

Faraday 50 jaar

Overgenomen uit de zeventiende jaargang

De wet van elementenbehoud

PROF. DR R. HOOYKAAS

'De elementen, die in een verbinding treden, kunnen daaruit kwalitatief en kwantitatief onveranderd teruggewonnen worden.'

Deze Wet van Elementenbehoud is door Lavoisier uitdrukkelijk geformuleerd: '(il y a) une véritable égalité ou équation entre les principes des corps qu'on examine et ceux qu'on en retire par l'analyse'².

Het elementenbehoud is niet zoo vanzelfsprekend als wel lijkt. Aristoteles nam aan, dat elementen in elkaar kunnen overgaan, zoodat men geen waarborg heeft, dat de elementen, die de verbinding vormen, ook in dezelfde hoeveelheden daaruit teruggewonnen kunnen worden.

Het is dan ook bevreemdend, dat Lavoisier deze wet in een adem met het massabehoud als een apriori vast staande aandient. Immers, hij heeft het begrip 'element' in de strikte beteekenis van 'oerstof' los gelaten en het element als voorloopige grens der chemische analyse opgevat. Hij had geen enkele waarborg, dat de stoffen, die nog niet ontleed kunnen worden, niet in staat zouden zijn om bij onderlinge inwerking elkaar zóó te veranderen, dat bij daarop volgende scheiding weer andere stoffen tevoorschijn zouden komen (zooals de verbinding van NH_3 en HNO_3 bij verhitting N_2O en H_2O kan opleveren). Blijkbaar sprak echter de ervaring hem niet tegen als hij een behoudswet op de voorloopige grenzen der analyse toepaste. Dit neemt echter niet weg, dat elementenbehoud voor hem geen zuivere ervaringswet is.

Bovendien geeft Lavoisier een uitbreiding aan zijn behoudswet, die zeker niet op directe ervaring berust. Niet alleen komen dezelfde elementen, die *in* de verbinding treden er ook weer onverminderd *uit*, maar zij zijn ook *in de verbinding aanwezig*. De aanwezigheid van de warmtestof blijkt bijv. uit de vloeibaarheid of gasvormigheid van de verbinding³, de aanwezigheid van de *zuurstof* uit de zure smaak van de verbinding⁴.

Toen Dalton de atoomtheorie verbonden had met de elementenleer van Lavoisier, moest hij wel aannemen, dat de elementen, die *in* de verbinding treden, er niet alleen weer *uit* komen, maar ook er in 'zitten', want Daltons atomen zijn onveranderlijk en onvergankelijk. De latere chemie brengt dit tot uitdrukking in haar symboliek; 'FeS' beteekent voor haar gewoonlijk, dat zwavelijzer *bestaat* uit ijzer en zwavel. Hoe komt het dan, dat de elementen ijzer en zwavel in hun verbindingen zoo weinig doen blijken van hun typeerende eigenschappen, terwijl zij er toch *in* aanwezig zijn? Waarom lost zwavelijzer niet, zij het ook moeilijk, op in zwavelkoolstof, waarom is het niet sterk ferromagnetisch? Dalton had toch als definitie van een 'molecuul' gegeven, dat het de kleinste hoeveelheid van een stof is, die de eigenschappen van het geheel vertoont⁵. Naïef realistisch schreef hij de eigenschappen van de empirisch gegeven stof ook aan de kleinste deeltjes daarvan toe en, aangezien hij de moleculen der elementen allen als 1-atomig beschouwde, was dus een zwavelatoom voor hem een klein klompje van de bekende stof 'zwavel'. Als echter het zwavelijzermolecuul bestaat uit een stukje zwavel en een stukje ijzer, hoe kunnen dan de eigenschappen van die twee toch vrijwel verdwenen zijn? Dit was een moeilijk probleem, want aan de innerlijke verandering der atomen kon men het verschijnsel niet toeschrijven, zoolang men de atomen als onveranderlijke oerdeeltjes opvatte.

In het algemeen hebben de chemici zich sedert Dalton weinig bekommerd om het raadselachtige verdwijnen van de eigenschappen der elementen bij het aangaan van verbindingen. Berthelot heeft het noodig geacht te bewijzen, dat de totaal nieuwe eigenschappen van keukenzout t.o.v. zijn elementen, niet aan een vreemd bestanddeel te wijten zijn; Kopp e.a. hebben naarstig gezocht naar 'blijvende' eigenschappen. Echter, het groote succes der atoomtheorie op kwantitatief gebied — de wetten van massabehoud, van vaste samenstelling, van multiple proporties, worden erdoor verklaard — heeft de zwakheid op kwalitatief gebied doen vergeten en men heeft zich

erbij neergelegd, dat de grondwetten der chemie, zooals Stuart Mill zegt, een aanranding zijn van het principe van de samenstelling der oorzaken⁶. Men heeft het elementenbehoud desondanks zoo vanzelfsprekend gevonden, dat het in de meeste leerboeken niet eens uitdrukkelijk naast de andere stoichiometrische wetten geformuleerd wordt.

De thermodynamici, zooals Duhem en Ostwald, hebben echter wel geconstateerd, dat we slechts mogen zeggen, dat een element *in* de verbinding treedt, en er onverminderd weer *uit* kan komen en dat het ongeoorloofd is om te zeggen, dat het *erin* is. Daarin kwamen zij overeen met de consequente aristotelici, die de volstreckte homogeniteit der verbinding leerden, de onder chemici gangbare opvatting van elementenbehoud verwierpen en slechts een 'potentieel' voortbestaan der elementen erkenden. Het verschil is dan altijd nog, dat de thermodynamici een empiristische houding aannemen en zeggen: de ervaring bewijst niet, dat de elementen *in de verbinding zijn* en we willen alleen constateeren wat de ervaring ons biedt, terwijl bij de aristotelische wijsgeeren de volstreckte homogeniteit uit hun natuurphilosophische opvattingen voortvloeit, dus op wijsgeerige overweging berust⁷.

Nu echter het bestaan der atomen door de beoefenaars der natuurwetenschap als een 'feit' erkend is, kunnen we met deze opvattingen niet zonder meer genoegen nemen.

Een oplossing van het probleem is gegeven door D. Mendelejeff⁸. Het loont zeker de moeite daar aandacht aan te schenken, want nog steeds heerscht algemeen de oude begripsverwarring aangaande de elementen, zowel bij voor- als bij tegenstanders van de leer van het voortbestaan der elementen in de verbindingen.

Mendelejeff wil scherp onderscheid maken tusschen het begrip *eenvoudige stof* en het begrip *element*. "Een eenvoudige stof is iets materieels . . . van physische en chemische eigenschappen voorzien . . . Zij kan in 'isomere'⁹ en 'polymere'¹⁰ modificaties optreden en onderscheidt zich van het samengestelde lichaam slechts door de gelijksoortigheid van haar materiele deelen. Daarentegen zijn als 'elementen' aan te duiden die materiele bestanddeelen van

eenvoudige en samengestelde stoffen welke het physische en chemische gedrag daarvan bepalen . . . Zoo is koolstof een element maar kool, grafiet en diamant zijn eenvoudige stoffen". Mendelejeff verbindt het begrip 'eenvoudige stof' met dat van 'molecuul' (S₂; S₆; P₄; Hg) en het begrip 'element' met dat van 'atoom'¹¹. Juist is dat niet, want ook 1-atomige elementaire stoffen vertoonen allotropie, ook daar vallen dus 'eenvoudige stof' en 'element' niet samen, hoewel de begrippen 'molecuul' en 'atoom' daar (zeker in *die* tijd) wel samen vallen. Bovendien kunnen atomeigenschappen (zooals de magnetische eigenschappen van het ijzer), even goed als de door aggregatie veroorzaakte eigenschappen van eenvoudige stoffen, in hun verbindingen tenonder gaan, zoodat de moeilijkheid: "hoe kunnen de 'elementen' voortbestaan in de verbinding, terwijl hun eigenschappen verdwenen zijn" niet op te lossen is door het begrip element te vereenzelvigen met dat van atoom.

Daar het echter volstrekt niet noodzakelijk is de begrippen 'element' en 'eenvoudige stof' te koppelen aan de begrippen 'atoom' en 'molecuul', kunnen we Mendelejeffs onderscheiding handhaven zonder aan een bepaalde corpusculairtheorie te denken. Zelf zag Mendelejeff dat ook wel in; hij wil slechts, dat men zoowel voor eenvoudige als voor samengestelde stoffen vaststelt hoe hun eigenschappen afhangen van die der 'elementen' (ib. p. 42). De meetbare element-eigenschappen zijn dan vooral *atoomgewicht* en *valentie*. Hij merkt echter zelf op, dat de naam 'atoomgewicht' wel de atomistische hypothese vooronderstelt, maar dat men de atoomhypothese ook vermijden kan bijv. door de benaming 'elementairgewicht'¹². Hij erkent dus de waarde van het begrip 'atoomgewicht' als 'empirisch' begrip, onafhankelijk van de atoomleer en deze waarde hebben ook Gmelin, Ostwald, Duhem en andere empiristisch ingestelde scheikundigen niet ontkend¹³.

In 1891 wijst Mendelejeff nogmaals op het verschil "tusschen het begrip 'eenvoudig lichaam' als een bepaalde homogene stof en het begrip 'eenvoudig lichaam' als zintuigelijk niet waarneembaar stoffelijk bestanddeel van een verbinding"¹⁴. Vele eenvoudige lichamen komen in verschillende modificaties voor, 'terwijl een element, naar het begrip, iets is, dat

geen verandering ondergaat'¹⁵. 'Kool, grafiet en diamant zijn *verschillende*, maar toch *eenvoudige* stoffen, terwijl hun element steeds dezelfde koolstof is'¹⁶. Deze koolstof is ook aanwezig in koolzuurgas, maar noch (amorfe) kool, noch grafiet, noch diamant zijn in het koolzuurgas aanwezig¹⁷.

Uit Mendelejeffs opvatting volgt dus, dat we, zoo lang we over *de* koolstof spreken, het niet hebben over een empirische stof, die naast eenvoudige stoffen en verbindingen een plaats in de fasenleer heeft. De phasentheoretische definitie: 'Een stof, die onder alle omstandigheden slechts hylotropen fasen (d.w.z. fasen, waarvan gedurende transformatie de eigenschappen niet veranderen) vormt, noemen we een element' (Wald 1897; Ostwald 1904)¹⁸, geldt slechts voor de 'eenvoudige stoffen', niet voor de 'elementen'. Het begrip 'element' is — los van elke verklarende theorie, hetzij die van Dalton, hetzij die van Rutherford — belangrijk als *logische* abstractie. *Het* element zwavel is een veronderstelde gemeenschappelijke grondslag van verschillende onontlede stoffen, die we 'zwavel' noemen (dus S_λ , S_μ , S_π : rhombische en monokliene zwavel) en van de verbindingen, die deze eenvoudige stoffen kunnen vormen.

Het element zuurstof is niet O in staat van wording, niet zuurstofgas en niet ozon; lachgas bevat geen O_2 en ook geen ozon, in strikte zin zelfs geen O. *De* eenvoudige stof 'koolstof' bestaat niet, maar we kennen de eenvoudige stoffen grafiet en diamant en *het* element koolstof. De eenvoudige stof is een empirisch-chemisch ervaringsobject, een chemisch individu; het element is een abstractie, geen direct ervaringsobject, maar de veronderstelde oorzaak van eenvoudige stoffen (allotrope vormen: grafiet en diamant; polymere vormen: O_2 en O_3) en chemische verbindingen beiden. *De* koolstof is niet zwart en niet wit, niet hard en niet zacht, niet vast en niet vloeibaar, maar zij is wel vierwaardig en zij heeft het atoomgewicht 12. 'Elle est une idée pure, et défie toute description positive.'¹⁹ Het 'element' heeft, ondanks zijn experimenteele beteekenis, een abstract karakter.

Allotrope modificaties van hetzelfde element zijn verschillende individuen, daar zij in eigenschappen sterk verschillen. Men zou hiertegen kunnen aanvoeren, dat dan ook vaste en gasvormige zuurstof (O_2) verschillende individuen, dus verschillende 'eenvou-

dige stoffen', zijn en daar is niet veel tegen in te brengen. Hoe men het echter ook opvat: ons betoog wordt er niet door verzwakt, want steeds blijft de empirische stof, die eigenschappen heeft, welke gedeeltelijk aan de wijze van aggregatie te danken zijn, onderscheiden van de abstractie, welke 'de' stof voorstelt, een abstractie, die geen bepaalde kristalvorm heeft, niet vast en niet vloeibaar is en niet hard of zacht is. Zelfs al zou men afzien van de 'polymere' vormen (O_2 , O_3 ; S_4 , S_8) en alleen op 1-atomige grondbeginsels letten, zelfs al zouden alle elementen '1-atomig' zijn, dan blijft toch het verschil 'eenvoudige stof' en 'element'. De eerste is dan nog altijd een empirisch gegeven aggregatie met haar aggregaats-eigenschappen, het tweede verkrijgt men door van de aggregaats-eigenschappen te abstraheeren.

Als wij zoo beslist zeggen: koolstof is zwart en zacht, dan denken we aan grafiet, maar niet aan diamant. Als we zeggen: zwavel is een gele, vaste stof, dan denken we aan zwavel bij een bepaalde temperatuur en dan nog in kristallijne toestand. Doordat we voortdurend de taal van het dagelijksch leven spreken en niet een streng wetenschappelijke terminologie gebruiken, verwaarloozen we zoo gemakkelijk de omstandigheid, dat meer dan een eenvoudige stof correspondeert met één element. Het is in zeker opzicht te betreuren, dat we voor de elementen in het algemeen geen afzonderlijke namen hebben. Als men zegt: kwikoxyde bestaat uit kwik en zuurstof, en men zegt ook: kwik is een metaal en zuurstof een gas, dan zegt men dus, dat kwikoxyde bestaat uit een metaal en een gas. Die drogrede kan alleen ontstaan, doordat we eerst over de elementen en daarna over de eenvoudige stoffen spreken. 'Maar,' zegt Mendelejeff, 'kwikoxyd bevat niet twee eenvoudige stoffen, metaal en gas, maar twee elementen, kwik en zuurstof, die, afzonderlijk genomen, metaal en gas vormen. Niet het kwik als metaal en niet de zuurstof in zijn gasvormige toestand zijn in het kwikoxyde aanwezig; het bevat slechts de stof dezer eenvoudige lichamen, zooals in waterdamp slechts de materie van het ijs, niet het ijs zelf, aanwezig is.'²⁰ We zouden dus correct moeten zeggen: *zuurstofgas* en *diamant* vormen koolzuurgas, dat bestaat uit *zuurstof* en *koolstof*. Mendelejeff wilde dan ook de naam 'zuurstofgas' voor O_2 , 'ozon' voor O_3 (de eenvoudige stoffen dus) gebruiken en de naam 'zuurstof' voor het 'element' (dat hij met de O gelijkstelde) reserveeren²¹.

Voor het 'element' in de zoojuist ontwikkelde beteekenis, geldt nu ten volle de wet van elementen-

behoud (behoudens beperking door transmutatie), want het is zóó gedefinieerd, dat die wet *moet* gelden ('het is, volgens het begrip, iets, dat geen verandering ondergaat')²². Maakt men het begrip 'element' echter niet zelfstandig t.o.v. het begrip 'eenvoudige stof', dan is het onjuist van elementenbehoud te spreken, want de hylotropie fasen, die de chemische analyse ons tenslotte oplevert, het zuurstofgas, het kwikmetaal, de diamant, de grafiet, zijn niet *aanwezig* in de zuurstofverbindingen, de kwikverbindingen, de koolstofverbindingen, niet *actueel* (zooals de gangbare chemische opvatting suggereert), maar ook niet *potentieel* (zooals Ostwald meende), want waarom spreekt men dan niet van diamantoxyde en zegt men niet, dat koolzuurgas 'potentieel' of 'virtueel' grafiet bevat?

Door echter het begrip 'element' los te maken van het begrip 'eenvoudige stof', is het voortbestaan der elementen in de verbindingen ten volle verzekerd, vooral wanneer men niet de inconsequentie begaat het begrip 'element' aan dat van 'aatom' te koppelen, want atomen bestaan *niet onveranderd* voort in de verbindingen²³.

Dat inderdaad het 'element' en niet de 'eenvoudige stof' de grondslag der scheikunde is, blijkt nog eens te meer als Mendelejeff de eigenschappen van eenvoudige stoffen en verbindingen als periodieke functies van de *atoomgewichten* (dat zijn de grootheden, die de 'elementen' bepalen) opvat. 'De periodieke wet brengt *de eigenschappen van de elementen en niet die van de eenvoudige stoffen* tot uitdrukking. De eigenschappen der eenvoudige en der samengestelde stoffen zijn slechts periodiek afhankelijk van het atoomgewicht der elementen, omdat zij het resultaat van de eigenschappen der elementen zelve zijn, die de eenvoudige en samengestelde lichamen vormen'²⁴. De chemische systematiek berust dus niet op een periodiek systeem van eenvoudige stoffen, die 'virtueel' in de verbindingen aanwezig zijn, maar op een periodiek systeem van 'grondstoffen' of 'elementen'.

De begripsverwarring, die door Mendelejeff op zoo voortreffelijke wijze is opgehelderd, zij het zonder veel resultaat bij het nageslacht, is eenvoudig te verklaren uit de historie. Wij hebben dit uitvoerig gedaan in 'Het begrip element in zijn historisch-

wijsgeerige ontwikkeling' en zullen ons hier dus tot een korte uiteenzetting beperken.

De wijsgeeren hebben het begrip element apriori opgesteld; een element is voor hen een ondeelbare stof, waaruit alle andere stoffen opgebouwd zijn en waarin ze in principe ook weer ontleed kunnen worden. Elementen zijn dus onontleedbare en ook onveranderlijke stoffen²⁵. Hoe is het dan echter mogelijk, dat we toch zooveel veranderingen zien? Die veranderingen moeten te herleiden zijn tot de *blijvende* elementen.

Nu leeren we een stof kennen door zijn eigenschappen; de ware, blijvende elementaire substanties kennen we dus door blijvende, ook in de verbinding voortbestaande eigenschappen. Ondanks dit rationalistische karakter van het element begrip, tracht men daarmee nu toch ook te voldoen aan een merkwaardige positivistische eisch: men definieert een bepaald *blijvend* element door de wijze, waarop men tot zijn bestaan besluit, door de waargenomen *blijvende* eigenschappen. Het element is eenvoudig het veronderstelde blijvende substraat, de substantieel drager, van de als blijvend geconstateerde eigenschappen. Zoo nam men als drager van de brandbaarheid de 'sulphur philosophorum' of het 'phlogiston' aan, als drager van de metalliciteit de 'mercuur', van de zuurheid de *zuurstof* (Lavoisier), van de warmte de *warmtestof* (Lavoisier) en van de koude soms zelfs de *koudestof* (Gassendi)²⁶. Isoleerbaarheid werd niet geeischt: mèt de warmtestof ging de 'warmte' over van de eene verbinding in de andere, mèt het phlogiston ging de brandbaarheid over van de houtskool naar de metaalkalk.

Daarnaast kwam ook de eisch van de onontleedbaarheid naar voren. Men had het element apriori als onontleedbaar gedefinieerd en wilde tòch de *praktijk* laten uitmaken welke stoffen daaraan voldoen. Het element werd aldus een gewone stof, waarvan niet de mentale analyse der eigenschappen, maar de chemische scheidingskunst de eenvoudigheid vaststelt. Men merkte echter op, dat ook stoffen als zwavel, goud, koper enz., die de theorie nog als niet-elementair beschouwde, niet te ontleden waren met de bekende hulpmiddelen en men kwam aldus geleidelijk tot het 'concrete' begrip van 'de voor ons eenvoudige stof'. Men heeft dus nu twee begrippen:

1^o. de absolute elementen, die wellicht nooit isoleerbaar zijn en gekend worden door de eigenschappen, die ze veroorzaken in de verbindingen en 2^o. de betrekkelijk eenvoudige stoffen, die de grenzen der ontledingskunst zijn. Deze twee begrippen zijn in de praktijk ineengevloeid en daardoor is verwarring ontstaan.

De verdienste de moderne definitie van de eenvoudige stof het eerst gegeven te hebben komt ongetwijfeld aan Lavoisier toe. Hij wil geheel afzien van de 'metaphysische elementen', die laatste bouwstenen der stoffelijke wereld zouden zijn. Hij wil zich beperken tot analysegrenzen en beschouwt een stof, die met de ons ten dienste staande hulpmiddelen nog niet ontleed is, voorloopig als elementair. 'Les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen, sont pour nous des éléments'²⁷. 'Nous nous contenterons de regarder comme simples toutes les substances que nous... obtenons en dernier résultat par l'analyse chimique'²⁸. Ook dit is een positieve definitie; ook hier wordt het element gedefinieerd door de wijze, waarop men tot zijn bestaan besluit: de chemische analyse bepaalt welke stoffen als elementair te beschouwen zijn, de chemische analyse bepaalt ook wat onder een element verstaan moet worden.

Toch heeft Lavoisier zich niet streng aan zijn analytische definitie gehouden. Zijn elementen zijn niet steeds geconstateerde analysegrenzen, maar soms verwachte analysegrenzen en in eenige gevallen zelfs hypostasen van eigenschappen, dus 'éléments chimiques' i.p.v. 'corps simples'²⁹. Hij heeft barietaarde, hoewel hij haar voor een verbinding hield, consequent in zijn tabel van elementen geplaatst, omdat hij haar niet ontleden kon; chloor bleef er echter buiten, omdat hij het op grond van een analogieredeneering voor een oxyde hield. De zuurstof heeft hij nooit geïsoleerd (naar zijn eigen mening), want het vrije zuurstofgas is volgens hem een verbinding van zuurstof met warmtestof, dus een warmtestofoxyde; de zuurstof zelf is het 'principe acidifiant':³⁰ 'il est impossible de l'obtenir seul et dégagé de toute combinaison. Dans notre atmosphère il est uni au calorique, qui le tient en état de gaz'³¹. De 'koolstof' was het veronderstelde, niet afgezonderde, zuivere bestanddeel van de ruwe houtskool³².

De warmtestof, evenmin ooit geïsoleerd, was evenals het oude phlogiston, de hypostase van een 'eigenschap' en geleek dus in niets op een 'eenvoudige stof', terwijl 'zuurstof' en 'koolstof' bij Lavoisier iets hebben van het karakter van een 'eenvoudige stof' zoowel als van een 'élément chimique'.

Zoo dobberde reeds Lavoisier, de eerste, die de analytische element-definitie streng geformuleerd heeft, heen en weer en zoo vertoonen zijn elementen niet alleen het karakter van eenvoudige stof (corps simple), verkregen door 'analyse chimique', maar ook dat van 'élément chimique', verkregen door 'analyse par la pensée'. Door Daltons atoomtheorie is daarna het tweeslachtig karakter van de elementenleer nog versterkt en eerst de fasenleer heeft de consequente empiristische lijn weer voortgezet en het begrip 'eenvoudige stof' zuiver gedefinieerd. Zoo lang men echter analysegrenzen en dragers van blijvende eigenschappen niet streng onderscheidde, ontstonden moeilijkheden doordat men de behoudswet, die voor laatstgenoemden gold, ook op de eerstgenoemden toepaste.

De in de laatste tijd geopperde meening, dat Aristoteles³³ reeds hetzelfde elementbegrip gehad zou hebben als Lavoisier moet ten stelligste worden afgewezen³⁴. Hetzelfde geldt voor de vrijwel algemeen gangbare opvatting, dat Boyle eigenlijk dezelfde opvatting van het element gehad heeft³⁵. Zoowel Aristoteles als Boyle stellen zich volstrekte elementen voor den geest, wat Lavoisier beslist niet doet.

Aan Lavoisier danken we dus de definitie van de 'eenvoudige stof'. Voor de definitie van het 'element' moeten we, evenals de chemici vóór Lavoisier, zoeken naar dragers van de *substantieele eigenschappen*. Echter zullen we *nu* trachten, in overeenstemming met het veranderde karakter van de scheikunde, niet de verschillende elementen te zien als substraten van verschillende 'qualiteiten', maar van verschillende kwantitatieve intensiteiten van dezelfde eigenschap.

Welke eigenschappen zijn substantieel en leenen zich tot kwantitatieve bepaling? Brandbaarheid, metaalachtigheid enz. zijn reeds ten tijde van Lavoisier als onbruikbare indicaties verworpen. Maar de *massa* der eenvoudige stoffen is een blijvend iets, ook als samengestelde stoffen gevormd worden³⁶ en het atoomgewicht is daarom tot het bepalende kenmerk van het element geworden. Volgens Urbain, die

voorzitter van de 'Commission internationale des éléments chimiques' was (1923), is voor een positieve definitie van een element noodig: 1^o. Dat alle verbindingen van hetzelfde element gemeenschappelijke kenmerken hebben; 2^o. dat daaruit de algemeene eigenschappen (die elk element bezit) gekozen worden³⁷. De radioactiviteit voldoet aan de eerste eisch, kan dus in sommige gevallen toegepast worden. Ze voldoet echter niet aan de tweede eisch en is daarom voor een algemeene definitie ongeschikt. Atoomgewicht voldoet echter aan beide eischen. In 1910 aanvaardde het Congrès international de chimie te Parijs het voorstel van A. de Gramont, dat atoomgewicht en optisch spectrum voldoende zijn om een element te karakteriseeren. Een element kan dus als ontdekt gelden (door spectraalanalyse) vóór de isolering van een bijbehorende eenvoudige stof³². Dit verklaart, hoe Urbain in een prioriteitsstrijd gewikkeld kon worden met v. Hevesy over de ontdekking van het element 72 ('celtium' of hafnium?).

Daar is nu als kenmerk bij gekomen de kernlading, of — als men zich vrij wil houden van de atoomtheorie — het rangnummer, dat bijv. te meten is uit het röntgenspectrum (wet van Moseley).

Echter: de isotopen veroorzaakten moeilijkheden. Zij hebben dezelfde kernlading, maar verschillend atoomgewicht en verschillen dus in alle eigenschappen, die direct met de massa samenhangen (diffusiesnelheid, s.g.) en dikwijls ook in radioactieve eigenschappen. Daarmee zijn isotopen reeds verschillende dingen. Fajans³⁹ beschouwde ze daarom als verschillende elementen van hetzelfde type en Wegscheider sloot zich bij hem aan. Hieruit ontstond een polemiek met Paneth (1916), die 'een chemisch element als de samenvatting van alle atomen met dezelfde kernlading' opvatte⁴⁰. De Internationale Commissie van 1923 besloot, hoewel zij eigenlijk, evenals Wegscheider en Fajans, terecht de meening huldigde, dat de isotopen *verschillende* elementen zijn, tóch, om praktische redenen, evenals Paneth een element door zijn *atoomnummer* alléén als voldoende gekarakteriseerd te beschouwen⁴¹. De chemici zouden er tóch niet toe overgaan om isotopen als verschillende elementen te beschouwen, daar de verschillen tusschen isotopen te subtiel waren. Volgens de officiële definitie werd nu een element

echter een *plejade*, een groep, i.p.v. een streng bepaalde eenheid, wat theoretisch onbevredigend is⁴².

En de eenvoudige stof? Dat begrip heeft het nog veel zwaarder te verduren. De spontane ontleding van radium wierp de knuppel in het hoenderhok. Gedaan was het met de rust, die sedert Lavoisier geheerscht had. Men herstelde zich echter spoedig: *wij* konden de radioactieve stoffen immers niet ontleden⁴³.

Erg erger werd het, toen men kunstmatige transmutatie ging bewerkstelligen en isotopenscheiding ging uitvoeren. Men ging de Lavoisiersche definitie nu wat uitbreiden: een eenvoudige stof is een stof, die we met onze *chemische* hulpmiddelen niet hebben kunnen ontleden⁴⁴. Maar dan kan dus een eenvoudige stof chemisch eenvoudig en fysisch samengesteld zijn. En waar ligt de grens tusschen chemische en fysische methoden? *Het* criterium: het onontleed zijn, wordt los gelaten. Men zou een onbeperkt aantal eenvoudige stoffen kunnen maken door isotopen met elkaar te mengen; daarna zijn ze immers 'chemisch' niet meer te scheiden. Zelfs een mengsel van edele gassen zou met eenig recht als eenvoudige stof beschouwd kunnen worden. Het onderscheid is niet te handhaven. De z.g. fysische methoden dienen ook om eenvoudige stoffen (lanthaniden) te scheiden en zij dienen met steeds grooter succes om isotopenmengsels te scheiden, zoodat het moeilijk vol te houden is, dat een isotopenmengsel één eenvoudige stof is. Thermodynamisch verschillen de isotopen immers.

Fajans heeft al deze moeilijkheden trachten te omzeilen door de definitie: 'een element (N.B. eenvoudige stof bedoeld) is een stof, die een eenvoudig röntgenspectrum geeft en niet een mengsel van andere stoffen is gebleken te zijn'⁴⁵. Hier zijn de isotopen zelfstandige elementen. Erg fraai is de definitie niet: als analytisch kan zij niet gelden en zij verwacht weer 'eenvoudige stof' en 'element'.

'Eenvoudige stof' is een bruikbaar praktisch begrip gebleven, maar heeft toch veel van de oorspronkelijke beteekenis ingeboet. Urbain zegt: "Tenslotte is het begrip 'eenvoudige stof' niet meer te handhaven. Het is vergeefs het te verdedigen, want het is duidelijk, dat een lichaam, dat ontleed kan worden, geen eenvoudig lichaam is"⁴⁶. Maar kan men proto-

nen, electronen, enz. dan niet als 'eenvoudige stoffen' beschouwen? O.i. is dit verwerpelijk, daar zij geen 'stoffen' in de gewone betekenis, geen 'chemische individuen'' zijn. Het zou een ongeoorloofde vermenging van subatomaire en makroskopische begrippen beteekenen, als we een 'electron' als een 'eenvoudige stof' aanduiden.

Noten

- Voordracht gehouden op het Symposium, georganiseerd door de Ned. Chem. Ver. op 23 Dec. 1946 te Amsterdam. Uitvoerige publicatie *Chem. Weekbl.* **43** (1947) p. 526-531.
- Rien ne se crée. . . . et l'on peut poser en principe que dans toute opération il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération, que la qualité et la quantité des principes est la même. . . . avant et après l'opération. A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*, 2me éd. Paris 1793, p. 141.
- Traité de chimie* p. 54.
- Traité de chimie* p. 69.
- 'The integrant particles are precisely similar to each other, and to the general mass, which is composed by their union' citeert Dalton met instemming uit Murrays leerboek der chemie en instemmend voegt hij daaraan toe: 'All this is more than perspicuous, it is excellent'. *J. Natl. Phil.* **28**, 85, (1811).
- F. Paneth, *Schriften Königsberger Gelehrtengeellschaft.* **8**, H. 4, p. 105 (1931).
- Over deze kwestie: R. Hooykaas, Het ontstaan der chemische atoomleer, *Tijdschr. Philosophie* **9**, 114 e.v. (1947).
- Ann. Chem. Pharm. VIII Suppl. Band* (1871), p. 133-229; *Ostwalds Klassiker* **68**, p. 41.
- Met isomere vormen bedoelt M. allotrope vormen, dus bijv. rhombische en monokliene zwavel.
- Met polymere vormen bedoelt M. de z.g. dynamische allotropie, bijv. O₂ en O₃.
- Ostw. Klass.* **68**, p. 41.
- Ostw. Klass.* **68**, p. 44.
- R. Hooykaas, *Tijdschr. Philosophie* **9**, 122-123 (1947).
- D. Mendelejeff, *Grundlagen der Chemie*, Petersburg 1891, p. 27.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 28.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 28.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 27, 28.
- R. Hooykaas, *Het begrip element in zijn historisch-wijsgeerige ontwikkeling*, Utrecht 1933, p. 217.
- G. Urbain, *Les notions fondamentales d'élément chimique et d'atome*, Paris 1925, p. 8.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 27.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 232.
- '... ein Element, dem Begriffe nach, ist etwas einer Veränderung nicht unterliegendes'. Mendelejeff, *op. cit.* p. 28.
- Paneth, die deze identificatie ook verwerpt, vervalt er toch in: 'Ein chemisches Element ist der Inbegriff sämtlicher Atome gleicher Kernladung' (p. 118) slaat op 'Grundstoff' ('element'), terwijl hij toch op p. 121, noot 4 zegt, dat het onjuist is atoom en element te identificeren, omdat soms ook 'einfache Stoffe aus Atomen und nicht aus Molekülen aufgebaut sind'. Vgl. ook Paneth, *op. cit.* p. 119, noot 1.
- Mendelejeff, *Grundl.* p. 688.
- De onveranderlijkheid wordt door Aristoteles ontkend.
- Uitvoeriger besproken: R. Hooykaas, *Chemie en alchemie, Chem. Weekblad* **32**, 250-255 (1935).
- Lavoisier, *Traité de chimie*, p. XVII.
- Méthode de nomenclature chimique proposée* par M. de Morveau etc. Paris 1787, p. 17.
- R. Hooykaas, *Rede en ervaring in de natuurwetenschap der XVIIIe eeuw*, Kleywegt, Loosduinen, p. 45-49.
- Lavoisier, *Traité*, p. 69.
- Lavoisier, *Traité*, p. 203.
- Vergelijk: Guyton de Morveau, *Mémoire sur le développement de la Nomenclature chimique*, Paris 1787, p. 43: 'La pure matière charbonneuse, ce radical, en le distinguant du charbon dans l'acceptation vulgaire en l'isolant par la pensée nous lui adaptons l'expression modifiée de carbone, qui indiquera le principe pur, essentiel du charbon'.
- De coelo III*, 3.
- Zie R. Hooykaas, De wet van elementenbehoud, *Chem. Weekblad.* **43**, 529 (1947).
- De voorstelling, dat Boyle het analytische elementbegrip reeds opgesteld heeft, vindt men vrijwel algemeen (o.a. Hoenen, *Phil. d. anorg. natuur*, Nijmegen, 1938, p. 322; Duhem, *Le mixte etc.* Paris, 1902, p. 16-17; H. Metzger, *Les doctrines chimiques etc.* Paris 1923, p. 259; R. Meyer, *Vorlesungen Gesch. d. Chemie*, Leipzig 1922, p. 38; R. Ehrenfeld, *Grundriss . . . chem. Atomistik*, Heidelberg 1906, p. 176; Rabinowitsch, *Grundbegriffe d. Chemie*, 1930, p. 11, 12; Fajans, *Radioaktivität etc.* Braunschweig 1919, p. 83; J. Newton Friend, *Physical chemistry*, London 1932, vol. I, p. 4; J. R. Partington, *A short history of chemistry*, London 1937, p. 136). Zie R. Hooykaas, Het begrip Element enz. p. 205. Reeds C. M. v. Deventer heeft in zijn diss. (Amsterdam 1887) deze voorstelling bestreden. Zie ook: R. Hooykaas, *Robert Boyle*, Kleijwegt, Loosduinen (1943) p. 56.
- Tenminste als we ons houden aan hetgeen de chemische experimenteerkunst openbaart. Hierbij wordt de massa van de warmte, die bij het vormen van de verbinding optreedt, niet waargenomen.
- Urbain, *op. cit.* p. 15.
- Urbain, *op. cit.* p. 32.
- K. Fajans, *Radioaktivität enz.* Samml. Vieweg, Heft 45, Braunschweig 1919, p. 81.
- Z. phys. Chem.* **91**, 171 (1916) en *Schr. Königsb. Gelehrtengeellschaft.* **8**, p. 118: 'Ein chemisches Element ist der Inbegriff sämtlicher Atome gleicher Kernladung', damit wäre das chemische Element nicht mehr als einfacher Stoff sondern als Grundstoff definiert.
- Premier rapport de la Commission Internationale des éléments chimiques*, Paris 1923.
- Het begrip 'element' (Grundstoff) naar zijn moderne definitie wordt er niet door aangetast, daar het slechts het substraat van een bepaald atoomgewicht (eventueel: atoomnummer) aanduidt. Maar Mendelejeffs definitie (zie blz. 26 noot 3), die in zijn denken met de *Daltonsche* atoomleer verbonden was, wordt er wel eenigszins door gecompromitteerd. Het ontleden van een tot dusver als 'eenvoudige stof' geldend ding brengt het verdwijnen van een als 'element' beschouwd ding mee.
- Paneth, *op. cit.* p. 117.
- Fajans, *op. cit.* p. 101.
- Urbain, *op. cit.* p. 13.