

De door prof. Röntgen ontdekte stralen.

Toen de Redactie van *De Gids* mij uitnoodigde, een opstel te leveren over de 'X-stralen', waarvan Prof. Röntgen te Würzburg in het laatst van het afgelopen jaar het bestaan heeft aangetoond, heb ik geen oogenblik gearzeld, mij daartoe bereid te verklaren. Dat de nieuwe verschijnselen, die thans de hoofden der physici vervullen, ook buiten hunnen kring in hooge mate belangstelling zouden wekken, daarvan kon ik mij verzekerd houden; inderdaad is over geene natuurkundige ontdekking der laatste jaren, noch over de proeven van Hertz, noch over de opsporing van het argon en het helium, in weinige maanden zooveel gesproken en geschreven als over de onzichtbare stralen van Röntgen. Toch zou ik bezwaar hebben gemaakt, er op deze plaats iets over te zeggen, zoo het onderwerp mij niet toescheen zich bij uitstek tot eene eenvoudige, voor een ieder verstaanbare behandeling te leenen. Hoewel voor de ontdekking de hulpmiddelen van een goed uitgerust laboratorium noodig zijn geweest, kunnen de gebezigde toestellen, in hoofdzaak althans, zeer goed in korte trekken en zonder de hulp van figuren worden beschreven.

Waar het op aan kwam was eene gesloten, met een zeer verdund gas gevulde, glazen buis, zoo ingericht dat men er krachtige elektrische ontladingen door kon laten gaan; voorts, om die buis, een koker van zwart karton, die aan elk lichtstraaltje den weg naar buiten afsneed; eindelijk, in de omringende donkere ruimte, een blad papier met eene fluoresceerende stof bedekt, d.w.z. met eene stof die de eigenschap heeft, bij bestraling met licht, zelf tijdelijk lichtgevend te worden. Zij werd dit ook nu, bij elke elektrische ontlading, ofschoon

er geen spoor van licht op viel; iets anders dan licht, maar toch iets dat van den ontladingstoestel uitging, bestond dus klaarblijkelijk in de omgeving daarvan. De door Röntgen gekozen naam 'X-stralen' doelt op de rechtlijnige voortplanting, zooals die uit de 'schaduw'en' blijkt, die verschillende voorwerpen op het fluoresceerende scherm werpen. Al aanstonds moge ook vermeld worden dat de stralen eene dergelijke photographische werking uitoefenen als lichtstralen, dat zij op gevoelige platen 'beelden' te voorschijn roepen, die op de gewone wijze kunnen worden ontwikkeld.

Dit alles is in weinige woorden te zeggen en welke waarnemingen tot nog toe verder verricht zijn zou ook spoedig genoeg verhaald kunnen worden. Ik stel mij echter voor dat de lezer ook iets zal wenschen te vernemen van hetgeen er *in* de ontladingsbuis gebeurt. In deze verschijnselen, die helaas nog bijna even zoo vele raadselen zijn, ligt in elk geval de oorsprong der X-stralen. Door er eenige bladzijden aan te wijden zal ik tevens gelegenheid hebben, ook aan sommige voorgangers van Röntgen de eer te geven, die hun toekomst.

Natuurlijk kan hier geen sprake zijn van een uitvoerig overzicht over de ontladingsverschijnselen, te beginnen met de nietige vonkjes die men uit eene gewreven pijp lak kan trekken en te eindigen met de buizen die de X-stralen opleveren. Slechts enkele hoofdpunten wensch ik aan te stippen, daarbij gebruik makende van eenige gangbare benamingen en ook van eene bepaalde, trouwens, voorzoover zij hier te pas komt, zeer eenvoudige theorie der electriciteit.

Er zijn, zooals men weet, twee verschillende en in menig opzicht aan elkander tegengestelde electricische toestanden. Wrijft men eene glazen staaf langs een stuk metaal, dat niet onmiddellijk in de hand wordt gehouden, maar aan een 'isoleerenden' steel, van glas of lak, is bevestigd, dan worden beide 'geëlectriseerd' of 'geladen', maar niet op dezelfde wijze. Een derde, eveneens geëlectriseerd voorwerp wordt, zoo het door het glas wordt aangetrokken, door het metaal afgestooten, en omgekeerd. De grondsteen van alle electriciteitstheorie is nu het feit dat de twee toestanden, de 'positieve' van het glas, en de 'negatieve' van het metaal, *gelijktijdig* ontstaan; al spoedig brengt dit tot het denkbeeld dat een zeker iets van het eene

voorwerp naar het andere is overgegaan. In het beeld dat Benjamin Franklin van de verschijnselen heeft ontworpen, is dat 'iets' eene stof, de 'electrische stof', of de 'electriciteit', waarvan elk lichaam in zijn natuurlijken of gewonen toestand eene bepaalde hoeveelheid bevat. Een gedeelte dezer stof zou bij 't wrijven overgaan van het metaal naar het glas; de positieve lading zou in eene overmaat boven de normale hoeveelheid, en de negatieve lading in een tekort bestaan.

Men kan zich even goed verbeelden, men heeft hier toch alleen met een *beeld* te doen, dat de menschelijke geest zich van de buitenwereld vormt, dat een overgang plaats heeft in omgekeerde richting, van het glas naar het metaal, dat dus eigenlijk de lichamen, die naar 't gewone spraakgebruik positief heeten, minder electriciteit hebben dan in den normalen toestand. Eindelijk kan men ook, en van deze opvatting zal ik mij hier bedienen, *twee* stoffen met tegengestelde eigenschappen, de positieve en de negatieve electriciteit, onderstellen; in den natuurlijken toestand is ieder lichaam met evenveel van de eene als van de andere stof voorzien, maar de wrijving brengt eene wijziging in deze verdeeling; zij bezorgt aan het glas meer positieve dan negatieve, maar aan het metaal meer negatieve dan positieve electriciteit.

Ziedaar reeds een paar electriciteitstheorieën die elk nog in velerlei schakeering nader kunnen worden uitgewerkt. Al deze opvattingen hebben echter één trek met elkander gemeen, een trek, dien men het scherpst doet uitkomen, als men de electriciteit of de electriciteiten kort en goed met den naam van 'stof' bestempelt, dezen nl. dat nooit electriciteit wordt voortgebracht, maar dat zij alleen wordt verplaatst en dat daardoor het electrisch evenwicht wordt verbroken. Dit geschiedt ieder oogenblik en door de meest uiteenlopende oorzaken, wanneer met een veertje over een blad papier wordt gestreken, een stuk ijzer op den vochtigen grond ligt, een magneet in de nabijheid van een koperdraad wordt verplaatst, een kwartskristal wordt samengeperst of de aanrakingsplaats van twee lichamen wordt verwarmd. Hier in 't klein; in 't groot, wanneer de kracht van een waterval een werktuig in beweging brengt, dat een machtigen electrischen stroom opwekt. Op verheven schaal in de natuur, als de wolken van het onweder zich samenvakken.

Dat de mensch de electrische verschijnselen wetenschappe-

lijk kan onderzoeken en aan de vervulling zijner behoeften kan dienstbaar maken, is grootendeels te danken aan de werktuigen, waardoor de electriciteit verplaatst kan worden, evenals water door eene pomp in beweging wordt gebracht. 'Electriciteitspompen' nu zijn er velerlei; alle electriseermachines, galvanische elementen, dynamo's, inductieklossen kunnen zoo genoemd worden. Zij hebben alle twee *polen*, twee metaalstukken meestal, waarvan het eene eene positieve en het andere eene negatieve lading verkrijgt; de beteekenis van het werktuig ligt juist hierin dat het positieve electriciteit drijft van de eene naar de andere pool. De polen zelve kunnen dan ook met niets beter vergeleken worden dan met twee bakken, zoo met eene pomp verbonden, dat water uit den eenen bak gezogen en in den anderen geperst wordt. Men heeft zich nu slechts voor te stellen dat de bakken alleen door een dunnen tusschenwand van elkander zijn gescheiden en dat deze onder den druk van het aan de eene zijde opgestuwde water bezwijkt, om een beeld te verkrijgen van de electricische vonk tusschen twee metalen bollen die door geleidraden met de polen van eene electriseermachine zijn verbonden. Zoolang de aandrang van positieve electriciteit naar den eenen en van negatieve electriciteit naar den anderen bol niet al te groot is, kan de lucht tusschen de geleiders weerstand bieden aan de neiging der electriciteit om van het eene lichaam naar het andere over te gaan, maar eindelijk heeft onder warmte- en lichtontwikkeling en met knetterend geluid de vereffening van de positieve lading van den eenen en de negatieve van den anderen bol plaats.

Twee belangrijke vragen rijzen nu aanstonds. De ruimte tusschen de bollen bevat niet ééne enkele stof, maar *twee* stoffen, vooreerst de lucht, en in de tweede plaats de ether, waarvan de lichtverschijnselen het bestaan hebben geopenbaard. De lucht, uit tallooze van elkander gescheiden deeltjes, molekulen, bestaande, waarvan men weet dat zij met snelheden van eenige honderden meters in de seconde heen en weer vliegen, daarbij onophoudelijk tegen elkander botsende. De ether, die misschien ook eene moleculaire structuur heeft, maar even goed een 'continuum' kan zijn. Wat is het nu, de lucht of de ether, die eerst den doorgang aan de electrici-

teit belet, en welke stof is, als eindelijk de ontlading plaats heeft, het meest daarbij betrokken? Om dit uit te maken was het noodig de lucht weg te nemen, of althans te verdunnen, en te zien wat er dan van de ontlading wordt. Zoo heeft men het antwoord op de zoeven gestelde vragen gevonden en bovendien tal van andere verrassende en merkwaardige uitkomsten verkregen. De kennis die men van de electriche ontladingsverschijnselen bezit is dan ook voor een groot deel aan de verbetering der luchtpompen te danken.

Langen tijd had men niet anders dan de welbekende zuigerluchtpomp, waarmede men de lucht in een vat tot zoo iets als een 500^{ste} van de oorspronkelijke hoeveelheid kan verdunnen. Veel verder kan men het brengen met de kwikluchtpomp, die het eerst, in 1857, door Geissler te Bonn werd geconstrueerd, en die, vooral door latere verbeteringen, een bewonderenswaardig werktuig is geworden, een onmisbaar hulpmiddel in het laboratorium en in de fabrieken van electriche gloeilampjes. De inrichting is in beginsel zeer eenvoudig. Een glazen bol is vastgesmolten aan het bovineinde eener verticale buis, eveneens van - glas, door welke men op de eene of andere wijze eene hoeveelheid kwik beurtelings kan doen rijzen en dalen. De bol kan in gemeenschap worden gesteld met de ruimte, uit welke men de lucht wenscht te verwijderen; bovendien kan aan het bovineinde een weg worden geopend naar de buitenlucht. In het oorspronkelijke werktuig van Geissler dient een enkele glaskraan met geschikte doorboringen voor het een zoowel als voor het ander. Men laat, terwijl de weg naar de buitenlucht is geopend, het kwik den bol geheel vullen; nadat aldus alle lucht uit den bol naar buiten is gedreven sluit men dezen weg af, en maakt nu, terwijl het kwik daalt, gemeenschap tusschen de pomp en het ledig te pompen vat, zoodat de lucht uit dit laatste zich verspreidt over de ruimte boven het dalende kwik. Deze bewerkingen worden een groot aantal malen herhaald.

Al spoedig bleken moeilijkheden te bestaan, die men bij de zuigerluchtpomp, omdat daar veel grooter gebreken zijn, niet had opgemerkt, maar die men op voortreffelijke wijze heeft kunnen overwinnen. Om de luchtledige ruimte van allen waterdamp te bevrijden werd aan de kwikluchtpomp een bolletje verbonden met waterdamp, eene zelfstandigheid die den waterdamp gretig tot zich neemt. Maar ook andere

stoffen dan water bleken dampen af te geven, met name het vet dat, in hoe kleine hoeveelheden dan ook, tot dichting der kraan en van verschillende verbindingsplaatsen noodig was. Men heeft daarom alle kranen weggelaten en andere hulpmiddelen verzonnen, waardoor men de lucht kan dwingen, juist daarheen te gaan, waar men haar hebben wil. Als verder het glazen vat dat men wil leegpompen aan eene glazen buis is vastgesmolten, die aan den anderen kant op dezelfde wijze met de luchtpomp is verbonden, heeft men eene volkomen luchtdichte sluiting, en is het 'vacuum' met niet anders dan glas, kwik en phosphorzuur in aanraking. Voegt men nu hier nog bij dat het luchtlaagje dat aan de glaswanden kleeft door verwarming daarvan gedurende het evacueeren kan worden losgemaakt, dat ook electriche ontladingen dit kunnen bevorderen, en eindelijk dat men zich, om goede uitkomsten te verkrijgen, moet getroosten, de bewerking uren of zelfs dagen lang voort te zetten, dan heeft men een voldoende denkbeeld van het werken met eene kwikluchtpomp verkregen. Bij de verdunning, die ten slotte onder gunstige omstandigheden bereikt kan worden, is misschien nog maar het millioenste deel der oorspronkelijke hoeveelheid lucht in het vat aanwezig.

Is het vat dat met de kwikluchtpomp verbonden is voor proeven over de electriche ontlading bestemd, dan zijn daaraan vooraf een paar metaaldraden aangebracht, de 'electroden', die met de polen der electriseermachine of van den inductor zullen verbonden worden. Platinadraden kunnen door eene kleine opening in den glaswand halverwege naar binnen worden gestoken en vervolgens worden vastgesmolten; d.w.z., men kan door verhitting het glas zoo langs den omtrek van den draad laten samenvloeien, dat de opening geheel is afgesloten.

De 'vacuumbuis' kan gedurende de proeven over de ontlading met de kwikluchtpomp verbonden blijven, of wel eerst daarvan worden gescheiden. Dit geschiedt door de verbindingsbuis op eene plek, die vooraf door uittrekking verengd is, met eene kleine vlam te verhitten. De buitenlucht knijpt den week geworden glaswand dicht en eene kleine beweging is voldoende om de verlangde scheiding tot stand te brengen. Op deze wijze zijn de welbekende Geissler'sche buizen vervaardigd, die in groote verscheidenheid van vorm en grootte voorkomen, en waarvan vele ware kunststukken van glasblazerswerk zijn.

Het eerst valt nu bij deze buizen de gemakkelijkerheid in het oog, waarmede zij de electriche ontlading doorlaten. Geeft men aan de electriciteit de keus tusschen een weg door de gewone lucht, over twee bollen, die b.v. op een afstand van een halven centimeter van elkander staan, en den weg door eene Geissler'sche buis, waarbij de electroden eenige decimeters van elkander zijn verwijderd, dan geeft zij aan den laatsten weg de voorkeur. De lucht blijkt dus een *beletsel* te zijn en men is geneigd te verwachten dat bij voortgezette verdunning de overgang van electriciteit steeds gemakkelijker zal plaats hebben, dat dus eene ruimte zonder eenige lucht, alleen met den ether gevuld, - op welken wij geen vat hebben, daar hij door het glas heengaat, - een voortreffelijke geleider der electriciteit zou zijn. Toch is dat niet het geval. De gewone Geissler'sche buizen zijn n.l. volstrekt niet zoo ver ledig gepompt als men het met al de boven beschreven voorzorgen kan doen. Bij hogere graden van verdunning wordt de doorgang der electriciteit weder meer bemoeilijkt, en eindelijk zal eerder eene vonk van eenige centimeters in lucht van de gewone dichtheid ontstaan dan eene ontlading in eene vacuumbuis waarin de electroden vrij wat minder van elkander verwijderd zijn. Zelfs heeft men buizen gemaakt, die weigeren de ontlading van zeer krachtige inductieklossen door te laten. Met het oog op deze verschijnselen mag men gerustelijk aannemen dat de ontlading altijd met medewerking van het gas geschiedt. Mocht men het bezwaar maken dat de hoeveelheid lucht in de buizen zoo klein is, dan bedenke men dat 'klein' slechts een relatief begrip is. Schat men het aantal luchtmolekulen, in een kubieken millimeter aanwezig, eene schatting die door het onderzoek naar de eigenschappen der gassen mogelijk is geworden, dan komt men voor de beste vacuumbuizen tot duizenden millioenen.

Op de rol die het gas speelt zal ik later terugkomen. Voor het oogenblik zijn van meer belang de lichtverschijnselen, die de ontlading vergezellen, en die bij verdunning der lucht zeer ingrijpende veranderingen ondergaan hebben. Te gelijk met de lengte van den weg tusschen de electroden is ook de breedte van het lichtgevende gas toegenomen; inderdaad kan het licht de doorsnede van buizen van eenige centimeters middellijn geheel vullen. Beschouwt men nu eene lichtende Geissler'sche buis, dan wordt men getroffen door een zeer opmerkelijk onder-

scheid tusschen de omgeving der positieve pool of 'anode' en die der negatieve pool of 'kathode'. Trouwens, zoodanig verschil kan men ook bij de gewone dichtheid der lucht zeer goed opmerken. Bij de electriseermachine van Holtz en vele andere komen twee stel metalen spitsen voor, die naar eene wentelende glazen schijf gekeerd zijn. Is de machine in werking, dan gaat van het eene stel spitsen positieve en van het andere negatieve electriciteit op de schijf over, en in het donker ziet men aan beide eene lichtontwikkeling. Terwijl echter het positieve licht de gedaante heeft van lange violette pluimen, bestaan aan de negatieve spitsen niet anders dan kleine lichtstipjes. Dit negatieve 'glimlicht' verdient hier des te meer vermeld te worden, omdat daarin, zooals zal blijken, de kiem ligt van de X-stralen.

In eene gewone Geissler'sche buis heeft men zoowel positief als negatief licht; deze verschijnselen beslaan echter zeer ongelijke gedeelten van de inwendige ruimte. Wel is het glimlicht veel uitgestrekter dan aan de spitsen der electriseermachine, maar het bepaalt zich toch tot een lichtend laagje van eenige millimeters of misschien een centimeter dikte, dat de kathode overtrekt. Het positieve licht daarentegen strekt zich van de anode af door bijna de geheele lengte der buis uit, al bedraagt die ook vele decimeters en al is de buis in grillige vormen gebogen en nu eens verengd, dan weder verwijdt; het eindigt eerst dicht bij de kathode, waar het door eene donkere ruimte van het glimlicht is gescheiden. Het is dan ook het positieve licht, dat langen tijd het meest de aandacht heeft getrokken. Door zijne, met den aard van het gas wisselende kleurenpracht, en zijne zoo raadselachtige afwisselende lichte en donkere lagen biedt het een aantrekkelijk schouwspel, waarvan de schoonheid nog verhoogd kan worden, als men de buis plaatselijk verengt of verwijdt en haar met fluoresceerende vloeistoffen omringt, of wel eene buis bezigt, die geheel of ten deele uit eene fluoresceerende glassoort is vervaardigd.

Door de gewichtige proeven van Hittorf te Münster werd in 1868 een nieuw tijdperk in het onderzoek der ontlading geopend. Hij werkte het eerst met veel hoogere verdunningen dan in de gewone Geissler'sche buizen voorkomen en zag nu hoe het glimlicht zich al verder en verder van de

kathode af uitbreidt, terwijl het positieve licht op den achtergrond treedt. Wel is waar wordt bij steeds verder gedreven verdunning het kathodelicht hoe langer hoe zwakker, maar al is het zelf nauwelijks meer zichtbaar, het behoudt altijd de eigenschap, overal waar het met den glaswand in aanraking komt, dezen met groene kleur helder te doen fluoresceeren; uit de plaatsing en den omvang der lichtplek op het glas kan dus een besluit omtrent de uitgebreidheid van het glimlicht worden getrokken.

Hoogst merkwaardig is nu het door Hittorf ontdekte feit dat bij hooge verdunningen de ontwikkeling van het negatieve licht onafhankelijk wordt van de plaats waar zich de anode bevindt. Men kan in gedachte van elk punt der kathode uit eene rechte lijn trekken, die loodrecht op haar oppervlak staat; deze lijnen zullen alle binnen eene zekere ruimte liggen, die aan den eenen kant door de kathode, aan den anderen kant door den glaswand begrensd wordt. Welnu, het is ten naaste bij deze ruimte, die door het glimlicht wordt ingenomen. Wordt b.v. als kathode eene schijf van aluminium gebezigd, die in loodrechten stand op het uiteinde van een ingesmolten draad is bevestigd, dan ontwikkelt zich aan de voorzijde der schijf een *cilinder* van glimlicht, die zich, wanneer de kathode aan 't eene einde eener lange buis is aangebracht, over de volle lengte kan uitstrekken. Het kan zijn, nl. wanneer de anode aan 't andere einde der buis is geplaatst, dat de glimlichtcilinder nu ook werkelijk de anode bereikt, maar zelfs dan behoeft hij er volstrekt niet geheel door opgevangen te worden, maar kan voor een deel den glaswand treffen. Toen Hittorf als anode een zijdelingschen draad bezigde, in 't midden van de lengte der buis geplaatst en zoo omgebogen dat hij over eenigen afstand langs de as der buis liep, werd deze draad door den glimlichtcilinder omspoeld, zonder hierop naar 't scheen eenigen invloed te hebben.

Een andermaal werd een op de zoeven genoemde wijze geplaatste en omgebogen draad als kathode gebruikt. Hij was met uitzondering van het eindvlak in een glasbuisje opgesloten, zoodat het glimlicht zich alleen aan dat vlakje ontwikkelen kon. Van daar af strekte het zich uit tot aan het einde van de buis, waarheen de omgebogen draad gekeerd was, en dat zelfs, wanneer de anode aan 't andere einde was; een bewijs

dat het glimlicht, in zijne uitbreiding van de negatieve electrode af, zich zelfs van de anode kan verwijderen.

Bij eene buis als de laatstgenoemde is het nu ook zeer in het oog vallend, welk een belangrijk verschil er is tusschen het positieve en het negatieve licht. Het eerste zoekt wel degelijk de negatieve electrode op, zooals aanstonds blijkt, wanneer men de twee polen met elkander verwisselt.

Het positieve licht kan zich, voor zoover men weet, in eene gebogen of geknikte buis even ver uitbreiden als in eene rechte buis van overigens denzelfden aard. Het negatieve licht daarentegen, beperkt als het is tot de bovengenoemde ruimte, kan nooit een hoek omslaan. Men ziet dit duidelijk in eene buis die den vorm eener V heeft, met de electroden aan de hoogste punten. Het glimlicht blijft in het eene been en kan aan het benedeneinde niet anders doen dan het glas, waarmede het in aanraking komt, tot fluorescentie brengen.

Al deze verschijnselen wekken het vermoeden op dat het glimlicht zich van de kathode af in rechte lijnen voortplant, en hebben aanleiding gegeven tot de benaming 'kathodestrallen,' een term, waarmede zich, om nog één argument aan te voeren, ieder zal kunnen vereenigen, die heeft waargenomen, hoe verschillende voorwerpen, metaalplaatjes b.v., in de buis op den weg van het glimlicht geplaatst, eene donkere schaduw op den fluoresceerenden glaswand werpen.

Overigens heeft de naam 'kathodestrallen' nog iets vóór boven dien van 'glimlicht.' Er werd reeds vermeld dat bij hooge verdunningen dit laatste hoe langer hoe flauwer wordt. Men doet dan ook 't best, zich voor te stellen dat, bij de ongestoorde ontwikkeling van kathodestrallen, van de ruimte die zij innemen volstrekt geen 'licht' uitgaat. Dit ontstaat eerst, als een bijkomend verschijnsel, wanneer de stralen onderschept worden, hetzij door den glaswand, hetzij door de lucht zelve, die zich nog in de buis bevindt. Trouwens, ook alles wat in het positieve licht der Geissler'sche buizen het oog boeit, is slechts een gevolg van de voor ons onzichtbare electriciteitsbeweging.

Op de bijeenkomst der British Association in 1879 liet Crookes, aan wien men reeds den bekenden radiometer te danken had, eene reeks schoone proeven over kathodestrallen zien. Door den titel zijner voordracht: 'on radiant matter' gaf hij

uitdrukking aan eene bepaalde hypothese over het wezen der stralen. Volgens Crookes worden uiterst kleine deeltjes met eene negatieve elektrische lading, hetzij zij die reeds hadden, of eerst aan het oppervlak der kathode verkregen hebben, door deze laatste met groote snelheid afgestooten; zij vliegen in rechte lijnen voort, en door het bombardement dezer kleine projectielen tegen den glaswand worden trillingen opgewekt, die in het oog van den waarnemer den indruk van licht teweeg brengen; dit is de fluorescentie van het glas.

Deze opvatting vindt een krachtigen steun in de mechanische werking der kathodestralen op voorwerpen, waardoor zij worden opgevangen. In een zijner vacuumbollen had Crookes een licht molentje opgesloten, een kruis van aluminium, dat met een glazen hoedje op eene stift rustte, op de wijze van eene kompasnaald. De horizontale armen droegen aan het uiteinde als wiekjes kleine verticaal geplaatste micaplaatjes; deze werden, als het kruis ronddraaide, elk op zijn beurt zijdelings door de kathodestralen getroffen, die van eene in eene zijbuis geplaatste electrode uitgingen. Zoodra de inductor in werking werd gebracht, kwam het molentje in snelle wenteling.

Ook een 'reactierad,' vergelijkbaar met de bekende toestellen die door het uitstroomen van water of stoom aan 't draaien gebracht worden, of wel met de 'draaiende zonnen' der vuurwerkmakers, werd door Crookes geconstrueerd. De wieken van het molentje bestonden nu uit aluminium, zoodat zij zelf als kathoden konden dienen, wanneer de metalen naald die het kruis, ditmaal met een metalen hoedje, droeg, met de eene pool der inductieklos werd verbonden. Daar elk wiekje aan den eenen kant met eene isoleerende stof was bekleed, konden alleen aan de andere zijde kathodestralen ontstaan; terwijl nu hier, altijd volgens de opvatting van Crookes, de kleine projectielen werden weggestooten, moest het wiekje zelf eene kracht in tegengestelde richting ondervinden. Dat die kracht werkelijk bestond, bleek uit de snelle wenteling van het molentje.

De theorie van Crookes is niet zonder tegenspraak gebleven. Voor het oogenblik zal ik haar hier laten rusten, om bij het verdere experimenteele onderzoek te blijven.

Een belangrijken stap deed in 1893 Lenard te Bonn. De kathodestralen zouden natuurlijk veel toegankelijker worden,

zoo men ze *buiten* de vacuumbuis kon brengen, en hiertoe was de weg geopend, nadat Hertz had waargenomen dat zeer dun goud- of aluminiumblad, op den weg der stralen geplaatst, deze doorlaat. Lenard voorzag nu zijne buis van een venstertje van aluminium, en inderdaad, de stralen kwamen daar doorheen in de lucht te voorschijn. Dat de proef niet gemakkelijk was zal men licht gevoelen. Het venstertje moet zeer dun zijn, zal het de kathodestralen doorlaten; het moet zeer klein zijn, om bij de geringe dikte aan den druk der buitenlucht weerstand te kunnen bieden. Lenard sloot zijne buis aan het eene einde met eene metaalplaat, waarin eene ronde opening was van 1.7 m.M. middellijn; het op den rand daarvan vastgekleefde aluminiumblad was slechts 1/400 m.M. dik. Het doel werd nu werkelijk bereikt, al drongen dan ook de stralen niet ver in de lucht door. Tot op een afstand van een drietal centimeters was, indien het licht der ontladingsbuis zorgvuldig werd afgesloten, eene zwakke blauwe lichtschemering in de lucht zichtbaar, die Lenard vergelijkt met hetgeen men te zien krijgt als men door eene spleet licht laat vallen in eene troebele vloeistof, b.v. in melk. De lucht is klaarblijkelijk tegenover de kathodestralen troebel, en terwijl zij deze tegenhoudt en verstrooit wordt zij zelf lichtgevend, zooals dit boven reeds van de lucht in de buis werd opgemerkt. Beter nog dan door de waarneming van het lichten der lucht kon van de uitbreiding der stralen een denkbeeld worden verkregen, door in de nabijheid van het venstertje een scherm te plaatsen, dat met eene gemakkelijk fluoresceerende stof was bedekt. Het licht hiervan overstemde dat der lucht en kon nog tot op een afstand van 8 centimeter worden gezien. Een ander hulpmiddel was de photographische werking der stralen.

Lenard heeft uitvoerig de doorschijnendheid van allerlei stoffen onderzocht. Merkwaardig is het groote verschil dat er in dit opzicht tusschen de kathodestralen en het licht bestaat. Eene kwartsplaat van $\frac{1}{2}$ millimeter dikte wierp eene donkere schaduw, terwijl van een dun aluminiumblaadje, voor licht ondoorschijnend, de schaduw nauwelijks te bespeuren was. Aan de verhandeling van Lenard is de reproductie eener photographie toegevoegd, waaruit dit blijkt; zij is genomen, terwijl de gevoelige plaat was opgesloten in eene kleine ruimte, geheel door metalen wanden begrensd; de wand trouwens, die naar het

venstertje gekeerd was, bestond uit aluminium ter dikte van 1/250 millimeter. Terwijl de mate van doorschijnendheid tegenover de lichtstralen zeer van den aard der lichamen afhangt, is het Lenard gebleken dat de kathodestralen alleen of bijna alleen vragen naar de hoeveelheid stof, uit te drukken door de massa of het gewicht ervan, die zij op hun weg ontmoeten. Wordt een lichaam vervangen door een ander, waarvan de dichtheid twee maal zoo groot is, dan moet de dikte der laag worden gehalveerd om dezelfde doorschijnendheid te verkrijgen. Het bleek ook dat het venstertje uit dun glas, in plaats van aluminium, kon worden vervaardigd.

Van alle vroegere onderzoekers is Lenard het dichtst bij de ontdekking der X-stralen gekomen. Het was echter voor Röntgen weggelegd, zijn naam te verbinden aan stralen die van den glaswand der vacuumbuis uitgaan, zonder venstertje, en al is de dikte misschien een millimeter, en die de stralen van Lenard in het vermogen om lucht en andere lichamen te doordringen verre overtreffen.

Hoe de proeven genomen werden, is reeds vermeld. Ongetwijfeld werd er opzettelijk naar werkingen in de omgeving der buis gezocht en zeker is een zeer geoefend oog noodig geweest om het eerste spoor te vinden. Röntgen bezigde eerst een scherm met bariumplatinocyanuur, dat zelfs tot op een afstand van 2 meter nog fluoresceerde, en kwam daarna tot de photographie met de X-stralen, waardoor de verschijnselen veel rustiger kunnen worden bestudeerd en het voordeel verkregen wordt dat men zwakke stralen nog kan waarnemen door den duur der pose, al is het tot een uur of langer, te verlengen. Daar overigens de photographiën op de gewone wijze worden behandeld zijn de plekken, waar de gevoelige plaat het meest door de stralen wordt getroffen, later in het 'positief' het lichtst.

Wat nu de doorschijnendheid betreft vond Röntgen het volgende. Papier laat zooveel stralen door dat achter een ingebonden boek van 1000 bladzijden of achter een dubbel whistspel duidelijke fluorescentie te zien was. Hout en eboniet zijn nog bij eene dikte van verscheidene centimeters doorschijnend. Water, zwavelkoolstof en verschillende andere vloeistoffen werden onderzocht, nadat zij in bakjes met micawanden waren

gegoten, en bleken zeer doorschijnend te zijn. Bijzonder verrassend is het vermogen der stralen om tamelijk dikke metaalplaatjes te doordringen; aluminium laat de X-stralen evenals de kathodestrallen meer dan eenig ander metaal door en kon zelfs verscheidene millimeters dik zijn. Het minst doorschijnend zijn platina en lood; het eerste metaal ongeveer 200, het laatste ongeveer 70 maal minder dan aluminium. Lood liet bij 1,5 millimeter dikte zoo goed als niets door en deelt aan loodhoudend glas en loodverf de eigenschap mede, vrij veel van de stralen op te slorpen.

Men ziet niets, wanneer men de stralen in het oog opvangt, al houdt men dit dicht bij de ontladingsbuis, en bespeurt evenmin eenig lichtverschijnsel op den weg der stralen door de lucht, zooals dat bij de kathodestrallen, die dan ook sterker worden opgeslorpt, het geval is.

De voortplanting geschiedt langs rechte lijnen en de stralen wijken daar zelfs niet van af wanneer zij uit de eene stof in de andere overgaan. Terwijl alle soorten van licht en ook verschillende andere sedert lang bekende 'onzichtbare' stralen, zooals de donkere warmtestralen, bij den doorgang door een prisma van richting veranderen, is daarvan bij de X-stralen niets bespeurd, ofschoon het met prisma's van water, zwavelkoolstof, eboniet en aluminium beproefd is. Ook eene regelmatige terugkaatsing, zooals het licht door een spiegel ondergaat, is niet waargenomen; wel bij sommige metaalplaten eene zoogenaamde diffuse terugkaatsing, iets dergelijks als wanneer licht op een blad papier valt.

Het fotografheeren met de stralen van Röntgen onderscheidt zich in twee opzichten van het fotografheeren met licht. Vooreerst kan men, al wil men niet, zooals bij de eerste proeven, de ontladingsbuis zelf in een voor licht ondoordringbaar omhulsel opsluiten, de gevoelige plaat in zwart papier wikkelen of in een gesloten châssis laten, daar toch de X-stralen papier en hout doordringen. Men kan dan in het volle daglicht werken en zelfs, zooals dat herhaaldelijk geschied is, door eene plaat eboniet of een aluminiumblad heen fotografheeren.

In de tweede plaats kunnen geene lenzen worden gebruikt, daar de stralen niet door het glas gebroken worden en dus niet tot 'beelden' kunnen worden geconcentreerd. Al de vervaardigde photographieën geven schaduwbeelden te zien, en zijn ongetwijfeld voor het meerendeel gemaakt, terwijl het voorwerp

op kleinen afstand van de gevoelige plaat werd gehouden. Bij een eenigszins grooten afstand worden wegens de uitgebreidheid der stralenbron de schaduwen niet scherp, tenzij men dit euvel verhelpt door slechts de stralen die eene niet te groote opening doorlaat te gebruiken.

De belangrijke toepassingen die deze photographieën reeds gevonden hebben, berusten hierop dat men de schaduwen van ondoorschijnende voorwerpen kan te zien krijgen, al zijn zij omsloten door stoffen die het licht niet doorlaten; het is voldoende dat deze stoffen voor de X-stralen min of meer doorschijnend zijn.

Tot de meest verrassende photographieën die reeds spoedig door den ontdekker zijn verkregen, behooren die van eene kompasnaald, in eene metalen omhulsel besloten, waarop men zeer scherp ook de deelstrepen der roos ziet, van een metaaldraad, tusschen twee houten schijven voor het oog verborgen, en bovenal van eene hand, waarop de donkere schaduwen der beenderen duidelijk zichtbaar zijn te midden van de lichtere schaduwen der zachte deelen. Trouwens, deze beelden zijn reeds zoo algemeen bekend geworden dat er niets meer van behoeft gezegd te worden.

Evenmin is het noodig hier te gewagen van de tallooze herhalingen der proeven op groote en kleine schaal. Het zij mij vergund, alleen nog over het wezen van het verschijnsel iets te zeggen, al kan dan ook niet anders worden gedaan dan een paar onderstellingen vermelden, tusschen welke vermoedelijk het verder onderzoek zal hebben te beslissen.

Vooreerst staat het wel vast dat de X-stralen iets anders zijn dan de stralen van Lenard. Reeds hun grooter doordringingsvermogen wijst hier op en er is, zooals straks zal blijken, nog een tweede verschil.

Met dat al ontstaan de stralen van Röntgen, evenals die van Lenard, op eene of andere wijze uit de kathodestralen *in* de buis; het is namelijk gebleken dat zij altijd uitgaan van dat gedeelte van den glaswand dat door de kathodestralen wordt getroffen en tot fluorescentie wordt gebracht. Men komt er dus toe, voor men in bespiegelingen over den aard der X-stralen treedt, nog eens weder tot de kathodestralen in de buis terug te keeren.

Had Crookes gelijk toen hij deze voor stralende materie verklaarde? Vele natuurkundigen betwijfelen dit en willen liever in de kathodestralen trillingen zien, die zich van de kathode uit in den ether voortplanten, iets dergelijks dus als een lichtbundel, al moeten natuurlijk de trillingen van anderen aard zijn dan die van het licht. De voorstanders van deze meening beroepen zich, wat de draaiende molentjes van Crookes betreft, op het feit dat volgens de lichttheorie een lichtbundel op elk voorwerp waardoor hij ouderschept wordt een druk uitoefent en dus ook, wat daarmede in nauw verband staat, een lichaam dat naar ééne zijde lichtstralen uitzendt zelf eene kracht in tegengestelde richting ondervindt. Eene dergelijke, misschien sterkere werking zouden ook de trillingen der kathodestralen, als er trillingen zijn, kunnen hebben.

Lenard heeft verder proeven genomen, waarbij de ontladingsbuis door het aluminiumvenstertje gescheiden was van eene ruimte die eveneens met eene kwikluchtpomp was verbonden. Terwijl nu die ruimte geevacueerd werd, zag hij de kathodestralen er al verder en verder in doordringen, ten slotte tot op een afstand van meer dan een meter, en dit verschijnsel bleef bestaan, al was een zoo volkomen luchtledig bereikt, dat in de genoemde ruimte zelf geene electriche ontladingen meer konden plaats hebben. De kathodestralen kunnen zich dus *voortplanten* in eene ruimte waarin zij niet meer kunnen *ontstaan*, hoogstwaarschijnlijk ook nog in den ether, wanneer die van alle luchtmolekulen bevrijd is. Derhalve, meent Lenard, moeten zij verschijnselen in den ether zijn; zij moeten in eene trilling of eene evenwichtsverstoring van dezen of genen aard bestaan, die zich in den ether voortplant.

Het is hier de plaats niet om de verschillende meeningen nauwgezet tegen elkander af te wegen. Toch kan ik de verklaring niet weerhouden dat de opvatting van Crookes mij toeschijnt, de meest aannemelijke te zijn. Tegen de zoo even genoemde opmerking van Lenard kan men aanvoeren dat kleine projectielen, die door het aluminiumvenster heen gedrongen zijn, zich zeer goed in eene ruimte zullen kunnen voortbewegen, die alleen ether bevat. Dat men echter werkelijk met zulke projectielen te doen heeft, daarvoor pleiten twee feiten.

Het eerste is de in vergelijking met het licht kleine snelheid der kathodestralen. J.J. Thomson te Cambridge heeft

door vernuftige proeven bewezen dat twee punten van den buiswand, waarvan het eene 10 centimeter verder van de kathode verwijderd was dan het andere, niet gelijktijdig begonnen te fluoresceeren. De plek die het verst van de kathode lag deed dit iets later dan de andere; het tijdsverschil bedroeg ongeveer een tweemillioenste seconde. Terwijl deze proeven de meening rechtvaardigen, dat de kathode werkelijk het punt van uitgang der stralen is, bewijzen zij tevens dat per seconde een weg van 200000 meter wordt afgelegd. Deze snelheid nu is, voor trillingen, zeer klein. Het licht doorloopt in ééne seconde een afstand van 300000000 meter, en in hetgeen wij van den ether weten, is niets, dat op de mogelijkheid van trillingen met eene kleinere voortplantingssnelheid wijst.

Het tweede feit waarop zoeven gedoeld werd is de eigenaardige invloed van magnetische krachten op den loop der kathodestralen. De rechtlijnige voortplanting houdt op, zoodra eene magneetpool in de nabijheid eener buis van Crookes wordt gebracht. De gebogen lijn die de stralen dan volgen stemt volkomen overeen met de baan, in welke zich onder dezelfde omstandigheden negatief geladen deeltjes, die van de kathode uitgaan, zouden voortbewegen. Voor de trillingstheorie daarentegen is de werking van een magneet tot nog toe een onopgelost raadsel.

De stralen van Lenard zijn even goed als de kathodestralen in de buis gevoelig voor magnetische invloeden; zij zijn dus hoogstwaarschijnlijk van geheel denzelfden aard en moeten in de theorie die mij het meest waarschijnlijk voorkomt, eveneens als een stroom van negatief geladen deeltjes beschouwd worden, hetzij dat de deeltjes in de buis door het venstertje heen zijn gevlogen, hetzij, wat minder eenvoudig is, dat door hun stooten tegen het aluminium andere deeltjes uit het metaal naar buiten worden gedreven. Wie het eerste wil aannemen dient zich tevens voor te stellen dat de projectielen kleiner zijn dan luchtmolekullen in hun geheel, daar toch het venster voor deze laatste ondoordringbaar is. Men heeft trouwens vele gronden om aan te nemen dat de molekullen van alle lichamen veel kleinere deeltjes bevatten, zoogenaamde 'ionen', die met elektrische ladingen zijn toegerust; deze ionen, en niet de molekullen zelf, zouden bij de kathodestralen in het spel kunnen zijn. Ook de ontwikkeling der stralen in de buis is met deze opvatting

in overeenstemming. Een molekuul kan in lucht van de gewone dichtheid gemiddeld slechts over een afstand van 1/10000 millimeter voortvliegen zonder tegen een ander deeltje te botsen; daaruit volgt dat, na verdunning tot 1/10000 van de oorspronkelijke dichtheid, de vrije weg ongeveer 1 millimeter zal bedragen. Aangezien zich nu bij deze verdunning kathodestralen van veel grootere lengte kunnen ontwikkelen, moet men zich kleinere projectielen verbeelden, die verder tusschen de molekulen kunnen doordringen en misschien zelfs door een molekuul, tusschen de atomen waaruit het is opgebouwd heen, kunnen gaan.

Beschouwingen als de medegedeelde, hoe geschikt misschien om eenig licht te ontsteken over den aard van de kathodestralen en de stralen van Lenard, laten de vraag naar het wezen der X-stralen onbeslist. De voortplantingssnelheid is nog niet bekend en eene werking van een magneet bestaat hier niet; sterke magnetische krachten zelfs brengen de X-stralen niet van den rechten weg af. Derhalve vallen de argumenten die bij de kathodestralen ten gunste van de theorie van Crookes pleiten hier weg. Wel blijft het denkbaar dat kleine deeltjes door het glas heenvliegen, of daaruit worden weggestooten, - waarbij dan de ongevoeligheid voor magnetische invloeden zou moeten verklaard worden uit het gemis eener electriche lading of uit eene zeer groote snelheid -, maar de verschijnselen verbieden het ook geenszins, in de stralen van Röntgen de voortplanting eener golf beweging van bijzondere soort te zien, zooals die van verschillende zijden vermoed wordt.

De hypothesen die reeds werden voorgeslagen hebben dit nut, dat zij den weg kunnen wijzen tot beslissende proefnemingen. Dat deze niet lang zullen uitblijven en dat wellicht na eenige maanden het raadsel in hoofdzaak zal zijn opgelost, mag men met 't oog op de hulpmiddelen der hedendaagsche natuurkunde met grond verwachten.

Het zou onbillijk zijn, dit opstel te eindigen zonder nog een enkel woord te zeggen over de onderzoekingen van Goldstein te Berlijn. Meer dan iemand anders heeft hij de lichtverschijnselen in de ontladingsbuizen in bijzonderheden bestudeerd. Reeds vóór Lenard heeft hij aangetoond dat de kathodestralen photographisch werkzaam zijn en in 1886 heeft hij bewezen

dat in eene vacuumbuis, naast de kathodestralen, stralen kunnen worden voortgebracht, waarop een magneet niet werkt. De bijzonderheden van deze ontdekking moesten hier, evenals hetgeen Goldstein verder gevonden heeft, achterwege blijven; zijne uitkomsten zullen echter van groote waarde blijken, als het tijdstip is aangebroken, dat wij thans zien naderen, waarop de ontladingsverschijnselen en de X-stralen ons een nieuwen blik zullen vergunnen in het wezen van de molekulen en den aether.

19 Februari 1896.

H.A. LORENTZ.