dezen stroom iets in beweging komt, maar wat daar in beweging verkeert, ziet niet in den draad, maar daarbuiten. Dat onder die omstandigheden de vorm van den draad invloed uitoefent, is duidelijk. Immers van alle punten van den draad openbaart zich die invloed naar buiten.

Wanneer men den draad bijvoorbeeld ombuigt en dubbel legt en den stroom er dan door heen laat loopen, zal men vlak naast elkander twee stroomen hebben in tegengestelde richting, wier werking elkander opheffen. De beweging meegedeeld naar buiten zal dan minder sterk zijn. Wikkelt men den draad om een klos, dan zal de beweging daarbinnen bijzonder sterk worden.

Bij deze beschouwing werd door de spreker ondersteld, dat er zich in den draad zelf ook iets beweegt; daarvoor pleit o.a. de warmte-ontwikkeling, want deze gebeurt toch zeker binnen den draad. Wij mogen dus aannemen dat de beweging, die in den draad bestaat, de beweging rondom den draad opwekt. De eigenlijke massa die in beweging komt, is echter buiten den draad gelegen. Verschijnselen toch, die zouden moeten bestaan, wanneer de stroomende stof in den draad eenige merkbare massa had, en die ten deele nader werden aangeduid, zijn niet waargenomen. Binnen den draad openbaren zich echter de weerstand en de warmte-ontwikkeling, en daar buiten, waar de massa gevonden wordt, bestaat geen weerstand.

Laat deze dubbele beweging dus toe, dat men de electriche verschijnselen lang tweërlei weg kan bestudeeren, spr. Zou zich bepalen tot de buitenbeweging. Vooreerst werd door proeven met staaf of kern van week ijzer aangetoond, dat indien een grootere massa in beweging verkeert dan bij afwezigheid der staaf het geval zal zijn. Van daar de versterking der "extra-stroomen" door ijzeren kernen.

De stoffen die zich als ijzer gedragen, zooals nikkel en kobalt, noemt men magnetische stoffen. Daarin wordt een zeker stofmassa in beweging gebracht, meer dan in de lucht; daarentegen zijn er diamagnetische lichamen, zoals bismuth, wier werking tegengesteld is, omdat daarin eene kleinere massa in beweging gebracht wordt dan in de lucht.

Volgens de nieuwere zienswijze omtrent het wezen der electriciteit, zou de besproken beweging buiten de geleiders alle werkingen moeten veroorzaken, die de electriche stroom op een afstand uitoefent. Zoo kan b.v. de electriche stroom in den eenen geleider een inductiestroom in een anderen draad opwekken. Een ander verschijnsel: trekt men een ijzeren kern weg uit de windingen, waardoor een stroom loopt, dan verandert de stroom; hij wordt namelijk een oogenblik sterker, terwijl door het insteken van het ijzer de stroom oogenblikkelijk zwakker wordt. Spreker, deze verschijnselen verklarende, wees er op dat bij het insteken van de kern, de stroom in den draad een deel van zijne kracht nodig heeft om de besproken bewegingen in de ijzeren kern aan den gang te brengen, terwijl het sterker worden van den stroom bij het wegtrekken van de kern, verklaard wordt door het zich plotseling vrijer voelen van den stroom, wanneer de in de kern aanwezige massa zich verwijderd en de beweging daarin ophoudt.

## De elektrische stroom als een bewegingsverschijnsel deel II

**Prof. Dr. H. A. Lorentz**

De leidsche hoogleeraar Lorentz trad ten tweeden male in "Diligentia" op, ten einde zijne voordracht over de nieuwe theorie der electriciteitverschijnselen te vervolgen. De toestellen om hem heen, nog meer de proeven die hij daarmee nam, bewezen welk een tijd en moeite de voorbereiding van eene dergelijke physische voordracht kost. Maar die inspanning was hier wel beloond, want wederom had spreker een aandachtig gehoor, dat met groote belangstelling het klare betoog en de schoone proeven volgde.

Spreker herinnerde hoe door den electricischen stroom eene zekere massa moet worden in beweging gebracht; dat die stroom een zekeren tijd behoeft alvorens zijne volle sterkte te bereiken en dat hij ook niet oogenblikkelijk tot stilstand is te brengen. Ook hadden wij spreker aan de hand van Maxwell hooren betoogen, dat de in beweging verkeerende massa meer te zoeken is in de stof die den geleider omringt dan in den geleider zelf, en dat wanneer wij de hoeveelheid dezer stof in de omgeving van den geleider grooter maken, door bijv. in de windingen van een klos een ijzeren kern te steken, er langer tijd noodig zal zijn vóór de stroom tot zijne volle sterkte komt en hij ook minder spoedig uitgeput zal zijn. Spreker kon daar thans nog bijvoegen, dat het, wat de massa betreft, onverschillig is door welk metaal of door welke stof de elektrische stroom loopt. Ook wanneer hij zijn weg door de lucht neemt, heeft hij de massa daaromheen in beweging te brengen. Alleen de weerstand, die andere factor bij de beweging, verschilt. In eene stof als de lucht is de weerstand bijv. ontzaglijk veel grooter dan in een koperdraad.

Gaan wij thans na de verschijnselen die zich voordoen bij een zeer kortstondigen stroom, die ontstaat door met een plotseligen stoot de electriciteit in een geleiddraad in beweging te brengen, dan ziet men dat de massa dadelijk haar invloed doet gevoelen, maar dat de weerstand tijd nodig heeft om op te treden.

Eene dergelijke plotselinge elektrische beweging heeft plaats bij de ontlading, eener Leidsche flesch, aan de binnen- en buitenzijde bekleed met bladtin. Geeft men aan het bladtin de binnenzijnde eene elektrische lading, dan krijgt het bladtin aan de buitenzijde eene tegengestelde lading, en beide ladingen verdwijnen, zoodra men de bekleedselen met elkaar in verbinding brengt door een metalen stang. Maar reeds vóór de verbinding is tot stand gebracht, heeft de "ontladingsstroom" plaats, duidelijk te bespeuren aan het overspringen van een krachtige vonk op die plaats, waar de geleidende verbinding nog door lucht is afgebroken. Spreker had nu eene proef met eene batterij van tien Leidsche fleschen zoo ingericht, dat de ontlading niet alleen de "grootte" vonk moest geven, maar bovendien nog -op eene andere plaats- eene dunnen luchtlaag tusschen twee metaalbolletjes moest doorboren. Deze bolletjes waren vereenigd door een koperen spiraaldraad, zodat de ontlading of direct haar weg kon nemen van den eenen bol op den ander, dus door de daartusschen zich bevindende lucht, of langs den omweg van den spiraaldraad. Wanneer nu de stroom zijn oorsprong had gevonden in galvanische elementen, dan had de electriciteit zeker haren weg genomen door den draad, waar zij zooveel minder weerstand ontmoet dan in de lucht tusschen beide bollen. Maar hier bij de plotselinge elektrische beweging, vraagt de stroom waar hij de kleinste hoeveelheid stof in beweging heeft te brengen, omdat hier de andere factor, de weerstand, nog geen tijd had om zijn invloed te doen gevoelen. Welnu, dan is hier de weg door de lucht de kortste en de stroom heeft daar slechts eene geringe hoeveelheid stof in beweging te brengen. De proef op de som was het overspringende vonkje, en zelfs wanneer men den spiraaldraad vervangt door een flauw gebogen koperdraadje van ongeveer 10 cm lengte, blijft het verschijnsel bestaan; alleen kan dan slechts een

zwakker vonkje verkregen worden , omdat een stroom in dat draadje eene kleinere massa in beweging heeft te brengen, dan in den eerste gebezigten spiraaldraad.

Om de telegraaf toestellen tegen de werking van den bliksem te beschutten, heeft men van deze eigenschap der plotselinge electriche bewegingen op eigenaardige manier gebruik gemaakt. Den van de telegraaf lijn komende geleiddraad laat men, alvorens hij rondom den electromagneet loopt, zich splitsen en eene vertakking naar de aarde uitzenden, welke tak verbroken wordt door twee op elkaar liggende metaalplaten waartusschen een met paraffine gedrenkt blad papier.

Een gewone stroom waarmee men telegrafeert, zal zijn plicht doen en den weg volgen waar hij den minsten weerstand ontmoet d.w.z. direct door de windingen van den electro-magneet, maar de snelle stroom, die onstaat als de bliksem op de lijn inslaat, moet langs een anderen weg worden geleid. En dit geschiedt dan ook werkelijk, want de plotselinge electriche beweging dan ook werkelijk, want de plotselinge electriche beweging volgt den anderen draad, de vertakking met de beide metaalplaten, omdat hij daar de minste hoeveelheid stof in beweging heeft te brengen.

Een tweede voorbeeld uit de practijk zijn de bliksem afleiders, bij wier inrichting men ook bedacht moet zijn, dat de bliksem niet alleen rekening houdt met den weerstand, maar vooral met de massa, die hij in beweging heeft te brengen en waardoor veeltijds tijdens onweeren, ten spijt van bliksem afleiders, zijdelingsche ontladingen plaats hebben.

Spreker keerde nu tot de Leidsche flesch terug en betoogde dat op het oogenblik als de ladingen van binnen- en buitenbekleedsel zijn verdwenen, eene hoeveelheid stof rondom den geleiddraad in beweging gebracht is en dientengevolge de electriciteit nog blijft doorloopen. De beide bekleedsels krijgen nu tegengestelde ladingen en dat duurt voort tot de electriche stroom is uitgeput. Daarna treedt een tegengesteld gerichte electriche stroom op, die eveneens langer voortgaat dan het oogenblik, waarop de ladingen zijn verdwenen. Kortom, er hebben heen en weer gaande stroomingen of electriche schommelingen plaats. Spreker vergeleek het verschijnsel met de beweging van water in twee naast elkander gelaatste even groote bakken, die verbonden zijn door eene U-vormige buis, wier verticaal geplaatste beenen in den bodem der bakken uitmonden. Dat water kan nu heen en weer schommelen van den eenen bak naar den anderen, en de duur van elke schommeling zal afhangen van de breedte der bakken en de lengte der buizen. Twee dergelijke factoren zijn nu ook in 't spel bij de schommelingen van de electriciteit. Hier hangt de schommeltijd af, van de lengte van den verbindingsdraad tusschen de binnen- en buitenbekleedsels der Leidsche flesch en van de grootte der flesschen. Is de draad langer, dan zal meer massa in beweging te brengen zijn, zoodat de schommelingen langzamer geschieden. Ook de vorm van den draad zal den duur der schommelingen bepalen.

Met spiegels die eenige honderden malen in de seconde draaien, heeft men inderdaad deze snelle electriche schommelingen waargenomen en tevens, wat het aantal schommelingen in een bepaalden tijd betreft, de voorspellingen der theorie proefondervindelijk bevestigd.

Even als eene trillende stemvork de lucht in beweging breng, zoo zal de ontlading van eene Leidsche flesch in de omringende ruimte iets opwekken, dat met die luchtrillingen overeenkomt. Het is vooral de hoogleeraar Hertz te Bonn, vroeger te Karlsruhe, die zich door het onderzoek naar de voortplanting der electriche trillingen beroemd heeft gemaakt. De groote vraag bij dat onderzoek, hoe zullen we van die electriche trillingen op een afstand iets waarnemen, heeft Hertz op zeer bevredigende wijze opgelost; hij bediende zich ten dien einde van het 'medetrillen'. Plaatst men twee Leidsche flesschen zoodanig in elkaars nabijheid, dat een deel van den sluitdraad van de een evenwijdig loopt met een deel van den draad der tweede flesch, terwijl deze laatste draad weer door

een dun luchtlaagje is afgebroken, dan ziet men onder geschikte omstandigheden op die plaats een vonkje, telkens wanneer de eerste flesch ontladen wordt. De 'geschikte omstandigheden' komen hierop neer, dat de duur der electriche schommelingen, die in den sluitdraad der tweede flesch kunnen plaats hebben, overeenstemt met den duur der schommelingen, die de ontlading der eerste flesch vergezellen. Dan zullen, evenals eene aagestreken stemvork eene andere vork van gelijke toonhoogte doet medeklinken, – de electriche trillingen in den eersten draad de electriciteit in den tweeden doen heen en weergaan, hetgeen men aan het vonkje bemerkt.

OM nu de voortplantingssnelheid van de electriche trillingen te bepalen, bezigde Hertz een hulpmiddel, dat ook bij proeven over de voortplantingssnelheid van het geluid vele diensten heeft bewezen. Even als men van een trillende luchtkolom in een glazen buis de knopen bepaalt, waarvan de dubbele afstand met het aantal trillingen vermenigvuldigd de voortplantingssnelheid oplevert, zoo zocht Hertz ook in de ruimte tusschen de bron der electriche trillingen en een terugkaatsende wand, de knopen waar geen beweging plaats had. Om den afstand der knopen niet te groot te doen worden, moest hij zeer snelle electriche bewegingen teweeg brengen; hij verkreeg die door, in plaats van eene leidsche flesch, een paar zinken platen te nemen, waarop slechts eene kleine lading wordt opeengehoopt. De platen waren verbonden door eene staaf, die in het midden door eene luchtlaag was verbroken, en de trillingen werden opgewekt door een krachtigen inductor, waarvan de uiteinden van den secundairen draad met de zinkplaten verbonden waren.

Het aantal schommelingen werd daardoor opgevoerd tot 30 miljoen in de seconde en de afstand der knopen verminderd tot 3 meters. In de 15 meters lange zaal van het Polytechnicum te Karlsruhe, waar de electriche triller en de in de nabijheid geplaatste en op den triller gestemde resonator – een tot een rechthoek gebogen koperdraad, op ééne plaats door eene zeer dunne luchtlaag afgebroken-geplaatst waren, konden de knopen nu waargenomen en hun afstand gemeten worden. Uit dien afstand en het eveneens bekend aantal schommelingen, werd de voortplantingssnelheid van de electriche trilling gevonden als volkomen overeenkomende met de snelheid van het licht.

Deze hoogst merkwaardige uitkomst bevestigde volkomen de meening van Maxwell, die te voren uit theoretische beschouwingen had afgeleid, dat wat wij licht noemen, een verschijnsel is van denzelfden aard als de electriche trillingen. Was dit niet zoo, dan zou men zeer verlegen zijn met de vraag, hoe de natuur de geheimzinnige stof, die wij aether noemen, zou hebben kunnen belasten met twee verschillende functiën, met de voortplanting van twee verschillende verschijnselen en wel met dezelfde voortplantingssnelheid.

Hertz is er vervolgens in geslaagd om het aantal electriche trillingen nog tienmaal grooter maken, waardoor de afstand der knopen tot beneden 1 meter kwam. Toen nam hij nog duidelijker waar, dat de electriche trillingen dezelfde eigenschappen vertoonen als die van het licht. Van zulk een triller ging uit een straal van 'electriche kracht', die evenals een lichtstraal door een parabolischen spiegel teruggekaatsd en door een prisma gebroken werd.

Mogen wij dus een gevolgtrekking maken – zoo ongeveer besloot spreker zijn boeiende rede- dan zou het deze zijn, dat het licht een verschijnsel is waarbij beweging plaats heeft van denzelfden aard, als de beweging die bij electriche verschijnselen in het spel is. Het raadselachtige blijft de stof, de aether, die zoo wel de eene als de andere beweging voorplant. Naar 't schijnt zijn wij intusschen zoo ver, dat beide raadsels, dat van den aether en dat van de electriciteit, geacht kunnen worden slechts één raadsel te zijn. Weten wij eenmaal wat de aether is, dan zullen wij ook weten wat de electriciteit is, en omgekeerd, als we weten wat de electriciteit is, dan zullen wij weten wat de aether is.

Spreker's helder betoog werd door eene reeks van welgeslaagde proeven en schematische tekeningen duidelijk toegelicht.