

# ROBERT BUNSEN

DOOR

Dr. R. S. T J A D E N M O D D E R M A N.

(Vervolg en slot van blz. 79).

---

Vele jaren, hoofdzakelijk tusschen 1853—'63, heeft BUNSEN zich met photochemische onderzoekingen bezig gehouden. Hij deed dat in vereeniging met H. E. ROSCOE, die geruimen tijd zijn assistent was en na zijn vertrek naar Engeland de proeven met anderen heeft voortgezet. De photochemie, grenswetenschap tusschen natuur- en scheikunde, was als 't ware een aangewezen gebied voor den Heidelberger geleerde, die in beide vakken even thuis was en nu tevens de bewijzen zou leveren, dat hij vrijelijk over de hulpmiddelen der wiskunde beschikte. De verhandelingen van BUNSEN en ROSCOE over dit onderwerp, oorspronkelijk in POGGENDORFF's *Annalen* verschenen, zijn ten deele door OSTWALD in zijn uitgave van *Klassiker der exacten Wissenschaften* opgenomen en daardoor onder ieders bereik gebracht. Naar laatstgenoemde in een korte narede opmerkt, »levert de lectuur een ongewoon intellectueel genot op. Niet alleen dat er veel uit te leeren valt, de lezer doorloopt tevens een cursus in de experimenteerkunst. In geen wetenschappelijke verhandeling op dit gebied blijkt van zoo groote slagvaardigheid op chemisch, physisch en wiskunstig terrein; scherpzinnigheid in 't verzinnen van proeven en geduld en volharding in de uitvoering; van zulk nauw letten op de geringste bijzonderheden en eindelijk van zoo ruimen blik op meteorologisch-kosmische verschijnselen.»

Toen B. en R. hun onderzoek begonnen, was de photochemie nog slechts op bescheiden schaal beoefend. Enkele verschijnselen op dit

gebied, zooals 't verschieten van gekleurde stoffen en 't groen worden van planten in het zonlicht, zijn stellig van ouds waargenomen, doch het blijkt niet, dat men daarin een werking van het licht zag en nog in 1660 schreef de kundige BOYLE de toen reeds lang bekende zwart kleuring van chloorzilver aan den invloed der lucht toe.

In de 18<sup>de</sup> eeuw werden slechts nu en dan eenige geïsoleerde feiten bekend: zoo door SCHULZE, die (1727) de verkleuring van zilverzouten bepaaldelijk aan de verlichting en niet aan de verwarming door de zonnestrallen toeschreef en zelfs reeds primitieve lichtbeelden vervaardigde; door SCHEELE, die (1777) met chloorzilver doortrokken papier in 't zonnenspectrum legde en in het violet de sterkste kleuring zag; door BERTHOLLET, die (1785) aantoonde, dat chloorwater in 't donker niet veranderde, maar in 't licht chloorwaterstof deed ontstaan, onder ontwikkeling van zuurstof; enz.

Twee belangrijke ontdekkingen vooral hebben de natuuronderzoekers tot een meer systematische beoefening der photochemie opgewekt. Vooreerst het door INGENHOUSZ en SENEBIER nog in 't laatst der vorige eeuw geleverd bewijs, dat de groene planten met behulp van de zonnestrallen koolzuur uit de atmosfeer opnemen en daarvoor zuurstof teruggeven, en in de tweede plaats de uitvinding der photographie door DAGUERRE, NIEPCE en TALBOT, omstreeks 1838.

In de natuur is alles naar maat en gewicht geregeld en zoo werd dan ook, na de voorloopige, meest kwalitatieve kennis van verschijnselen, in de photochemie een bruikbare maat noodig, om den door het licht verrichten arbeid in een bepaalde maat uitgedrukt te zien. Het is daaraan, dat BUNSEN en ROSCOE, niet voldaan over de pogingen hunner voorgangers in deze richting, (met name DRAPER en WITTWER) allereerst hun krachten wijdden.

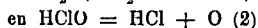
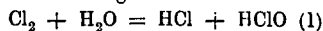
De methode van den laatstgenoemde, die de ontleding van chloorwater als maat voor de chemische werking van het licht bezigde, werd door hen afgekeurd, omdat WITTWER voor de bepaling van de hoeveelheid vrije chloor in water — wat natuurlijk vóór en na de verlichting geschieden moest — zich van een verouderde handelwijze bediende, die minstens tot op 9 pct. onzeker was. Deze onnauwkeurigheid kon evenwel door BUNSEN en ROSCOE vermeden worden. Want kort tevoren had BUNSEN een zeer algemeene methode van maatanalyse gevonden, die hierop neerkomt, dat men bij een door weinig stijfsel blauw gekleurde oplossing van jodium in joodkalium zoolang verdund zwaveligzuur droppelt, dat de blauwe kleur juist

verdwenen is. Op deze wijze kan allereerst vrij jodium scherp bepaald worden, maar vervolgens indirect ook al de stoffen, die jodium uit het joodkalium doen vrijkomen, dus ook vrij chloor, dat, naar bekend is, atoom voor atoom jodium in joodkalium vervangt. Door deze zoogenoemde jodometrische methode, die in hoofdzaak nog steeds gevolgd wordt<sup>1</sup>, heeft BUNSEN krachtig medegewerkt tot de ontwikkeling der maatanalyse, die destijds nog weinig gevorderd en geacht was.

Doch kon deze fout worden verbeterd, onoverkomelijk vonden zij een tweede bezwaar, dat aan bijna alle chemische actino-meters (*actin* = zonnestraal) en ook aan het door WITTEWEG gebezigde chloorwater eigen is. De samenstelling van de door het licht bescheenen stoffen verandert toch voortdurend: heeft men aanvankelijk alleen chloor in water opgelost<sup>2</sup>, één oogenblik later is van 't chloor iets verdwenen en vervangen door zoutzuur; aanhoudend zal dus de hoeveelheid chloor af- en de tevens in 't water opgeloste hoeveelheid zoutzuur toenemen. Volgens WITTEWEG nu belet dit niet het gebruik van chloorwater als actinometer; hij leidt namelijk uit zijn proeven af, dat binnen zekere grenzen de werking van het licht in gelijke tijden evenredig is aan het chloorgehalte en dat het gevormd zoutzuur geen invloed heeft. Als dat waar was, kon men den invloed der telkens veranderende samenstelling gemakkelijk in rekening brengen. Doch BUNSEN en ROSCOE vonden dit niet bevestigd. Uit hun zeer nauwkeurige chloorbepalingen vóór en na de verlichting leidden zij af, dat de water ontleedende werking van genoemd element noch aan den duur of aan de sterkte der verlichting evenredig was, noch aan het chloorgehalte van het water. Als reden daarvoor geven zij

<sup>1</sup> Men heeft de oplossing van zwaveligzuur, die door verdamping van zwaveldioxyde spoedig slapper wordt, vervangen door eene van natriumthiosulfaat.

<sup>2</sup> Sedert lang zijn er redenen, en onderzoekingen van den laatsten tijd bevestigen dit, om aan te nemen dat de ontleding van chloorwater in twee fasen verloopt:



De eerste zou reeds aanstonds, ook in het donker, plaats hebben; m. a. w. chloor zou niet als zoodanig oplossen, maar eerst door waterontleding zoutzuur en onderchlorigzuur vormen, die dan gezamenlijk in 't overige water opgelost blijven. Het licht zou dan niets anders te doen hebben, dan volgens (2) het onderchlorigzuur te splitsen in zoutzuur en zuurstof. Voor de beschouwingen in den tekst is dit onverschillig en werd daarom van de oudere voorstelling uitgegaan, dat het chloor in 't water als zoodanig bestond, tot dat het licht aldus daarop werkte:  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{HCl} + \text{O}$ .

op, dat de ontledingsproducten, zoutzuur en zuurstof, terugwerking (»Rückwirkung») oefenen, m. a. w. dat deze de reactie trachten om te keeren:  $2 \text{HCl} + \text{O} = \text{H}^2 \text{O} + \text{Cl}^2$ .

Die verklaring is opmerkelijk: omkeerbare reacties, die sedert uitvoerig bestudeerd zijn en thans niet als uitzondering, maar als regel beschouwd worden, trokken destijds nog ter nauwernood de aandacht.

Een betere maat voor de chemische werking van het licht vonden zij in het reeds door DRAPER gebezigde mengsel van gelijke maatdeelen chloor en waterstofgas, dat, in het donker onveranderlijk, in zwak licht langzaam, in sterk zonlicht snel en onder ontploffing in chloorwaterstof (zoutzuur) overgaat. Hoewel 't genoemde gasmengsel, door BUNSEN en ROSCOE chloorknalgas genoemd, om laatstgenoemde reden voor direct zonlicht onbruikbaar is, bezit het overigens boven alle bekende chemische actinometers het voordeel, dat de samenstelling gedurende de proef steeds dezelfde blijft. Want als men het mengsel door water afsluit, (vooraf met chloor en waterstof verzadigd) dan zal het zoutzuur door zijn verbazende oplosbaarheid even snel worden opgeslorpt, als het door de werking van 't licht ontstaat en chloor en waterstof, mits oorspronkelijk in gelijke maatdeelen voorhanden, zullen steeds in diezelfde verhouding achterblijven. Doch, zooals destijds niemand beter inzag dan BUNSEN, door zijn boven vermelde studie over absorptiecoëfficiënten van gassen, zou dit alleen dan het geval kunnen zijn, wanneer de drukking waaronder de gassen staan gedurende de proeven, onveranderd bleef.

Want elke verandering in druk moest ten gevolge hebben, dat de verhouding gewijzigd werd tusschen de gassen boven en in de vloeistof.

In het al te eenvoudige toestel van DRAPER, door hem »tithonomete<sup>r</sup>»<sup>1</sup> genoemd, wisselde de druk, waaronder de gassen verkeerden, en moest bij gevolg ook de verhouding der volumina voortdurend afwisselen, die overigens ook vóór 't begin der proef slechts bij benadering juist genomen werd.

BUNSEN en ROSCOE hebben zich nu ongelooflijk veel moeite gegeven

<sup>1</sup> De afleiding van dit woord vind ik niet opgegeven. »Tithonos» is in de grieksche mythologie de geliefde van Eos (Aurora), die voor hem van de Goden de onsterfelijkheid verkreeg. Doch zij vergat om tevens een eeuwige jeugd te vragen, en vandaar dat Tithonos later door sommigen opgevat is als een allegorie van den dag in zijn verloop, die des morgens frisch en schoon, door de hitte en het licht als 't ware verteert en verdort. — »Titan» is een oude benaming voor den Zonnegod, doch zoo deze bedoeld was, dan zou de benaming: »titanomete<sup>r</sup>» moeten luiden.

den tithonometer van DRAPER te verbeteren. Na langdurige studiën en nauwgezette proefnemingen, die gelijk zij in hun verhandeling zeggen hun geduld, meer dan een half jaar lang, op de hardste proef stelden, zijn zij eindelijk daarin naar wensch geslaagd. Doch voldoet hun actinometer aan strenge eischen van nauwkeurigheid, men moet toegeven dat de geheele inrichting zeer samengesteld is en van den proefnemer veel geduld en groote handigheid en geoefendheid vergt. Van daar, dat latere onderzoekers zich meestal weer van andere actinometers bediend hebben, die eenvoudiger ingericht snellere, doch tevens minder nauwkeurige uitkomsten geven, ja dat ook BUNSEN en ROSCOE zelve voor sommige doeleinden later een eenvoudiger maat kozen, die op de zwart kleuring van met chloorzilver overtrokken papier berust.

't Voornaamste deel van het toestel bestaat uit een bolvormig glas, waarin 't gasmengsel aan het licht wordt blootgesteld. Aan weerszijden mondt daarin horizontaal een glazen buis uit, waarvan de eene voor den gastoevoer dient, na vulling van het toestel met water, dat eerst met de gassen verzadigd wordt. De andere, tegenovergestelde buis heeft een verdeelde schaal. Bij 't begin der proeven vult het gasmengsel ongeveer de bovenhelft van den bol en nog een ruim deel van de verdeelde buis, verderop door de waterkolom afgesperd. Vermindert nu gedurende de verlichting de hoeveelheid gas, door de vorming van zoutzuur dat direct door 't water wordt opgenomen, dan beweegt zich de waterkolom in de verdeelde buis een eind weegs naar den bol toe. Die verplaatsingen worden natuurlijk in regelmatigige tusschenpoozen genoteerd. Het toestel staat in een donkere kamer en moet zorgvuldig beschermd worden tegen stralende warmte. Want, gelijk te begrijpen is, het instrument, hoewel dienst doende als actinometer, is tegelijkertijd een gevoelige gas-thermometer. De nauwkeurigheid der hiermee genomen proeven berust vooral hierop, dat het aan BUNSEN en ROSCOE gelukt was door electrolyse precies gelijke maatdeelen chloor en waterstof te verkrijgen (DRAPER had dit voor ondoenlijk verklaard) en in het toestel die verhouding ook te bewaren, door het gelijkhouden van den druk.

Voor de meeste proeven diende gaslicht. Aanvankelijk bedienden zij zich van den zoogenoemden Scott'schen, daarna van de door BUNSEN zelf uitgedachten brander, die reeds boven ter sprake kwam. Onnoodig te zeggen, dat de daardoor verkregen vlammen zorgvuldig bestudeerd werden. Door middel van schermen met openingen wer-

den de verschillende gedeelten der vlam op lichtkracht en chemische werking vergeleken. Ook het lichtgas van de Heidelberger gasfabriek werd herhaaldelijk geanalyseerd: de invloed van de natuurlijk altijd eenigszins afwisselende samenstelling was over 't algemeen zeer gering. Veel meer invloed op de chemische werkingen kunnen de geringste sporen van sommige vreemde lichamen oefenen, die de vlammen kleuren.

De roode, paarse, gele en groene kleuringen, die resp. door inbrengen van chloorlithium, chloorkalium, chloornatrium en chloorbaryum verkregen werden, veranderden de chemische werking van de kleurlooze Bunsen'sche vlam niet — maar als men de vlam prachtig groen kleurde door chloorkoper of vaal door chloorantimonium, dan werd haar werking op het chloorknalgas zeer aanzienlijk versterkt. De chemische werking van verschillende lichtbronnen werd, gelijk reeds hieruit volgt, zeer verschillend bevonden, maar voor dezelfde vlam, b.v. van lichtgas, was die evenredig aan het lichtgevend vermogen.

Een uitvoerige studie is door BUNSEN en ROSCOE gemaakt van het reeds door DRAPER aan chloorknalgas waargenomen feit, dat het licht niet onmiddellijk zijn chemische werking schijnt te oefenen. Aanvankelijk is die onmerkbaar, begint dan langzaam, om vervolgens na verloop van eenigen tijd constant te worden. Ze noemden dat »photochemische inductie" en uitten zich dienaangaande als over een door de stralen eerst te overwinnen weerstand, doch onder bijvoeging dat dit slechts beeldspraak is, geen verklaring. DRAPER had van een gewijzigden toestand gesproken, waarin 't chloor eerst moest gebracht worden, vóórdat het zich direct met waterstof kon verbinden. Doch, zooals BUNSEN en ROSCOE proefondervindelijk aantoonde, gebeurt het voorbereidend werk niet, als men chloor en waterstof eerst afzonderlijk laat beschijnen, zelfs door direct zonlicht; laat men de gassen zich daarna mengen, dan hebben zij nog even langen tijd nodig om »geïnduceerd" te worden. Voorts vonden zij, dat als men 't gasmengsel zoo lang verlichtte, tot dat de verbinding tot zoutzuur juist begonnen was, de geïnduceerde toestand slechts kort bestaan bleef, als men 't mengsel dan weer in 't donker bracht. Wacht men te lang met het andermaal te verlichten, dan zal men weer evenveel tijd behoeven als gewoonlijk, om de verbinding tot stand te brengen. Voorts stelden zij nog tal van bijzonderheden vast, die van belang zijn voor een latere verklaring. Zoo b. v. dat de inductie meer tijd

eischt, naarmate de gaszuil, waardoor de stralen gaan, langer is; (wat zij verklaren, doordien de reeds geïnduceerde gasmoleculen door diffusie in diepere lagen komen, en in het door de absorptie verzwakt licht ten deele hun geschiktheid ter verbinding weer verliezen) dat daarentegen de inductie minder tijd eischt naarmate het licht sterker is. Voorts bestudeerden zij den invloed van bijmengsels op de inductie (overmate van chloor of waterstof; zuurstof) en toonden ten slotte aan, dat sommige reeds lang in de fotografie bekende waarnemingen begrijpelijk werden door ook daar (dus bij zilver-zouten, enz.) inductie aan te nemen.

Geheel overeenkomstig met de wet van 't behoud van arbeidsvermogen is het door BUNSEN en ROSCOE bewezen feit, dat de chemisch werkende lichtstralen arbeid verrichten, m. a. w. dat de trillende aether zijn beweging op stoffen overbrengend, die daardoor chemisch worden omgezet, zelf tot stilstand komt. Reeds de bijzonderheid, dat licht hoeveelheden zoutzuur doet ontstaan evenredig aan de sterkte, en bij gelijk blijvende intensiteit evenredig aan den tijd van inwerking, wees hierop. Doch in bijzonderheden werd het nog nader bestudeerd. Zoo lieten zij de stralen van een gasvlam door een cilinder met zuiver chloorgas gaan. 't Licht werd hierdoor verzwakt, want een deel der stralen wordt door 't chloorgas opgeslorpt en verwarmt dit. Dan lieten zij 't zelfde licht een tweemaal langeren cilinder doorgaan, met chloorknalgas gevuld. Er zal dan evenveel van de stralen worden opgeslorpt om tot verwarming te dienen, als in de eerste proef. Want er is evenveel chloor in en van de waterstof, die er onder gemengd is, weet men dat haar stralen-opslopend vermogen onmeetbaar klein is. Doch nu leerde de proef niettemin dat het licht in dit laatste geval ongeveer een en half maal sterker opgeslorpt werd dan in het eerste, wat dus kennelijk wijst op een arbeid, die wél in chloorknalgas, maar niet in enkel chloor verricht wordt. De onderzoekers kwamen mitsdien tot de gevolgtrekking, dat van de stralen eener gasvlam, door chloorknalgas uitgedoofd, twee derde tot verwarming dient en één derde tot het verrichten van den arbeid, die de gassen in staat stelt zich te verbinden. Met ander licht herhaald werd de verhouding, gelijk te verwachten was, anders bevonden. Chloorgas en chloorknalgas slorpten b. v. van gereflecteerd morgenlicht veel meer op, dan van het licht van steenkolengas, doch hiervan werd slechts een zesde gedeelte (d. i. absoluut nog altijd meer; maar betrekkelijk

tweemaal minder) voor den arbeid besteed, noodig om chloorknalgas tot zoutzuur om te zetten.<sup>1</sup>

Ter toetsing van toestel en methode, hadden BUNSEN en ROSCOE het niet overbodig geacht proefondervindelijk aan te toonen, dat de op chloorknalgas werkende stralen aan de wetten gehoorzaamden voor de lichtstralen in 't algemeen vastgesteld. Zij deden dat tevens omdat, gelijk zij zeggen, nog door sommigen geloofd werd, dat de chemische verschijnselen niet aan de werking van gewone lichtstralen van bepaalde breekbaarheid waren toe te schrijven, maar aan een afzonderlijk, van 't licht verschillend agens, dat mogelijk geheel bijzondere wetten volgde.

Naar de toenmalige, ook door BUNSEN en ROSCOE gevolgte, meer algemeene voorstelling, zouden warmte-, licht-, en chemische-stralen aan dezelfde wetten gehoorzamen, doch verschillen in golfengten. Zij zouden als 't ware drie verschillende spectra geven, die zich ten deele bedekten; de minst breekbare zouden de warmte-stralen zijn met een maximum-werking nog buiten het zichtbare rood, dan zouden de voor 't oog zichtbare stralen volgen met de grootste intensiteit op de grenzen van geel en groen; en eindelijk als de meest breekbare de chemische stralen komen, die zich nog verre buiten het zichtbare violet uitspreidden, hoewel hun sterkste werking nog even daarin viel.<sup>2</sup> Naar men weet, is men later, vooral na de onderzoekingen van DRAPER in 1872 (zie *Album der Natuur*, *Bijblad* 1873, blz. 10) nog verder gegaan en BUNSEN en ROSCOE zelve hebben daartoe den weg gebaad door hun proefondervindelijk bewijs, dat alle

<sup>1</sup> Men meene niet dat de door het licht gepresteerde arbeid gemeten wordt door de warmte, die bij de zoutzuurvorming vrijkomt. Deze komt overeen met de hoeveelheid chemische energie, die n-chloor- en n-waterstofmoleculen meer bezitten dan 2 n moleculen chloorwaterstof. Het licht doet geen ander werk dan 't chemisch proces in gang te brengen, vermoedelijk door den band tusschen de atomen in de chloor- en waterstofmoleculen (in een van beide of beide) losser te maken. Men kan 't zelfde effect ook teweegbrengen door 't chloorknalgas te verwarmen. Doch die verwarming moet vrij sterk zijn en ook mechanische stooten verdraagt 't gasmengsel, zonder dat het tot een verbinding komt. Men heeft daarom het vrij stabiel evenwicht van chloorknalgas wel vergeleken met dat van een overeindstaand prisma, dat tegen een kleinen schok bestand is, maar door een Forscher stoot omvalt en dan in een nog meer stabiel evenwicht komt.

<sup>2</sup> De hier gegevene schets is gevolgt naar H. E. ROSCOE, *Die Spectralanalyse*, vertaling van C. SCHORLEMMER, Brunswijk, 1870. Op blz. 9 vindt men die nader opgehelderd door een grafische teekening.



stralen dezelfde wetten volgden. De onderscheiding tusschen de drie spectra is nu geheel opgegeven: *dezelfde* stralen, die als licht worden opgevat, kunnen ook verwarmen en chemischen arbeid verrichten.

Dat hunne werking verschilt, al naar de stoffelijke voorwerpen die zij treffen, ligt aan den verschillenden aard en gesteldheid van deze laatste en slechts in zooverre ook aan de golflengten, als hiervan afhankelijk is of en op welke wijze de energie van den trillenden aether op de eveneens vibreerende zware stofmoleculen, (waarschijnlijk volgens het bekende beginsel der resonantie) kan worden overgebracht.<sup>1</sup>

Dat men zoolang aan 't bestaan van specifiek chemisch werkende stralen geloofde, die aan 't violette einde van 't spectrum zouden voorkomen, ligt o. a. hieraan, dat de langst en best bekende photochemische werkingen aan zilverzouten zijn waargenomen. Eerst in 1873 gelukte het aan Dr. H. VOGEL, door bijvoeging van organische kleurstoffen, die de minder breekbare stralen opslorpen, ook deze laatste op chloor-, broom- en joodzilver te doen inwerken. Voor chloorknalgas ligt de hoofdwerking in indigo en violet en daarom konden ook BUNSEN en ROSCOE moeilijk op andere gedachten komen. Hun actinometer, ofschoon de beste van alle chemische, is dus geen absolute maat voor de totale stralende energie, die tot scheikundige werking kan worden gebracht. Om deze reden en eenige andere, (z. a. 't gebruik van lenzen en prisma's van kwarts, dat evenmin als eenig andere brekende stof een geheel normaal spectrum geeft, dewijl er steeds stralen geabsorbeerd worden) is er veel in hunne photochemische verhandelingen dat thans min of meer verouderd is.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 't Verschil is, wèl beschouwd, minder groot dan de benamingen doen vermoeden. 't Physiologisch verschijnsel, dat wij licht noemen, wordt in ons gezichtsorgaan gewekt door een chemische verandering in het netvlies en de stralen, wier golflengten noch te groot, noch te klein zijn om dit te doen (zoogenoemde lichtstralen) werken dus eigenlijk chemisch. En wat 't verschil tusschen warmte- en chemische werking betreft, men weet dat elke verwarming neerkomt op versnelling van de vibraties der moleculen, en het inleiden van een chemisch proces op versnelling van de beweging der atomen, die de moleculen samenstellen. Afgezien van de weegbare stof, zijn er dus alleen maar stralen (aethertrillingen) en deze werken altijd door overbrenging van energie van beweging.

<sup>2</sup> De totale stralende energie kan o. a. gemeten worden met den bolometer door LANGLEY in 1882 uitgedacht. Zie hierover 't opstel van Dr. J. CAMPERT in dit tijdschrift, (jaarg. 1884, blz. 197) waarin tevens het bij den bolometer gebezigde traliescherm ter sprake komt, als het beste middel om een normaal spectrum te verkrijgen. Dit ontstaat door buiging en niet door breking.

Als men bedenkt, dat sedert ongeveer 40 jaren verlopen zijn en dat natuur- en scheikunde inmiddels met reuzenschreden zijn vooruitgegaan, dan zal men zich daarover niet verwonderen. Niettemin vindt men in die gedeelten hunner verhandelingen, waarop dit vooral van toepassing is, veel dat, met inachtneming van de beperkte geldigheid hunner methoden, van blijvende waarde is. Zoo in hun vergelijkingen van de chemische intensiteit (d. i. dus: werking op chloorknalgas) van verschillende lichtbronnen en in hun met taai geduld en groote scherpzinnigheid verrichte proeven over 't chemisch arbeidsvermogen, dat de aarde en de planeten van de zon ontvangen en over 't geen er van die stralende energie, na de opslorping en reflectie door de atmosfeer, al naar de uren van den dag, de jaargetijden, hemelsbreedte, enz. ten slotte nog overblijft.

Niet onvermeld mag blijven dat, aangezien zij voor dezelfde lichtbron de chemische werking met hun actinometer evenredig aan de lichtkracht (optische intensiteit) vonden, zij bij deze proeven groot nut trokken van den door BUNSEN uitgedachten photometer, die hierop berust, dat een papieren scherm met een vetvlek tusschen twee lichten geplaatst een lichte vlek op donkeren grond te zien geeft, als het achterste licht sterker is; daarentegen omgekeerd een donkere vlek op lichten grond als het aan de voorzijde geplaatste licht het in sterkte wint. Bij gelijke verlichting voor en achter verdwijnt de vlek geheel en men behoeft dus het scherm tusschen de beide lichten slechts zoolang te verschuiven totdat dit het geval is, om uit de respectieve afstanden (naar de bekende wet, dat lichtsterkten omgekeerd evenredig zijn aan de tweede machten der afstanden) de gegevens te verkrijgen om de intensiteit van 't eene licht in die van het andere als maat uitgedrukken. Hoewel deze in beginsel zoo eenvoudige methode een groote geoefendheid van den waarnemer eischt en men later andere methoden heeft uitgedacht, wordt zij toch nog altijd veel toegepast.

Ten slotte zij nog vermeld, dat men aan BUNSEN en ROSCOE ook de voor de praktische photographie zoo gewichtige toepassing dankt van brandend magnesiumdraad, waarvan het licht zeer rijk is aan de violette en ultraviolette stralen, die vooral op zilverzouten werken. Daardoor is het voor 't eerst mogelijk geworden lichtbeelden te verkrijgen in ruimten, die voor 't zonlicht niet toegankelijk waren. Niet alleen dat zij het magnesium-licht bestudeerden en met zon- en kaarslicht vergeleken, maar zij hebben tevens de methoden aangegeven

voor de fabriekmatige bereiding van magnesiumdraad en de inrichting beschreven van een doelmatig toestel voor de verbranding.

Heb ik lang stilgestaan bij BUNSEN's photochemische studiën, ik zal korter zijn over de spectraalanalyse, door hem en KIRCHHOF aan de wetenschap geschonken. Dit kan bevreemden, want onder de vele wetenschappelijke ontdekkingen dezer eeuw, zijn er maar enkele, die zich in belangrijkheid met deze kunnen meten. Niet alleen heeft zij den scheikundige het middel verschaft om met zekerheid ongelooflijk kleine, onweegbare hoeveelheden van elementen aan te toonen en dat zelfs van grondstoffen, waarvan het aardsch bestaan door niemand vermoed werd, maar bovendien heeft zij het aanzijn gegeven aan een nietuwen tak der sterrenkunde, die men chemische astronomie zou kunnen noemen. Eindelijk bewijst zij ook gewaardeerde diensten aan de overige natuurwetenschappen en toepassingen daarvan.

Doch die verfijning en uitbreiding van het geheele natuuronderzoek hebben zooveel verbazing gewekt in de geheele beschaafde wereld, dat er wel nauwelijks een ontwikkelde is, die daarvan geheel onkundig bleef. Ook in dit tijdschrift is de spectraal-analyse herhaaldelijk besproken en zou ik dus water naar zee dragen, indien ik over dezen meest vermaarden arbeid van BUNSEN even breed uitweidde, als ik over zijn minder bekende, althans in dit tijdschrift schaars besprokene, photochemische onderzoekingen deed.<sup>1</sup>

Ik bepaal mij daarom tot de geschiedenis der ontdekking en eenige belangrijke uitkomsten, die men uitsluitend aan BUNSEN te danken heeft.

Een van zijn geliefkoosde studiën, waarmede hij zich herhaaldelijk onledig heeft gehouden, zijn de vlam-reacties. In 1866 heeft hij de vruchten daarvan neergelegd in een verhandeling, waarin, wellicht nog duidelijker dan in eenige andere, van zijn groot talent blijkt, om met hoogst eenvoudige en beperkte hulpmiddelen verrassende uitkomsten te verkrijgen. Zoo bepaalt hij, om iets te noemen, nauw-

<sup>1</sup> Vooral zij verwezen naar het uitnemend artikel: »de Spectraal-analyse, inzonderheid in hare toepassing op de hemellichamen" bewerkt naar P. AGGELLO SECCHI, jaarg. 1865, blz. 353. Zie ook: „Kleuren" door W. M. LOGEMAN, jaarg. 1862, bladz. 16 en verv. Voorts komt de spectrocoop ter sprake in jaarg. 1872, 147; 1874, 280; 1891, 131 en vindt men jaarg. 1867, 30 een toepassing op de gerechtelijke geneeskunde (absorptie-spectrum van bloed). Veel vindt men ook verspreid in de *Bijbladen* van jaarg. 1861 af.

keurig den tijd, dien 1 centigram van chloor-, broom- en jood-verbindingen der alkali-metalen behoeft, om in 't heetst gedeelte zijner gasvlam te verdampen en berekent daaruit een constante, waaruit blijkt dat de vluchtigheid dezer stoffen omgekeerd evenredig is aan de moleculair-gewichten.

BUNSEN had nu o. a. ook de kleuringen bestudeerd, die vele metaalzouten aan de vlam geven. Uit het bladz. 110 medegedeelde zal de lezer gezien hebben, dat hij daarmede reeds tijdens zijn photo-chemische onderzoekingen bezig was.

Terwijl men nu uit de kleuring dikwerf tot de aanwezigheid van een bepaald metaal kan besluiten, als men met zuivere verbindingen te doen heeft, laat dit middel dikwerf in den steek bij mengsels. Zoo is zelfs een kleine hoeveelheid van het geel vervend natron voldoende om de blauwpaarse kleuring der kali-zouten onzichtbaar te maken, beletten baryt-zouten om de roodkleuring van strontiaan te zien, enz. Op het voetspoor van CARTMELL, had BUNSEN nu in 1859 zich met proeven bezig gehouden om deze bezwaren te overwinnen met behulp van gekleurde glazen en van oplossingen, die van het licht der gekleurde vlammen een gedeelte opslorpen en een ander gedeelte doorlaten. Werkelijk verkreeg hij op deze wijze eenige resultaten en nog heden bedient men zich wel van een blauw kobalt-glas, die de gele natronstralen opslorpt, om kali-zouten te ontdekken.

Doch in een gesprek met KIRCHHOFF, merkte deze op, dat men hoogstwaarschijnlijk nog veel beter het beoogde doel zou kunnen bereiken, als men het licht der gekleurde vlammen door een prisma liet gaan en aldus de lichtstralen volledig naar hun breekbaarheid scheidde. Met hun beiden togen zij nu aan het werk, construeerden een toestel, dat later verbeterd werd tot den bekenden spectroscop, en verkregen werkelijk uitkomsten, die aan de verwachting beantwoordden, ja, die weldra overtroffen. Bekend was hiervan reeds, dat een door natrium geel gekleurd licht als spectrum een lichtende streep van dezelfde kleur geeft, die samenvalt met de donkere D-streep uit het zonnenspectrum. Doch nu zagen zij, dat ook zouten van andere metalen (kalium, lithium, calcium, enz.) op bepaalde, doch voor elk verschillende plaatsen lichtende lijnen teweegbrachten, die ten deele aan bekende strepen van FRAUENHOFER beantwoordden. Was dit voor KIRCHHOFF niet onverwacht, verrassend was daarentegen ook voor hem een ander verschijnsel, toevallig waargenomen, toen zonlicht op de door natrium gekleurde vlam viel en die gezamen-

lijke lichtstralen door het prisma gebroken werden. In plaats van de bekende heldere, gele streep zag hij nu op de plaats van de D-lijn een zwarte, donkerder nog dan in het zonnenspectrum. KIRCHHOFF kon niet aanstonds een verklaring geven, maar na 24 uren had hij het naar hem genoemde beginsel ontvouwd, volgens hetwelk een lichaam juist die stralen sterk opsorpt, die het vooral uitstraalt. Hiermede was tegelijkertijd de grond gelegd voor de toepassing der spectraal-analyse op de sterrenkunde, waarbij het in de eerste plaats aankomt op die absorptielijnen, m. a. w. op de donkere strepen in het zogenoemd omgekeerd spectrum.

Naar men ziet, is dus meer bepaald KIRCHHOFF als de eigenlijke ontdekker der spectraal-analyse te beschouwen, zij het ook dat de gesprekken en de samenwerking met BUNSEN daartoe aanleiding gaven. Van hem ging dan ook in den aanvang van 1860 de voorloopige bekendmaking uit, die reeds in April van 't zelfde jaar door een eerste en in Juni '61 door een tweede uitvoerige verhandeling van beide geleerden gevolgd werd. Zooals reeds de titel daarvan: »Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen» doet verwachten, zijn tekst en inhoud in hoofdzaak het werk van BUNSEN. Helder en zaakrijk wordt allereerst de methode verklaard en vervolgens haar groote voordeelen (nauwkeurigheid, eenvoudigheid, gevoeligheid) aan de metalen der alkaliën en alkalische aarden getoetst. Achtereenvolgens werden voor allerlei stoffen (ertsen, zee- en mineraalwateren, plantenasch, enz.) de beste manieren bestudeerd om ze voor 't onderzoek op genoemde metalen voor te bereiden en de strepen-spectra beschreven die ze opleverden. Reeds aanstonds verkreeg hij hierbij belangrijke uitkomsten. Zoo bleek het o. a. dat het metaal lithium, (waarvan men slechts een honderd duizendste milligram der koolzuurverbinding in de vlam behoeft te brengen om tusschen de FRAUENHOFER strepen D en C een zwakke gele en tusschen C en B een heldere roode lijn te zien) niet, gelijk tot dus ver geloofd werd, alleen in drie of vier mineralen voorkwam, maar dat het in geringe sporen wijd en zijd in de natuur verspreid was. Hij vond het b. v. in alle door hem onderzochte kwartsen en granieten, (uit het Odenwald) in zee- en sommige mineraalwateren, in kelp (asch van zeewieren, aan de schotsche kusten verzameld) en in de asch van vele landplanten, z. a. boomsoorten, veldvruchten, en vooral in tabak en beetwortelen. Zelfs in stoffen van dierlijken oorsprong, z. a. in de asch van melk, vleesch en bloed ontbrak het niet geheel. Hetzelfde bleek hem, zij

't ook in geringere mate, voor het zeldzame metaal strontium.

Als eerste vrucht der spectraalanalyse kwam men op deze wijze tot de wetenschap, dat de verdeling der materie in de natuur veel verder gaat, dan de stoutste verbeelding zich kan voorstellen<sup>1</sup> en tot deze andere, ietwat paradoxale waarheid, dat een element heel goed in geringe hoeveelheden op aarde kan voorkomen en niettemin zeer verstrooid zijn.

Aan het slot hunner eerste verhandeling merkten KIRCHHOFF en BUNSEN reeds op, dat de spectraalanalyse, oneindig gevoeliger hulpmiddel voor het aantoonen van elementen, dan al de tot dus verre bekende, van nut kon zijn om nieuwe grondstoffen te ontdekken. »Want — zeggen zij — bijaldien er in de natuur spaarzaam verspreide elementen zijn, zoodat de totnogtoe gebruikelijke middelen ter herkenning ons in den steek laten, dan mogen wij de hoop koesteren, dat wij ze door de beschouwing hunner spectra op 't spoor komen. En — zoo laten zij er op volgen: »wij meenen nu reeds met zekerheid te kunnen zeggen, dat er behalve kalium, natrium en lithium, nog een vierde alkali-metaal zijn moet, dat twee strepen vertoont, een zwakke blauwe nabij de streep delta van het strontium en een heldere blauwe, iets verder naar het violette eind van het spectrum gelegен.»

Die voorspelling is ruimschoots in vervulling gegaan. Niet alleen dat het alkalimetaal gevonden werd, dat de bovengenoemde strepen voortbracht, (het caesium) door BUNSEN uit de moerloog van de zoutbronnen van Dürkheim (Palts) afgezonderd, maar korten tijd daarna vond hij in lepidolith uit Saksen nog een alkali-metaal, gekenmerkt door twee donkerroode strepen in 't roode eind van 't spectrum: het rubidium.<sup>2</sup> Doch ook hierbij bleef het niet. Achtereenvolgens vonden door spectraalanalyse: CROOKES het thallium (1861) en REICH en RICHTER het indium (1863), en ook wat de daarna nog ontdekte

<sup>1</sup> Van het niet-zeldzame metaal natrium, van alle elementen het gevoeligste aantoonbaar, weet men, dat men nabij een kleurlooze vlam slechts een boek heeft uit te kloppen of zijn kleeren te schudden, om de gele D-streep (eigenlijk een verzameling van zeer nabijliggende strepen) in het spectrum te zien oplichten.

<sup>2</sup> Lepidolith is een lithium-houdende verscheidenheid van mica (in hoofdzaak een aluminiumsilicaat). In een uit Moravië afkomstig lepidolith vond BUNSEN 0,24 pct. rubidiumoxyde en sporen van caesium. De namen zijn ontleend aan AULUS GELLIUS, («Noctes Atticae», II, 26) waarin over namen van kleuren gehandeld wordt en hemelsblauw: „caesius” en donkerrood: „rubidus” heet.

elementen betreft, is deze nieuwe methode, zool niet de directe aanleiding (o. a. bij 't gallium, '75 door LECOCQ DE BOISBAUDRAN ontdekt) althans daarbij van veel nut geweest (zoo bijv. bij het scandium, germanium, argon, enz.)

De bovengenoemde tweede verhandeling is bijna geheel aan het caesium en rubidium gewijd. De opsporing, de afscheiding, de vindplaatsen worden medegedeeld en de eigenschappen van de nieuwe alkali-metalen naar eisch beschreven. Zelfs de atoomgewichten werden bepaald, in weerwil van het geringe beschikbare materiaal, en dat van rubidium aanstonds zoo nauwkeurig, dat het tot heden nog niet verbeterd is. 't Atoomgewicht van het caesium werd daarentegen een paar jaar later door twee amerikaansche scheikundigen, die over ruimere hoeveelheden beschikten (uit amerikaansch lepidolith) ongeveer 8 pct. hooger bevonden, wat later onder BUNSEN's leiding door GODEFROY bevestigd werd. Men moet het talent en geduld bewonderen, waarmede deze moeilijke onderzoekingen in betrekkelijk korten tijd verricht werden. Om zich daarvan een voorstelling te maken, zij opgemerkt, dat de rubidiumverbindingen verkregen werden uit 150 kilo saksisch lepidolith; terwijl het caesium stamde uit 44200 kilo mineraalwater, dat evenwel reeds in de gradeerwerken te Dürkheim (voor het winnen van keukenzout) tot een moeiloog van 240 kilo geconcentreerd was. Doch ook deze hoeveelheid, te groot om gevoegelijk in een laboratorium te verwerken, werd eerst in een sodafabriek, volgens BUNSEN's aanwijzigingen, met zwavelzuur ingedampt, door kalk neergeslagen, enz., zoodat eindelijk een zoutmassa overbleef, die naar het Heidelberger laboratorium gezonden werd. Welk overleg en geduld noodig waren om hieruit het chloorcaesium en — rubidium af te zonderen (van 't eerste verkreeg BUNSEN uit genoemde hoeveelheid Dürkheimer water 7, van het tweede 9 gram) kan hieruit blijken, dat beide, te zamen met het veel ruimer voorhanden chloorkalium, door platinachloride worden neergeslagen, maar in kokend water nog moeilijker oplosbaar zijn. Dit neerslag werd nu 20-maal achtereen met weinig water uitgekookt; dat wil zeggen zoo dikwijls, dat het water niet meer geel gekleurd werd en het neerslag met het spectraalapparaat de steeds verbleekende kalium-lijnen niet meer vertoonde, terwijl de strepen der nieuwe metalen steeds duidelijker werden.

Het medegedeelde zal, hoop ik, voldoende zijn om den lezer eenigermate een voorstelling te geven van BUNSEN's zegenrijke werkzaamheid voor de chemie. Daarbij viel ook menigmaal een welkome vrucht af voor de zusterwetenschappen: meer bepaald voor natuur- en sterrenkunde, meteorologie, aard- en delfstofkunde. Wat de natuurkunde betreft, denke men slechts aan zijn galvanisch element en electrolytische waarnemingen, zijn calorimeter, zijn onderzoekingen over het spectrum en zijn lichtmetingen; voor de sterrenkunde aan de spectraalanalyse; voor de aardkunde aan zijn Geyser- en vulkaan-studiën; terwijl voor de mineralogie op de analyse van vele ertsen te wijzen is, door mij met stilzwijgen voorbijgegaan. Wat zijn hoofdvak betreft, de chemie, men zal hebben opgemerkt, dat zijn rustelooze werkzaamheid vooral aan de analyse ten goede is gekomen: men denke slechts aan zijn bepalingen van gasmengels, zijn jodometrische methode, zijn vlam-reacties, spectraal-onderzoekingen en aan zijn analyses der platina-metalen.

Veel op dit gebied werd door mij niet aangeroerd: zoo zijn asch-analysen, de scheiding van antimonium en arsenicum van elkander en van tin, de scheiding van cerium van lanthanium en didymium en zijn verbeterde filtreer-methode met behulp van een waterlucht-pomp. Deze in alle laboratoria ingevoerde verbetering, waardoor het filtreeren en afwassen van neerslagen aanmerkelijk wordt bekort, levert een aardig bewijs hoezeer men daaraan gewoon was elk door BUNSEN aangeprezen toestel ook als geheel van zijne vinding te beschouwen.

In Nov. '72 ontving BUNSEN een brief van Dr. SPRENGEL uit Londen, waarin deze o. a. schreef: »Het zal wellicht uwe aandacht niet »ontgaan zijn, dat de uitvinding der waterluchtpomp, door U dienst- »baar gemaakt aan 't uitwassen van neerslagen en geconstrueerd »naar het beginsel van mijn kwikluchtpomp, bijna overal aan U toege- »schreven wordt." Dit gaf BUNSEN aanleiding tot de volgende verklaring, die in »*LIBBIG's Annalen*," Bd. 165 werd opgenomen: »De belangrijke ontdekking, dat men door middel van afvloeiende »zuilen vloeistof een beter luchtledig kan verkrijgen, dan met de »tot dus ver gebruikelijke luchtpompen, komt geheel alleen aan Dr. »SPRENGEL toe. Deze vestigt er in zijn verhandeling over het vacuum »(*Journal of the chemical society*" January 1865) uitdrukkelijk de »aandacht op, dat water praktisch de eenige vloeistof is, die »kwik..... in zijn toestel kan vervangen..... Als men nu aan



»mij..... een aandeel aan deze ontdekking toeschrijft, dan betreure  
 »ik dit te meer, omdat ik mij ten opzichte van Dr. SPRENGEL on-  
 »mogelijk royaler en nauwkeuriger heb kunnen uitdrukken dan ik dit  
 »gedaan heb. Ik heb uitdrukkelijk (in mijn verhandeling) gezegd dat  
 »de door mij voor filtratie beschrevene pomp naar het beginsel van  
 »SPRENGEL's kwikluchtpomp geconstrueerd was"..... enz.

Van zulk een zeldzaam bescheiden geleerde als BUNSEN was, kon men wel niet anders verwachten en van zulk een praktischen geest begrijpt men tevens, dat hij, in weerwil van eigen vindingrijkheid, te verstandig was om geen nut te trekken van het door anderen uitgedachte. Toch, gelijk JAHN in zijn vroeger aangehaald stuk opmerkt, was hij op lateren leeftijd niet vrij van zekere eigenzinnigheid, die hem aan eigen denkbeelden de voorkeur deed geven boven die van anderen. Als voorbeeld wijst hij op zijn calorimeter, die, wat al te subtiel in 't gebruik, later door anderen onpraktisch bevonden en mitsdien gewijzigd werd. Van die verbeteringen nu heeft BUNSEN nooit iets willen weten. Doch men dient m. i. hierbij niet te vergeten, dat de buitengewoon handige BUNSEN zelf met zijn calorimeter, die 't groote voordeel heeft, dat men slechts zeer weinig van een stof behoeft om daarvan de soortelijke warmte te bepalen,<sup>1</sup> zeer nauwkeurige uitkomsten had verkregen en daardoor aan de voorgestelde veranderingen minder behoefte had.

Men heeft van BUNSEN gezegd, dat hij in de keuze van zijn werk niet geleid werd door theoretische denkbeelden, maar dat hij, behoefte gevoelend aan verscheidenheid van bezigheden en geholpen door zijn ongemeene vaardigheid, de vraagstukken trachtte op te lossen, die hij op zijn weg vond.<sup>2</sup> Dat die beoordeeling niet geheel en al billijk is, blijkt reeds uit een en ander, boven door mij medegedeeld.

Ik herinner slechts, dat hij zijn onderzoek in de kakodylreeks ondernam, ten einde de analogie in chemisch gedrag van arsenicum en stikstof aan het experiment te toetsen. Zijn gas-onderzoek had tot doel het vinden van vertrouwbare methoden voor de kwantitatieve

<sup>1</sup> BUNSEN bepaalde o. a. met zijn toestel de latente smeltingswarmte van ijs en de soortelijke warmte van vele, vooral zeldzame metalen, z. a. van: ruthenium, calcium, allotropisch tin en indium; bepalingen die voor de keuze der atoomgewichten uit de gevonden verbindingsgewichten beslissend zijn.

<sup>2</sup> *Mannen en vrouwen van beteekenis*: ROBERT BUNSEN door CH. M. VAN DEVENTER, bladz. 126.

bepaling van gasmengsels en zijn photo-chemische studiën om de wetten op te sporen, volgens welke de chemische werkingen van het licht plaats grijpen. Als men nagaat hoeveel jaren hij aan die beide onderwerpen bezig was, dan blijkt ook niet van sterke behoefte aan verscheidenheid van werk, zij het ook dat hij zich inmiddels nog met andere onderzoekingen bezig hield. Doch hetzelfde ziet men bij elken vlijtigen natuuronderzoeker en daar hij het eens begonnene nooit voor goed verliet, vóór dat hij het tot een zekere afsluiting had gebracht, heeft men geen reden dit te betreuren.

Bovendien loopt door bijna al zijn wetenschappelijken arbeid een roode draad: men ziet hoe hij van 't eene gewichtige onderwerp tot het andere kwam en hoe de oplossing van één probleem hem in staat stelde die van een nieuw te beproeven. Zoo baanden zijn studiën over electrolyse en gasmetingen en zijn titreermethode hem den weg voor zijn actinometrische bepalingen, en de ervaring bij deze laatste opgedaan met zijn voor dit onderzoek uitgedachte gaslamp brachten hem tot het bestudeeren der vlam-reacties, die op haar beurt tot de spectraal-analyse voerden. Door deze kwam hij twee nieuwe elementen op 't spoor, die zooals van zelf spreekt afgescheiden en bestudeerd werden.

Nu is 't duidelijk, dat BUNSEN vooraf dit geheele werkplan niet ontworpen had, maar dat hij, eens begonnen, zich verder leiden liet door 't geen hij waarnam, door het toeval zoo men wil. Doch is dit niet juist de groote kunst van den natuuronderzoeker? Weet hij ooit vooraf waartoe hem zijn proefnemingen zullen leiden en berust zijn succes niet voor een goed deel op het talent om van toevallig gemaakte waarnemingen gebruik te maken? Er is hier wel degelijk methode in den gedachtengang, hoezeer die bepaald en geleid wordt door de ervaring. Doch juist daardoor werden gewichtige vondsten gedaan en aan de wetenschap meer dienst bewezen, dan door experimenten mogelijk is, die een vooraf opgevatte en hardnekkig vastgehouden meening moeten staven.

In den aanvang van dit opstel is reeds opgemerkt, dat BUNSEN zich weinig bemoeide met strijdvrage van den dag. Over 't geheel was hij spaarzaam in het mededeelen van bespiegelingen. Toch treft men in vele van zijn verhandelingen theoretische beschouwingen aan, die, meest kort en zich onmiddellijk bij zijn onderwerp aansluitend, treffen door de ruime opvatting en ongewone helderheid.

Niet de geringste van BUNSEN's vele verdiensten, waarover verdere

uitweiding wel overbodig is, schijnt mij deze, dat hij de natuur- en scheikunde — vroeger nauw verbonden en door dezelfde personen beoefend, doch sedert 't begin dezer eeuw, in weerwil van BERTHOLLET's scherpzinnig streven, steeds verder uiteengaande — weer nader tot elkander heeft gebracht. Door zijn veelzijdige praktische werkzaamheid heeft hij den weg gebaad voor de zoogenoemde physische chemie, die zich naar men weet ten doel stelt, om door 't gebruik van vooral aan de natuurkunde ontleende hulpmiddelen de chemie te maken tot een verklarende wetenschap, tot de leer van het evenwicht en de beweging der atomen.

DEN HAAG, Dec. 1899.