

DE ELEKTRONEN EN HET VRAAGSTUK VAN DE OERSTOF.

DOOR

Dr. C. H. KETNER.

(Slot van bladzijde 45.)

IV. DE ELEKTRONEN.

Ik heb in het begin van dit opstel gezegd dat de natuurkundigen in de laatste jaren waren gekomen tot het aannemen van stofdeeltjes duizendmaal kleiner dan de kleinste atomen. De oorsprong van dit denkbeeld ligt in de ontdekking der *Kathodestralen* in 1869 door HITTORF¹. Dit zijn, zooals u bekend zal zijn, lichtstralen die van de kathode, de negatieve elektrode uitgaan, wanneer men eene elektrische ontlading laat gaan door een zeer verdund gas. Deze stralen vertoonen geheel andere eigenschappen dan gewone lichtstralen, o.a. gaan zij niet door glas, wel door aluminium-blad heen. Ze hebben echter nog eene andere eigenschap, die er toe leidde, ze niet evenals de gewone lichtstralen te beschouwen als trillingen van een onweegbaren aether, maar als een snel bewegende reeks, een hagelbui zou men kunnen zeggen, van uiterst kleine stofdeeltjes. Deze eigenschap was de veranderlijkheid der kathodestralen door de magneetkracht. Wanneer men n.l. een magneetpool in hunne nabijheid brengt, dan wordt de kathodestraal daardoor gebogen. Denk u een projectiel, voortgeworpen uit een kanon; al voortgaande valt het, de

¹ Eigenlijk is PLÜCKER de ontdekker der kathodestralen, maar HITTORF heeft ze het eerst bestudeerd en uitvoerig beschreven.

zwaartekracht verandert de rechtebaan in eene kromlijnige, in dit geval in eene parabolische. Denk u een elektrisch geladen kogeltje rollend over een horizontaal vlak; een magneetpool, die het aantrekt in een richting loodrecht op zijne beweging, zal de rechte baan in eene kromme veranderen. Nu werden de kathodestralen door een magneetpool juist zoo gebogen, als men verwachten kon van eene reeks zeer kleine, negatief elektrisch geladen deeltjes, die zich met groote snelheid voortbewegen. Dientengevolge wordt deze voorstelling betreffende de kathodestralen thans vrijwel algemeen aangenomen. De deeltjes worden *elektronen* genoemd.

Daarna heeft men bepaald de verhouding tusschen de elektrische lading en de massa van elk dezer stofdeeltjes. Dit kon geschieden door den vorm der kromme lijn te onderzoeken, die de kathodestralen onder den invloed der magneetkracht doorliepen. Wanneer de magneet eene bepaalde sterkte heeft, zal de afwijking van een der stofdeeltjes uit de rechtebaan des te grooter zijn, naarmate de elektrische lading van dat deeltje grooter is, maar des te kleiner naarmate zijn massa, zijn gewicht grooter is. Wiskundig drukt men dit uit door te zeggen, dat bij eene gegeven sterkte van het magnetisch veld, de kromming van de baan der kathodestralen afhangt van $\frac{e}{m}$, de elektrische lading van ieder deeltje gedeeld door zijn massa.

Hierdoor kan men, wanneer men de kromming der baan van de kathodestralen gemeten heeft en de sterkte van den magneet kent, de verhouding $\frac{e}{m}$ berekenen.

De uitkomst dier berekening was zeer merkwaardig.

Men vond n.l. dat één gram stof in de kathodestralen vervoerde tien miljoen elektro-magnetische eenheden van elektriciteit; en verder dat dit bedrag geheel onafhankelijk was van den aard der stof, die geacht moest worden in de kathodestralen aanwezig te zijn: in welk gas men ook de ontladingen deed plaats vinden, van welke stof de elektroden ook waren gemaakt, altijd kreeg men dezelfde uitkomst.

Van groot belang is, dat deze uitkomst ook nog langs een geheel anderen weg kan worden verkregen en wel door de verplaatsing te meten, die de strepen van het spektrum van een gloeiend gas door een magneet ondergaan.

Prof. LORENTZ had op grond van de elektromagnetische lichttheorie

dit verschijnsel voorspeld. De strepen, die men ziet, wanneer een gloeiend gas door een spektroskoop beschouwd wordt, moesten volgens hem veroorzaakt worden door de trilling van kleine, elektrisch geladen deeltjes, die hij *elektronen* noemde. Maar indien dit zoo was, dan moest de nabijheid van een magneet op de beweging van die deeltjes, dus ook op de plaats der strepen, invloed hebben.

Het aldus theoretisch voorspelde verschijnsel werd waargenomen door prof. ZEEMAN. Daar ook hier de grootte van de verplaatsing der lijnen zal afhangen van massa en lading der elektronen, kan uit de waargenomen verplaatsing de waarde van $\frac{e}{m}$ berekend worden. Deze

waarde was, zooals reeds gezegd is, in overeenstemming met die, welke bij de kathodestralen werd gevonden. Men moet dus aannemen, dat men in beide gevallen met dezelfde elektronen te doen heeft.

Het merkwaardige van de gevonden waarde voor $\frac{e}{m}$ blijkt, wanneer men ze vergelijkt met een ander geval waarin de stof elektriciteit met zich voert, n.l. met de elektrolyse. Wanneer men een elektrischen stroom laat gaan door eene oplossing van chloorwaterstof, dan ontwijkt er aan de negatieve elektrode waterstof, en daar de hoeveelheid van deze waterstof evenredig is met de verplaatste elektriciteit, is men ook in dit geval tot de voorstelling gekomen, dat het de waterstof is, die de elektriciteit van de positieve naar de negatieve elektrode overbrengt. Meet men echter in dit geval de verhouding tusschen de stofmassa en de elektriciteit, dan blijkt dat één gram waterstof slechts tienduizend elektromagnetische eenheden vervoert.

Bovendien is de verhouding hier niet onafhankelijk van den aard der stof; want gaat de elektrische stroom door eene oplossing van een koperzout, zoodat er geen waterstof, maar koper aan de negatieve elektrode te voorschijn komt, dan blijkt dat één gram koper vervoert ruim driehonderd elektromagnetische eenheden ($\frac{10000}{31.75}$); één gram zilver minder dan honderd ($\frac{10000}{108}$), enz. Het blijkt dus dat deze hoeveelheden omgekeerd evenredig zijn met het atoomgewicht van het betreffende element of met een gedeelte daarvan. Daarom stelt men zich voor, dat bij de elektrolyse de atomen der stof de elektriciteit van de positieve naar de negatieve elektrode voeren en dat de lading van alle eenwaardige atomen gelijk is aan die van een waterstof-atoom;

die van de tweewaardige atomen tweemaal, van de driewaardige atomen driemaal zoo groot, enz. Nu bevat één gram waterstof naar schatting $\pm 10^{24}$ atomen; de elektrische lading hiervan is, volgens het bovenstaande, tienduizend elektromagnetische eenheden; dus de lading van één atoom $\pm 10^{20}$ van die eenheden.

Hoe komt het nu dat de verhouding $\frac{e}{m}$ bij de kathodestralen duizendmaal zoo groot is als bij de elektrolyse; dat een gram elektronen duizendmaal meer elektriciteit vervoert dan een gram atomen waterstof? Blijkbaar zijn hiervoor twee oorzaken mogelijk: of de elektronen hebben dezelfde massa als de atomen, maar de lading van ieder elektron is duizendmaal zoo groot als die van een atoom, of de ladingen van atoom en elektron zijn gelijk, maar de massa, het gewicht van een elektron is slechts één duizendste van dat van een waterstofatoom, zoodat bij de kathodestralen het aantal dier ladingen in één gram stof duizendmaal zoo groot is als bij de elektrolyse.

Door proefnemingen van J. J. THOMSON is bewezen dat laatstgenoemde onderstelling de juiste is.

Alvorens deze proefnemingen te bespreken, moet er op worden gewezen, dat de elektronen niet alleen bij kathodestralen aanwezig zijn, maar dat zij ook onder andere omstandigheden in een gas ontstaan, b.v. wanneer Röntgenstralen of ultraviolette stralen door een gas gaan, of wanneer in een gas een kooldraad gloeit. Ook deze elektronen zijn elektrisch geladen; de verhouding $\frac{e}{m}$ is dezelfde als bij de kathodestralen, zoodat men de elektronen onder al die verschillende omstandigheden ontstaan als met elkaar identiek kan beschouwen. Het kwam er nu nog maar op aan, hunne massa te bepalen.

Om deze bepaling goed te begrijpen, moeten wij ons herinneren dat waterdamp in eene volkome stofvrije ruimte oververzadigd kan zijn, maar dat de condensatie tot waterdruppels plaats vindt, wanneer er in die ruimte vaste stofdeeltjes aanwezig zijn. De moeilijkheid waarmede de vloeibare phase in eene stofvrije ruimte uit de gasvormige ontstaat, kan theoretisch aldus verklaard worden, dat een zeer kleine waterdruppel met zijn sterk gekromd oppervlak eene veel grootere dampspanning heeft dan een plat wateroppervlak bij dezelfde temperatuur. Dientengevolge is zulk een kleine druppel weinig stabiel en kan gemakkelijk weer verdampen; de „kindersterfte” onder die

kleine druppels is zeer groot, zooals THOMSON het uitdrukt. Zijn er echter vaste stofdeeltjes te midden van de waterdampmolekulen, dan trekken deze de molekulen tot zich, ieder stofdeeltje wordt de kern voor een waterdruppel; de druppels worden daardoor gemakkelijker over de gevaarlijkste periode van hun bestaan geholpen en hebben eerder de grootte bereikt, waarop zij meer stabiel zijn.

Nu vormen zich ook in eene stofvrije ruimte uit waterdamp waterdruppels, wanneer in die ruimte op een der boven beschreven wijzen elektronen worden voortgebracht. Men moet zich dan voorstellen, dat de elektrisch geladen elektronen de watermolekulen aantrekken en daardoor ieder tot een kern worden, waarom heet zich een waterdruppel vormt. Is dit zoo — en het zou moeilijk zijn de condensatie van waterdamp door elektronen anders te verklaren — dan kan men uit het aantal waterdruppels het aantal elektronen afleiden, want dit moet er aan gelijk zijn; en wanneer men dan de gezamenlijke lading van alle aanwezige elektronen kent, dan volgt hieruit de elektrische lading van één elektron.

Op deze wijze heeft THOMSON de lading der elektronen bepaald. Tusschen twee metalen platen, waarvan de eene met de aarde verbonden, de andere elektrisch geladen en met een elektrometer verbonden was, bevond zich oververzadigde waterdamp. Kwamen Röntgenstralen in deze ruimte, dan zag men een fijnen nevel ontstaan; tevens daalde de potentiaal van de geladen metaalplaat. Gemeten werd nu:

- 1^e. De snelheid, waarmede deze nevel daalde,
- 2^e. de temperatuur voor en tijdens de nevelvorming,
- 3^e. het potentiaalverlies van de metalen plaat.

Uit het eerste kon worden berekend de grootte der genoemde druppels; uit het temperatuursverschil de hoeveelheid water, die tot vloeistof was verdicht en uit deze twee gegevens het aantal druppels, dat gelijk moest zijn aan het aantal elektronen.

Het potentiaal-verlies der metalen plaat leerde de hoeveelheid elektriciteit kennen, die door deze elektronen naar de andere plaat was overgebracht. Uit het aantal elektronen en de totale elektrische lading, volgde de lading van één elektron. Hiervoor vond THOMSON eene waarde ongeveer gelijk aan die van een waterstofatoom; met het oog op de moeilijkheid van dergelijke proefnemingen mag

men wel aannemen dat deze ladingen aan elkaar gelijk zijn.¹

Van de twee bovengenoemde mogelijkheden blijft er dus nog slechts één over: *de massa van een elektron is een duizendste deel van die van een waterstofatoom.*

Daar deze uitkomst onafhankelijk is van den aard van het gas waarin de elektronen ontstaan, moeten wij aannemen dat de elektronen in alle gassen aan elkaar gelijk zijn. In ieder gas kunnen dus onder bepaalde omstandigheden uit de molekulen zich stofdeeltjes afzonderen, die duizendmaal kleiner, of liever lichter zijn, dan een waterstof-stoom. Hiermee is de voorstelling der atomen als absoluut ondeelbare deeltjes voor goed vernietigd.

Men heeft op verschillende wijzen getracht een indruk te geven van de, men zou kunnen zeggen duizelingwekkende kleinheid der atomen. Nu is men genoodzaakt met stofdeeltjes rekening te houden wier massa nog duizendmaal kleiner is. KAUFMANN heeft voor de elektronen deze evenredigheid uitgedacht:

Elektron : Bakterie = Bakterie : Aardbol.

Daar echter de grenzen van ons voorstellingsvermogen bij de kleinheid der atomen reeds lang overschreden zijn, is het wel onmogelijk den indruk te geven van iets dat nog kleiner is dan een atoom.

V. DE BETEKENIS DER ELEKTRONEN VOOR ELEKTRISCHE EN SCHEIKUNDIGE WERKINGEN.

Alvorens over te gaan tot de beteekenis der elektronen-theorie voor het vraagstuk van de oerstof, is het gewenscht eens na te gaan, welke beteekenis deze theorie voor de opvatting van elektrische en scheikundige verschijnselen verkregen heeft, voorzooover dat met het onderwerp van dit artikel in nauw verband staat².

¹ Eene overeenstemmende waarde vond THOMSON voor de elektronen die door ultravioet licht in een gas ontstaan; later ook voor de elektronen uitgezonden door eene radium-verbinding. Bovendien heeft Prof. LORENTZ langs geheel anderen weg deze uitkomst bevestigd gevonden, door op grond van de elektromagnetische lichttheorie, waarin hij het eerst de elektronen heeft ingevoerd, hunne lading te berekenen uit de brekingsindices van een gas voor lichtsoorten van verschillende golflengten.

² De theorie der elektronen is voor een zeer belangrijk deel van Prof. LORENTZ afkomstig, die reeds in 1880 eene verhandeling publiceerde, waarin het begrip van een elektron als een klein, elektrisch geladen deeltje werd ingevoerd. De naam

Men stelt zich dan voor dat ieder stoffelijk atoom één of meerdere elektronen bevat. Wanneer men een elektron van het atoom afscheidt, dan is het eerste negatief, het laatste positief geladen, en wel met $\pm 10^{20}$ elektromagnetische eenheden. Voor die scheiding is energie noodig; deze is niet alleen voor verschillende soorten van atomen verschillend, maar hangt ook af van het medium waarin het atoom zich bevindt. Zoo wordt een waterstof-atoom gemakkelijker van zijn elektron gescheiden, wanneer men chloorwaterstof in water oplost, dan wanneer het zich in gasvormige waterstof bevindt; een atoom kwikzilver gemakkelijker in vloeibaren dan in gasvormigen toestand.

Nu stelt men zich voor dat, wanneer een elektrische stroom door een geleider gaat, de elektronen zich door dien geleider bewegen, terwijl de atomen in rust blijven, zoodat ieder atoom zijn elektron overgeeft aan het volgende en tevens weer een nieuw elektron ontvangt van het voorafgaande. Daar de elektronen negatief geladen zijn, moet men zich dezen elektronenstroom denken tegengesteld aan wat men gewoonlijk de „richting” van den elektrischen stroom noemt.

In een gas is het moeilijker de elektronen van hunne atomen te scheiden. Alleen een sterk elektrisch veld kan dit bij lagen druk van het gas doen: op die wijze verkrijgt men de kathodestralen. Verder komen de elektronen vrij bij sterke verhitting, getuige het verschijnsel van ZEEMAN en het feit, dat eene vlam elektriciteit geleidt; eindelijk worden, zooals reeds vermeld is, de elektronen in gassen vrij door den invloed van Röntgen-stralen en ultra-violette stralen. Ook kunnen zij optreden tengevolge van scheikundige werkingen.¹⁾

Bij de beweging van elektriciteit in oplossingen worden -----dige verbindingen, die in de vloeistof zijn opgelost, ontleed; dit brengt ons op de beteekenis der elektronen-theorie voor scheikundige

elektron is afkomstig van JOHNSTON STONEY. Het denkbeeld dat de elektriciteit atomistisch verdeeld zou kunnen zijn, was reeds vroeger uitgesproken door WEBER en H. V. HELMHOLTZ. De uitwerking der elektronen-theorie is het werk van een aantal onderzoekers van verschillende nationaliteit. De theorie wordt algemeen aanvaard. In de Juni-afl levering van dit tijdschrift kan men zien, dat Dr. WIND haar ook heeft ingevoerd in zijne nieuwe bewerking van het 5e boek van BOSSCHA's leerboek der natuurkunde.

¹⁾ De omvang van dit artikel laat niet toe dit punt uitvoerig te behandelen. Ik vermeld dus slechts dat, vooral bij oxydatieverschijnselen, de aanwezigheid van vrije elektronen is aangetoond door H. V. HELMHOLTZ en RICHARZ, en nog kort geleden door JORISSEN, die o.a. de werking van langzaam oxydeerende fosforus op eene gevoelige plaat aantoonde.

werkingen. Reeds vroeger had men, op gronden die nog kort geleden door Dr. BREMER in dit tijdschrift zijn uiteengezet, aangenomen dat bij de oplossing van zuren, zouten en basen in water, deze stoffen zich in twee bestanddeelen splitsen, dus b.v. chloorwaterstof in chloor-atomen en waterstof-atomen. Volgens de elektronentheorie moet men zich nu voorstellen, dat het waterstof-atoom zich in de vloeistof bevindt zonder elektron,¹ m. a. w. positief geladen, en dat het chloor-atoom daarentegen, behalve het elektron dat ieder atoom in neutralen toestand bezit, ook nog het elektron bevat dat het waterstof-atoom mist, en dus negatief geladen is. Laat men nu een elektrischen stroom door de vloeistof gaan, waarbij dus, volgens boven gegeven opvatting, aan de negatieve elektrode elektronen in de oplossing komen, dan gaat ieder waterstof-atoom naar deze elektrode, neemt daar een elektron op en komt dan als neutrale waterstof uit de vloeistof vrij. De chloor-atomen daarentegen gaan naar de positieve elektrode, geven daar hun elektron af en komen als neutraal chloor-gas vrij.

Waarom, zou men kunnen vragen, heeft in de oplossing het chloor-atoom twee elektronen en het waterstof-atoom geen enkel? Om dit te verklaren nemen sommigen aan, dat de atomen der negatieve elementen, zooals chloor, eene neiging bezitten om meerdere elektronen aan zich te verbinden. De scheikundige affiniteit tusschen chloor en waterstof zou dan hierin bestaan, dat het chloor-atoom tracht zich met het elektron van het waterstof-atoom te verbinden. Daar aan dit elektron het atoom vast zit, komt de verbinding chloorwaterstof tot stand. Lost men echter deze verbinding in water op, dan wordt de band tusschen het waterstof-atoom en zijn elektron verbroken (althans bij een deel der atomen), het waterstof-atoom beweegt zich dan vrij zonder elektron, het chloor-atoom heeft er twee. De scheikundige energie zou dus inderdaad bestaan tusschen de negatieve atomen en de elektronen der positieve; de positieve atomen zelf zouden slechts eene passieve rol vervullen. Dit zou dan verklaren waarom de natrium-atomen, die als vrije ionen voorkomen in de op-

¹ Deze uitdrukking: »het waterstof-atoom zonder elektron" schijnt in strijd met de later te ontwikkelen hypothese van verder strekking, dat n.l. alle atomen en dus ook het waterstof-atoom, geheel uit elektronen zouden bestaan. Men kan echter bij deze laatste onderstelling aannemen, dat er van al die elektronen in een waterstof-atoom slechts één gemakkelijk afgescheiden kan worden, slechts één beweeglijk is. Men moet dan voor het bovenstaande lezen: het waterstof-atoom zonder *beweeglijk* elektron.

lossing van een natriumzout, het water niet ontleden; deze atomen hebben immers geene elektronen en zijn dus chemisch inactief. Eerst wanneer de stroom door de oplossing gaat en de natrium-atomen worden afgescheiden als neutrale stof, d. w. z. voorzien van een elektron, dan zijn zij weer chemisch actief en kunnen dus het water ontleden.

Tot nu toe was er steeds sprake van negatieve elektronen; de vraag dringt zich dus aan ons op: zijn er ook positieve?

Sommigen veronderstellen dit en nemen aan, dat deze vaster aan de atomen verbonden zijn dan de negatieve, zoodat zij bij onze proefnemingen daarvan niet worden gescheiden.

Anderen daarentegen nemen een meer monistisch standpunt in. Volgens hen bestaat er slechts ééne soort van elektronen. Ieder atoom heeft in zijn neutralen toestand een of meer elektronen. Heeft het meer elektronen dan hem toekomt, dan is het negatief elektrisch geladen; eene positieve lading zou daarentegen alleen kunnen bestaan in de *afwezigheid* van een of meerdere elektronen.

Van dit standpunt uitgaande kan men dan verder vragen: zijn dan soms de atomen geheel uit elektronen opgebouwd?

Voor deze opvatting pleit de samengesteldheid van het spektrum der elementen. Volgens de theorie van LORENTZ, die door de boven beschreven proef van ZEEMAN werd bevestigd, zijn het trillende elektronen, die in een gloeiend gas het licht uitzenden. Is nu iedere streep in het spektrum van een element van een ander elektron afkomstig, dan zou b.v. een ijzeratoom meer dan vijfduizend elektronen bevatten, daar het ijzerspektrum meer dan vijfduizend verschillende strepen vertoont.

Het denkbeeld is te meer aantrekkelijk, omdat het voldoet aan het streven van onzen geest naar eenheid. De elektronen zouden dan zijn stofdeeltjes van eene kleinere orde dan de atomen; uit hen zou alle stof zijn opgebouwd en de kenmerkende verschillen tusschen de elementen zouden dan slechts worden veroorzaakt door het aantal en de rangschikking der elektronen in de atomen dier elementen. De elektronen zouden dus zijn de deeltjes der oerstof.

Nieuw licht is in de laatste jaren op dit vraagstuk geworpen door de ontdekking der radioactieve stoffen.

VI. DE RADIOAKTIEVE STOFFEN.

Het zal niet noodig zijn hier uitvoerig over de ontdekking en de eigenschappen dezer stoffen te spreken, daar dit onderwerp reeds behandeld is door prof. TJADEN MODDERMAN in zijn artikel over „Het Radium” in de Maart-aflevering van dit tijdschrift.

Zooals men daar beschreven vindt, zenden de radioactieve stoffen onzichtbare stralen uit, wier bestaan blijkt uit de fosforescentie, die zij bij andere stoffen veroorzaken, hunne werking op eene gevoelige plaat en het elektrisch geleidend maken van de lucht, zoodat zij elektrisch geladen voorwerpen kunnen ontladen.

Deze straling is gebleken te bestaan uit drie gedeelten, die men onderscheidt als α , β en γ stralen. Hiervan ondergaan de β stralen de werking van een magneetpool juist als de kathodestralen; men mag dus veronderstellen dat deze β stralen uit elektronen bestaan.

De verhouding $\frac{e}{m}$ is dezelfde als in de bovenbehandelde gevallen.

THOMSON bepaalde op de boven beschreven wijze, door condensatie van waterdamp, hunne lading en hierdoor hunne massa en vond daarvoor dezelfde waarde als in de andere gevallen.

In die vorige gevallen hadden wij de elektronen leeren kennen als deeltjes, gevormd bij elektrische ontladingen in verdunde gassen, bij stoffen op hooge temperatuur verhit, of onder den invloed van ultra-violet licht.

Het merkwaardige van de radioactieve stoffen is nu dat deze voortdurend, bij de gewone temperatuur en naar het schijnt zonder eenige aanleiding van buiten af, elektronen uitzenden: negatief geladen deeltjes met eene massa duizend maal kleiner dan een waterstof-atoom en eene snelheid niet veel kleiner dan die van het licht.

Men heeft dus — en ook hierop heeft prof. TJADEN MODDERMAN reeds gewezen — in de radioactieve stoffen een voortdurende bron van energie — deze stoffen krijgen uit zich zelf eene elektrische lading — zij hebben steeds eene hoogere temperatuur dan hunne omgeving.

Doordrongen als wij zijn van de leer van het behoud van het arbeidsvermogen, van de onmogelijkheid van een perpetuum mobile, vragen we nu onmiddellijk: vanwaar komt deze energie?

Ook het antwoord dat op deze vraag door de meeste onderzoekers gegeven wordt, is in het artikel van prof. TJADEN MODDERMAN reeds medegedeeld. Zij nemen aan dat bij de radioactieve elementen de atomen uiteenvallen in de elektronen en dat daarbij arbeidsvermogen vrij komt, dat zich zoowel in den vorm van warmte als van eene elektrische lading aan ons kan openbaren.

Evenals dus ontplofbare stoffen, zooals nitroglycerine, bij hunne ontleding veel verborgen arbeidsvermogen te voorschijn brengen, zoo zouden ook de atomen van het radium en de andere radioactieve elementen arbeidsvermogen te voorschijn brengen door hun uiteenvallen in elektronen.

Een verschil is echter, dat de ontleding van nitroglycerine zoo snel verloopt, dat in een voor ons onmeetbaar kleinen tijd groote hoeveelheden ontploft zijn, terwijl de ontleding der radium-atomen zoo langzaam gaat, dat er eerst na vele jaren, misschien wel eeuwen, eene voor ons weegbare stofmassa ontleed zou zijn. Men kan deze langzame energie-ontwikkeling vergelijken bij die in een uurwerk, waar het eenmaal in de opgewonden veer aanwezige arbeidsvermogen, gedurende betrekkelijk langen tijd slinger en wijzers in beweging kan houden.

Men beschouwt dus de atomen der radioactieve elementen als metastabiele samenvoegingen van elektronen, die bij hun uiteenvallen arbeidsvermogen doen vrij worden.

Een steun voor deze opvatting vindt men in de onderzoekingen van RUTHERFORD en SODDY over de thoriumzouten, die eveneens radioactief zijn.

Zij losten thoriumnitraat in water op en voegden hieraan ammoniak-oplossing toe, waardoor een neerslag van thoriumhydroxyde ontstond. Zij filtreerden dit en dampten de heldere vloeistof, waarin nog een weinig thoriumzout was opgelost, tot droog in. Het bleek nu, dat deze kleine hoeveelheid thoriumzout, per gewichtseenheid, meer dan duizend maal zoo sterk radioactief was dan het oorspronkelijke zout. Het neergeslagen thoriumhydroxyde was minder actief dan het oorspronkelijke zout en zond alleen α stralen, geene β stralen, uit. Wat blijkt uit deze proef? Dat het thorium gesplitst was in twee stoffen. Het eene, waarvan het hydroxyde door ammoniak was neergeslagen, was weinig radioactief, het andere, waarvan het nitraat opgelost bleef, veel meer. Het eerste noemden zij thorium, het tweede thorium x.

Het merkwaardigste komt echter nog. Het thorium x verliest

gaandeweg zijne aktiviteit; het thorium neemt in aktiviteit toe, totdat deze de oorspronkelijke waarde weer bereikt heeft. Toen konden zij er op de boven beschreven wijze weer sterk actief thorium x uit afzonderen en dezelfde verschijnselen herhaalden zich weer.

De meest voor de hand liggende verklaring hiervan is deze, dat het thoriumzout voortdurend het aktieve thorium x voortbrengt en dat dit de aktiviteit, het uitzenden van elektronen, teweegbrengt, terwijl het dan zelf weer in eene inaktieve stof, thorium y, verandert. Een gewoon thoriumzout bevat dus een mengsel van thorium en thorium x; er is een evenwichtstoestand tusschen deze twee, waarbij het gehalte aan thorium x konstant blijft en dit dus alleen door het thorium in die mate wordt voortgebracht, als noodig is om het verlies door de uitstraling aan te vullen. Verstoot men nu dit evenwicht door thorium en thorium x van elkaar te scheiden, dan brengt het thorium weer in meerdere mate thorium x voort, totdat de evenwichtstoestand en dus ook de oorspronkelijke radio-aktiviteit weer bereikt is. Het thorium x, van zijn „voortbrenger” gescheiden, straalt uit totdat het uitgeput is en geheel in het inaktieve thorium y veranderd.

Op soortgelijke wijze hebben CROOKES en BECQUEREL, onafhankelijk van elkaar, het uranium ontleed in inaktief uranium en actief uranium x.

Men kan zich deze feiten moeilijk anders verklaren, dan door aan te nemen, dat de atomen thorium en uranium hierbij veranderen in een ander soort atomen. Neemt men eenmaal aan, dat de atomen geheel uit elektronen, uit de deeltjes eener zelfde oerstof zijn opgebouwd, dan kunnen die atomen alleen nog maar van elkander verschillen door het aantal en de rangschikking der elektronen die zij bevatten en dan is principieel de mogelijkheid toegegeven, het eene element in het andere te veranderen.

Is het dan ook reeds gelukt, een van de ons bekende elementen in een ander te veranderen?

Zooals men weet, bestaan er een groot aantal mededeelingen omtrent de verandering van metalen in goud, voornamelijk afkomstig uit de 16^e, 17^e en 18^e eeuw. Men weet echter ook dat deze mededeelingen, ook al zijn zij afkomstig van betrouwbare mannen als VAN HELMONT (1617) en HELVETIUS (1666), ook al betreffen zij proefnemingen, met waarborgen tegen bedrog in tegenwoordigheid van

vele getuigen verricht, zooals die van PRICE (1782) — dat deze mededeelingen door de geleerde wereld als waardeloos en ongeloofwaardig worden verworpen.

Maar in den zomer van het vorige jaar werd in Engeland eene „transmutatie” uitgevoerd, die door de geheele wetenschappelijke wereld onmiddellijk werd geloofd, omdat daaraan verbonden was de naam van een van de beroemdste der thans levende natuuronderzoekers. Het was de transmutatie van Radium in Helium door RAMSAY en SODDY.

Deze proef werd op de volgende wijze genomen. Een weinig radiumbromide werd in water opgelost; hiermede gaat eene ontleding van een deel van het water in waterstof en zuurstof gepaard. Dit behoeft ons niet te verwonderen, wanneer we bedenken, dat de radiumverbindingen elektrische ladingen uitzenden en dat water door elektriciteit ontleed wordt.

RAMSAY en SODDY vingen het ontwikkelde gas op en verwijderden de waterstof en zuurstof eruit (door deze zich met elkaar te laten verbinden en het gevormde water met fosforpentoxyde weg te nemen). Een weinig koolzuurgas werd ook verwijderd. Het spektrum van het overblijvende gas was dat van helium, met drie nieuwe lijnen er in.

Bij eene herhaling van de proef konden zij het spektrum van helium langzamerhand zien ontstaan. Eerst zagen zij geen enkele helium-lijn. „Het spektrum was klaarblijkelijk een nieuw spektrum, waarschijnlijk dat van de emanatie.... Na het tijdsverloop van 17 tot 21 Juli verscheen het helium-spektrum en de karakteristieke lijnen waren, wat hunne plaats betreft, identiek met die van eene heliumbuis, die gelijktijdig in het gezichtsveld werden gebracht. Den 22 Juli werden de gele, de groene, de twee blauwe en de violette lijn gezien en bovendien de drie nieuwe lijnen, die ook in het uit radium verkregen helium aanwezig zijn. Eene controle-proef gaf dezelfde resultaten.”

Hier zagen dus deze onderzoekers het spektrum van helium uit een ander spektrum ontstaan — voor hen het bewijs dat daar in die buis het element helium uit een ander element ontstond.¹

Na deze proef, de proef van RAMSAY en SODDY en de vele andere waarnemingen op dit gebied, mag men zeggen dat de trans-

¹ De proef is sedert dien tijd met goed gevolg herhaald, o.a. te St. Petersburg in een laboratorium, waar nog nooit proeven met helium genomen waren.

formatie van elementen, althans van sommige elementen in elkaar, een wetenschappelijk erkend feit is.

Zoo zeide dan ook prof BAKHUIS ROOZEBOOM in zijne rede uitgesproken op den jaardag der Amsterdamsche universiteit, den 8en Januari van dit jaar: „En al is het nu niet gelukt vooralsnog tot klaarheid te brengen, of in die elektronen het universeele diepere substraat van alle tegenwoordige elementen moet gezocht worden, dan of er nog tussehnstadiën zijn, waarvan het helium er een zou wezen — toch blijkt uit dit alles voldoende, dat er in het radium en in de verwante elementen met hoog atoomgewicht als thorium en uranium, intraatomistische transformaties zich afspelen, wier ontraadseling ons een blik zal geven in de samengesteldheid der stoffen, die thans voor elementen doorgaan”.

In dit citaat wordt de aandacht gevestigd op het feit, dat het juist de elementen met hoog atoomgewicht zijn, die dergelijke transformaties vertoonen. Men ziet dan ook in het Periodiek Systeem, in dit artikel opgenomen, dat de drie bedoelde elementen de hoogste atoomgewichten hebben:

Radium 225

Thorium 232.5

Uranium 239.5

waarbij men in aanmerking moet nemen, dat men het over het atoomgewicht van radium nog niet eens is, zoodat het volgens sommigen nog hooger zou moeten zijn dan dat van thorium.

Hoe dit ook zij, het is waarschijnlijk geen toeval dat het juist de zwaarste atomen zijn die elektronen uitzenden. Wanneer werkelijk de atomen der elementen uit elektronen zijn opgebouwd, dan bevatten de elementen met hoog atoomgewicht een groot aantal elektronen en dan kan men zich denken, dat het complex, door de oopenhooping van zoovele dier deeltjes gevormd, minder stabiel is dan een kleiner atoom, ja, dat het groote complex langzamerhand uiteenvalt en dat de brokstukken dier instabiele atomen zich opnieuw groepeeren tot meer bestendige combinaties, tot atomen met lager atoomgewicht. Zoo zou dan ook te verklaren zijn de vorming van helium met zijn laag atoomgewicht (4) uit de emanatie der radioactieve stoffen.

Maar, zou men kunnen vragen, wanneer het radium, wanneer de andere radioactieve elementen voortdurend uiteenvallen, waarom zijn

zij dan in den loop der eeuwen niet reeds verdwenen? Op deze vraag is tweeërlei antwoord mogelijk.

Volgens sommigen zou een gram radium eerst na eenige eeuwen een milligram aan gewicht verliezen door dit uiteenvallen, volgens anderen zou dat eerst na tien milliard eeuwen geschied zijn!

Was deze opvatting juist, dan zou men de vraag naar het voortbestaan van radium gelijk kunnen stellen, met de vraag, waarom de zon nog niet koud geworden is, daar zij toch voortdurend warmte uitstraalt.

Anderen daarentegen nemen een veel korter levensduur van het radium-atoom aan; RAMSAY en SODDY stellen dien levensduur op „slechts” duizend jaar.¹

Was dit zoo, dan zou werkelijk het radium betrekkelijk snel van de aarde verdwijnen, tenzij men met sommige onderzoekers aanneemt, dat het radium voortdurend weer door een ander element wordt voortgebracht.

Men heeft de onderstelling geopperd, dat uranium radium voortbrengt; eene proef van soddy met een Kilogram uranium-nitrat, dat hij een jaar lang bewaard had, maakt het waarschijnlijk dat dit niet het geval is.²

Mogelijk blijft, dat het radium door een ander element dan uranium wordt voortgebracht. Hieromtrent moeten nog nadere gegevens worden afgewacht.

VII. SPEKULATIEVE BESCHOUWINGEN.

Welk een verrassend licht werpen deze overwegingen op onze voorstelling omtrent het wezen der stof!

De atomen der radioactieve elementen vallen uiteen, deze elementen zijn dus bezig te verdwijnen, al duurt het ook nog zoo lang; voor hen komen andere, meer bestendige elementen in de plaats. Wij kunnen ons dus voorstellen, dat er elementen bestaan hebben die reeds uitgestorven zijn, dat er nog nieuwe elementen gevormd zullen worden.

De tachtig elementen zijn niet meer de starre, onveranderlijke grondstoffen van het heelal: er begint leven in te komen.

¹ In eene mededeeling aan de *Royal Society* op 28 April.

² *Nature*, vol. 70, blz. 30; 12 Mei 1904.

Evenals na het optreden van DARWIN het denkbeeld van de onveranderlijkheid der plant- en diersoorten werd verdrongen door dat der evolutie, zoo komt thans voor onze verbeelding op eene evolutie der elementen.

PAUL KÖTHNER gebruikt een ander beeld, ontleend aan eene bekende theorie omtrent de vorming der hemellichamen: hij vergelijkt het instabiele radioactieve element bij eene roteerende nevelmassa, die deelen van zich afslingert; evenals zich daar planeten hebben gevormd, zoo hier de elementen met lager atoomgewicht. Daarom vergezelt het helium de radioactieve elementen in tal van mineralen gelijk een planeet de zon; en het uraanpekerts, waarin nagenoeg alle elementen voorkomen, zou men een planetensysteem van elementen kunnen noemen!

Men moge dit, zooals de zooeven geciteerde schrijver doet „müssige Spekulationen” noemen — zeker is het, dat de nieuwe feiten ons nieuwe vergezichten hebben geopend.

Steeds trachten wij verschillen in kwaliteit te herleiden tot verschillen in kwantiteit; hier schijnen de verschillen in kwaliteit tusschen de elementen herleid te kunnen worden tot verschillen in de kwantiteit hunner elektronen,

„Bevestigen zich die vooruitzichten”, zegt prof. BAKHUIS ROOZEBOOM in zijne reeds geciteerde rede, „dan wordt de orde der samengesteldheid aller materiele dingen minstens één graad grooter dan wij vroeger meenden en kan een nieuwe periode van onderzoek aanvangen, om de betrekkingen van de elementen tot de dingen die daarna komen op dezelfde wijze tot klaarheid te brengen, als thans in hoofdzaak geschied is voor de verhoudingen tusschen de tegenwoordige elementen en de daaruit gevormde verbindingen”.

De ontdekking en de bestudeering der elektronen heeft dus nieuwe gronden geleverd voor de onderstelling, dat alle stof uit een zelfde oerstof bestaat. Maar ook heeft zij opnieuw het uitzicht geopend op voorstellingen, waarbij het begrip „stof” geheel verdwijnt of althans van aard verandert.

De opvatting van het licht als eene trilling die zich ook door de „ledige” ruimte voortplant, leidde tot het aannemen van een onweegbaren wereldaether. Daar het bestaan van zulk een onweegbare stof, naast de gewone of weegbare stof, in strijd was met het streven van onzen geest naar eenheid, heeft men op verschillende wijzen ge-

tracht die twee tot één te brengen. Bekend is de voorstelling van het atoom der weegbare stof als een werveling van den aether; verschillende andere konstrukties zijn uitgedacht; zelfs de vierde dimensie is er bij te pas gekomen.

De ontdekking der elektronen heeft een nieuw denkebeeld in deze richting geleverd. De grondslag hiervan is te zoeken in een artikel in 1881 door J. J. THOMSON gepubliceerd. Hij toonde daarin theoretisch aan, dat wanneer een elektrisch geladen voorwerp, b.v. een bol, zich beweegt, de aard van deze beweging en de verandering, die de beweging door daarop inwerkende krachten ondergaat, niet volkomen gelijk kan zijn aan de beweging van een overigens volkomen gelijken bol, die niet elektrisch geladen is; de geladen bol zou overeenkomen met een niet-geladen bol, die iets grooter was. Het is dus alsof de geladen bol er door zijne lading nog eene kleine massa bij krijgt, een beetje grooter wordt. Deze toegevoegde massa is echter volgens de berekening van THOMSON zoo klein, dat er geen sprake van is, dat wij daar met onze meetwerktuigen iets van zouden

kunnen bespeuren. De toegevoegde massa zou evenredig zijn met $\frac{e^2}{r^2}$ dus evenredig met het kwadraat van de lading, omgekeerd evenredig met het kwadraat van den straal. Hoe kleiner dus de bol is, des te grooter wordt de invloed der lading op de massa; maar zelfs als wij den bol doen inkrimpen tot de afmeting van een atoom, dan blijkt het dat de vergrooting der massa van dat atoom tengevolge van de lading, die het bij de elektrolyse heeft, slechts $\frac{1}{100,000}$ van de massa van het atoom is.

Het scheen dus dat THOMSON's berekening in geen enkel geval praktische beteekenis zou hebben, totdat men in de elektronen deeltjes ontdekte, waarvan de massa slechts $\frac{1}{1000}$ is van die van een waterstofatoom, maar de lading dezelfde. Hier is deze toegevoegde massa wel degelijk van invloed, hier moet de „schijnbare” massa, die wij uit de verandering der beweging door de magneetkracht meten, samengesteld zijn uit twee bestanddeelen: de „gewone” massa en de elektro-magnetische massa.

De vraag dringt zich nu op: zou het mogelijk zijn dat de elektronen geene gewone, maar uitsluitend elektromagnetische massa

hadden? Inderdaad, wanneer men maar aanneemt, dat hun diameter slechts $\frac{1}{100,000}$ is van die van een waterstofatoom.

Als dat zoo was, dan zou men zich dus zulk een atoom niet moeten voorstellen als volgepropt met duizend elektronen, maar als een stelsel, waarin die duizend elektronen zich op betrekkelijke groote afstanden van elkaar bevinden, maar door hunne elektrische energie het atoom toch voor alle andere stofdeelen ondoordringbaar maken. De traagheid der stof zou dan eene elektrische traagheid zijn en hierdoor was althans de grondslag gelegd voor eene elektrische theorie der stof.

Het zou een stap zijn in de richting van het door OSTWALD met zooveel ijver verdedigde denkbeeld, dat wij het begrip stof geheel kunnen missen en dat alle natuurverschijnselen zich volledig laten beschrijven met behulp van het eene begrip: *energie*.

Hoe men over de mogelijkheid en de wetenschappelijke doelmatigheid hiervan ook moge denken, voor ons streven naar eenheid in de natuur is deze opvatting zeer verleidelijk.