
OVER DEN AARD EN DE ELECTRISCHE
LADING DER α DEELTJES VAN RADIO-
ACTIEVE STOFFEN.

(E. RUTHERFORD. Nature 79, p. 12. Nov. 1908.)

Radioactieve stoffen zenden uit α -, β - en γ -stralen. Aanvankelijk werd aan de α -stralen minder aandacht gewijd, omdat zij reeds door dunne lagen stof geabsorbeerd werden, en zoo schenen zij minder belangrijk dan de β -stralen. Sedert 1903 is door de onderzoekingen van RUTHERFORD in de zienswijze hieromtrent verandering gekomen. Toen bleek, dat de α -deeltjes stofatomen zijn, die door de radioactieve stof met een snelheid van omstreeks 16000 kilometers per secunde ¹⁾ worden weggeslingerd. Dat het aantal α -deeltjes, die per secunde door een spoor van radium worden uitgezonden, heel groot is, kan men zien aan het groot aantal lichtflikkeringen op een scherm van zinksulfide in den spinthariscoop. Het uitzenden van α -deeltjes wordt beschouwd als een teeken van een atomische ontploffing, waarbij een deel van het atoom, het α -deeltje, met groote snelheid wordt weggeslingerd. In de meeste gevallen gaat het uitdrijven van een α -deeltje bij de bekende actieve stoffen gepaard met de omzetting van een stof in een andere, terwijl het verlies van een α -deeltje een afname van het atoomgewicht ten gevolge heeft.

Uit de onderzoekingen van BRAGG en KLEEMAN en van anderen omtrent de absorptie van α -deeltjes, die door verschillende stoffen worden uitgezonden, is gebleken, dat zij, die uit een zelfde stof gekomen zijn, gelijke snelheid bezitten, maar dat de beginsnelheid bin-

¹⁾ RUTHERFORD geeft op een snelheid van 10 000 mijlen.

nen betrekkelijk enge grenzen verandert voor verschillende soorten van stof. Het α deeltje heeft een groot arbeidsvermogen van beweging en daardoor is het in staat op zijn weg door de stof een groot aantal moleculen te dissocieëren of te ioniseeren.

Belangrijke vragen ontstonden, toen men had waargenomen dat de massa van een α deeltje vergelijkbaar was met dat van een waterstofatoom. In de eerste plaats of de α deeltjes, van verschillende radioactieve stoffen afkomstig, gelijke constitutie hebben, en of het atomen van een bekend element of van een nieuw element zijn. Om deze vraag op te lossen werd de snelheid v en de verhouding van de lading tot de massa $\frac{E}{M}$ der α deeltjes, afkomstig van verschillende radioactieve stoffen, bepaald. Men kan dit doen door meting van de afwijking, die een bundel α stralen ondergaat bij den gang door een sterk magnetisch en een electrisch veld. Deze proeven zijn lastig door de geringe afwijking, die de α stralen krijgen. Zij zijn verricht door RUTHERFORD, DÉS COUDRES, MACKENZIE en HUFF. RUTHERFORD bepaalde v en $\frac{E}{M}$ voor α stralen afkomstig van radium en actinium, terwijl RUTHERFORD en HAHN zulke metingen deden voor eenige producten van thorium.

Door deze onderzoekingen bleek, dat de snelheid der α deeltjes, afkomstig van verschillende stoffen, afwisselde tusschen omstreeks 22 000 en 16 000 kilometers per seconde, maar de waarde van $\frac{E}{M}$ was voor alle dezelfde. Hieruit volgt, dat radium, thorium en actinium α deeltjes uitzenden van dezelfde massa en dezelfde constitutie, en dat alle radioactieve stoffen een gemeenschappelijk ontledingsproduct hebben. Voor $\frac{E}{M}$ vond RUTHERFORD 5070 electromagnetische eenheden. Door de electrolyse van water weet men, dat de overeenkomstige waarde $\frac{e}{m}$ voor het waterstofion 9600, dus ongeveer twee maal zoo veel bedraagt. Men meent, dat de lading e van een waterstofatoom de fundamenteele eenheid van electrische lading is, zoodat de lading van eenig lichaam een geheel veelvoud van e moet zijn. Veronderstelt men, dat de lading van een α deeltje even groot is als die van een waterstofatoom, dan zou de massa van het α deeltje in een rond getal twee maal zoo groot zijn als die van een waterstofatoom, dus gelijk aan die van de waterstofmolecule.

Veronderstelt men echter, dat $E = 2e$, dat derhalve het α deeltje twee ladingen e heeft, dan zou de massa omstreeks vier zijn. Nu is

het atoomgewicht van helium 3.96, zoodat dan een α deeltje één atoom helium kon zijn, dat twee eenheden van lading bezit. Hieromtrent kan men langs indirecten weg eenige aanwijzing krijgen. Het is toch gebleken, uit onderzoekingen van RAMSAY en SODDY en anderen, dat radium helium voortbrengt. DEBIERNE toonde, dat actinium het ook doet. Tenzij helium ontstaat uit de opeenhoping van α deeltjes, is het moeilijk te begrijpen hoe hier helium zou gevormd worden. Bovendien heeft RUTHERFORD getoond, dat het α deeltje het enig bekende ontledingsproduct is van radium en actinium, die beide helium geven. Om deze en andere redenen stelde RUTHERFORD in 1905 de hypothese, dat het α deeltje een atoom helium was met een elektrische lading van twee eenheden. Het is erg moeilijk de juistheid of de onjuistheid dezer hypothese proefondervindelijk uit te maken, hoewel de oplossing dezer vraag in den laatsten tijd het belangrijkste probleem op het gebied der radioactiviteit was.

Onlangs hebben RUTHERFORD en GEYER twee verhandelingen gepubliceerd in de »Proceedings Royal Society«. De eene was getiteld: »Een elektrische methode voor het tellen van α deeltjes van radioactieve stof« en de andere »De lading en de aard van het α deeltje«. In het eerste stuk werd een methode beschreven om een enkel α deeltje te ontdekken en het aantal α deeltjes, dat door een gram radium werd uitgezonden. De methode kan hier niet volledig uitgelegd worden. De α deeltjes kwamen door een nauwe opening in een vat, dat een gas bij geringe drukking bevat en blootgesteld was aan een electrisch veld zoo sterk, dat het zich bijna door een vonk kon ontladen. Bij het binnendringen van een α deeltje in het vat, toonde de naald van den electrometer een plotselinge afwijking. Het bleek zoo mogelijk het binnendringen van een enkel α deeltje te zien door een sterke afwijking van de naald. Hiermede werd het vrij worden van α deeltjes ontdekt van uranium, thorium, radium en actinium. Teneinde het aantal uitgedreven α deeltjes van een gram radium te bepalen, werd niet het radium zelf, maar zijn ontledingsproduct radium C als stralingsbron gebruikt.

Om een oppervlakte met een dun vliesje van radium C te bedekken werd zij enkele uren blootgesteld aan radiumemanatie. Het gebruik van radium C als bron van stralen had verschillende voordeelen, in het bijzonder met betrekking tot het gemak en de zekerheid der meting van het bedrag actieve stof, dat aanwezig was door middel van de γ stralen. Het aantal α deeltjes, dat door een opening van bekende doorsnede bij een bekenden afstand van de actieve bron ging, werd gedurende zekeren tijd geteld door de afwijkingen van de

electrometernaald op te tellen. Hieruit kon men afleiden het totale aantal α deeltjes, die per seconde door de bron werden uitgezonden. Op deze wijze werd gevonden dat $3,4 \times 10^{10}$ α deeltjes per seconde werden uitgezonden door het radium C, dat aanwezig is in één gram radium in evenwicht. Uit andere onderzoekingen is gebleken, dat radium zelf en eenige van zijn producten, n.l. de emanatie, radium A en radium C hetzelfde aantal α deeltjes per seconde uitzenden wanneer zij in evenwicht zijn. Bijgevolg worden in een gram radium in evenwicht door ieder van de producten $3,4 \times 10^{10}$ α deeltjes uitgezonden en zoo bedraagt het geheele aantal deeltjes $1,36 \times 10^{11}$ per seconde. Bij de meest waarschijnlijke veronderstelling, dat bij de ontleding van één atoom radium één α deeltje vrij komt, zoo worden $3,4 \times 10^{10}$ atomen radium ontleed per seconde en per gram.

Het was van belang het aantal flikkeringen te vergelijken, die men op een scherm van zinksulfide waarneemt met het aantal deeltjes, die het treffen. Binnen de grenzen van de waarnemingsfouten bleek het aantal flikkeringen gelijk te zijn aan het aantal botsende deeltjes geteld door de elektrische methode. Bijgevolg brengt elk botsend α deeltje een flikkering te voorschijn. Hieruit volgt, dat men door de flikkeringen evengoed als door de elektrische methode het aantal α deeltjes kan tellen, die door een radioactieve stof worden uitgezonden.

Behalve wegens het belang van deze uitkomsten voor radio-actieve feiten, zijn deze proefnemingen merkwaardig, omdat het de eerste keer is dat het mogelijk was een enkel stofatoom te ontdekken. Dit kan nu op twee wijzen geschieden: elektrisch of optisch.

De mogelijkheid een enkel stofatoom te ontdekken is te danken aan de groote bewegingsenergie van het α deeltje.

In het tweede stuk is een overzicht gegeven van proeven tot het meten der elektrische lading van α deeltjes. Nu men het aantal α deeltjes heeft kunnen tellen, zoo kan men de lading op ieder deeltje bepalen, als men de lading meet, die aanwezig is op de α deeltjes, die door een bekende hoeveelheid radium worden uitgezonden. Evenals bij het tellen werd ook hier radium C gebruikt.

Er werd gevonden, dat ieder α deeltje een positieve lading van $9,3 \times 10^{-10}$ electrostatische eenheden draagt. Nu is de lading van een ion in gassen bepaald door verschillende onderzoekers, door gebruik te maken van de welbekende methode, dat ieder ion tot kern gemaakt wordt van een zichtbaar waterdruppje bij plotselinge uitzetting. J. J. THOMSON kreeg een waarde $3,4 \times 10^{-10}$, H. A. WILSON $3,1 \times 10^{-10}$, en MILLIKAN en BEGEMAN $4,06 \times 10^{-10}$.

Het gemiddelde van deze drie bepalingen van e is $3,5 \times 10^{-10}$. De lading E op een α deeltje ligt dus tusschen 2 e en 3 e .

Enkele berekeningen van E en e zijn verder gemaakt uit radioactieve gegevens, die steunen op eenvoudige en zeer waarschijnlijke veronderstellingen. Neemt men de halve periode van transformatie van radium aan als 2000 jaren, welke waarde door Boltwood berekend is, en neemt men aan, dat elk atoom radium bij het uiteenvallen één α deeltje uitzendt, dan blijkt, dat de lading e van een waterstofatoom is $4,1 \times 10^{-10}$. Wanneer men aanneemt, dat het warmteëffect van radium een maat is van de kinetische energie der α deeltjes, dan vindt men voor de lading van een α deeltje $9,1 \times 10^{-10}$ welke waarde weinig verschilt van de boven gevondene. De methoden die gebruikt zijn voor het bepalen van e , zijn onderworpen aan onvermijdelijke waarnemingsfouten, die allen strekken om de gevonden waarden te klein te doen worden. Men oordeelt daarom, dat de eenheid van lading e niet veel verschilt van $\frac{E}{2}$ of $4,65 \times 10^{-10}$, en dat een α deeltje het dubbel van de eenheid van lading heeft. Zoo zou dan uit de waarde $\frac{E}{M}$ voor het α deeltje volgen, dat dit een atoom helium is met de lading 2 e , of met andere woorden, dat een α deeltje een heliumatoom wordt, als zijn lading geneutraliseerd is.

Met de hier verkregen uitkomsten kan men nog de grootte afleiden van sommige belangrijke atomistische grootheden. De waarde van $\frac{e}{m}$ voor het waterstofatoom is $2,88 \times 10^{14}$ electrostatische eenheden. Substitueert men voor e $4,65 \times 10^{-10}$, dan vindt men voor m , de massa van een waterstofatoom, $1,61 \times 10^{-24}$ gram. Hieruit volgt dat er $6,2 \times 10^{23}$ atomen gaan in één gram waterstof en dat er $2,72 \times 10^{19}$ moleculen zijn in 1cm^3 van een willekeurig gas bij 0°C en 76 cM. kwikdrukking.¹

Uit de hier verstrekte gegevens kan de grootte van eenige belangrijke radioactieve grootheden bepaald worden. In de eerste plaats de hoeveelheid helium door radium geleverd. Een gram radium in evenwicht bevat vier α -stralen-producenten, die ieder $3,4 \times 10^{10}$ α deeltjes geven, dus ook zooveel heliumatomen per seconde. Daar er $2,72 \times 10^{19}$ heliumatomen in één cubiek centimeter zijn, zoo is het volume van het per seconde voortgebrachte helium

$$\frac{4 \times 3,4 \times 10^{10}}{2,72 \times 10^{19}}$$

¹) Dit getal komt goed overeen met hetgeen men krijgt volgens de methode v. D. WAALS. Zie mijn artikel „Over de kleinste stofdeeltjes.” Van dit tijdschrift jaargang 1903 p. 59.

of 5×10^{-6} m.M.³ per seconde. Dit beantwoordt aan een productie van 0.43 m.M.³ helium per dag of 158 m.M.³ per jaar.

Op overeenkomstige wijze kan het maximum volume van de emanatie in een gram radium berekend worden. Daar één atoom radium bij het uiteenvallen één α deeltje uitzendt en één atoom emanatie doet ontstaan, zoo is het per seconde voortgebracht volume emanatie een vierde van het volume helium, of 1.25×10^{-6} m.M.³ per seconde. Aangezien de gemiddelde duur van emanatie 468000 seconden is, zoo is het maximum volume van de emanatie 0.585 m.M.³. Vóór korten tijd heeft RUTHERFORD (Phil. Mag. Augustus) het volume van de emanatie direct gemeten en kreeg een waarde, die niet veel verschilde van de berekende.

Zoo is het ook niet moeilijk den tijd noodig voor de omzetting van radium te berekenen en het warmteeffect van radium. Het eerste komt uit op 1750 jaar, iets korter dan 2000 jaar, dat BOLWOOD uit zijn proeven afleidde. Voor de berekening van het warmteeffect gaat men uit van de veronderstelling, dat het een maat is voor de kinetische energie van de uitgedreven α deeltjes. De berekening geeft 113 gram calorïen per uur, terwijl de waarneming gaf 110 gram calorïen per uur.

De uitkomsten, die in dit opstel verkregen zijn, worden samengevat in deze tabel:

Lading van één waterstofatoom = 4.65×10^{-10} electrostat. eenheden.

Lading van één α deeltje = 9.3×10^{-10} .

Massa van een waterstofatoom = 1.61×10^{-24} gram.

Aantal waterstofatomen per gram = 6.2×10^{23} .

Aantal moleculen in 1 c.M.³ gas } = 2.72×10^{19} .
bij 0° en normale drukking.

Aantal α deeltjes per sec. per } = 3.4×10^{10} .
gram radium uitgedreven.

Aantal atomen ontleed per } = 3.4×10^{10} .
sec. en per gram radium.

Berekend volume emanatie } = 0.585 m.M.³.
per gram radium.

Hoeveelheid helium per gram } = 158 m.M.³.
radium per jaar geleverd.

Warmteeffect per gram radium = 113 gramcal. per uur.

Berekende halve duur van radium = 1750 jaren

Voor korten tijd is door Dewar (Proc. Roy. Soc. September 1908) een proef gepubliceerd, waarbij door hem de hoeveelheid helium, door radium voortgebracht direct gemeten is. Hij vond 0.37 m.M.³

per dag, hetgeen weinig verschilt van de berekende waarde 0.43 m. M.^3 per dag.

Eenige belangrijke gevolgtrekkingen kan men maken uit de veronderstelling, dat het α deeltje een heliumatoom is. Men moet dan tot het besluit komen, dat de atomen der bekende radioactieve elementen, althans gedeeltelijk, bestaan uit heliumatomen, die vrij gemaakt worden bij bepaalde stadiën van de ontleding. Het blijkt dan dat de atoomgewichten der producten in veel gevallen kunnen afgeleid worden. Bij de ontleding van de uranium-radium reeks ontmoet men meerdere niet stralende producten en β stralen producten. Als men de niet onwaarschijnlijke hypothese stelt, dat de atomen een inwendige herstelling ondergaan, waarbij geen massa vergelijkbaar met het waterstofatoom wordt uitgestooten, dan kan men de atoomgewichten der opvolgende producten berekenen, als men dat van helium gelijk 4 stelt. Uit de bekende rangschikking van de α deeltjes van uranium en de ionisatie daarvan, vergeleken met het daarmee verbonden radium worden zonder twijfel door uranium twee α deeltjes uitgestooten tegen een door radium zelf. Of dit een bijzonderheid van het uranium is of bewerkt door een niet gescheiden product in uranium is niet uitgemaakt.

Neemt men voor atoomgewicht van uranium 238.5, dan worden die der verschillende producten als volgt: Uranium X 230.5, ionium 230.5, radium 226.5, emanatie 222.5, radium A 218.5, radium B 218.5, radium C 214.5, radium D, E en F (radio-lood) 210.5, radium G (polonium) 210.5. De berekende waarde van het atoomgewicht van radium stemt goed overeen met de nieuwste bepalingen. Het eindproduct van radium, na de transformatie van polonium, heeft een atoomgewicht 206.5, weinig verschillend van dat van lood (206.9). Vóór langen tijd veronderstelde BOLTWOOD, bij het bepalen van de hoeveelheid lood in oude radio-actieve mineralen, dat lood waarschijnlijk het eindproduct zou zijn van het ontledingsproces der uranium-radiumreeks:

G. J. W. BREMER.