0013
NB

RADIOACTIVITEIT EN ATOOM-THEORIE

REDE, UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT VAN HOOGLEERAAR AAN DE VRIJE UNIVERSITEIT TE AMSTERDAM, OP VRIJDAG 3 OCTOBER 1930

DOOR

G. J. SIZOO

'S-GRAVENHAGE
MARTINUS NIJHOFF
1930

Mijne Heeren Directeuren der Vereeniging voor Hooger Onderwijs op Gereformeerden Grondslag, Mijne Heeren Curatoren en Professoren der Vrije Universiteit, Dames en Heeren Studenten, en voorts Gij allen die deze plechtigheid met Uw tegenwoordigheid vereert,

Zeer gewaardeerde Toehoorderessen en Toehoorders!

In het jaar 1896 werd door Henri Becquerel ontdekt, dat stoffen, waarin zich het element Uraan bevond, geheel spontaan en onafgebroken een straling uitzonden, die analoge eigenschappen vertoonde als de kort te voren door Röntgen ontdekte stralen, d. w. z., die in staat was de photographische plaat te verzwarten, de lucht geleidend te maken en materie van aanzienlijke dikte te doordringen. De intensiteit der straling bleek uitsluitend afhankelijk van het Uraangehalte der preparaten, overigens echter noch door physische, noch door chemische middelen te beïnvloeden te zijn. Zij moest daarom worden gekarakteriseerd als een aan het Uraanelement immanente, konstante en spontane atoomeigenschap. Deze verrassende vondst, die aanvankelijk met de geldigheid van de wet van het behoud van arbeidsvermogen in flagranten strijd scheen te zijn, leidde tot de ontsluiting van een geheel nieuw physisch arbeidsveld, het gebied der radioactiviteit. In de reeks der onderzoekingen, die in het laatste vijftal jaren der vorige eeuw den vasten grondslag hebben gelegd voor de ontwikkeling van de atomistische theorieën van materie en electriciteit, nemen die welke op dit nieuwe terrein werden verricht, een belangrijke plaats in. Zelfs kan worden gezegd, dat de fundamenteele verdieping van het inzicht in de structuur der materie, de overgang

*

van de atomistiek tot de sub-atomistiek, welke op haar beurt tot de jongste ontwikkeling der atoomphysica heeft geleid, aan de onderzoekingen op het gebied der radioactiviteit is te danken.

De beteekenis der radioactieve onderzoekingen voor de ontwikkeling der atoomtheorie, koos ik als onderwerp voor dit uur.

Op de ontdekking van het stralend vermogen van Uraan volgde reeds spoedig de beroemde ontdekking van twee nieuwe zeer sterk radioactieve elementen, Polonium en Radium, door het echtpaar Curie, als bekroning van een zeer moeizaam onderzoek verkregen.

Terwijl het zoeken naar nieuwe radioactieve elementen van verschillende zijden werd voortgezet, en successievelijk tot nieuwe resultaten leidde, richtte zich het onderzoek vanzelfsprekend ook op den aard der stralen zelf. Een ordening der zeer uiteenloopende experimenteele resultaten bleek pas mogelijk, toen Rutherford had vastgesteld, dat de radioactieve straling niet als homogeen mocht worden beschouwd, maar dat zij uit drie qualitatief verschillende stralensoorten bestond. Deze drie soorten werden door hem als α-, β- en γ-stralen onderscheiden.

Alleen de laatste kwamen in eigenschappen met de röntgenstralen geheel overeen, en moesten daarom, nadat door Haga en Wind (1899) de buiging der röntgenstralen was aangetoond, worden opgevat als een in de ruimte continu verdeelde voortplanting van electromagnetische trillingen, van lichttrillingen wel quantitatief, echter niet qualitatief te onderscheiden. De α- en β-stralen daarentegen vertoonden de eigenschap in een magnetisch en in een electrisch veld uit hun rechte banen te worden afgeleid. Deze eigenschap veroorloofde te besluiten, dat men in de α- en β-stralen te doen had met een stroom van snel voortvliegende, concrete, electrisch geladen deeltjes.

Een onafhankelijk en zeer suggestief argument voor het discontinue karakter der α- en β-straling werd geleverd door een merkwaardig verschijnsel, dat in 1903, ongeveer gelijktijdig, zoowel door Elster en Geitel als door Crookes werd ontdekt. Laat men α-stralen vallen op een scherm, dat op geschikte wijze met een laagje zinksulfide is bedekt, dan neemt men een zwak licht geven van het scherm waar. Beziet men nu echter dit lichtverschijnsel onder het microscoop, dan blijkt het te zijn samengesteld uit een

verzameling van afzonderlijke lichtpunten, of scintillaties. Het verschijnsel wekt bij den waarnemer volkomen den indruk, dat het scherm getroffen wordt door een zwerm van onzichtbare projectielen, waarbij elke treffer door een lichtflits vergezeld wordt. Door Regener werd in 1908 hetzelfde verschijnsel ook met β-stralen verkregen.

Was door deze onderzoekingen reeds alle twijfel aan het corpusculaire karakter der α- en β-stralen opgeheven, de allerfraaiste demonstratie daarvan leverden tenslotte de proeven van C. T. R. Wilson in 1911. Deze proeven bewezen de mogelijkheid de baansporen der afzonderlijke deeltjes zichtbaar te maken en zelfs te photografeeren.

Een duidelijker demonstratie van het individueel bestaan der deeltjes, en daarmede van de atomistische structuur van materie en electriciteit, kon zelfs een zeer voorzichtig physicus moeilijk eischen.

Het zou te ver voeren, wanneer ik alle overwegingen wilde aangeven, die zekerheid hadden verschaft omtrent den aard der α- en β-deeltjes. Ik moet wel volstaan met te zeggen, dat men in het geval der β-deeltjes te doen heeft met electronen, d. w. z. met elementaire eenheden der negatieve electriciteit, en in het geval der α-deeltjes met heliumatomen, die tevens drager zijn van twee elementaire eenheden positieve electriciteit.

De identiteit der α-deeltjes met heliumatomen werd nog in het bijzonder bevestigd, door de ontdekking dat zich uit α-stralende stoffen voortdurend heliumgas ontwikkelde. De hoeveelheid daarvan, die in een bepaalden tijd werd gevormd bleek in goede overeenstemming te zijn met de hoeveelheid, die berekend werd uit het aantal der uitgezonden α-deeltjes, dat volgens de beschreven scintillatiemethode kon worden geteld.

Behalve deze merkwaardige heliumproductie, vertoonden eenige radioactieve stoffen echter nog een interessante eigenschap, n.l. het uitzenden van een gas, dat in eigenschappen groote overeenkomst vertoonde met de edelgassen, echter bovendien een met den tijd afnemend stralend vermogen bezat. Stoffen met dit gas, dat emanatie genoemd werd, in aanraking gebracht, bleken eveneens een activiteit te verkrijgen, die na verloop van tijd weer verminderde. De geniale analyse en interpretatie van al deze verschijn-

selen, leidde Rutherford reeds in 1902 tot zijn verbrokkelingstheorie. De aanvaarding dezer theorie noodzaakte den physici de oude voorstelling omtrent onveranderlijkheid en enkelvoudigheid der atomen radicaal te laten varen. In de geschiedenis der atoomtheorie is zij daarom te beschouwen als een mijlpaal, die den overgang van de atomistiek, tot de sub-atomistiek markeert.

Volgens deze verbrokkelingshypothese heeft men zich voor te stellen, dat de atomen der radioactieve elementen gecompliceerde systemen zijn, die om een of andere reden in een niet-stabielen toestand verkeeren en waarin daarom veranderingen plaats grijpen, die met afgifte van energie gepaard gaan. Bij deze omzettingen kunnen samenstellende deelen van het atoom worden weggeslingerd, waardoor een atoom van een nieuw element, de dochtersubstantie, overblijft. In de atomen der dochtersubstantie kan dit proces zich herhalen, zoodat weer een nieuw element wordt gevormd. Op deze wijze ontstaat, door voortdurende afbraak der atomen, uit een oerelement een geheele reeks van nieuwe elementen, waarvan elk volgend lid met het voorafgaande in genetischen samenhang staat. Het laatste element van zoo'n reeks wordt gevormd door een element, waarvan de atomen een zoodanige stabiliteit bezitten, dat door ons geen veranderingen meer kunnen worden waargenomen.

Deze hypothese hield tegelijk een verklaring in, voor de afgifte der groote hoeveelheid energie, die met de radioactieve omzettingen gepaard ging. Deze kon nu worden beschouwd, als het vrijkomen van de bindingsenergie, die aan den opbouw van het moederatoom uit het dochteratoom en het α- of β-deeltje beantwoordt.

Dat door deze theorie, die natuurlijk allereerst op de radioactieve elementen betrekking had, ook de gedachte van den samengestelden bouw van alle atomen en van den opbouw der zwaardere atomen uit lichtere bouwsteenen, die door Prout reeds in 1810 was geopperd, echter wegens gebrek aan experimenteele bewijsgronden weer was prijsgegeven, opnieuw in het volle licht werd geplaatst is zonder meer duidelijk.

De radioactieve straling gaf voorloopig slechts aanleiding te vermoeden, dat electronen en heliumatomen als elementaire bouwsteenen der materie moesten worden beschouwd. Het lag echter voor de hand aan te nemen dat de heliumatomen op hun beurt weer uit de vier maal lichtere waterstofatomen waren opgebouwd.

Dat werkelijk het waterstofatoom, of liever de kern daarvan, behoort tot de samenstellende deelen der atomen, kon later eveneens door Rutherford, ook experimenteel bewezen worden. Het gelukte hem n.l. in 1919 α-deeltjes te gebruiken als projectielen, waarmede de atomen van verschillende elementen kunnen worden stukgeschoten. Onder de brokstukken der atomen konden nu inderdaad waterstofatomen worden aangetoond.

Aan de onderstelling, dat men in de waterstofkernen, die men ook protonen noemt, en in de electronen te doen heeft met de kleinste bouwsteenen der natuur, wordt thans, ook op grond van deze proeven over de desintegratie der atomen, die door andere onderzoekers zijn bevestigd, algemeen vastgehouden.

De verbrokkelingshypothese droeg niet alleen een revolutionnair karakter ten opzichte van de ontwikkeling van het atoombegrip, ook opgevat als de verklaring van een stralingsverschijnsel bevatte zij een interessant nieuw element. Voor het eerst wordt hier n.l. het stralend vermogen niet opgevat als een tot den stationnairen toestand van het atoom behoorende eigenschap, maar de oorzaak ervan wordt gezocht in een overgangsproces, waarbij het atoom discontinu uit een toestand A in een toestand B overgaat. Men kan dan ook zeggen, dat de principieele wending in de theorie der lichtstraling die een tiental jaren later door de theorie van Bohr werd gebracht, reeds in de verbrokkelingstheorie van Rutherford een analogon bezat.

Terwijl aldus de idee van de eenheid der materie, die reeds zoolang in de physica had rondgedoold, in de radioactieve verschijnselen vasten grond onder de voeten begon te krijgen, ontwikkelde zich tegelijk de geheel nieuwe gedachte van de eenheid van materie en electriciteit. De directe aanleiding daartoe waren de metingen van Kaufmann over de veranderlijkheid van de massa der β-deeltjes met de snelheid, die er toe leidden, aan de electronen geen andere massa toe te kennen dan die, welke uit de wisselwerking tusschen de lading en het omringende veld voortvloeit. Het waren vooral deze proeven, die later door metingen met snelle kathodestralen werden bevestigd, welke tot de vervanging van het mechanische natuurbeeld door het electro-dynamische, den beslissenden stoot hebben gegeven.

Nadat de subatomistiek eenmaal haar intrede in de physica had gedaan, volgden noodzakelijkerwijze van verschillende zijden de pogingen om zich van de structuur der atomen, in het bijzonder van de verdeeling der positieve en negatieve electriciteit in het atoom, een concrete aanschouwelijke voorstelling te maken.

Weer waren het de radioactieve onderzoekingen, die de duidelijkste aanwijzingen gaven voor den weg, die tot de oplossing van dit probleem leidde, en weer was het het genie van Rutherford, dat van deze aanwijzingen het juiste gebruik wist te maken. De bedoelde onderzoekingen hadden betrekking op den doorgang van α-deeltjes, door materie en op de afwijkingen die deze deeltjes, daarbij uit hun oorspronkelijke richting ondergaan.

Uit de veelvuldigheid van het voorkomen van groote afwijkingshoeken kon worden afgeleid, dat deze het gevolg moesten zijn van een krachtige botsing tusschen een α-deeltje en één enkel atoom van het metaal. De juistheid dezer conclusies werd door opnamen met de reeds eerder genoemde nevelkamera van Wilson, die het mogelijk maakte de botsing van een α-deeltje en een atoom direct te photografeeren, zeer fraai bevestigd. Uitgaande van de veronderstelling, dat de „botsing" was op te vatten als de doorgang van het α-deeltje, door het electrische veld van de positieve lading van het atoom, berekende Rutherford nu uit de gevonden afwijkingshoeken, de sterkte van deze atomaire electrische velden. Het bleek, dat deze alleen konden worden verklaard, door aan te nemen dat de positieve lading van het atoom geconcentreerd was in een kern, van in verhouding tot de afmeting van het atoom zeer geringe grootte, waarin ook vrijwel de geheele massa van het atoom opgehoopt was. Op relatief groote afstanden van deze kern zouden de electronen rondloopen in banen, die de kern tot middelpunt hadden. Op grond der proeven moest aan de kern een lading worden toegeschreven, die ongeveer gelijk was aan het halve atoomgewicht vermenigvuldigd met de elementaire electriciteitseenheid. Daar het atoom in zijn geheel geen lading bezitten kan, moest het aantal der omhullende negatieve electronen, welke elk een elementaire electriciteitseenheid dragen, eveneens ongeveer gelijk zijn aan het halve atoomgewicht.

De uiterst belangrijke vraag naar het nauwkeurig bedrag der kernlading is, onderstellenderwijze, het eerst juist beantwoord door Van den Broek. Deze hield zich bezig met het pro-

bleem, op welke wijze de inmiddels ontdekte radioactieve elementen, in het periodiek systeem waren onder te brengen. Hij werd daarbij geleid tot een rationeele uitbreiding van het systeem, waarbij het rangnummer van elk element steeds ten naastebij gelijk bleek te zijn aan de helft van zijn atoomgewicht. Dit bracht hem in verband met de proeven van Rutherford tot de onderstelling, dat het kernladingsgetal identiek zou zijn met het rangnummer van het element in het periodiek systeem.

Deze onderstelling sloot de mogelijkheid in zich, dat niet volgens de gangbare opvatting der chemici het atoomgewicht, maar het atoomnummer, dus het kernladingsgetal, voor elk element de meest karakteristieke constante zou zijn. Deze mogelijkheid werd tot zekerheid, toen door Moseley werd gevonden, dat de frequenties der röntgenspektra een monotone afhankelijkheid van het atoomnummer vertoonen. De hypothese van Van den Broek, door de ontdekking van Moseley bevestigd, verkreeg haar buitengewone beteekenis voor de atoomtheorie vooral toen Bohr haar ten grondslag legde aan zijn theorie omtrent den opbouw der elementen, die veroorloofde de regelmaat van het periodiek systeem op de wetten van den atoombouw terug te leiden. Tegelijk heeft zij ruimte gemaakt voor de invoering van het isotopenbegrip, waardoor de invoeging der radioactieve elementen in het periodiek systeem haar beslag kreeg en waardoor tevens aan het oude argument tegen de hypothese van Prout de kracht werd ontnomen. Het waren weer de radioactieve onderzoekingen, dit keer die omtrent de chemische eigenschappen der radioactieve elementen, die op de mogelijkheid van het bestaan van isotopen, dat zijn elementen met verschillend atoomgewicht, maar gelijke chemische eigenschappen, het eerst de aandacht hebben gevestigd.

Men zou het tijdvak van ongeveer vijftien jaar, dat met de ontdekking door Becquerel begint en met de opstelling van het atoommodel door Rutherford, de invoering van het atoomnummer en het isotopenbegrip eindigt kunnen betitelen als de eerste phase in de ontwikkelingsgeschiedenis der radioactiviteit. In deze phase is de vorming van het fundamenteele inzicht in den aard van het, aanvankelijk geheel als vreemdsoortig beschouwde, verschijnsel van beslissenden invloed op de ontwikkeling der atoom-

theorie. In de daaropvolgende periode wordt deze ontwikkeling niet langer beheerscht door het radioactieve onderzoek, maar in hoofdzaak door het optisch en röntgenographisch spectraalonderzoek. Dat dit zoo zijn moest, laat zich uit den aard der verschijnselen verklaren.

De radioactiviteit toch is een verschijnsel, dat op geen enkele wijze door physische of chemische middelen kan worden beïnvloed. De oorzaak ervan moet daarom gezocht worden in de atoomkern, die door de omgevende elektronen, de electronenwolk, voor uitwendige invloeden krachtig is beschermd. De chemische en optische eigenschappen daarentegen die in veel sterkere mate kunnen worden beïnvloed, hebben hun zetel in de electronenwolk, waarvan de bijzonderheden dan ook veel gemakkelijker door het experiment aan het licht kunnen worden gebracht. De ontwikkeling der atoomtheorie, na de opstelling van het atoommodel van R u t h e r f o r d en B o h r is dan ook geheel gericht op het zoeken naar de structuur en de wetten der omhullende electronen teneinde daaruit de eigenschappen der elementen af te leiden.

Voor al deze beschouwingen was het echter voldoende de kern als een puntlading of als een geladen bolletje te beschouwen, zonder te letten op haar inwendige structuur. En het is juist deze kernstructuur, die we gaarne zouden willen kennen, om ons een beeld te kunnen vormen van het ontstaan van de radioactieve verbrokkeling. Dat het hier niet om een eenvoudige zaak gaat, wordt ons duidelijk wanneer wij bedenken, dat de kern, hoe klein ook van afmeting, toch uit een zeer groot aantal deeltjes, protonen en electronen, moet zijn samengesteld. Dit leert een zeer eenvoudige overweging. Daar de Uraankern 238 maal zoo zwaar is als de waterstofkern, moet zij ook 238 protonen bevatten. De totale lading van de kern bedraagt echter slechts 92 elementaire eenheden positieve electriciteit. Dan moeten er dus bovendien nog 146 negatieve electronen aanwezig zijn. Het totale aantal der deeltjes, waaruit de Uraankern is samengesteld, bedraagt dus niet minder dan 384. Het behoeft dan ook geen verwondering te wekken, dat een dergelijk gecompliceerd systeem zich aan een theoretische behandeling volgens de methoden der klassieke mechanica onttrekt. De aard der radioactieve stralen, en de proeven over de desintegratie der atomen door beschieten met α-deeltjes, geven weliswaar tot interessante beschouwingen over den bouw van de kern aanleiding, maar het

moet worden erkend, dat al deze beschouwingen het karakter van kwalitatieve speculaties nog niet hebben verloren.

Wat betreft de interpretatie en de ordening der stralingsverschijnselen zelf, was de periode waarvan hier sprake is, daarentegen buitengemeen vruchtbaar. Dit is te danken aan het feit, dat hierbij de door optische en röntgen-spectroscopische onderzoekingen verkregen kennis van de structuur der electronenwolk met succes kon worden aangewend.

Ter illustratie daarvan, moge over de analyse en de interpretatie der β-stralen iets worden medegedeeld.

Het was reeds lang, op grond van de metingen der afwijking in een magnetisch veld bekend, dat de β-stralen van één radioactieve stof niet allen dezelfde snelheid bezaten, maar dat zij in discrete groepen van verschillende snelheden konden worden gesplitst. Men spreekt dan ook van β-straal spectra, waarin elke „spectraallijn" zulk een snelheidsgroep voorstelt. Dit wees er reeds op, dat niet alle β-deeltjes op dezelfde plaats van het atoom werden vrijgemaakt. Het is duidelijk, dat het atoommodel voor de herkomst der stralen twee principieel verschillende mogelijkheden aanwijst, n.l. de kern zelf en de electronenwolk. Hetzelfde geldt voor de γ-stralen, die in vele gevallen tegelijk met de α-stralen, evenzeer als met de β-stralen, worden uitgezonden. De analyse der β- en γ-stralen had dus allereerst de vraag naar de herkomst der verschillende groepen te beantwoorden. Deze vraag hield echter met de voorstellingen omtrent het verloop van het omzettingsproces nauw verband. Twee opvattingen hebben in dit opzicht langen tijd tegenover elkaar gestaan. Volgens de eerste, in hoofdzaak door Ellis vertegenwoordigd, moest men zich voorstellen, dat voor de kern van een radioactief atoom, evenals voor de electronenwolk, verschillende door quantumregels bepaalde energieniveaus bestaan, waartusschen plotselinge overgangen kunnen plaats hebben. Bij een dergelijke overgang zou de vrijkomende energie in den vorm van een electromagnetische evenwichtsverstoring van bepaalde frequentie, dus als monochromatische γ-stralen worden uitgezonden. Is door één of meer van zulke overgangen de kern in een instabielen toestand gekomen, dan volgt de afbrokkeling van de kern, de omzetting, die het atoom van de moedersubstantie in een atoom van de dochtersubstantie overvoert. De uitzending der

γ-stralen gaat hier dus aan de omzetting vooraf en is de eigenlijke primaire gebeurtenis. Deze γ-stralen doorkruisen nu, bij het verlaten van het atoom de electronenwolk en kunnen daarbij electronen losmaken. Van elke γ-straal die één electron treft wordt daarbij de volle energie geabsorbeerd. Een deel ervan wordt gebruikt om het electron vrij te maken, het overschot wordt aan het electron als kinetische energie meegedeeld. Ellis was nu van meening dat alle electronen, die tezamen het diskontinue β-spektrum vormden op deze wijze uit de elektronenwolk waren vrijgemaakt.

Een andere opvatting werd echter door Lise Meitner verdedigd. Deze beschouwde als de primaire, de verbrokkeling inleidende gebeurtenis, niet de uitzending van een γ-straal, maar van een β-deeltje uit de kern. Eerst nadat dit β-deeltje de kern verlaten had, zou daarop een hergroepeering van de kernbestanddeelen volgen, waardoor de kern weer in een bestaansmogelijke configuratie zou geraken. Bij deze hergroepeering zou dan pas de uitzending der γ-stralen plaats hebben. Deze γ-stralen kunnen dan weer evenals bij Ellis, electronen uit de wolk vrij maken, zoodat het β-spectrum zoowel door kernelectronen als door wolkelectronen wordt gevormd.

De beslissing tusschen deze beide opvattingen is mogelijk geweest op grond van de volgende overweging. Komt de omzetting van de kern eerst na de uitzending van den γ-straal, dan moet deze laatste de electronenwolk nog vinden in de configuratie die behoort bij het onveranderde atoom. Gaat echter deze omzetting aan de uitzending van den γ-straal vooraf, dan treft deze het omhulsel reeds aan in den toestand, die bij het nieuwe atoom behoort.

Gesteld nu dat deze γ-straal een elektron vrij maakt uit één der schillen van de wolk, dan zal dit meer energie kosten, wanneer het omhulsel reeds de nieuwe configuratie heeft aangenomen, dan wanneer het nog in de oude verkeert. In het nieuwe atoom wordt het electron door de kern n.l. met een iets grootere kracht aangetrokken dan in het oude, omdat de positieve lading iets grooter is. Door nu de energieën der β-spectra zeer nauwkeurig te meten en gebruik te maken van de gegevens der röntgenspectroscopie over de energiewaarden van de schillen der electronenwolk, is het inderdaad gelukt met volkomen zekerheid te beslissen ten gunste van de tweede opvatting, die in het uitzenden van het β-deeltje de primaire gebeurtenis ziet.

Dit voorbeeld moge in staat zijn U te doen zien, hoe het mogelijk is om, terwijl de eigenlijke oorzaak van het verbrokkelingsproces nog in het duister ligt, niettemin, door gebruik te maken van resultaten die de atoomphysica op andere wijze heeft verkregen, minutieuse bijzonderheden van dat proces te weten te komen.

Dat dergelijke onderzoekingen, ons inzicht in de verschijnselen der radioactieve straling verdiepen, is duidelijk. De fundamenteele oorzaak er van komt er echter nog niet door aan het licht.

Eerst de allerjongste ontwikkelingsphase der atoomtheorie heeft voor de theoretische behandeling van het kernprobleem onverwachte perspectieven geopend, en de verwachting is gerechtvaardigd, dat ook het experimenteel onderzoek daarvan de vruchten zal kunnen plukken. Om dit te kunnen toelichten, moet ik in de eerste plaats vermelden, dat reeds spoedig na de formuleering van de verbrokkelingstheorie de beschouwingen der waarschijnlijkheidsrekening op het proces waren toegepast. De zeer eenvoudige wet, die voor alle radioactieve stoffen het verloop van de afbrokkeling formuleerde, had een zoodanig karakter, dat ze onmiddellijk kon worden afgeleid uit de onderstelling, dat zulk een radioactief proces een volkomen „toevallige" gebeurtenis is, d.w.z. een gebeurtenis, die causaal niet nader kan worden geanalyseerd.

Het lijdt wel geen twijfel, dat men aanvankelijk daarbij niet anders heeft gedacht, dan dat deze schijnbare toevalligheid in werkelijkheid slechts een gevolg is van het buitengewoon groot aantal factoren, die bij de totstandkoming van het proces een rol spelen. Evenzeer als men in de kinetische gastheorie zich rustig bezig hield met statistische beschouwingen, die op toeval en waarschijnlijkheid waren gebaseerd, zonder zich ongerust te maken over de vraag of er wel inderdaad gegronde reden bestond voor de onderstelling, dat achter deze schijnbare toevalligheid der natuur een strenge wetmatigheid verborgen lag.

Toch kon de gewenning aan het gebruik van het toevalsbegrip niet zonder invloed blijven op het vertrouwen in het dogma van het physische determinisme, vooral niet naarmate het gebied waarop de waarschijnlijkheidsrekening toepassing vond zich steeds uitbreidde. Van groote beteekenis in dit opzicht was, dat E i n s t e i n in 1917 de theorie van de wisselwerking tusschen straling en materie op waarschijnlijkheidstheoretischen grondslag ontwik-

kelde door het elementair proces der lichtemissie, in analogie met het radioactieve verbrokkelingsproces, als een volkomen toevallige gebeurtenis te beschouwen.

De veelbelovende theoretische behandeling van het probleem der radioactiviteit heeft nu juist bij dit toevallig karakter aangeknoopt, deze toevalligheid nu echter niet als een schijnbare, maar als een principieele opvattende. Want het reeds aangeduide doordringen van het toevalsbegrip in het physisch denken, heeft er tenslotte toe geleid het dogma van het determinisme geheel te laten varen, althans het tot een op physisch terrein onbruikbare stelling te verklaren.

Deze merkwaardige verandering der ideeën houdt zeer nauw verband met de wijziging in de opvatting omtrent het wezen van materie en licht, die zich gelijktijdig heeft voltrokken. Ik heb U in den aanvang moeten wijzen op het principieele verschil tusschen de α- en β-stralen eenerzijds en de γ-stralen anderzijds. Terwijl de eerste op verschillende wijzen hun discontinue, corpusculaire karakter demonstreerden, moesten de laatste, op grond van interferentie- en buigingsproeven als een, zich in de ruimte continu uitbreidend, golfverschijnsel worden opgevat. Het continue golfkarakter van het licht en het discontinue corpusculair karakter der materie komt dus in de radioactieve straling gelijktijdig tot uiting.

Het is U echter wellicht niet ontgaan, dat ik bij de bespreking van de absorptie der γ-stralen in de electronenwolk, ook voor deze stralen van de corpusculaire voorstelling heb gebruik gemaakt door van een γ-straal te spreken, als van een individueel iets, dat met een concrete hoeveelheid energie is behept en in staat is deze energie bij de botsing met een electron geheel af te geven. Nu is het inderdaad zoo, dat vele experimenteele en theoretische overwegingen, die ik hier niet kan weergeven, de physici er toe gedwongen hebben de golftheorie van het licht te completeeren door de corpusculaire opvatting en omgekeerd, de atomistische theorie der materie met de golfvoorstelling aan te vullen.

In gevallen, waarin het gaat om de verdeeling van licht of materie in ruimte en tijd, moet men gebruik maken van de golfvoorstelling. Daarentegen geldt in die gevallen, waar het gaat om het energetisch gedrag der stralen, om de wisselwerking tusschen straling

en materie, de corpusculaire opvatting in verbinding met de wetten van behoud van energie en impuls.

Het behoeft wel geen betoog, dat de physici zich met de invoering van een dergelijk ingrijpend dualisme, dat overigens voor de mathematische formuleering der atoomphysica van buitengemeene beteekenis bleek, niet zonder meer konden tevreden stellen, en dat men gepoogd heeft de beide tegengestelde voorstellingen, tot een eenheid te versmelten. Men heeft een oogenblik gemeend, dat dit mogelijk was, door zich de deeltjes te denken als z.g. golfpaketjes, dus als een binnen een klein gebiedje besloten trillingstoestand. De uitwerking dezer voorstelling leidde echter tot onoverkomenlijke moeilijkheden, zoodat men ze weer geheel moest laten varen. De weg, waarin thans door vele physici, in navolging vooral van B o r n, de oplossing gezocht wordt, is dan ook een geheel andere.

Men kent daarbij n.l. aan de beide voorstellingen, golven en deeltjes, een principieel verschillende beteekenis toe.

Als het eigenlijke wezen van het physische gebeuren beschouwt men de beweging en de wisselwerking der deeltjes, dus in laatste instantie, der electronen, protonen en lichtquanten, die men ook photonen noemt. De correspondeerende golven daarentegen bezitten geen physische realiteit, maar zijn symbolen, zonder welker invoering de mathematische behandeling onmogelijk blijkt. Deze golven breiden zich dan ook niet uit in de gewone ruimte, maar in een fictieve ruimte, waarvan het aantal afmetingen in het algemeen grooter is dan drie. Om het verband tusschen deze symbolische golven en de reëele deeltjes te kunnen leggen, stelt men zich voor, dat door de uitbreiding der golven over hun fictieve ruimten de waarschijnlijkheid wordt bepaald voor de distributie der corpuscula in de gewone ruimte.

Het moet worden opgemerkt, dat andere physici er nog steeds de voorkeur aan geven om aan de golven een grootere realiteit toe te kennen, dan aan de deeltjes, en dat B o h r een complementariteits-theorie heeft ontwikkeld waarin de beide voorstellingen zich ongeveer verhouden als de keerzijden van een medaille. Maar gemeenschappelijk aan al deze beschouwingen is, dat het verband tusschen beide voorstellingen, niet gelegd kan worden zonder van het waarschijnlijkheidsbegrip gebruik te maken.

Op welke wijze nu deze waarschijnlijkheidsbeschouwingen kunnen worden toegepast op de verschijnselen der radioactiviteit, kan uitteraard hier niet uitvoerig worden nagegaan.

Ik wil slechts trachten U te laten zien hoe twee, volgens de klassieke theorie tegenstrijdige, resultaten door de nieuwe theorie met elkaar in overeenstemming konden worden gebracht. Daartoe moet ik U herinneren aan de reeds eerder genoemde proeven van Rutherford, over de afwijkingen, die α-deeltjes in materie ondervinden, waaruit het electrische veld der atoomkernen kon worden berekend. Gesteld nu, dat we op deze wijze van de atoomkern van een α-stralende radioactieve stof, b.v. de Uraankern, dit veld hebben bepaald, dan is het mogelijk iets te zeggen omtrent de minimale snelheid, waarmede een α-deeltje uit dit atoom kan treden. Want deze snelheid moet toch minstens zoo groot zijn, dat de kinetische energie van het α-deeltje buiten het atoom gelijk is aan de potentieele energie, die het deeltje heeft als het juist buiten de kern getreden is, dus op het oogenblik, dat de afstootende kracht van de kern erop begint te werken. Grooter kan de snelheid wel zijn, want dit zou slechts beteekenen, dat het deeltje op het genoemde oogenblik reeds een zekere kinetische energie bezit, kleiner is ze echter in geen geval, want als dat wel zoo was zou men aan het deeltje op het oogenblik van het verlaten der kern een negatieve kinetische energie, dus een imaginaire snelheid moeten toeschrijven. Dat beteekent echter, dat zoo'n α-deeltje als het binnen de kern is, niet voldoende energie heeft om de krachten die de α-deeltjes in de kern houden, te overwinnen, en daarom altijd binnen de kern moet blijven.

Nu is het Rutherford werkelijk gelukt het electrische veld van de Uraankern te bepalen, en daaruit af te leiden dat een α-deeltje dat uit de Uraankern treedt, een snelheid moet verkrijgen, die minstens gelijk is aan rond 17000 km/sec. In werkelijkheid bezitten de α-deeltjes van Uraan echter een geringere snelheid, n.l. slechts rond 14000 km/sec. Deze beide resultaten staan dus direct met elkaar in tegenspraak.

Om nu ruw te schetsen, hoe de golfmechanica deze tegenstrijdigheid oplost, zou ik gebruik willen maken van het volgende model.

Aan de α-deeltjes binnen de kern mogen beantwoorden een aantal knikkers binnen een hollen schotel. Hebben deze knikkers een

zekere snelheid, dan zullen zij in den schotel heen en weer rollen, telkens tegen den rand een weinig opstijgend. Voor een bepaalde waarde van den snelheid wordt juist de bovenkant van den rand bereikt. Alle knikkers met grootere snelheid rollen over den rand heen en komen buiten den schotel terecht. Alle knikkers met kleinere snelheid moeten echter steeds binnen den schotel blijven. Dit is zoo volgens de oude mechanica. In de nieuwe mechanica moet men echter zeggen: voor alle knikkers bestaat een zekere waarschijnlijkheid om over den rand heen te komen. Voor een knikker met kleine snelheid is deze gering, en wel des te geringer naarmate de rand hooger is, maar geheel nul wordt ze nooit. Dat wil dus zeggen, dat ook de langzaamste knikker nog wel eens het geluk heeft over den rand heen te komen. Op de kern overgebracht beteekent dit, dat α-deeltjes ook dan de kern kunnen verlaten, wanneer hun kinetische energie kleiner is dan de potentieele energie der krachten, die het α-deeltje binnen de kern trachten te houden. Maar dit zijn juist die α-deeltjes, waarvan zoo even sprake was, en waaraan op het oogenblik van het verlaten van de kern een negatieve kinetische energie moet worden toegeschreven. Van deze α-deeltjes zal de energie, die zij buiten de kern bezitten ook kleiner moeten zijn, dan de potentieele energie in het veld dat de kern omgeeft. Het optreden van de negatieve energie bij het verlaten van kern bewijst nu alleen de ontoereikendheid van de deeltjesvoorstelling; in de formules voor de waarschijnlijkheidsgolven heeft een dergelijke negatieve energie een zeer reëele beteekenis.

De tegenstrijdigheid der beide resultaten van Rutherford is daarom volgens de nieuwe theorie niet aanwezig.

Een zeer belangrijk resultaat van de door Gamow het eerst ontwikkelde toepassing der golfmechanica op de α-straaluitzending, is voorts, dat aan de reeds lang bekende experimenteele wet, die het verband tusschen de levensduur der radioactieve elementen en de snelheid der uitgezonden α-deeltjes uitdrukt, een theoretische grondslag kon worden gegeven.

De theoretische behandeling van de β-straaluitzending door Kudar tracht o.a. het feit te verklaren, dat de β-deeltjes, in tegenstelling met de α-deeltjes, de kernen niet alle met dezelfde snelheid verlaten.

Intusschen is het voorshands nog zeer moeilijk in te zien, hoe dit feit, dat door Ellis en Wooster en door Meitner

en Orthmann experimenteel werd vastgesteld, met de geldigheid van de wet van het behoud van arbeidsvermogen in de kern, is te vereenigen.

Het is mijn bedoeling geweest U aan te toonen, hoezeer de radioactieve onderzoekingen van belang zijn geweest voor de ontwikkeling der moderne atoomtheorie, en omgekeerd, hoe de ontplooiïng daarvan door onderzoekingen op ander gebied, de interpretatie der radioactieve verschijnselen in hooge mate heeft bevorderd, en ten slotte hoe de jongste uitkomsten der atoomphysica voor de ontwikkeling van het radioactief onderzoek nieuwe perspectieven openen.

Het is mijn vurige wensch, dat het, naar wij hopen, binnen niet te langen tijd te openen, natuurkundig laboratorium der Vrije Universiteit in deze ontwikkeling bewust zal kunnen medeleven en, zoo mogelijk, daartoe naar de mate van zijn capaciteit zal kunnen bijdragen.

Het zij mij vergund mijn voordracht te besluiten met een enkele opmerking betreffende de consequenties die uit de omwenteling in het physisch denken, de overgang van de deterministische tot de probabilistische opvatting der natuur, kunnen voortvloeien voor een algemeene beschouwing van wereld en leven. Reeds van zeer verschillende zijden is de beteekenis van deze omwenteling aan een wijsgeerig onderzoek onderworpen, en, het wil mij voorkomen, dat in het bijzonder het calvinistisch wijsgeerig denken aan deze fundamenteele wijziging van het physisch inzicht, niet zonder meer mag voorbijgaan. Het ligt buiten mijn vakwetenschappelijke competentie mij aan een philosophische waardeering te wagen. Wanneer ik mij niettemin een enkele opmerking veroorloof, dan zij deze daarom ook slechts beschouwd als een, onder het noodige voorbehoud, gegeven aanduiding van mogelijkheden die door den huidigen stand van het physisch denken worden geboden.

De vroegere, deterministische opvatting der physica leidde tot de groote vraag, hoe de vrijheid en de verantwoordelijkheid van den mensch, die naar religieus inzicht moest worden gehandhaafd, met de causaliteit der natuur in overeenstemming kon worden gebracht. Want al was ook de overbrenging van de idee der starre wetmatigheid van het terrein van het physische op het gebied van het

biotische en nog meer naar dat van het psychische een extrapolatie, die wetenschappelijke zekerheid miste, toch moest worden toegegeven, dat zoowel de levens- als de bewustzijnsverschijnselen zoodanig met de physische vervlochten zijn, dat het moeilijk is het principe der vrijheid voor de beide eerste te handhaven, indien dit voor de laatste volkomen ontbreekt. Indien echter reeds op het terrein van het physische, dus der doode stof, niet de onverbreekbare wetmatigheid kan worden gevonden, maar slechts de aan waarschijnlijkheidsregels gebonden vrijheid, of zoo ge wilt de „individualiteit", dan komt ook dit probleem geheel anders te staan.

Want dan verkrijgt in een groep van verschijnselen, waaraan in Gods scheppingsordinantie een hoogere orde moet worden toegekend, het nieuwe principe dat deze hoogere orde bepaalt ook voldoende vrijheid om zich te ontplooien.

Dan kan in de physische wereld zich het leven ontwikkelen zonder ook maar ergens een physische wet te kwetsen, maar ook zonder volkomen aan die wetten te zijn onderworpen, zich integendeel opnieuw richtend naar de aan dit leven zelf immanente wetmatigheid. En zoo kan ook, weer boven de levensverschijnselen uit, de psychische wereld zich ontplooien, de wetmatigheid der physische en der biotische verschijnselen in zich absorbeerend, zonder daardoor de vrijheid te verliezen zich te voegen naar de door God in zijn wezen gelegde normen.

Zoo biedt zich dus de mogelijkheid, om ook ten aanzien van haar wetmatigheid de schepping te zien als een organisme, waarin geen deel heerschappij voert over het geheel, maar waarin de vrijheid van het lagere zich gebonden geeft in de normen van het hoogere. Maar terwijl zoo eenerzijds de moderne physica tegemoet schijnt te komen aan de theïstische beschouwing van natuur en wereld, toch bestaat anderzijds ook nu, evenals in vorige perioden der natuurwetenschap, het gevaar voor een interpretatie in tegenovergestelden zin.

Wanneer toch de physica ons leert, dat een beschrijving van de regelmaat der natuurverschijnselen met behulp van waarschijnlijkheidswetten het uiterste is, wat wij kunnen bereiken, en dat wij daarom „het toeval" moeten zien als de wortel van alle gebeuren, dan is het gevaar niet denkbeeldig, dat een atheïstische, fatalistische wereldbeschouwing deze resultaten ten haren nutte zou willen aanwenden. Maar voor den geloovigen natuuronderzoeker staat

daartegenover vast dat „geen ding geschiedt bij geval" en dat Gods Voorzienigheid alle ding, ook het physische, van oogenblik tot oogenblik onderhoudt en bestuurt. Dat de normen van dit bestuur, door ons niet in den vorm van volkomen streng geldende wetten kunnen worden geformuleerd, is met deze gedachte niet in strijd, integendeel zelfs. Wanneer wij een grens gesteld zien aan de nauwkeurigheid van ons wetenschappelijk kennen en daarom gedwongen zijn de onbepaaldheid ten grondslag te leggen aan onze wetenschappelijke beschrijving, dan stelt het geloof de zekerheid, dat Gods vrije wil, deze onbepaaldheid opheft tot de bepaaldheid van zijn voorzienig bestel.

Deze enkele opmerking moge er toe dienen U te doen zien, dat de ontwikkeling der moderne physica een beschouwing van calvinistisch wijsgeerig standpunt ten volle waard is.

Mijne Heeren Curatoren, Het is U bekend, dat ik slechts na ernstige aarzeling er toe heb kunnen besluiten de eervolle positie, waarvoor Gij bereid waart mij voor te dragen, te aanvaarden. Tegenover de verantwoordelijkheid aan deze positie verbonden, achtte ik mijn ervaring in een te ongunstige verhouding te staan. Dat ik tenslotte toch het door U gewenschte besluit heb kunnen nemen, is mede gevolg van het groote vertrouwen dat Gij in mij hebt willen stellen en waarvoor ik U zeer dankbaar blijf, meer echter nog van de wetenschap, dat ik deze taak niet aanvaard in eigen kracht, maar in biddend opzien tot Hem, uit Wien alle kracht is.

Mijne Heeren Directeuren der Vereeniging voor Hooger Onderwijs op Gereformeerden grondslag, Wanneer ik denk aan de vele problemen, die zich voordoen bij de installatie van een nieuwe Wis- en Natuurkundige faculteit, dan is het mij een rustgevende gedachte, dat Gij volkomen bereid zijt de hoogleeraren bij de oplossing dier moeilijkheden Uw volle medewerking te verleenen. Voor hetgeen ik reeds in dit opzicht van U heb ondervonden, zoowel als voor de welwillende wijze, waarop Gij mij persoonlijk zijt tegemoet gekomen, wil ik U ook van deze plaats hartelijk danken.

Mijne Heeren Professoren, Het is mij een schier te groote eere in Uw kring te worden opgenomen, in Uw midden en in samenwerking met U te mogen arbeiden aan het hooge doel onzer Universiteit.

De vriendelijkheid die ik vanaf het oogenblik mijner benoeming reeds van U heb mogen ondervinden, geeft mij het vertrouwen, dat ik ook in de toekomst op Uw tegemoetkomende houding zal mogen rekenen.

Waarde Coops, In zeer nauwe samenwerking met U, zal ik mijn taak moeten verrichten. Na de wijze waarop wij elkaar hebben leeren kennen, in de maanden die sinds mijn benoeming zijn verloopen, ben ik er van verzekerd, dat deze samenwerking steeds een zeer aangename zal zijn, gedragen als ze is door ons beider besef van de verantwoordelijkheid, die op ons rust.

Hooggeachte De Haas, In den tijd van beslissen over de mij aangeboden positie is Uw welwillendheid voor mij een zeer groote steun geweest. De gedachte, aan het nieuwe laboratorium de bestemming te geven, die ik zooeven heb aangeduid, werd door U geopperd tijdens het onderhoud, dat ik hierover met U had. Dat ik mij ook in het vervolg van Uw voorlichting raad en steun verzekerd weet, is voor mij van zeer veel beteekenis.

Hooggeachte Holst, Moeilijk zou ik naar waarde kunnen schatten de jaren gedurende welke ik, eerst als Uw assistent, later als Uw medewerker, onder Uw bezielende leiding op het voortreffelijke Eindhovensche laboratorium heb mogen werken. Als allen, wien dit voorrecht te beurt viel, voeg ook ik bij de bewondering voor den rijkdom van Uw geest, die U als wetenschappelijk leider kenmerkt, de hoogachting voor Uw nobel gemoed, dat U tot vriend en raadsman maakt, voor wie in Uw omgeving werkzaam is. Ik houd er mij van overtuigd, dat ik op deze beide zijden van Uw persoonlijkheid nog meer dan eens een beroep zal mogen doen.

Waarde vrienden en oud-collega's uit het Leidsche en het Eindhovensche Laboratorium, Ten volle ben ik mij er van bewust, dat verschil van levensovertuiging U de taak, die ik heb aanvaard ook verschillend zal doen waardeeren. Des te meer heb ik mij er over verheugd, dat mijn benoeming in onze persoonlijke verstandhouding geen wijziging bracht. Met diepe erkentelijkheid gedenk ik de vriendschap en sympathie, die ik in Uw midden heb ondervonden.

Y-1554-W

Dames en Heeren Studenten, Slechts weinigen zullen er nog onder U zijn, die ik tot de alumni der jeugdige faculteit mag rekenen. Maar indien, en ik mag dit veronderstellen, Uw Alma Mater U lief is, dan verheugt Gij allen U in het feit, dat met de oprichting der Wis- en Natuurkundige faculteit een belangrijke stap in de richting van de voltooiïng der Vrije Universiteit is gedaan. Moge de vreugde hierover U nieuwe bezieling schenken bij Uw studie, die, in welke faculteit zij ook geschiede, er op gericht zij Gods Wijsheid te herkennen op het terrein der natuur, van het leven en van den geest. Ik heb gezegd.

BIBLIOTHEEK VRIJE UNIVERSITEIT
3 0000 00173 5996