

HET NATUURLIJKE STELSEL DER ELEMENTEN

DOOR

Dr. J. W. DOYER Jzn.

In het begin van September 1885 werd op »Himmelsfürst Fundgrube», niet ver van Freiberg, een tot nu toe niet voorkomend zilvererts gevonden, dat een nieuwe mineraalspecies bleek te zijn en den naam van Argyrodiet ontving. Het nieuwe mineraal bevatte als hoofdbestanddeelen zilver en zwavel en in kleine hoeveelheden ijzer, zink en kwik. De analyse leverde evenwel een geheel eigenaardige moeilijkheid op: zij sloot niet. Er was een tekort van 7 pct., dat niet toevallig was, want bij acht achtereenvolgende analyses bleef deze fout constant. Dit merkwaardige resultaat gaf prof. c. WINKLER te Freiberg aanleiding om te vermoeden, dat het nieuwe mineraal een onbekend element bevatte, hetwelk niet door den gewonen gang der analyse werd aangetoond. Het mocht hem gelukken deze nieuwe grondstof af te scheiden, hoewel niet dan na veel vergeefsche pogingen, want de verschillende verbindingen van het element bezaten eigenschappen, die het opsporen in den aanvang groote moeilijkheden in den weg legden. Ter eere van zijn vaderland gaf hij aan de nieuwe grondstof den naam van Germanium. In 't voorbijgaan zij gezegd, dat de keuze van dezen naam hem een berisping bezorgde van een Fransch scheikundige over te ver gedreven nationaliteitsgevoel: een berisping, welke van dien kant zeker onbillijk was, want het was de Franschman LECOQ DE BOISBAUDRAN, die in dit opzicht was voorgegaan door aan het in 1875 door hem ontdekte element den naam van Gallium te geven en reeds was dit voorbeeld gevolgd o. a. door den Zweed NILSON, toen hij aan een in 1879 door hem en tegelijkertijd door CLEVE ontdekt element den naam van Scandium gaf. Maar gaan wij, met terzijdestelling van deze naamkwestie, tot de elementen zelve over.

De ontdekking van dit drietal elementen, waardoor het getal goed bekende grondstoffen tot zesenzestig is aangegroeid, heeft een zeer bijzondere beteekenis; niet omdat deze stoffen voor de praktijk groot nut blijken te hebben, noch ook omdat zij beloven dit te zullen verkrijgen; daar zij slechts in kleine hoeveelheid gevonden worden, is het integendeel zelfs te verwachten, dat hunne praktische beteekenis nooit groot zal zijn. Maar de genoemde ontdekkingen zijn daarom van groot belang, omdat zij de juistheid van verschillende theoretische beschouwingen, die een verrassend licht werpen op den tot voor korten tijd vrij geheimzinnigen aard der elementen, op zeer welkome wijze zijn komen bevestigen. Het bestaan der ontdekte elementen vloeide namelijk uit deze beschouwingen voort; hun karakter, hunne eigenschappen waren voorspeld en voor een van hen was zelfs de plaats aangegeven, waar het vermoedelijk zou te vinden zijn. Zoo kunnen deze voorspellingen niet ten onrechte eenigermate vergeleken worden met de vooruitberekening van de nog onontdekte planeet Neptunus door ADAMS en LEVERRIER en de bevestiging van de berekende uitkomsten was in beide gevallen een triomf voor de wetenschap.

Terwijl het mijn doel is, een kort overzicht te geven van de bovenbedoelde beschouwingen, waaruit het zoogenaamde »natuurlijke stelsel der elementen» is voortgekomen, zal het misschien niet ongewenscht zijn, met een paar woorden in herinnering te brengen welke voorstellingen de tegenwoordig geldende atomistische hypothese van den bouw der lichamen geeft.

Men neemt aan, dat de stof de ruimte niet gelijkmatig en tezamenhangend vult, maar dat de lichamen bestaan uit kleine van elkaar gescheiden stofdeeltjes, atomen genaamd. Iedere grondstof bestaat uit eigenaardige atomen, die onderling volkomen gelijk zijn; er zijn dus evenveel soorten van atomen, als er grondstoffen bestaan. Deze atomen, waarvan voorloopig wordt aangenomen, dat zij volkomen hard en ondeelbaar zijn, kunnen zich onderling vereenigen tot kleinere of grootere groepen, moleculen genaamd, wier samenstelling en inwendige rangschikking als karakteristiek voor de verschillende lichamen wordt gehouden. Uit de samenvoeging van gelijksoortige atomen ontstaan de moleculen der enkelvoudige, uit de samenvoeging der ongelijksoortige atomen die der samengestelde lichamen. De moleculen, die zich in de vaste en vloeibare lichamen waarschijnlijk tot grootere aggregaten vereenigen, bewegen zich in den gasvormigen toestand als zelfstandige deeltjes en nemen dan, onverschillig of zij groot of klein zijn, allen dezelfde ruimte voor zich in beslag. Hieruit volgt, dat in gelijke

volumens van verschillende gassen onder dezelfde omstandigheden van temperatuur en drukking evenveel moleculen bevat zijn en dat dus de verhouding van de moleculairgewichten van verschillende gasvormige lichamen dezelfde is als de verhouding van hunne dampdichtheden. Zoo kunnen deze moleculairgewichten berekend worden, wanneer men dat van één gasvormig lichaam kent. Bij de bepaling van de moleculairgewichten van lichamen, die men niet in gasvormigen toestand kent, stuit men op groote bezwaren. Van de atomen, die volgens het bovengezegde nu ook kunnen bepaald worden als de kleinste deeltjes van de elementen, die in een molecule van hun verbindingen voorkomen, zijn de gewichten, voor zoover de meer bekende betreft, langs verschillende wegen met groote nauwkeurigheid bepaald. Er zij hier vermeld, dat zoowel de atoom- als de moleculairgewichten relatieve zijn en uitdrukken hoeveel maal de bedoelde deeltjes zwaarder zijn dan een atoom waterstof, het lichtste van alle bekende atomen. Het absolute gewicht der atomen is nog niet nauwkeurig bekend; men heeft hiervoor alleen benaderde waarden kunnen stellen.

Om de atomen der verschillende elementen aan te duiden worden de beginletters der wetenschappelijke namen gebruikt. Zoo wijst b. v. O, de eerste letter van het woord Oxygenium, een atoom zuurstof, dat is dus een deeltje van bepaalde grootte en bepaald gewicht aan. In de formules, die men voor de enkelvoudige en samengestelde stoffen opstelt, tracht men zooveel mogelijk de samenstelling der molecule (of wat men daarvoor houdt) terug te geven. Zoo wordt met de formule O_2 aangegeven, dat de molecule zuurstof uit twee atomen bestaat, door de formule H_2O , dat de molecule water uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof bestaat. Hiermede is dus, daar de relatieve atoomgewichten bekend zijn, tevens de procentische samenstelling van de verbinding gegeven.

De voorgaande regelen trachten een korte schets te geven van de atomistische hypothese, zooals zij zich in den loop van deze eeuw langzamerhand ontwikkeld heeft. De inzichten, die zij geeft, zijn niet dan met groote inspanning en na fellen strijd verkregen en bevestigd geworden. Hoewel er dus in den loop der tijden veel aan veranderd en toegevoegd is, waardoor een helderder licht is gevallen op verschillende betrekkingen en verwantschappen tusschen de grootheden, die er in voorkomen, heeft men, reeds kort na de ontwikkeling der atoomtheorie door DALTON, regelmatigigheden in de verschillende atoomgewichten opgemerkt of meenen op te merken.

Het was in de eerste plaats de Engelsche scheikundige PROUT, die

de meening voorstond, dat de atoomgewichten der meest bekende elementen geheele veelvouden waren van dat der waterstof. Later was het vooral DUMAS, die op verschillende regelmatigigheden opmerkzaam maakte. Hij nam de hypothese van PROUT met een door de nieuwere onderzoekingen noodzakelijk gemaakte wijziging over en constateerde verder, dat er grondstoffen zijn, wier atoomgewichten zich verhouden als 1 : 1 of 1 : 2. Zoo hebben nikkel en kobalt gelijke atoomgewichten; terwijl, om uit verschillende voorbeelden één te kiezen, het atoomgewicht van de zwavel het dubbel is van dat der zuurstof. Hij merkte ook op, hoe sommige elementen zich door overeenstemming in hoofdeigenschappen tot natuurlijke familiën laten vereenigen en hoe in deze drietallen van elementen voorkwamen, wier atoomgewichten de merkwaardige betrekking vertoonden, dat het atoomgewicht van het middelste het rekenkundig gemiddelde was van dat der uiterste elementen. Een dergelijke triade vormen b. v. Lithium, Natrium en Kalium met de atoomgewichten 7, 23 en 39 : de som van 7 en 39 is 46 en de helft hiervan is 23. DUMAS wees verder aan, hoe sommige van de door hem aangenomen familiën parallel liepen, daar er telkens tusschen twee leden van verschillende familiën hetzelfde verschil in atoomgewicht bestond. De waargenomen regelmatigheden stonden evenwel min of meer op zich zelve en de pogingen, die hij deed om alle elementen in den kring van zijne beschouwingen te trekken, mislukten. Hij zegt hiervan: »J'ai souvent essayé de les¹ comparer, de les combiner et de les discuter avec l'espoir d'en tirer avec certitude une conclusion quelconque et je n'ai pu en faire sortir autre chose que le doute. Si quelques uns des équivalents pouvaient se classer sans corrections dans un petit nombre de séries comme des termes liés entre eux par d'incontestables relations numériques, il en est d'autres et ce sont précisément les mieux connus, pour lesquels toute tentative de ce genre restait sans résultat." De oorzaak van het mislukken van deze pogingen van DUMAS lag zeker hoofdzakelijk in de getallen, die hij aannam en die tengevolge van andere opvattingen voor een deel aanzienlijk afweken van de tegenwoordig gebruikte.

Het was voor den Russischen scheikundige MENDELEJEFF weggelegd

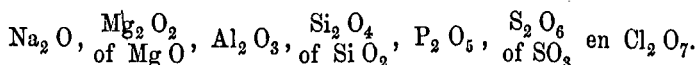
¹ D. w. z. de aequivalenten. Ofschoon tegenwoordig de woorden aequivalent en atoom volstrekt niet synoniem zijn, waren voor DUMAS, toen hij de aangehaalde woorden schreef, »les équivalents des corps simples les poids respectifs des particules matérielles, dont la combinaison donne naissance à tous les corps de la nature" en verbond hij dus in zooverre aan het woord aequivalent hetzelfde begrip, dat de tegenwoordige scheikundigen aan het woord atoom verbinden.

om het denkbeeld, dat DUMAS voor den geest zweefde, te verwezenlijken. Geleid door de betrekkingen, die hij tusschen de leden van verschillende familiën opmerkte, kwam hij in 1868 op de gedachte om alle elementen volgens hunne opklimmende atoomgewichten naast elkander te plaatsen. Hij kon toen, daar hij van de nieuwe atoomgewichten gebruik maakte, ontdekken, dat er een verrassende eenvoudigheid in de wederzijdsche betrekkingen tusschen de verschillende elementen bestond. Zeer duidelijk blijkt dat uit de samenstelling van alle lichte elementen met de atoomgewichten van 7 tot 36.

Li (Lithium) = 7	Na (Natrium) = 23
Be (Beryllium) = 9	Mg (Magnesium) = 24
B (Boor) = 11	Al (Aluminium) = 27
C (Koolstof) = 12	Si (Silicium) = 28
N (Stikstof) = 14	P (Phosphorus) = 31
O (Zuurstof) = 16	S (Zwavel) = 32
Fl (Fluoor) = 19	Cl (Chloor) = 35,5

Eenvoudigheidshalve zijn hier de atoomgewichten eenigszins afgerond.

Het karakter van de elementen verandert hier regelmatig en over 't geheel geleidelijk. De regelmatigheid is periodiek; de corresponderende leden in iedere rij zijn analoga. Zoo behooren Lithium en Natrium, Beryllium en Magnesium, Koolstof en Silicium enz. twee aan twee tot dezelfde familie of groep. Regelmatige veranderingen in de beide rijen worden b. v. waargenomen in de verbindingen der verschillende leden met waterstof (H); alleen de laatste vier vormen verbindingen met waterstof; zoo kent men CH_4 , NH_3 , OH_2 , Fl H en evenzeer Si H_4 , PH_3 , SH_2 , Cl H , verbindingen, die twee aan twee niet alleen in bouw, maar ook in eigenschappen overeenstemmen. Nog duidelijker springt deze geleidelijke verandering der elementen met opklimmend atoomgewicht in het oog bij de zuurstofverbindingen in de tweede reeks, omdat daar alle elementen zich met zuurstof vereenigen kunnen. Zoo zijn de volgende oxyden bekend:



De hoeveelheid zuurstof neemt dus, op dezelfde getallen atomen van de andere elementen berekend, geregeld toe. Dezelfde opmerkingen zijn te maken bij combinatiën met andere atomen of atoomgroepen; en dit niet alleen, maar in een reeks van eigenschappen, scheikundige zoowel als natuurkundige, neemt men geleidelijke wijzigingen waar, zoodat het geheele karakter van de elementen geregeld verandert.

Daar in de beide reeksen de verandering van eigenschappen geheel op dezelfde wijze plaats vindt, zoo is duidelijk, dat in het gekozen voorbeeld een periodieke regelmatigheid zal ontstaan, in dien zin, dat men van een zeker element uitgaande een bepaald aantal elementen van verschillende eigenschappen moet passeeren om weer op een element te stuiten, dat analoog is aan het eerste. De rijen worden daarom ook wel perioden genoemd. Ook de andere elementen kunnen op meer of minder volledige wijze tot rijen vereenigd worden. Bij deze samenstelling van alle grondstoffen werd nog de opmerking gemaakt, dat tusschen de corresponderende leden der rijen van een even rang en die der rijen van een oneven rang minder aansluiting was dan tusschen die van de even en van de oneven rijen onderling.

De rijen, die in het begin tot voorbeeld gekozen zijn, vormen de tweede en derde rij van het stelsel. Behalve tusschen deze beide vindt men tusschen het laatste lid van een even rij en het eerste lid der daarop volgende oneven rij een drietal elementen van nagenoeg gelijk atoomgewicht, die een overgang tusschen de beide rijen vormen. Zoo'n even rij wordt dan met de drie overgangselementen en de daarop volgende oneven rij vereenigd tot een groote periode, die dus uit zeventien elementen bestaat. De bovenbedoelde drietallen van overgangselementen beantwoorden aan geen der zeven groepen van de kleine perioden, maar vormen een zelfstandige (de achtste) groep. Men verkrijgt dus, wanneer de elementen van elk der kleine perioden achter elkaar op horizontale rijen worden geplaatst, zoodanig, dat elk element van de volgende periode komt te staan onder zijn analogen van de vorige, een tabel, waarin telkens elke horizontale rij een periode vormt, terwijl de verticale rijen de leden der familiën of groepen zijn; achter de vierde, zesde en tiende rij komen dan nog de overgangsdrietallen, die tezamen de laatste of achtste groep vormen.

Het maken van deze tabel ging evenwel niet zoo gemakkelijk als men uit bovenstaande beschrijving zou kunnen opmaken. Niet voor alle elementen was de plaats in het stelsel onmiddellijk aangewezen: er waren zeldzame grondstoffen, wier eigenschappen onvolledig bekend waren en wier atoomgewichten niet nauwkeurig bepaald waren. Er werd een grondige kennis en dikwijls ook een gelukkige intuïtie vereischt om in de twijfelachtige gevallen de juiste keuze te doen. En ook dan nog was de regelmatigheid, die in de eerste perioden was opgemerkt, in de volgende slechts dan te verkrijgen, wanneer men sommige plaatsen in de tabel open liet. Maar juist door deze beide moeilijkheden en de wijze, waarop MENDELEJEFF ze trachtte op te lossen,

kreeg het stelsel een groote beteekenis. De periodieke regelmatigheid was bij de meer bekende elementen zoo duidelijk uitgesproken, dat zij niet te miskennen was en de Russische scheikundige was zoo overtuigd van hare algemeenheid, dat hij er geen bezwaar in zag, in de atoomgewichten van sommige minder bekende grondstoffen zoodanige veranderingen te maken als noodzakelijk waren om hen in de tabel de plaats te doen innemen, die hen blijkens hun eigenschappen toekwam. In dienzelfden zin was ook weldra LOTHAR MEIJER werkzaam, die door zijn graphische voorstellingen nog menige regelmatigheid aan het licht deed komen. Verschillende van de door hen gemaakte vooronderstellingen werden door latere onderzoekingen bevestigd en deze merkwaardige uitkomst gaf weldra aan hun overige beschouwingen groot gezag. Het is waar, dat enkele voorspellingen onjuist bleken te zijn, maar bij de groote moeilijkheden, die men op het nieuwe en in verschillende richtingen nog weinig bekende veld te overwinnen had, kon dit geen verwondering baren. Een nog schitterender uitslag viel te beurt aan de vooronderstelling van MENDELEJEFF, dat de opengelaten plaatsen in de tabel vroeger of later zouden ingenomen worden door nog te ontdekken elementen en aan de beschouwingen, die hij publiceerde over de eigenschappen, welke deze elementen zouden moeten hebben.

Om van den gang zijner redeneering eenig denkbeeld te geven schijnt het mij noodzakelijk een deel van de tabel weer te geven, zooals zij voorkomt in de laatste editie van L. MEIJER's boek »*Die Modernen Theorien der Chemie.*»

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
2	Li 7,01	Be 9,3	B 11	C 11,97	N 14,01	O 15,96	F 19,1	
3	Na 22,99	Mg 23,94	Al 27,3	Si 28	P 30,96	S 31,98	Cl 35,37	
4	K 39,04	Ca 39,90	? Sc 45	Ti 48	V 51,2	Cr 52,4	Mn 54,8	Fe Co Ni 55,9 58,6 58,6
5	Cu 63,3	Zn 64,9	Ga 69,9	? 72	As 74,9	Se 78,9	Br 79,75	
6	Rb 85,2	Sr 87,2	? IJ ¹ 88	Zr 90	Nb 94	Mo 95,8	? 99	Ru Rh Pd 103,5 104,1 106,2
7	Ag 107,66	Cd 111,6	In 113,4	Sn 117,8	Sb 122	Te 126,3	I 126,53	

Dit deel van de tabel bevat juist twee kleine en twee groote perioden.

¹ L. MEIJER maakt de vooronderstelling, dat naast het IJ. nog twee onbekende elementen moeten staan.

Het laatste deel van de tabel, dat nog veel hiaten bevat, heb ik achterwege gelaten. De getallen onder de elementen zijn de atoomgewichten. De Romeinsche cijfers duiden de groepen of familiën, de andere op zij geplaatste de rijen of perioden aan.

Toen MENDELEJEFF zijne tabel publiceerde waren de plaatsen ? Sc 45, Ga 69,9 en ? 72 nog niet vervuld. Hij achtte het hoogst waarschijnlijk, dat er elementen bestonden, welke deze gapingen zouden aanvullen en was nu in staat hunne eigenschappen te voorspellen door de betrekkingen, die er tusschen de elementen onderling bestaan: betrekkingen, die afhankelijk zijn van de plaats, welke zij ten opzichte van elkander in het systeem innemen. De plaats van een element wordt bepaald door de rij en de groep, waartoe het behoort. Zijn naaste verwanten zullen dus zijn de naburige elementen uit de rij en uit de groep, met dien verstande, dat men voor de laatste neme niet de onmiddellijke bureu uit de tabel, maar die welke één plaats verder staan, daar, zooals gezegd is, de onderlinge verwantschap van de termen der even rijen en van die der oneven rijen grooter is dan die van de termen van een even en een oneven rij. Tot nadere toelichting diene het volgende voorbeeld, uit de tabel genomen. De naaste verwanten van Se (Selenium) zijn As (Arseen) en Br (Broom) als rynaburen en S (Zwavel) en Te (Telluur) als groepnaburen. De eigenschappen van Se houden nu het midden tusschen die der genoemde elementen, zijn atoomanaloga, zooals MENDELEJEFF ze noemt. Zoo is b. v. het atoomgewicht van Se 78,9 op zeer weinig na gelijk aan het gemiddelde van die zijner atoomanaloga $\frac{74,9 + 79,75 + 81,98 + 126,3}{4} = 78,23$. Van vele andere eigenschappen geldt dit eveneens.

Het is nu duidelijk, hoe van de elementen, die het systeem doet vooruitzien, de eigenschappen kunnen worden bepaald, wanneer de atoomanaloga bekend zijn; bovendien kunnen bij deze bepalingen ook de betrekkingen tot andere meer verwijderde bureu dienst doen. MENDELEJEFF sloeg voor, aan de onbekende grondstoffen namen te geven en wel door aan den naam van hun naasten groepverwant met lager atoomgewicht het voorvoegsel Eka aan te brengen. Zoo heetten de nog te ontdekken elementen, die in de derde groep op Al (Aluminium) volgen moesten Ekabor en Ekaaluminium; het onbekende element, dat in de vierde groep op Ti (Titanium) volgen moest, Ekasilicium enz. De waarschijnlijke atoomgewichten dier elementen werden nu uit die hunner atoomanaloga bepaald, evenzeer hun vermoedelijke eigenschappen en die hunner verbindingen. Voor de drie genoemde hypo-

thetische elementen waren deze voorspellingen het best uit te voeren, omdat zij omgeven waren door meer of minder bekende grondstoffen.

Dergelijke bespiegelingen over eigenschappen van geheel onbekende grondstoffen waren volkomen nieuw. In eene wetenschap, als die der scheikunde, waar men, door de ervaring geleerd, niet dan met schroom nieuwe hypothesen aanvaardt en ze alleen dan langzamerhand vertrouwen gaat schenken als ze een verklaring geven van algemeen erkende feiten en vooral als de door haar voorspelde verschijnselen door waarneming bevestigd worden, zouden genoemde beschouwingen waarschijnlijk niet spoedig ingang gevonden hebben, zoo MENDELEJEFF niet had kunnen wijzen op het zeker merkwaardige feit, dat aan alle bekende elementen een plaats in zijn stelsel kon worden aangewezen, terwijl ook zeer spoedig bleek, dat zijne hypothese in staat was aan den tweeden eisch te voldoen, want kort daarop kwamen, zooals gezegd is, de resultaten van door anderen gedane onderzoeken sommige der voorgestelde veranderingen in de atoomgewichten bevestigen. Zoo geschiedde het dan, dat in zeer korten tijd aan de schijnbaar gewaagde voorspellingen van den Russischen scheikundige recht werd gedaan en zijne theorieën niet op erkenning behoeften te wachten, maar reeds door zijn tijdgenooten op hooge waarde werden geschat. Vooral in de tegenwoordige scheikunde is te midden van de groote menigte onderzoeken en ontdekkingen een juiste schatting, een goed oordeel over de meerdere of mindere belangrijkheid van hetgeen gevonden wordt voor den tijdgenoot dikwijls zeer moeilijk. Het gaat hem, volgens de schoone vergelijking van een bekend scheikundige, dikwijls als den wandelaar in het gebergte, wien het wel overkomt, dat hij de heuvels, te midden waarvan hij vertoeft, voor hooger houdt dan de verder gelegen bergtoppen, terwijl deze laatste alleen voor hem zichtbaar blijven, wanneer hij van een grooteren afstand naar de bergketen terugziet.

Trouwens de beteekenis van MENDELEJEFF's stelsel werd spoedig voor iedereen duidelijk, toen het in 1875 door LECOQ DE BOISBAUDRAN ontdekte Gallium door zijn atoomgewicht en de meeste zijner eigenschappen bleek overeen te komen met het Ekaaluminium en toen kort daarna het in 1879 door NILSON ontdekte Scandium aan het Ekabor van MENDELEJEFF bleek te beantwoorden. Ten slotte kwam in den allerlaatsten tijd de ontdekking van het Germanium, dat als het Eka-silicium herkend werd, zich aan de vorige toevoegen en zoo waren spoediger dan men had kunnen en mogen verwachten de ledige plaatsen bezet in dat gedeelte van de tabel, dat in dit opstel werd afgedrukt.

Daarom dus is de ontdekking van het Germanium van groote betekenis en had de ontdekker het recht te zeggen: »Hat man es nun im Germanium an sich schon mit einem sehr merkwürdigen Elemente zu thun, dessen Studium hohen Genuss gewährt, so bildet die Ergründung seiner Eigenschaften noch insofern eine ungewöhnlich fesselnde Aufgabe, als sie thatsächlich zum Prüfstein des menschlichen Scharfsinns wird. Denn einen schlagenderen Beweis für die Richtigkeit der Lehre von der Periodicität der Elemente, als den, welchen die Verkörperung des bisher hypothetischen »Eksasiliciums" in sich schliesst, kann es kaum geben, und es bildet in Wahrheit mehr, als die blosse Bestätigung einer kühn opgestellte Theorie, es bedeutet eine eminente Erweiterung des chemischen Gesichtsfeldes, einen mächtigen Schritt in 's Reich der Erkenntniss."

Behalve door MENDELEJEFF en LOTHAR MEIJER is ook door den ontdekker van het Gallium LECOQ DE BOISBAUDRAN eene classificatie van de elementen gemaakt, die hem in staat stelde het bestaan van bovenbedoelde grondstoffen te vermoeden. Hij heeft deze classificatie niet gepubliceerd en zelfs niet medegedeeld, of de beginselen, waarop zij berust veel of weinig van die der bovenbeschrevene verschillen¹. Hij kwam evenwel, voorzoover het Gallium en het Germanium betreft, tot bijna dezelfde resultaten als MENDELEJEFF.

.. Hoogst merkwaardig is ook het verband, dat hij ontdekte tusschen het licht, dat sommige elementen in gasvormig gloeienden toestand uitstralen en hun atoomgewichten. Aan de meerderheid der lezers van het *Album* zal het bekend zijn, hoe het licht, dat een element in gasvormig gloeienden toestand uitstraalt, wanneer het met een spectroscop onderzocht wordt, blijkt te bestaan uit stralen van bepaalde golflengte, dus van bepaalde breekbaarheid en hoe men dus voor iedere grondstof een spectrum verkrijgt met strepen, die voor haar karakteristiek zijn. LECOQ DE BOISBAUDRAN vond nu, dat in verschillende natuurlijke familiën de verandering van de aangroeiing der atoomgewichten evenredig is aan de verandering van de aangroeiing der golflengten van die stralen, welke in de verschillende spectra als homolog te beschouwen zijn. Zoo kon bij b. v. het atoomgewicht van het Germanium op de volgende wijze door zijne »loi spectrale" berekenen. Voor de drie leden Al, Ga en In uit de derde groep zijn de atoomgewichten 27,5, 69,9

¹ WÜRTZ zegt in zijne »*Théorie atomique*": Au reste, nous devons faire remarquer, que les idées qui ont dirigé M. LECOQ DE BOISBAUDRAN dans la »recherche" du Gallium (car cette grande découverte n'est pas due au hasard) n'ont rien de commun avec la conception de M. MENDELÉEFF.

en 113,5 bijgevolg de verschillen 42,4 en 43,6. Er is dus verandering in de aangroeiing: evenzeer is er verandering in de aangroeiing van de golflengten der homologe stralen dezer drie elementen. Neemt men nu de drie leden uit de vierde groep $\text{Si} = 28$, het nieuwe element Ge met het onbekende atoomgewicht en $\text{Sn} = 118$, dan vindt men, dat voor de golflengten hunner homologe stralen de veranderingen evenzeer toenemen. Daar nu volgens de genoemde wet de veranderingen in de aangroeiingen der golflengten evenredig zijn met de veranderingen in de aangroeiingen der atoomgewichten, kan men door een eenvoudige evenredigheid deze laatste verandering voor de elementen $\text{Si} - \text{Ge} - \text{Sn}$ en dus ook het atoomgewicht van Ge berekenen. Hij vond zoo 72,32 of 72,27, terwijl hij uit zijne classificatie had afgeleid 72,28. MENDELEJEFF en LOTHAR MEIJER hadden berekend 72. WINKLER eindelijk vond 72,32. Het bovenstaande zal voldoende zijn om een denkbeeld te geven van de nauwkeurigheid, waarmede de atoomgewichten van nog te ontdekken elementen kunnen berekend worden.

Bij een terugblik op het gezegde blijkt, dat het periodieke of natuurlijke stelsel reeds in verschillende opzichten groote diensten bewezen heeft. Het heeft een goede classificatie der elementen gegeven; het heeft geleid tot vaststelling of verbetering van sommige atoomgewichten en het heeft gediend en kan verder dienen tot bepaling van de eigenschappen van nog te ontdekken elementen. Eindelijk is, volgens een opmerking van WÜRTZ, het uit de samenstelling van MENDELEJEFF gebleken feit, dat de hoofdeigenschappen der elementen functiën zijn van hunne atoomgewichten, een krachtig bewijs voor de deugdelijkheid der grondslagen, waarop de tegenwoordige atoomgewichtsbepalingen berusten. De betrekkingen, waarvan sprake is, komen alleen voor den dag, wanneer men het tegenwoordige stelsel der atoomgewichten gebruikt, maar zij blijven geheel of grootendeels verborgen, wanneer men ze uit de vroeger aangenomen getallen wil afleiden.

Terwijl het genoemde stelsel dus op belangrijke resultaten wijzen kan, leidt het als van zelf nog tot verder reikende beschouwingen, die evenwel geheel in het gebied der hypothesen voeren. Het geldt de vraag over het al of niet samengesteld zijn der grondstoffen. Deze vraag is geen nieuwe: zij heeft zich al spoedig aan den menschelijken geest opgedrongen. Zonder te spreken van de meeningen der scheikundigen uit de vroegere perioden, wier opvatting van het begrip element dikwijls aanzienlijk van de latere verschilde, kan worden herinnerd, hoe reeds LAVOISIER, de grondlegger der wetenschappelijke scheikunde, onderscheid maakte tusschen die stoffen, welke men ele-

menten noemde, omdat men ze met de toen bekende hulpmiddelen niet verder verdeelen kon en eenige weinige, die volgens zijne meening als werkelijke elementen te beschouwen waren. Later was het de Engelsche scheikundige PROUT, die, zooals gezegd is, meende gevonden te hebben, dat alle atoomgewichten veelvouden waren van dat der waterstof en daarom de vooronderstelling waagde, dat de zoogenaamde grondstoffen allen waren opgebouwd uit één element, de waterstof, dat dus de eigenlijke »Urmaterie" zou zijn. Deze hypothese vond echter weinig bijval; BERZELIUS, de toongever in de scheikunde van de volgende periode, stond eene andere meening voor en hield de elementen voor afzonderlijke stoffen, geheel van elkander onafhankelijk, die niets met elkander gemeen hadden, dan hun standvastigheid, hun onveranderlijkheid, hun eeuwigheid. Zoo geraakte PROUT's hypothese eenigszins in vergetelheid, tot DUMAS haar in 1858 nieuw leven trachtte te geven. De vorm moest eenigszins gewijzigd worden, want het onderzoek had inmiddels geleerd, dat de atoomgewichten niet allen geheele veelvouden van dat der waterstof waren. DUMAS meende evenwel, dat de atoomgewichten, welke van den regel afweken, veelvouden waren van $\frac{1}{4}$ of $\frac{1}{2}$ atoom waterstof. Men had dus slechts aan te nemen, dat het waterstofatoom opgebouwd was uit vier deeltjes van de »Urmaterie" en de hypothese van PROUT kon in dezen veranderden vorm weer in eere worden hersteld. Daar evenwel de latere, zeer nauwkeurige atoomgewichtsbepalingen van STAS getallen geleverd hebben met kleinere breuken, zoude men in de bedoelde hypothese zoo groote wijzigingen moeten aanbrengen, dat zij ten slotte hare oorspronkelijke beteekenis geheel zou verliezen. De hypothese van PROUT is dus tegenwoordig in haar geheel niet houdbaar meer. Dat neemt evenwel niet weg, dat er verschillende argumenten zijn aan te voeren, waardoor de grondgedachte, het bestaan van ééne materie, waarschijnlijk wordt.

In de eerste plaats kan de overweging gelden, dat in de natuur steeds wordt waargenomen, hoe met geringe hulpmiddelen een zeer groote verscheidenheid wordt tot stand gebracht en dat er zoo iets strijdigs is in het aannemen van evenveel soorten van materie als er tegenwoordig grondstoffen bekend zijn. Evenzeer als men door de spectraalanalyse geleerd heeft, dat de aarde, de zon en de verst verwijderde sterren in hun kwalitatieve samenstelling niet wezenlijk verschillen, maar dat overal in het heelal dezelfde weinige grondstoffen worden gevonden, evenzeer heeft men reden te verwachten, dat het voortgezet onderzoek ook bij de kleinste deeltjes tot dezelfde eenheid van samenstelling zal voeren. »In der That", zegt A. W. HOFMANN in zijn nekro-

logie van DUMAS, »nachdem die Physiker die Einheit der Kräfte durch den Nachweis festgestellt hatten, dass Wärme, Elektriciteit, Magnetismus etc. verschillende aber in einander überführbare Kundgebungen desselben Agens sind, dürfte man nicht erwarten, dass es den Chemikern gelingen werde, auch die verschiedenen Arten von Substanzen, welke man als Elemente betrachtet, in einander überzuführen und auf diese Weise die Einheit auch der Materie darzuthun?"

Het is verder niet te ontkennen, dat vele van de reeds genoemde regelmatigheden in de atoomgewichten van sommige leden derzelfde familie van grondstoffen te vergelijken zijn met de betrekkingen, welke tusschen de moleculairgewichten van sommige tot dezelfde groep behoorende verbindingen worden waargenomen. Zoo hebben Lithium, Natrium en Kalium resp. de atoomgewichten 7,23 en 39, welke getallen opklimmen met het standvastige verschil 16. Vergelijkt men nu hiermede mierenzuur, azijnzuur en propionzuur, drie scheikundige verbindingen, die onderling in physische en chemische eigenschappen soortgelijke analogieën vertoonen als het bovengenoemde drietal metalen, dan vindt men ook hierin overeenstemming, dat de moleculairgewichten met een standvastig verschil opklimmen. Dit verschil is 14 en wordt hier veroorzaakt, doordat de molecule van elk volgend zuur één atoom koolstof en twee atomen waterstof meer bevat dan die van het vorige. Het ligt nu eenigszins voor de hand om voor de regelmatigheid in het eerste geval naar een gelijksoortige verklaring te zoeken en aan te nemen, dat ook hier een standvastig verschil in samenstelling voorkomt, m. a. w. dat de atomen van de genoemde elementen uit een verschillend aantal deeltjes der »Urmaterie" opgebouwd zijn. Voor deze hypothese spreken dan ook de talrijke andere regelmatigheden, die het periodieke stelsel heeft doen kennen en de afhankelijkheid, die het heeft geconstateerd tusschen de eigenschappen van een element en zijn atoomgewicht: betrekkingen, die zonder de bedoelde vooronderstelling een spel van het bloote toeval zouden schijnen.

Ook stuit de hypothese van de ondeelbaarheid der atomen nog op een andere moeilijkheid. Op verschillende gronden moet worden aangenomen, dat de atomen der lichamen in gasvormigen toestand in voortdurende beweging zijn, dat zij elkander hun beweging door schokken kunnen mededeelen en dat zij als veerkrachtige lichamen terugspringen. Een dergelijk gedrag is niet te verklaren, wanneer de atomen ondeelbaar en dus volkomen hard zijn.

Voegen wij er ten slotte nog bij, dat LOCKYER voor eenige jaren ter verklaring van een zeker aantal verschijnselen, die hij waarnam bij de studie van de spectra van eenige metalen, gemeend heeft de

samengesteldheid der elementen te moeten aannemen. Hij zag bij temperatuursverhooging sommige strepen in de spectra verschijnen of sterker worden, andere in glans verminderen of verdwijnen en verklaarde dit door de vooronderstelling, dat onze grondstoffen door verhitting in nieuwe elementen gedissocieerd (gesplitst) werden evenals sommige scheikundige verbindingen door verhitting kunnen ontleed worden. Zoo kon hij, door aan te nemen, dat bij verschillende elementen dezelfde dissociatieproducten optreden, ook het feit verklaren, dat sommige strepen (*»basic lines»*, zooals hij ze noemde) aan hun spectra gemeen waren. Met deze onderstelling vonden zekere eigenaardigheden in de spectra van verschillende sterren eveneens een bevredigende verklaring.¹

Ofschoon geen van deze argumenten op zichzelf geacht kan worden een bewijs voor het bestaan der *»Urmaterie»* te zijn, schijnt toch het feit, dat deze van een verschillend punt uitgaande redeneeringen tot dezelfde conclusie voeren, aan de hypothese vrij groote waarschijnlijkheid te geven. Verder dan tot het aantoonen van deze waarschijnlijkheid heeft de scheikunde het nog niet gebracht. Onwillekeurig rijst de vraag: zal zij het verder brengen? Zal het den scheikundigen ooit gelukken de *»Urmaterie»* af te zonderen? Hooren wij wat een scheikundige als DUMAS over deze belangrijke kwestie gezegd heeft: *»En effet si la chimie est une science nouvelle, les phénomènes chimiques sont aussi anciens que le monde, et ces radicaux² de la chimie minérale qu'il s'agirait de soumettre à une décomposition ultérieure, ce n'est pas d'hier que les hommes les connaissent. Leur existence se révèle dès les premiers temps historiques, où déjà se révèle aussi en quelque sorte leur immutabilité. Lavoisier ne les a pas découverts, ils existaient: seulement il les a rangés à leur vraie place. . . . Décomposer les radicaux de la chimie minérale serait donc une oeuvre plus difficile que celui que Lavoisier eut le bonheur d'entreprendre et d'accomplir. Car ce serait mettre en évidence non-seulement des êtres nouveaux et inconnus, comme on en découvre de temps en temps, mais des êtres d'une nature nouvelle et inconnue dont notre esprit ne peut par aucune analogie se représenter les apparences ou les propriétés. Ce serait porter l'analyse*

¹ Ook de samengesteldheid van het spectrum van het kwik, welks molecule in gasvormigen toestand slechts uit één atoom bestaat, wordt door sommigen aangehaald als een argument tegen de enkelvoudigheid der atomen.

² Radicalen noemt men atoomgroepen, die bij verschillende reactiën in hun geheel van de ééne scheikundige verbinding in de andere kunnen overgaan en die zich dus in sommige gevallen als elementen gedragen. Neemt men aan, dat de atomen opgebouwd zijn uit deeltjes van de *»Urmaterie»*, dan zijn ze met bovenbedoelde atoomgroepen te vergelijken en kan men ze dus ook radicalen noemen, alleen zijn het dan radicalen van een andere orde.

de la matière à un point que n'ont jamais atteint ni la connaissance de l'homme ni les forces naturelles les plus énergiques, ni les combinaisons et les procédés de la science la plus puissante. Ce serait mettre à profit des forces que nous ignorons ou des réactions que nul n'a imaginées.

Il s'agit donc d'un de ces problèmes que la pensée humaine a besoin de méditer pendant des siècles, où plusieurs générations peuvent user leurs forces et où l'analyse d'un Newton ne devient possible que lorsqu'elle a été préparée par les systèmes de plus d'un Copernic et par l'empirisme de plus d'un Kepler."

In denzelfden geest laat zich ook BERTHELOT over een naverwante vraag uit in zijn onlangs verschenen werk: *Les Origines de l'Alchimie*, waar hij, over de elementen sprekende, zegt: »Dans le cycle des transformations, si la` génèse réciproque de nos éléments n'est pas réputée impossible à priori, du moins il est établi aujourd'hui que ce serait l  une opération d'un tout autre ordre que celles que nous connaissons et que nous avons le pouvoir actuel d'exécuter." Men heeft hier dus te maken met problemen, die zeker in den eersten tijd niet op te lossen zijn. Maar al moge dan de eigenlijke oplossing der kwestie nog in een ver verwijderde toekomst liggen, toch zijn er, sedert DUMAS de aangehaalde woorden schreef, verschillende feiten bekend geworden, die het bestaan der »Urmaterie" waarschijnlijker maken. Ook in dit opzicht heeft het natuurlijke stelsel der elementen een niet te misskennen beteekenis en zal het vermoedelijk aan de wetenschap nog groote diensten kunnen bewijzen.

Amersfoort, 23 Januari 1887.

NASCHRIFT.

Onder de vele scheikundigen, die vóór MENDELEJEFF getracht hebben, regelmatigheden in de atoomgewichten der elementen op te sporen, verdient nog bijzonder genoemd te worden JOHN A. R. NEWLANDS. Hij toch bepaalde zich niet tot de beschouwing van enkele groepen, maar gaf in 1864 een lijst van al de toen bekende elementen in de volgorde van de atoomgewichten. Deze lijst was de eerste, die gepubliceerd werd en de prioriteit van de grondgedachte van het bovenbesproken stelsel komt dus aan NEWLANDS toe. Zijne denkbeelden werden echter niet algemeen bekend. In Engeland vond zijne rangschikking weinig bijval; zij werd zelfs zoo ongerijmd geacht, dat prof. FOSTER hem in 1866 op een vergadering van »The chemical Society" de vraag stelde, of hij wel eens getracht had, de elementen volgens de beginletters te rangschikken om op deze wijze regelmatigheden aan te toonen.