

HET RADIUM.

DOOR

R. S. TJADEN MODDERMAN.

't Wordt tijd de lezers van dit tijdschrift iets nader met genoemd element bekend te maken, dat, naarmate het nauwkeuriger gekend wordt, des te meer de verbazing wekt van de natuurkundigen. Welk gewicht men aan de ontdekking hecht, kan o. a. hieruit blijken, dat men aan den heer en mevrouw CURIE, in gemeenschap met den heer BECQUEREL, laatstelijk den Nobelprijs heeft toegekend voor de gewichtigste ontdekking op natuurkundig gebied en dat de Fransche regeering voor eerstgenoemden onderzoeker een leerstoel ter beschikking heeft gesteld.¹

En geen wonder. Niet alleen toch dat het nieuwe element oude theorieën doet opleven, zooals de emissie-theorie van NEWTON en zelfs de transmutatie-leer der alchemisten, volgens welke uit één element een ander kan ontstaan, maar het schijnt ook de deelbaarheid der atomen te demonstreeren, een nieuwe bron van energie te openen en algeheele wijzigingen te brengen in onze opvattingen aangaande het wezen der materie.

Het radium wordt verkregen uit het uraanpekerts, ook pikblende genoemd. Die laatste naam is weinig passend, want het genoemde

¹) Volgens de dagbladen heeft men voor den heer CURIE in het instituut-Pasteur laboratorium-lokalen ingeruimd en zou hij op 18 Januari 1904 zijn lessen openen met een voordracht in de Sorbonne. Mevrouw SKŁODOWSKA CURIE, de trouwe medewerkster van haar man, is Docteur-ès-Sciences.

erts is niet een zwavel-, maar een zuurstof-verbinding, hoofdzakelijk van uraan. De hoeveelheid van dat laatste bedraagt zelden 80 0/0, terwijl het overige uit lood, bismuth, ijzer, magnesium, calcium, baryum, enz. bestaat, gebonden aan zuurstof, zwavel, selenium en arsenicum. Ook vanadium, titanium en kiezel heeft men er wel in aangetroffen, zoodat de samenstelling zeer gecompliceerd is. Niet in alle variëteiten van dit mineraal komt radium voor. Het meest nog — schoon ook dan slechts in geringe sporen — in het pikerts van Johannegeorgenstadt (Saksen), waarvan de mijnen evenwel zoo goed als uitgeput zijn, en vervolgens te Joachimsthal in Boheme. In ertsen, afkomstig van Cornwallis en Ontario, heeft men er vruchteloos naar gezocht.

Daar het uraanpekerts in chemische fabrieken gebruikt is om daaruit het uraan af te zonderen, hebben verscheidene daarvan nog afval in haar bezit, dat thans eensklaps waarde verkregen heeft wegens het daarin voorhanden radium.

Behalve 't genoemde erts, zijn er nog eenige zeldzame mineralen die uraan bevatten, zoo b.v. chalcolith of uraanmica en een enkele maal heeft men ook daarin radium aangetoond.

Tot dusverre is dus radium steeds in gezelschap van uraan aangetroffen,¹ doch komt omgekeerd dit laatste wel voor zonder radium. Wegens de groote overeenkomst in chemisch gedrag van radium met baryum, heeft CROOKES de in de natuur voorkomende ertsen van dit laatste (zwaarspaath, enz.) onderzocht, maar ze radiumvrij bevonden.

Men zou hoogstwaarschijnlijk het radium nooit ontdekt hebben, ware er niet een bijzondere aanleiding geweest om uraanpekerts op nog onbekende elementen te onderzoeken.

Die aanleiding was de in 1896 door HENRI BECQUEREL ontdekte onzichtbare stralen, die van uraan en diens verbindingen uitgaan, glas, metalen en vele andere stoffen doordringen en hun bestaan openbaren door werking op een gevoelige fotografische plaat en door hunne eigenschap om geëlektriseerde stoffen in de omgeving te ontladen.²

¹ Tenzij dat de warme bronnen van Bath en Buxton in Engeland hierop een uitzondering mochten maken, waaruit men radioactief gas verkreeg en waarin men 't voorkomen van een spoor radium vermoedt.

² Zie dit Tijdschrift, jaarg. 1901, bldz. 87. De heer BECQUEREL heeft op het te Rotterdam in 1901 gehouden 8ste Nederl. Nat. en Geneesk. Congres van zijn ontdekking verslag gedaan, dat afgedrukt is in de *Handelingen*, bladz. 28—35.

De eigenschap om dergelijke stralen uit te zenden, die hierin van die van het licht verschillen dat zij niet worden teruggekaatst, noch gebroken of gepolariseerd, noemt men radioactiviteit en de sterkte waarmee radioactieve stoffen dit doen wordt gemeten door de snelheid der elektrische ontlading, waarbij het metaal uraan als eenheid wordt aangenomen.

Nadat in 1898 G. C. SCHMIDT en mevrouw CURIE bevonden hadden, dat, behalve uraan, ook thorium radioactief was, werden door de laatstgenoemde en haren echtgenoot een groot aantal mineralen op die eigenschap onderzocht.

Zij bevonden nu, dat in 't algemeen die mineralen radioactief waren, waarin uraan of thorium voorkwam, voorts dat sommige daarvan actiever waren dan deze elementen in vrijen staat. Dit leidde tot het vermoeden, dat daarin wellicht eenig ander element kon schuilen van groote werkzaamheid.

Om dit uit te maken werd het uraanpekerts ($3\frac{1}{2}$ maal actiever dan uraan) chemisch geanalyseerd en de hierbij verkregene fracties telkens op haar ontladend vermogen onderzocht. De elektroscop deed hierbij dus dezelfde diensten, als in andere gevallen het spectroscop den scheikundige bewijst.

Zij vonden nu allereerst dat één werkzaam deel zich chemisch als bismuth gedroeg. Datgene derhalve wat door zwavelwaterstof uit de zure oplossing werd neêrgeslagen, in salpeterzuur weer oploste en door verdunnen met water weer neêrviel. Het lukte door sublimatie bij 700° in 't luchtledig uit het sulfide, onder achterlating van veel zwavelbismuth, iets te verkrijgen, dat 400 maal het uraan in werkzaamheid overtrof. Zij namen daarin het voorkomen van een nieuw element aan en noemden het alvast, naar 't vaderland van mevrouw CURIE, *polonium*. Toch is het niet gelukt door spectraalanalyse strepen te vinden, die op een nog onbekend element wijzen en is het bestaan van het polonium tot op heden twijfelachtig gebleven.¹

Het neerslag door ammonia en zwavelammonium teweeggebracht, dat de CURIE's volgens den gang der analyse moeten verkregen hebben, schijnt hun bijzondere aandacht niet getrokken te hebben. Doch wel

¹ Vooral MARCKWALD heeft zich veel moeite gegeven het goed recht van het polonium te bewijzen, doch is ten slotte tot een praeparat gekomen, dat niet gelijk dat van de CURIE's met bismuth, maar met tellurium chemisch zou overeenkomen en hij daarom „radio-telluur” noemt. Ook het voorkomen daarin van een nieuw element is zeer onzeker. Tegen MARCKWALD'S beweringen is vooral GIESEL krachtig opgekomen.

van DEBIERNE, die daarin, onder een groot aantal stoffen, ook iets vond dat, chemisch met thorium overeenkomend, radioactief was, wat hij aan een bijgemengd nieuw element (*actinium*) toeschreef. Toch is het bestaan daarvan, evenals van het polonium, onzeker.

Gelukkiger was het echtpaar met het filtraat van het zwavelammonium-neerslag. Zij vonden daarin baryt met al zijn bekende eigenschappen, doch vermeerderd met ééne: sterke radioactiviteit. Het zwavelzout was dus onoplosbaar, het koolzout ook, doch het laatste loste weer op in zoutzuur (chloorwaterstof). Op hun verzoek onderwierp DEMARÇAY de laatstgenoemde oplossing aan een spectraalanalytisch onderzoek. Gelijk te verwachten was gaf het zout de bekende baryumstrepen, doch tevens zag hij nieuwe lijnen: één duidelijk in het ultraviolet, de andere zwakker, aan geen bekend element toekomend.

De heer en mevrouw CURIE waren dus een nieuw element op het spoor, dat zij naar het stralend vermogen *radium* noemden.

Tot verder onderzoek werd nu 2 kilo chloorbaryum — uit 500 kilo pikerts afgezonderd — aan een gefractioneerde kristallisatie onderworpen. Wat het eerst uit de oplossing aanschoot, het minst oplosbare dus, was het meest actief. Door bij de waterige oplossing weinig alcohol te voegen (veel zou alles neerslaan) werd een nog actiever zout afgezonderd. Naarmate de activiteit toenam, d. i. de snelheid waarmee een elektroscop ontladen werd, steeg ook het door mevrouw CURIE herhaaldelijk bepaalde atoomgewicht¹ en nam tevens de duidelijkheid der nieuwe spectraal-lijnen toe. Terwijl het atoomgewicht van het baryum 137.4 is, steeg dit cijfer ten slotte in een zeer zorgvuldig gezuiverd praeparaat, waarin de spectraal-lijnen van het baryum zwak waren geworden, tot 225.

De bevinding van de CURIE's is door anderen bevestigd. Vooral door GIESEL te Brunswijk, die, naar 't schijnt onafhankelijk van het Parijsche echtpaar, uit de uraanresten van de fabriek *De Haën* te Hannover een baryumzout afzonderde, dat actief was. Hij bereidde de chloor-, broom- en joodverbinding en vond eveneens, dat wat uit de oplossingen het eerst uitkristalliseerde, het meest actief was. Voor de scheiding van radium- en barytzout vond hij de broomverbindingen het geschiktst, daar hier 't verschil in oplosbaarheid het grootst is.

¹ Dit werd afgeleid uit 't gewicht van het chloorzilver, afgezet uit de oplossing van 't chloormetaal door bijvoeging van salpeterzuur-zilver.

Wat het spectraal-onderzoek van 't radium betreft, hebben MARSHALL WATTS en RUNGE en PRECHT de bevinding van DEMARÇAY bevestigd gevonden. Zij wijzen er op dat het nieuwe element krachtens zijne spectraal-lijnen in de groep van Ca, Sr, Ba behoort en berekenen, volgens verschillende methoden, uit de plaats der strepen het atoomgewicht. WATTS vindt daarvoor 224.89 (dus nagenoeg de waarde van CURIE), RUNGE en PRECHT daarentegen becijferen 258. In hoeverre die berekeningsmethoden vertrouwen verdienen, is voor een niet ingewijde moeilijk te beoordeelen: dit is zeker, dat de deskundigen, ouder gewoonte, het niet eens zijn en elk hun eigen manier hebben.

Rechtvaardigt het bovenstaande het aannemen van een afzonderlijk element? Mij dunkt van ja. Het is waar dat het niet geïsoleerd is en dat men er alleen eenige weinige zouten van kent, die — op een enkele uitzondering na — alleen bestudeerd zijn in onzuiveren staat, met name vermengd met barytzout. Doch het geconstateerde hoog atoomgewicht en de spectraal-lijnen, verschillend van die van alle bekende elementen, laten weinig ruimte voor twijfel. Het is waar, dat het gedrag tegenover reagentia geheel dat van baryum is, met alleen die kleine verschillen, voortvloeiende uit de iets geringere oplosbaarheid der radiumzouten. ¹ Toch treft men 't zelfde aan bij elementen uit de zeldzame aarden, (cerium, lanthanum, enz.) die ook veelal slechts te scheiden zijn door gefractioneerd kristalliseeren en neerslaan. Ook voor rubidium en caesium is men op deze methode aangewezen ter afscheiding van de overeenkomstige kaliumzouten.

Een tijd lang is overigens het bestaan van radium zoo wel betwijfeld, als dat nog heden met polonium en actinium geschiedt. Trouwens was dat, toen mevrouw CURIE voor 't metaal uit een nog zeer slecht gezuiverd baryum-radiumzout het atoomgewicht nog slechts 8 eenheden hooger gevonden had, dan van zuiver baryum. BÉLA VON LENGYEL meende zelfs door kunst aan baryum de eigenschappen van het vermeende radium gegeven te hebben. Daartoe mengde hij onder uranyl-

¹ Onlangs heeft MARCKWALD een scheiding van radium en baryum beproefd, door bij de chloorverbindingen $\frac{1}{6}$ van 't gewicht natriumamalga te voegen. Slechts een deel van het radiumbaryum kon hierdoor aan kwik gebonden worden en bleek nu door 't verder onderzoek dat het radium betrekkelijk vóórging. Men zal dus de twee vermoedelijk ook kunnen scheiden door gefractioneerde behandeling met natriumamalga.

nitraat ¹ 2—3 pct. salpeterzuurbaryt, smolt en gloeide, loste weer op in salpeterzuur, verdunde met water en sloeg dan het baryt neer met zwavelzuur. Uit het aldus verkregen zwavelzuurbaryt bereidde hij weer chloorbaryum en koolzuurbaryt, die werkelijk radioactief waren. Hierbij was evenwel een voornaam punt vergeten: v. LENGYEL had niet onderzocht of zijn uranyl nitraat, waarvan hij een groote overmate bezigde ten opzichte van het barytzout, niet radioactief was. En nu is het uranyl nitraat van den handel dit wel, schoon niet altijd in dezelfde mate, zoodat CROOKES, omstreeks dienzelfden tijd, op het vermoeden kwam, dat men aan gezegd praeparaat de actieve stof moest kunnen ontnemen, wat hem grootendeels ook gelukte door bij de oplossing koolzure ammonia te voegen, waardoor een geelbruin, zeer sterk actief neerslag ontstond. Mitsdien schrijft CROOKES de radioactiviteit van uraan aan een bijmengsel toe, door hem UrX genoemd.

De proef van v. LENGYEL werd herhaald door GIESEL, die ook een actief baryumsulfaat verkreeg. Tengevolge van een opmerking van DEBIERNE, die bijmenging van actinium vermoedde, bereidde hij uit zijn baryumsulfaat een oplosbaar barytzout en voegde daarbij ammonia, die een gering geel neerslag gaf dat zeer actief was, terwijl daarna het als baryumcarbonaat neergeslagen barytzout zijn werkzaamheid verloren had.

Het radiumhoudend barytzout van de CURIE'S daarentegen laat zich door ammonia de activiteit niet ontnemen, geeft daarmee geen neerslag. Voorts is het ook aan DEBIERNE gelukt, met behulp van zijn actiniumpreparaten, barytzouten actief te maken. Doch alle dergelijke nagemaakte radiums missen het karakteristieke spectrum van het echte en schijnen ook mettertijd hun activiteit te verliezen.

Die laatste bijzonderheid brengt mij tot een nog niet besproken waarneming, namelijk dat verscheidene stoffen, zoo b.v. vele metalen, in de nabijheid van een radiumzout tijdelijk radioactief worden. Deze zoogenoemde geïnduceerde radioactiviteit, 't eerst waargenomen door de CURIE'S, is door RUTHERFORD aan het thorium bestudeerd, dat ze eveneens kan mededeelen. Hij verklaart ze uit een *emanatie*, een uitvloeijing van stoffelijken aard, die, van radium- en thorium-paeparaaten uitgaande, terwijl deze zelf positief elektrisch worden, zich voorname-

¹ Het uraan vormt, behalve de urano- en urani-verbindingen, nog een bijzonder soort van zouten, waarin het bivalente radicaal UrO_2 (uranyl) de rol van een metaal vervult.

lijk fixeren zou op negatief elektrisch geladen lichamen. Glas zou deze emanatie niet kunnen doorgaan, wel papier, watten, ja zelfs dunne metalen platen. Als hier nu nog bijgevoegd wordt, dat die zoogenoemde geïnduceerde radioactiviteit, volgens waarnemingen van GIESEL aan bismuth, platina en palladium gedaan (hij liet snippers dezer metalen, een à twee dagen lang, in een oplossing van radiumbromiede liggen en reinigde ze daarna zorgvuldig) soms onbepaald lang kan duren — dan begrijpt men hoe gecompliceerd het verschijnsel der radioactiviteit is. Men kan er veel vragen over doen, doch weinige, althans met eenige zekerheid, beantwoorden. B.v. kunnen alle stoffen radioactief worden, zooals LEBON meent, doch weinig afdoende bewezen heeft? Of zijn er slechts eenige stoffen, die de dragers van deze eigenschap zijn en kunnen deze zich hoofdzakelijk hechten aan elementen met hoog atoomgewicht, zooals Ba, Bi, Ur, Pb, enz.? Of wel, kunnen zij deze stoffen voor korteren of langeren tijd inducereen? Op dergelijke vragen is een eenigszins beslissend antwoord moeilijk en bepaal ik mij tot de opmerking, dat door verschillende onderzoekers, als dragers der radioactiviteit, eenige stoffen zijn aangewezen. Radium, polonium, Ur X, Th X en actinium (de laatste twee misschien identisch, e.a. polonium met radiotelluur) zijn daarvan de voornaamste.

Doch het bestaan daarvan is tot dusverre niet afdoende bewezen, met uitzondering alleen van het radium en hierbij zal ik mij in 't volgende, zooveel mogelijk, uitsluitend bepalen.

Van de chemische reacties is alles reeds gezegd, zoodat in 't volgende alleen sprake behoeft te zijn van die eigenschappen, waaraan 't element naam en vermaardheid dankt. Wordt in 't volgende kortheidshalve alleen van radium gesproken, dan is daaronder steeds een zout (niet 't ons onbekende vrije element) te verstaan en wel, zooals 't gewoonlijk voor de proeven dient, gemengd met het overeenkomstige barytzout.

Naar men denken kan, is de prijs daarvan nog zeer hoog. Rekent men toch dat 1 ton (1000 kilo) afval van het pikerts (na afscheiding van het uraan) ongeveer met 5 ton verschillende chemische stoffen moet behandeld worden en met 50 ton water en dat men dan daaruit aan zuiver radiumbromiede ongeveer 0,1 gram verkrijgt, dat op $\pm f$ 7000 te staan komt. Natuurlijk wordt het verhandeld in kleinere hoeveelheden en vermengd met barytzout. Sommige fabrieken geven niet eens den prijs op, doch beloven levering op billijke voorwaarden;

NEWTON te Londen bood onlangs 8 milligr. aan voor 42 Sh. (f 25.20) zonder opgave der zuiverheid. ¹

De BECQUEREL-stralen gaan zoowel van een oplossing als van het vaste zout uit: de eerste, geconcentreerd, gaat langzaam in activiteit achteruit, doch het daaruit kristalliseerend zout (de eerst aanschietsende kristallen zijn 't zuiverst) herneemt die langzaam, tot een na eenige dagen bereikt maximum. Dit staat in verband met de reeds bovenvermelde emanatie, waarover later meer uitvoerig.

Van de BECQUEREL-stralen, die duizend maal krachtiger van radium uitgaan dan van uraan, is reeds gezegd, dat zij de lucht geleidend maken en daardoor geëlektriseerde stoffen op een afstand ontladen. Ook dat zij fotochemisch werken, zoodat men er radiografieën mede verkrijgen kan. ² Doch ook nog in een ander opzicht vertoonen zij overeenkomst met de RÖNTGEN-stralen: ze kunnen fluorescentie opwekken. De gele kristallen van platinocyanbarium worden in het donker door radiumzout beschenen (zelfs door aluminiumblik heen), lichtgevend en na eenigen tijd onder verlies der fluorescentie bruin. Aan het daglicht wordt het platinazout, ten deele althans, weer geel en door de radiumstralen op nieuw lichtend. Evenals bij de RÖNTGEN-stralen, kan dus een platinocyanbaryumscherm dienst doen om de radiumstralen op hun weg te volgen. Met name dient dit voor de zoogenoemde β -stralen, terwijl een zinksulfidescherm gebezigd wordt voor de α -stralen, die daarop een eigenaardig flikkeren te weeg brengen, terwijl de β -stralen het zwavelzink gelijkmatig verlichten.

Men verdeelt namelijk de door radium geleverde stralen in: α , licht absorbeerbaar; β met grooter en γ met het grootste doordringingsvermogen. Bevindt zich b.v. het radiumzout in een glazen

¹ Hier zij nog aangestipt, dat de CURIE'S door de mildheid der Oostenrijksche regeering een ton pikblende van Joachimsthal ontvingen. Geholpen door de Fransche Academie van Wetenschappen, de „Société d'encouragement pour l'industrie nationale" en eenige onbekende gevers, kregen zij later nog eenige tonnen erts ter beschikking. Hieruit werden in een chemische fabriek („Société centrale de produits chimiques") te Parijs de ruwe barytzouten bereid, die de CURIE'S dan verder bewerkten.

² De radiumstralen kunnen evenwel de X-stralen, althans vooralsnog, niet vervangen voor de toepassingen om fotografieën van inwendige lichaamsdeelen te verkrijgen. Door de sterke verstrooiing, die zij bij het doordringen ondergaan, worden de beelden onscherp en de diepste deelen (b.v. beenderen) onzichtbaar door de niet verlangde medewerking van de gediffundeerde stralen. BECQUEREL sielt zich de toedracht aldus voor, dat de radiumstralen secundaire stralingen opwekken, uitgaande van de stoffen die zij doordringen en dat deze mede op de gevoelige plaat werken.

buis, dan worden de α -stralen reeds tegengehouden door den glaswand en stelt men nu nog een looden plaat van 6 mM. dikte op, dan worden ook de β -stralen tegengehouden en gaan de nog weinig afzonderlijk onderzochte γ -stralen alleen door. Is er overeenkomst tusschen X- en BECQUEREL-stralen, (daar beiden fotochemisch en ont-ladend werken en voorts fluorescentie opwekken) zoo geldt dit toch het meest voor de γ -stralen, want de min doordringende worden door een andere eigenschap veeleer bij de kathode-stralen geplaatst, die ook op een gevoelige plaat werken. Zij worden namelijk onder den invloed van een sterken magneet in het zoogenoemd magnetisch veld van hun weg afgeleid, kromme banen volgend. Aanvankelijk meende men dat dit alleen voor de β -stralen gold, doch in den aanvang van 't vorig jaar deelde RUTHERFORD mee, dat hem ook de afleiding van de α -stralen gelukt was in een zeer sterk magnetisch veld. Het radiumpraeparaat dat voor deze proef diende was van hooge activiteit. BECQUEREL heeft kort daarna dit bevestigd gevonden. De afwijking is evenwel veel geringer dan die van de β -stralen en heeft in tegenovergestelde richting plaats.

Wat de verklaring betreft, die men van deze belangrijke eigenschap der α - en β -stralen geeft, zij is dezelfde als op het voetspoor van CROOKES thans vrij algemeen van de anode- en kathode-stralen gegeven wordt. Volgens die zoogenoemde theorie der stralende materie, worden uiterst kleine stofdeeltjes (in ons geval dus van het radiumzout uitgaande) met ontzaglijke snelheid voortgeslingerd en zijn die electricisch geladen, blijkens de werking daarop van een magneet. Van de β -stralen nu zijn de deeltjes elektronegatief geladen en hebben zij een snelheid ongeveer gelijk aan een derde van die van het licht. Daarentegen zouden de in tegenovergestelden zin afwijkende α -stralen positief geladen zijn. Door proeven van de CURIE's en anderen is deze verklaring zeer aannemelijk gemaakt.

Het opmerkelijke van de geschetste uitstraling is, dat zij spontaan van het radiumzout uitgaat en dat die raadselachtige stof dus energie in den vorm van electriciteit ontwikkelt zonder aanvoer van buiten, wat vóór dezen nog nooit aan eenig lichaam is waargenomen. Wel is waar hebben CROOKES en ook CURIE aanvankelijk hypothesen opgesteld om die energieontwikkeling door toevoer van buiten te verklaren, maar deze zijn al spoedig als onaannemelijk weer opgegeven.

Door een radiumzout te omhullen met eboniet heeft men het zelf ook positief-elektrisch zien worden, wat wel aldus te verklaren is,

dat het omhulsel niet de positief geladen α -, maar wel de negatief geëlektriseerde β -stralen doorliet. CURIE wilde een toegesmolten buisje met sterk actief radium openen. Terwijl hij een vijlstreek deed, hoorde hij een kleine ontploffing, zag een vonk en voelde een lichten schok. De buis had zich gedragen als een kleine geladen Leidsche flesch.

CURIE en LABORDE toonden met een gevoelige thermozuil aan, dat radium ook warmte ontwikkelt. Zij omgaven de eene soldeerplaats met zuiver, de andere met actief chloorbaryum (met ongeveer $\frac{1}{6}$ radiumchloriede) en constateerden een temperatuursverschil van $1^{\circ},5$ C. Zij berekenen, dat 1 gram zuiver radiumzout per uur 100 kleine caloriën zou geven, wat goed overeenstemt met de latere bepaling van RUNGE en PRECHT, die 105 caloriën vonden.

GIESEL heeft deze energie-ontwikkeling in den vorm van warmte nog eenvoudiger aangetoond, door in een glazen flesch, die 0,7 gram radiumbromiede bevatte, een thermometer te brengen. Na eenigen tijd wees deze een temperatuur aan vijf graad boven die der omgeving en bleef dit zoo, zoolang hij den thermometer er in liet. Werd een thermometer, voor tocht beschut, boven een micaplaatje gehangen, dat een kapsel met 0,8 gram radiumbromiede bedekte, dan wees die een temperatuursverhooging van 2° C. aan.

Boven is gezegd, dat een radiumzout door de α -stralen een flikkerend lichten op een zwavelzinkscherm teweegbrengt. CROOKES, die dit verschijnsel verklaart door het bombardement der geladen deeltjes, heeft een instrument bedacht om dat op eenvoudige wijze waar te nemen. Hij noemt het »spinthariskoop», d. i. vonkenkijker.¹ Het bestaat uit een geelkoperen buis, aan wier ééne uiteinde het scherm is aangebracht, met eenig radiumzout op 1 m.M. afstand, terwijl het andere uiteinde een oculair draagt. Het toestelletje is bij BECK (Londen, Cornhill) voor een guinje verkrijgbaar.

Ook andere lichamen, glas, delfstoffen, vele zouten, water, petroleum, enz. worden in de radiumstralen lichtend. Vele daarvan lichten na, zooals vloeispaath. Wordt de kleurlooze variëteit daarvan, nadat men die door verhitten van haar eigene phosphorescentie beroofd

¹ Daar 't Grieksche woord voor vonk *σπινθηρ* is, zou de naam eigenlijk »spintheriskoop» moeten zijn.

heeft, in de radiumstralen opnieuw verhit, dan verspreidt zij een geelgroen licht, dat ten laatste paars wordt.

Watervrij chloor- en broombaryum worden ook in de radiumstralen, zoowel α als β , phosphoresceerend,¹ niet of slecht als zij kristalwater bevatten. Dit verklaart waardoor de radium-praeparaten zelflichtend zijn in drogen staat. De broomverbindingen doen dit, volgens GIESEL, nog sterker dan die van chloor. De geringste hoeveelheid radium verraadt zich hierdoor in baryumzouten. Naarmate die hoeveelheid toeneemt wordt het lichten zwakker, zoodat waarschijnlijk geheel zuiver radiumzout zelf niet licht. Dat zelfs middelmatig sterke radiumzouten dit vermogen lang behouden blijkt uit een mededeeling van GIESEL, wiens in glazen buizen bewaarde praeparaten, na twee jaar, zelfs in de schemering nog steeds licht verspreiden. Evenwel kan men de radium-baryumzouten door sterk verhitten hun lichtend vermogen althans grootendeels ontnemen; doch na bekoeling komt het terug.

Zeer opmerkelijk is de waarneming, door GIESEL gedemonstreerd op een in 1899 te München gehouden natuurkundig congres, dat het menschelijk oog door de radiumstralen onmiddellijk wordt aangedaan. Drukt men toch een sterk radiumzout tegen het gesloten oog of diens naasten omtrek, dan ontvangt het een duidelijken lichtindruk. De waarschijnlijke verklaring is wel, dat oogvochten of netvlies phosphoresceerend worden. Dat ook aan blinden op deze wijze lichtindrukken kunnen gegeven worden is begrijpelijk, doch de verwachting van sommigen dat dezen daardoor tot zien kunnen gebracht worden, dus voorwerpen buiten het lichaam waarnemen, berust op grove physiologische onkunde en doet denken aan von MÜNCHHAUSEN, die om in het donker te kunnen zien vonken uit zijn oogen sloeg.

De van radium uitgaande stralen werken ook chemisch. Hierop wijst reeds het bruin worden van baryumplatinacyaanuur. Bij het openen van een fleschje met een sterk praeparaat namen de CURIE's den reuk van ozon waar, dat ook door het blauw worden van joodkalium-stijfselpapier werd aangetoond. GIESEL vond de lucht vooral sterk ozonhoudend in de buurt van radium, dat bij de warme kachel

¹ Dat beide stralen het doen bewees MARCKWALD, door beurtelings nabij het baryumzout zijn radiotelluur (dat alleen de α -stralen uitzendt) te brengen en een radiumzout, dat in aluminiumblad gewikkeld was, waardoor de α -stralen teruggehouden werden.

stond en oppert de meening dat droge lucht de ozonvorming door de radium-stralen wellicht begunstigt.

De glazen, waarin men radium bewaart, worden dikwijls paars, soms bruin, al naar de samenstelling waarschijnlijk. De eerste kleur, aan hoogere oxydatie van mangaan toe te schrijven, heeft men enkele malen ook wel aan kali-houdend en door bruinsteen (mangaandioxyde) ontleurd glas waargenomen, dat lang aan het zonlicht was blootgesteld geweest. GIESEL nam onder den invloed van radiumstralen kleuringen waar aan klipzout, broomkalium en vloeispaath, overeenkomende met die door GOLDSTEIN verkregen met kathode-stralen. Er is evenwel dit verschil, dat de verkleuring door de laatsten bewerkt zich tot de oppervlakte bepaalt, terwijl de radiumstralen ook in diepere lagen werken. In beide gevallen verbleeken de kleuren weer in het zonlicht.

De radiumpraeparaten worden na eenigen tijd in het donker geel; papier waarin men ze bewaart wordt bruin en broos.

Voor de omzetting van zuurstof in ozon is energie noodig. De vorming daarvan (waarmee ook sommige der vermelde veranderingen in verband zullen staan) is dus een nieuw bewijs, dat de radiumstralen energie ontwikkelen.

BECQUEREL heeft nog eenige chemische werkingen aan de radiumstralen waargenomen, die tevens van het zonlicht bekend zijn. Zoo de verandering van gele phosphorus in roode en de reductie van sublimaat door zuringzuur, waarbij, naar bekend is, het laatste tot koolzuur geoxydeerd wordt, onder vorming van chloorwaterstof en calomel, dat zich afzet.

Eenige proeven van BERTHELOT, zoo b.v. ontleding van joodpentoxyde, kan ik voorbij gaan. Want de werking, waarbij het radium zich in glas bevond, bleef uit toen hij later de buis met zwart papier of met aluminiumblad omwikkelde, zoodat de scheikundige werking niet direct door de β - en γ -stralen kon bewerkt zijn (evenmin door de α -stralen, reeds door 't glas opgeslorpt) maar toe te schrijven is aan de secundaire werking van de stralen, door den fluoresceerenden glaswand uitgezonden.

Het eerste bericht over physiologische werking van het radium is van WALKHOFF, die in «Photogr. Rundschau» van Oct. 1900 meedeelde, dat het soortgelijke huidontsteking kon teweegbrengen, als de RÖNTGEN-stralen. Daarop nam GIESEL een proef met 0,27 gr. van een radiumpraeparaat, dat in een dubbel kapsel gehuld twee uur

lang op de binnenvlakte van den bovenarm gehouden werd. Aanvankelijk werd de huid slechts zwak rood, doch na 2—3 weken werd zij hevig ontstoken onder pigment-vorming. Daarop volgde afstooting der opperhuid en spoedige genezing. De nieuwe huid is evenwel sedert geheel onbehaard.

Een dergelijke vernielende werking oefent het radium uit op het bladgroen. Het verdween op de bestraalde plaatsen uit levende planteblateren, die achtereenvolgens de bekende herfsttinten (geel, bruin) aannamen.

BECQUEREL en CURIE bevestigden deze waarnemingen en deelden mee, dat zij zeer werkzame praeparaten, besloten in toegesmolten glas, eenige dagen lang in den vestzak droegen. Er ontstonden wonden, die zich eerst na 7 weken weder sloten. Als het glas in een kapsel van dik lood gehuld werd, volgde geen ontsteking, wel als het metalen kapsel dun was. Voorts heeft het werken met radiumzouten vaak ontsteking der vingers ten gevolge.

Na deze ervaringen wordt een uitspraak van mevr. CURIE begrijpelijk, die gezegd zou hebben, dat zij niet graag in een vertrek zou vertoeven, waarin zich een kilo radium bevond. De gebeurlijkheid daarvan is overigens niet groot.

't Spreekt van zelf, dat deze bevindingen tot proeven met radiumstralen op verschillende planten en dieren aanleiding gaven. Ik zal daarover niet breed uitweiden. Over 't algemeen is de werking een vernielende, die men voorshands uitlegt als moleculaire verandering door de bestraling in de weefsels veroorzaakt. Tegen die omschrijving — 't kind moet een naam hebben — zal niemand bezwaar opperen. Ik vermeld alleen, dat van lagere dieren velen gedeerd werden of zelfs stierven. Van infusoriën, die zich soms contraheerden, soms stierven, maakte *euglena viridis* een uitzondering: een aantal daarvan ging in de β - en γ -stralen eenvoudig uiteen, schijnbaar ongedeerd. Van bacteriën zijn *B. pyocyaneus*, *B. typhosus*, *B. prodigiosus* en *B. anthracis* door DIXON met radiumbromiede bestraald. Ze werden verlamd en in hun ontwikkeling belemmerd, doch niet gedood. GOTTWALD SCHWARZ stelde een hoenderei 144 uur in het donker aan de werking van 0,02 gram radiumbromiede bloot, door mica afgesloten. Op de bestraalde plaatsen werd de schaal bruin (ontleding der daarin aanwezige organische stof); het eivlies bleef ongedeerd; het wit werd dikker, zonder te stollen; de dojer werd over 4 m.M. in doorsnede grijsgroen en dit gedeelte was zóó hard geworden;

dat men het uit het week geblevene met het pincet kon verwijderen. Het rook onaangenaam en smaakte walgelijk, ongeveer naar slechte levertraan, 't geen op ontleding van lecithine wijst.

Ook de geneeskundigen blijven niet achter in het beproeven der radiumstralen, met name ter genezing van huidziekten, zooals lupus. Volgens een bericht in de dagbladen zou prof. MORTON te New-York drie gevallen van kanker daarmede genezen hebben. Wellicht zal men goed doen daarbij in 't oog te houden, dat New-York in Amerika ligt.

Ik ben thans genaderd tot de blz. 166 vermelde zoogenoemde emanatie (uitvloeiing), die in verband staat met de geïnduceerde, tijdelijk opgewekte radioactiviteit.

De CURIE's vonden (1899) dat metalen, zooals zink, bismuth, geelkoper, nikkel, aluminium, lood, een tijd lang actief werden, als zij aan sterke BECQUEREL-bestraling werden blootgesteld. Deze activiteit, die het 20-voudige van die van uraan kan bereiken, neemt snel af na verwijdering van de stralenbron en is na 2 uur bereids tot op $\frac{1}{8}$ gezonken. Bij deze proeven werd aanraking van metaal met de actieve stof zorgvuldig vermeden. Door afwassen was de geïnduceerde activiteit niet te verwijderen.

Plaatst men onder een klok, goed van de lucht afgesloten, twee schaaltes, waarvan 't eene een oplossing van een radiumzout bevat en 't ander gedistilleerd water, dan wordt dit laatste na eenigen tijd actief. 't Zelfde gebeurt met water, waarin men een goed sluitende celluloid-kapsel (half doorlatende wand) gevuld met radium-oplossing hangt. 't Water verliest die activiteit weer na een paar dagen, als men het in een gesloten buis bewaart; in een open vat sneller, en wel in evenredigheid van het aan de lucht blootgesteld oppervlak. Ook een oplossing van een radiumzout verliest door staan aan de lucht hare werkzaamheid, maar — anders als water — krijgt zij die in een gesloten vat langzamerhand terug.

Men zou nu meenen, dat de mededeeling der activiteit direct gebeurt door de stralen, doch dit is niet zoo. Want als CURIE en DEBIERNE radiumzout en te induceeren stof in een met een luchtpomp verbonden buis brachten, hield de induceerende werking bij sterke luchtverduunning op, om na inlating van eenige lucht weer te beginnen. Waterstof in de buis, in plaats van lucht, maakte geen verschil.

Voor de induceerende werking bleek het noodig, dat er tusschen radiumzout en het te activeeren lichaam een gas is; welk scheen on-

verschillig, als ook de drukking daarvan, mits die niet al te gering is. De inductie gebeurt dus indirect, door bemiddeling van een gas.

Van veel belang is de waarneming, dat het radiumzout in het luchtledig verward eenig gas afgaf; hierin werden spectroscopisch de strepen van koolstof, waterstof, stikstof en kwik, doch geene onbekende lijnen gezien. Dit gas is sterk radioactief, werkt door den glaswand heen op een fotografische plaat en ontlaadt geëlektriseerde lichamen. Het maakt het glas fluoresceerend, zoodat dit licht geeft in het donker. Ook wordt het glas zwart.¹ De radioactiviteit van 't gas neemt af, doch zoo langzaam dat zij na 10 dagen nog weinig verminderd was. De lucht in het laboratorium, waarin deze proeven genomen werden, werd zoo sterk geleidend, dat nauwkeurige metingen niet mogelijk waren.

Dergelijke proefnemingen van GIESEL en ELSTER en GEITEL hebben deze uitkomsten bevestigd: ook zij bevonden, dat lucht en water, in het luchtledig uit radiumzouten verdreven, sterk actief waren en opgevangen in een U-vormige buis, die men toesmolt, den glaswand phosphoresceerend maakten. Het uit het radiumzout verdreven actieve kristalwater laat bij verdamping geen rest. Het zout zelf is door de bewerking sterk in activiteit verminderd, doch krijgt die na eenigen tijd volledig terug.

Het was nu van 't grootste gewicht het emanatie-gas nauwkeurig te onderzoeken. Dit was verre van gemakkelijk en dit nog niet zoo zeer wegens de moeilijkheid om zich het noodige radiumzout te verschaffen, als wegens de uiterst kleine hoeveelheid die 't zout verliest, zóó gering dat aan den stoffelijken aard der emanatie aanvankelijk getwijfeld is, daar zelfs na langen tijd op de gevoeligste balans geen gewichtsverlies van het zout te constateeren is. Men heeft daarover fantastische berekeningen meegedeeld, waarvan de gematigste is, dat 1 gram radium eenige eeuwen zou behoeven om 1 milligram aan gewicht te verliezen.

Toch is men in dit onderzoek beter geslaagd dan te verwachten was.

Vooreerst heeft men ongeveer de grenzen bepaald, waartusschen het moleculairgewicht liggen moet. RUTHERFORD en mejuffrouw BROOKS deden dit door een luchtstroom over verhit radiumzout te leiden en vervolgens in de eene helft van een koperen buis, in het midden door

¹ Vermoedelijk was het kristal- of flintgas; althans loodhoudend. Deze glassoort wordt ook zwart door radiumzout, door afscheiding van lood.

een schuif afgesloten. In de andere helft der buis was gewone, niet geleidende lucht. Daarop werd de schuif geopend en de snelheid bepaald, waarmee door de diffusie de lucht in de tweede helft geleidend werd en daarentegen de activiteit van de lucht in de eerste helft afnam. Dit gaf een maat voor de diffusie-snelheid en stelde in staat ruw den diffusie-coëfficiënt van 't radiumgas, in verhouding tot lucht, te berekenen en werd bevonden dat die tusschen 0,08 en 0,15 moest liggen, 't geen op een moleculairgewicht tusschen 40 en 100 wijst. ¹ 't Gas kan dus geen radiumdamp zijn, dat een veel hooger moleculairgewicht moet hebben.

CURIE en DAUNE, die de diffusiesnelheid bepaalden door de emanatie door een capillairbuis in de lucht te doen treden, berekenden bij 10° een diffusiecoëfficiënt van 0,1, die tusschen dien van koolzuur en aetherdamp ligt, zoodat het moleculairgewicht tusschen 44 en 74 moet vallen. De overeenstemming met de bepaling van de Amerikaanse geleerden is zoo goed als men van zulke moeilijke proeven verwachten kan.

Nog een andere belangrijke waarneming van RUTHERFORD, die een afdoend bewijs levert voor den stoffelijken aard der emanatie, is door CURIE later bevestigd. Eerstgenoemde vond namelijk, dat de emanatie zich liet verdichten.

De proef werd genomen met een koperen slang, waardoor men met de emanatie beladen waterstof of lucht voerde. Werd de slang nu in een bad van vloeibare lucht gebed, dan verloor het uit de slang tredend gas zijn radioactieve eigenschappen, doch hernam die, wanneer de slang uit het koelbad genomen werd. De verdichtings-temperatuur, zoo goed mogelijk bepaald, was voor de emanatie uit radium $\pm 130^\circ$, voor die uit thorium lag zij circa 5° lager.

Later verdichtten RUTHERFORD en SODDY de emanatie in een U-vormige buis, die door vloeibare lucht afgekoeld was. De buis werd toegesmolten en uit het bad genomen. Naar gelang de temperatuur klom, verbreidde zich over de gaswanden het fluoresceerend lichten. Beweegt men de buis, dan komt het verdichte in schommeling, wat in het donker aan het lichten te zien is. De temperatuur, waarop

¹ Grondslag der berekening is de wet van GRAHAM, volgens welke de diffusiesnelheden van twee gassen omgekeerd evenredig zijn aan de vierkantswortels uit de dichtheden. Uit de aldus te berekenen dichtheid (lucht = 1), vindt men 't moleculairgewicht door vermenigvuldiging met 28,88.

de verdichte emanatie zich weer begint te vervluchtigen is — 150° voor radium, — 120° voor thorium. Uit alle waarnemingen bleek, dat de emanaties van de temperatuur afhankelijke dampdrukkingen hebben en dat het derhalve stellig chemische lichamen zijn. Doch welke, en wat is hun oorsprong?

Om die laatste vraag het eerste te beantwoorden, men moet het er wel voor houden — hoe vreemd dit schijnen moge — dat de emanatie het gevolg is van een chemische verandering van het radium in het zout. Het emanatie-vermogen van het radiumzout, 't grootst in de roode gloeihitte, gaat bij nog hoogere temperatuur verloren, doch niet voor goed; na een tijd van rust komt het terug. De emanatie wordt dus in het zout telkens opnieuw gevormd.

De beantwoording der eerste vraag is lastig wegens de minimale hoeveelheid, zoodat alleen de spectraal-analyse eenige opheldering geven kan. De zaak wordt daardoor nog moeilijker, omdat zoowel het vaste radiumzout als de oplossing gas ontwikkelen kan, dat niet direct uit de emanatie stamt, en bij 't verzamelen in meerdere of mindere mate daarmede vermengd wordt.

Radiumbromiede wordt, in gekristalliseerden staat bewaard, geel en GIESEL nam daaraan zwakken reuk naar broom waar. Daar 't zout de zuurstof der lucht in ozon omzet, is de verklaring daarvan niet moeilijk. Het ozon maakt eenig broom vrij. Ten gevolge van dien is ook vorming van radiumhydroxyde en vervolgens ook (door aantrekken van koolzuur uit de lucht) van koolzuurradium te wachten. Het lukte werkelijk aan GIESEL dit aan te toonen; doch het waarnemen van het blauw worden van rood lakmoespapier (alkalische reactie der vrije basis) werd bemoeilijkt door de bleeking daarvan, veroorzaakt door 't gelijktijdig ontstaan van onderbromigzuurzout.

Dit is nog niet alles. De geschetste langzame ontleding van het radiumbromiede gaat nog vergezeld door de vorming van een gas, dat ten deele in de kristallen besloten blijft. Bij 't oplossen in water brengt dit gas, zich uitzettend, een knetterend geluid teweeg en maakt het vocht melkwit. Een oplossing van radiumbromiede gedraagt zich eender; zij wordt geel door vrij broom en ontwikkelt, langzaam maar gestaadig een kleurloos gas. Dat dit radioactief is, phosphorescentie veroorzaakt en het glas van de pipet, waarin men het opzamelde, kleurde, zal, naar 't geen over geïnduceerde activiteit gezegd is, geen uitleg behoeven.

Op verzoek van GIESEL werd dit gas nader onderzocht door RUNGE

en BODLAENDER. De oplossing van 1 gram zout (circa 5 pct. radiumbromiede bevattend) ontwikkelde in 16 dagen 3,5 c.M³ gas, dat 78 pct. waterstof en 17 pct. zuurstof bevatte, terwijl de oplossing geelbruin was door vrij broom. De verklaring, die zij daarvan geven, komt hierop neer, dat het radium energie ontwikkelt (zij berekenen, die voor de 5 centigram in het onderzochte praeparaat op 1,8 Wattsekunden per etmaal, overeenkomende met 0,48 cal. = 18000 gramcentimeter), die door elektrolyse water ontleedt. De ontbrekende zuurstof zal oxydeerend gewerkt hebben.

Men zal nu begrijpen, dat de door CURIE en DEBIERNE in het uit radiumzout ontwikkeld gas waargenomene spectraal-lijnen niets zekers leeren over den chemischen aard der eigenlijke emanatie. De waterstofstrepen kunnen uit elektrolytisch ontleed water worden verklaard, die van stikstof uit bijgemengde lucht, die van kwik uit het bij de proeven gebezigde, eindelijk die van kool nit koolzuur, voortgebracht door de oxydeerende werking der elektrolytisch ontwikkelde zuurstof op eenige organische stof, b.v. vet van de kranen.

Dit komt ook overeen met de bevindingen van RAMSAY en SODDY en van dezen laatste met RUTHERFORD.

Door hunne onderzoekingen is men evenwel de natuur der emanatie iets nader op het spoor gekomen. Eerstgenoemden onderzochten de gassen, die zich in lang bewaard radiumbromiede hadden opgehoopt. Ook zij vonden als hoofdbestanddeelen waterstof en zuurstof, waarvan 't eerste in overmate. Na verwijdering van deze gassen werd in 't overblijvende het spectrum van koolzuur gezien, welk gas verwijderd werd door uitvriezen. In het resteerende werd de D₃-lijn van helium waargenomen. De proef werd herhaald, waarbij van iets meer radiumzout werd uitgegaan en nu vollediger het heliumspectrum gezien, als ook nog twee nieuwe strepen, die men niet thuis kon brengen. Zeer opmerkelijk was hierbij dit, dat in de van waterstof bevrijde emanatie het helium-spectrum na dagen lang staan steeds duidelijker werd. Dit brengt de onderzoekers tot de uitspraak, dat het helium in de emanatie voortdurend gevormd wordt. Dit is ongetwijfeld een koene gevolgtrekking, maar men kan niet zeggen, dat zij onwetenschappelijk is, in strijd met bekende feiten. Want al noemt men radium een element, zoo wordt toch met die benaming alleen bedoeld, dat van ontleding in andere stoffen voorshands nog niets gebleken was, niet dat dit later evenmin zou kunnen geschieden.

Voor de opvatting van RAMSAY en SODDY, dat in de emanatie een

chemisch proces plaats vindt, pleit — behalve het allengskens voor den dag komen van 't helium-spectrum — een bepaling van RUTHERFORD aangaande de warmteontwikkeling van radium. Deze verhitte radiumzout zoolang als het nog emanatie verloor, welke in een U-buis, gedompeld in vloeibare lucht, verdicht werd. Thans werd de warmte bepaald, die het van zijn emanatie beroofd radiumzout ontwikkelde. Deze verminderde snel en was binnen eenige uren gedaald tot een minimum van 30 pCt. van 't bedrag, voordat het zout van de emanatie beroofd was. Later nam dan de warmteontwikkeling langzaam weer toe. Daarna werd de toegelakte buis, waarin de emanatie was opgevangen, in den calorimeter geplaatst. De afgegevene warmte klom in eenige uren tot ± 70 pct., zoodat zout en emanatie na de scheiding ongeveer zooveel ontwikkelden als vroeger vereenigd. Hieruit volgt dus, dat de chemische omzettingen, die in radiumzout hoogstwaarschijnlijk de warmteontwikkeling teweeg brengen, voor 't grootste gedeelte in de emanatiestof plaats grijpen.

Dat voorts helium een eindproduct zou zijn van de radium-emanatie, wint aan waarschijnlijkheid door het herhaaldelijk geconstateerd gezamenlijk voorkomen van helium en radioactief gas. Zoo heeft men in de gassen ontwikkeld uit de warme bronnen van Bath ¹ (zie de noot op bladz. 162) helium aangetoond en vonden de CURIE's, bij den aanvang van hun onderzoekingen, dat het uraanpekerts, in 't luchtledig verhit, behalve een klein sublimaat (actiever dan 't oorspronkelijk mineraal) kooloxyde-gas ontwikkelt plus eenig argon en helium.

De emanatie, die ook RAMSAY en SODDY sterk radioactief vonden, gedroeg zich overigens als een inert gas. Door elektrische ontlading bij tegenwoordigheid van zuur en alkali, door een warm mengsel van magnesiumpoeder en kalk, als ook door brandende phosphorus bleef zij onveranderd.

Ziedaar wat over de chemische natuur der emanatie bekend is. Wellicht bevat zij nog een onbekend element (wegens de waargenomen onbekende spectraal-lijnen) dat tegelijkertijd met het helium uit het radium ontstaat. Dit gist althans RAMSAY.

Vermeld zij nog dat de physiologische werking van de emanatie thans bestudeerd wordt door prof. D'ARSONVAL en Dr. BORDAS. Zij

¹ Dat men radium in dit bronwater vermoedt, schijnt vooral hierop gegrond, dat de radioactiviteit van 't ontwikkeld gas in $3\frac{1}{2}$ dag tot op de helft vermindert, 't geen klopt met wat RUTHERFORD voor de radium-emanatie vond (3,71 dag).

sputten dieren met gassen, of vloeistoffen in, die met de door vloeibare lucht verdichte emanatie verzadigd zijn.

In het bovenstaande heb ik getracht een bevattelijk overzicht te geven van 't voornaamste tot op dit oogenblik over het radium aan het licht gebracht. De literatuur over dit raadselachtige lichaam is reeds tamelijk aangezwollen en neemt met den dag toe. Ik moet daarom verschooning vragen, indien wellicht 't een of ander, dat vermelding verdiende, onbesproken bleef. Mogelijk zal men ook meenen, dat over sommige bijzonderheden, niet uitsluitend het radium betreffend, te veel is uitgeweid. Toch zal men moeten toegeven, dat dit niet altijd te vermijden was.

Het spreekt wel van zelf, dat het radium, in gedrag geheel afwijkend van vroeger ontdekte grondstoffen, sterk op de verbeeldingskracht gewerkt heeft en allerlei theoretische voorstellingen uitgelokt, waaronder zeer gewaagde. Ik zal die onbesproken laten, doch wil dit opstel toch niet besluiten, zonder mededeeling van de in hoofdzaak meest gehuldigde theorie, die ook mij de meest aannemelijke voorkomt.

Zij gaat uit, gelijk trouwens alle voorgestelde hypothesen doen, van de bereids in de physica aanvaarde elektronen-theorie, die nu ook in de chemie haar intrrede heeft gedaan. Volgens deze, vooral ontwikkeld door den Leidschen hoogleeraar H. A. LORENTZ, zijn in alle weegbare lichamen uiterst kleine deeltjes voorhanden en wel in ongeladen stoffen evenveel positief als negatief elektrische. Alle elektrische en magnetische verschijnselen zouden tot stand komen door verplaatsing of beweging dezer zoogenoemde elektronen, die minstens 1000 maal lichter zijn dan een waterstofatoom.

Of de weegbare materie moet gedacht worden uitsluitend uit deze elektronen te bestaan, wordt door vele physici in het midden gelaten. Ik voor mij zal eenvoudigheidshalve veronderstellen dat dit zoo is en voorts aannemen, dat de elektronen in alle stoffen identisch zijn, m. a. w. de oerstof uitmaken, waaruit alle elementen werden opgebouwd. De atomen zijn dan ophooping van elektronen, verschillend in aantal: bevat het waterstof er 1000 van, dan het 100 maal zwaardere kwikatoom 100.000, het radiumatoom 225000, enz. Bovendien zal er nog dit verschil zijn tusschen de elementaire atomen onderling, dat ze allen wel is waar *veel*, maar niet evenveel energie bevatten. Met BEKETOFF veronderstel ik, dat die energie aangebracht is door de elektronen, die bij de ophooping tot atomen daarvan verloren, doch

minder naarmate hun aantal grooter is. Bijgevolg neemt het energiegehalte van het atoom toe met het atoomgewicht en moet voor de opheffing een grens bestaan, die bij het radium bereikt, of reeds even overschreden schijnt te zijn. Het aantal elektronen, dat voor het radiumatoom ongeveer één kwart miljoen bedraagt, is dan te groot, dat allen voortdurend bij elkander kunnen blijven. Zij verkeeren in een ontbindingsstadium, komen in heftige beweging en hoopen zich in andere verhoudingen weer op, waardoor elementen met lager atoomgewicht gevormd worden, wat de emanatie verklaart, en doen energie vrij komen, die zich als warmte en elektriciteit uit. Een deel der elektronen straalt uit met positieve (α) en negatieve (β) elektriciteit beladen, aldus de verschijnselen der BECQUEREL-stralen te weegbrengend.¹ In de emanatie is de beroering der elektronen geenszins bedaald; integendeel, ze is daarin nog heftiger, want de emanatie levert 70 pct. der totale warmte (verklaarbaar uit de trapsgewijze vorming van een element met zeer laag atoomgewicht: helium en dus met betrekkelijk laag energiegehalte) en straalt krachtig uit door de elektronen waarmee zij de omgeving bombardeert, geïnduceerde radioactiviteit opwekkend.

Men moet zich nu niet voorstellen, dat het ontbindingsproces het geheele verval van het radium ten gevolge heeft. Als dit zoo was zou er een verbazende hoeveelheid energie moeten vrijkomen. Ik meen zelfs bij LODGE gelezen te hebben, dat 1 gram radium genoeg energie zou bevatten om de geheele Engelsche marine op te heffen tot den top van den Ben Nevis, den hoogsten berg van Schotland (1443 M.). Nu moge dit een onbewijsbare schatting zijn, in elk geval worden ons de 100 kl. calorieën per uur reeds door een gram radium geleverd, zonder dat dit merkbaar aan gewicht verliest. En daar het lang kan duren voordat hiervan blijkt, moet

¹ Hier zij nog vermeld, dat volgens RUTHERFORD de α -stralen verreweg de overhand hebben en minstens 99 pct. van de totaal uitgestraalde energie zouden leveren en voorts dat over den aard der γ -stralen, die het grootste doordringingsvermogen bezitten, verschil van gevoelen heerscht. Volgens velen zouden het werkelijk X-stralen zijn, dus niet gelijk α en β van materieelen aard, maar golvingen van den aether, opgewekt door het revolutieproces. Doch sommigen, o. a. STRUTT, schoon hun overeenkomst met de X-stralen toegevend, beschouwen ze toch als van stoffelijken aard, doch uit ongeladen deeltjes gevormd. Die deeltjes, volgens RUTHERFORD bij β uit elektronen bestaande, zouden bij α ongeveer 1000-maal zwaarder zijn, dus van 't gewicht der H-atomen.

men wel aannemen, dat betrekkelijk het ontbindingsproces voor het radium niet meer beduidt, dan een storm in een glas water.

Genoemd proces is, naar men wel veronderstellen moet, van geheel bijzonderen aard, zeer verschillend van gewone chemische processen; want de temperatuur heeft, volgens metingen van den heer CURIE, tusschen $+ 450^{\circ}$ en $- 280^{\circ}$ C. geen invloed op de stralings-intensiteit der emanatie.

De kennismaking met het radium, of zoo men wil — want dit was de aanvang — met de BECQUEREL-stralen, heeft een geheel nieuw gebied van onderzoek ontsloten, dat om zoo te zeggen buiten het bestek der gewone natuur- en scheikunde valt. Dat het overigens in deze takken der natuurwetenschap radicale wijzigingen noodig zou maken, door grondslagen te ondermijnen, z. a. de atoomtheorie, de onvernietigbaarheid der materie en het behoud van arbeidsvermogen, al is het door enkelen beweerd, het medegedeelde zal, hoop ik, den lezer den indruk gegeven hebben, dat daarvoor vooralsnog geen vrees bestaat.

Ten slotte zij nog aangestipt, dat dank zij de verbeteringen, door GIESEL gebracht in de afscheiding der radium-baryumzouten uit het pikerts, tegenwoordig de chinine-fabriek te Brunswijk een der beste en goedkoopste kantoren is, om zich materiaal voor proefnemingen met het excentrieke element aan te schaffen.

Den Haag, Febr. 1904.