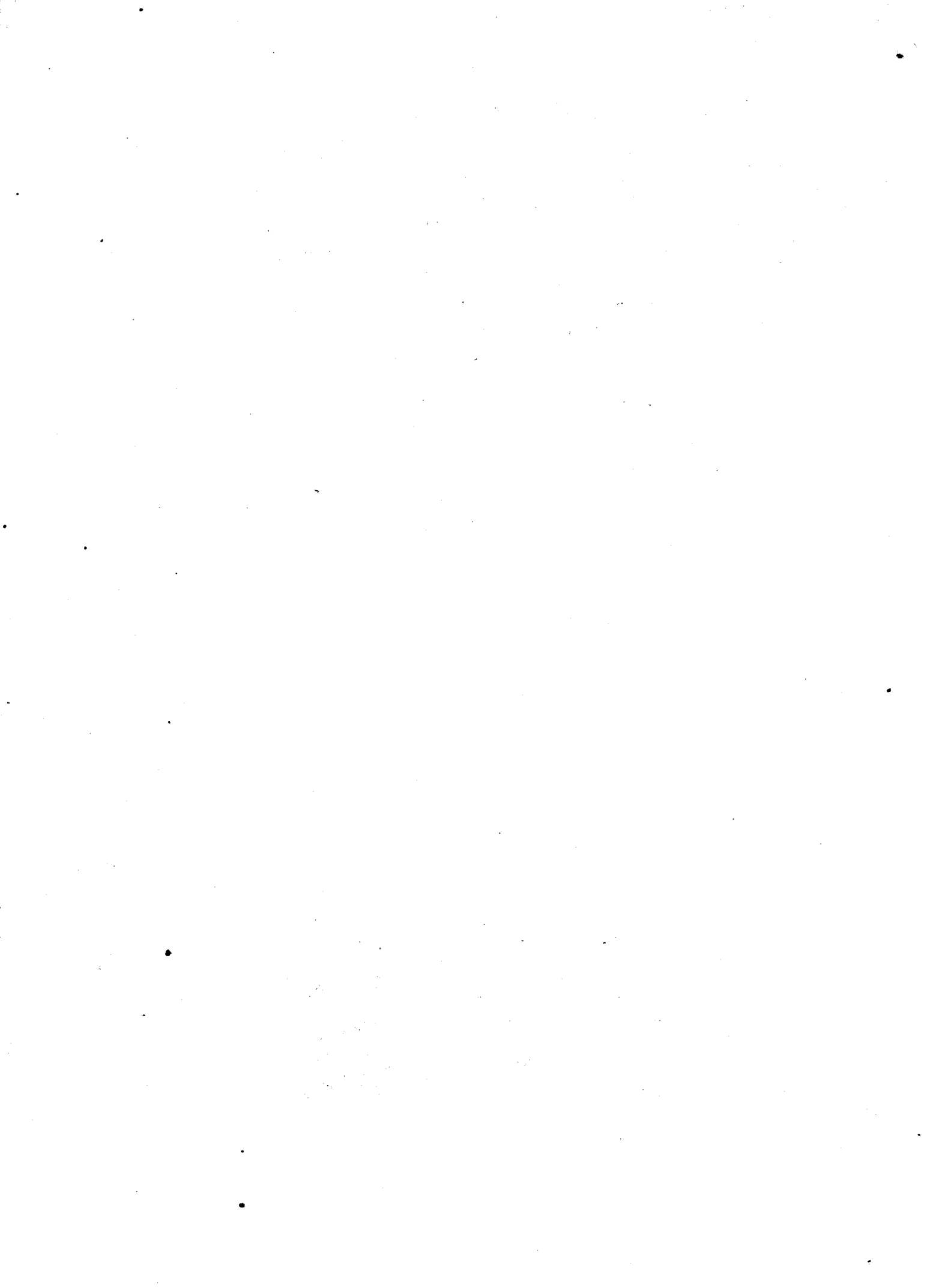


Handwritten notes in the top right corner: "1769-1919", "150-jarig bestaan", "1769-1919".

GEDENKBOEK
VAN HET
BATAAFSCH GENOOTSCHAP
DER PROEFONDERVINDELIJKE WIJSBEGEERTE
TE ROTTERDAM
TOT EEN BLIJVENDE HERINNERING AAN
HET 150-JARIG BESTAAN
UITGEGEVEN DOOR HET BESTUUR
1769 — 17 AUGUSTUS — 1919





HET BATAAFSCH GENOOTSCHAP DER PROEFONDERVINDELIJKE WIJSBEGEERTE herdenkt op 17 Augustus 1919 den 150^{sten} jaardag zijner stichting. Op dien datum vond in 1769 de bekrachtiging plaats der artikelen van Conventie tusschen den stichter STEVEN HOOGENDIJK en Directeuren: „tot welke nakominge zij zich van weerskanten met hunne handteekening heiliglijk verbonden hebben.”

Het Bestuur van het Genootschap heeft een blijvend aandenken aan dezen herinneringsdag in het leven willen roepen; het werk van den vader van het Genootschap wees het hierbij den weg. Met zijn stichting beoogde STEVEN HOOGENDIJK de toepassing der resultaten van het natuurkundig onderzoek in techniek en industrie, in landbouw en zeevaart te bevorderen; in zijn stoomgemaal bracht hij stoutmoedig en volhardend zijn denkbeelden tot werkelijkheid. Sindsdien hebben Nederlandsche geleerden zeer belangrijk bijgedragen tot de ontwikkeling der natuurkunde en heeft voornamelijk door hun roemvollen arbeid het land van CHRISTIAAN HUYGENS zijn plaats in de wetenschappelijke wereld kunnen handhaven. Daarom heeft het Bestuur gemeend op geen waardiger wijze de herinnering aan dezen bijzonderen dag in de geschiedenis van het Genootschap te kunnen vastleggen dan door het uitgeven van een werk, waarin het aandeel der Nederlandsche geleerden in de ontwikkeling der natuurkunde gedurende de laatste 150 jaar werd beschreven.

Het Bestuur acht het een voorrecht in Professor Dr. J. P. KUENEN den man gevonden te hebben, die zulk een werk wilde samenstellen. Voor de bereidwilligheid waarmede hij ons verzoek aanvaardde, voor de belangstelling in ons Genootschap, die hij daarmede betoond heeft, en voor de wijze, waarop hij zijn taak heeft volbracht, brengt het Bestuur hem te dezer plaatse openlijk dank en hulde.

Moge dit werk voor hen, die nà ons komen, getuigenis afleggen van de waardeering van het natuurkundig onderzoek door het geslacht van heden, en moge het Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijke Wijsbegeerte ook in de toekomst medewerken aan de bevordering van de natuurwetenschap in ons Vaderland, gedachtig aan het woord van STEVEN HOOGENDIJK:

Certos feret experientia fructus.

ROTTERDAM, 17 Augustus 1919.

De Praeses Magnificus:

Mr. A. R. ZIMMERMAN.

De Administrateurs:

B. VAN STOLK.
I. J. HAVELAAR.
Mr. W. M. SUERMONDT Lzn.
Ph. MEES.
I. G. GLEICHMAN

De Directeuren:

Dr. R. DE JOSSELIN DE JONG, Voorz.
A. C. BURGENDORFFER, 1e Secr.
Dr. J. BUTTIKOFER.
Dr. I. BIRNIE.
Dr. H. K. DE HAAS, 2e Secr.



HET AANDEEL VAN NEDERLAND IN DE
ONTWIKKELING DER NATUURKUNDE
GEDURENDE DE LAATSTE 150 JAREN

DOOR

Prof. Dr. J. P. KUENEN
TE LEIDEN

INHOUD.

HOOFDSTUK I. Achttiende Eeuw.

Van Musschenbroek 1, 's Gravesande 2, Gezelschappen 4, Maatschappijen 6, Bataafsch Genootschap, Steven Hoogendijk 10, Stoomwerktuig 12, Rivierkunde, enz. 13, Van Swinden 17, A. Brugmans; Diamagnetisme 18, Scheikunde, Verbranding 19, Phlogiston 21, Gassen 22, Zuurstof 23, Kwikoxyde, Water 25, Aeneae 28, Deiman en Paets van Troostwijk 29, Ingenhousz 31, Van Marum 34, Electriseer-machine 41, Bekeering tot Lavoisier 44, Nahuys 48, Ontleding van water door Deiman en P. van Troostwijk 50, Toestellen en proeven van Van Marum 54, Vloeistof en damp 63, Condensatie van ammoniakgas 64, Hollandsche scheikundigen 68.

HOOFDSTUK II. Opkomst der moderne natuurkunde na 1800.

Inleiding. G. J. Mulder 80, Verdere Nederlanders 83, Geluidssnelheid 85, Beginsel van Doppler 89, Geluids-proeven 90, Muzikale echo's 95, Wit licht 97, Verschillende onderwerpen 99, Bosscha 102, Over Regnault 105, Meter-conventie 110, Meteorologie 113, Sterrekunde en geodaesie 118.

HOOFDSTUK III. Moderne leer van electriciteit en licht.

Inleiding 119, Moderne theorie 122, Electriscbe stroom 123, Invloed medium 124, Electro-magnetische evenwichts-verstoring 127, Draadlooze telegrafie 129, Licht, Polarissatie 130, door spiegeling 132, door dubbele

breking 133, Circulaire en elliptische polarisatie 135, Snelheid in andere media 139, Absorptie 142, Terugkaatsing en breking 144, Moleculaire theorie van breking en dispersie, anomale dispersie 146, Brekingsindex en dichtheid 150, Breking van gassen 153, Constitutie van de zon 154, Scherpe begrenzing 157, Anomale diffusie 158, Spectro-heliograaf 163, Stralingsmetingen 164, Zeeman-effect 165, Electronen-theorie 166, Aard van het electron 169, Omgekeerd Zeeman-effect 171, Draaiing polarisatievlak 174, Magnetische draaiing 177, Magnetische dubbele breking 179, Electro-optisch Kerr-effect 180, Reflectie op doorschijnende stoffen 181, op metalen 182, Doorschijnende stoffen, ijzer 184, Magneto-optisch Kerr-effect 185, Hall-effect 187, Beginsel van de spiegelbeelden 189, Van de wederkeerigheid 190, Invloed veldsterkte 191, Hall-effect 192, Potentiaalverschil bij contact 196, Thermo-electriciteit, Peltier-effect, Thomson-effect 197, Geleiding van warmte en electriciteit in metalen 200, Warmtestraling en absorptie volgens de electronen-theorie 202, Verdere bijdragen 203, Absolute metingen 204, Instrumenten 205.

HOOFDSTUK IV. Aberratie, stralingen, magnetisme.

Aberratie 206, Proef van Fizeau 209, Strooming door buizen 211, Aberratie vervolg 213, Aardsche lichtbron 214, Proef van Klinkerfues 215, Theorie van Stokes, proef van Michelson 216, Gewicht, massa, energie 220, Zwaartekracht, Röntgen-stralen 221, Polarisation, Golflengte 225, Karakteristieke stralen 229, Atoom-model 230, Radio-activiteit 232, Gasgeleiding 234, Magnetisme 235, Arbeid van du Bois 236, Ophang-methode van Julius 238, Snaar-galvanometer, Theorie van het magnetisme 239, Supra-geleiders 240, Proef van Einstein-de Haas 242. Verdere theorie 243.

HOOFDSTUK V. Warmte-leer en physische chemie.

Inleiding 246, Entropie 248, Uitrekking van draad, wet van Clapeyron 250, Wet van Braun 251, Verdunde oplossingen, osmotische drukking 253, Verband met andere verschijnselen 254, Massa-werking 256, Phasenleer 257, Vaste oplossingen 259. Metastabiele toestanden, kolloïden 261.

HOOFDSTUK VI. Kinetische theorie.

Kinetische drukking 265, Weglengte, Transport-verschijnselen 266, Aantal en afmetingen der moleculen 267, Diffusie 268, Thermodiffusie,

Snelheidsverdeling, Aequipartitie 269, Soortelijke warmte 270, Quantentheorie 271, H-Theorema 272, Statistische mechanica 273, Beweging van Brown, Stralingstheorie 275.

HOOFDSTUK VII. Gassen en vloeistoffen.

Condensatie van gassen 278, Cascade-methode 279, Cryogeenlaboratorium, Waterstof en helium 281, Cryostaten 284, Damp-cryostaat, Open manometer 285, Thermometers, enz. 287, Piëzometers 288, Isothermen-bepalingen 289, Toestands-vergelijking 290, Kritisch punt 292, Kritische verschijnselen 296, Overeenkomstige toestanden 298, Gelijkvormige bewegingen 300, Afwijkingen 302, Proefondervindelijk onderzoek 303, Condensatie-grootheden 304. Wrijvingscoëfficiënt 306, Oppervlak van Gibbs, Verbetering van toestandsvergelijking 307, Waarden van a en b 309. Verdampings-evenwicht 310, Oppervlakte-spanning 311, Andere onderzoekingen 313, Mengsels van twee stoffen 314, ψ -vlak 316, Proeven 318, Retrograde condensatie 319, Invloed zwaartekracht, Retr. cond. tweede soort 320, Minimum kritische temperatuur 321, Overeenstemmende toestanden voor mengsels 322, ψ -vlakken 323, Afwijking van de gaswetten, gehalte en dichtheid der fasen 324, Statische en dynamische methoden 325, Beloop der isotherme, dampdruklijnen 326, Gedeeltelijke mengbaarheid 327, Vaste stof in kritisch gebied 328, Drie en meer stoffen 329.

HOOFDSTUK I.

ACHTTIENDE EEUW.

Voorgeschiedenis; van Musschenbroek.

De eeuw, waarin het Bataafsch Genootschap werd gesticht, was een tijdperk van algemeene belangstelling in natuurkundige vraagstukken. Reeds Petrus van Musschenbroek¹⁾, die in 1723 hoogleeraar te Utrecht geworden was en in 1740 als opvolger van Wittichius²⁾ naar Leiden overging, waar hij nog twee jaar met 's Gravesande samen zou zijn, vertelt in de voorrede tot zijn „Beginsels der Natuurkunde” van 1739, dat ons land nooit meer liefhebbers der natuurkunde geteld had dan in zijn tijd, niet alleen onder geleerden, maar ook bij vele „voornamen kooplieden en menschen van allerlei rang en waardigheid”. Deze belangstelling was in die dagen niet weinig aangewakkerd door reeksen van voordrachten, die de uitgeweken en Engelschman geworden Franschman Desaguliers in de meeste groote steden van ons vaderland gehouden had; deze met uitstekende proeven toegelichte voordrachten waren ook uitgegeven en in 1736 in een Nederlandsche vertaling in druk verschenen; zij waren mede de aanleiding tot de oprichting van gezelschappen, „waarin men bezig is om met een grooten toestel van allerlei kostbaare Instrumenten proeven te neemen, en zich in de bespiegelingen der eigenschappen en werkingen van veelerlei ligchaamen te verlustigen”. Musschenbroek noemt Amsterdam, Middelburg, Haarlem en Schiedam, en de lijst zou blijkbaar aanmerkelijk grooter gemaakt kunnen zijn, terwijl de beweging ook nog slechts in haar kindsheid was. Middellijk werkten de „lessen” van Desaguliers er toe mede, dat Musschenbroek zelf een volledig leerboek over de natuurkunde in het Nederlandsch uitgaf. Volgens Musschenbroek moest de Nederlander, wiens belangstelling bijvoor-

¹⁾ P. van Musschenbroek (1692—1761).

²⁾ J. Wittichius (1677—1739).

beeld door het lezen van de „Waereldbeschouwingen van Nieuwentijt”¹⁾ was opgewekt, zich bij verdere studie met vertalingen van boeken of verhandelingen van buitenlanders, als Derham, Desaguliers, Hales, Hauksbee of Halley behelpen en men vond daarin niet altijd wat men wenschte; een „ordentelijke” opleiding van de eerste beginselen af. In 1734 had hij daarom reeds voor zijn toehoorders een werkje in het Latijn in het licht gegeven, waarvan hij zelf met groote bescheidenheid spreekt, maar dat zoo zeer op prijs werd gesteld, dat men bij hem herhaaldelijk op vertaling aandrong. Daartoe echter voelde Musschenbroek weinig opgewektheid; hij was gewend in het Latijn te schrijven en meende ook, dat het uitsluitend gebruik van die taal in de wetenschap aanbeveling verdiende ter vergemakkelijking van het wetenschappelijk verkeer tusschen verschillende landen. Maar hij moest ten slotte zwichten, vooral toen hij bemerkte, dat men achter zijn rug aan het vertalen ging, waardoor hem de gelegenheid zou worden ontnomen om aan het boek tegelijkertijd die uitbreiding te geven, welke het behoefde en die door de snelle ontwikkeling der natuurkunde, waarin tegenwoordig „dagelijks nieuwe ontdekkingen” gedaan worden, geboden was. Zoo ontstond een werk, dat op zijn beurt veel tot de verbreiding en ontwikkeling der wetenschap bijdroeg en ons naast het beroemde leerboek van 's Gravesande een duidelijk en volledig beeld geeft van den stand der wetenschap in die dagen.

's Gravesande.

Van dit laatste boek spreekt Musschenbroek met den grootsten eerbied. Gerland²⁾ stelt het naast de Principia van Newton — het eerste leerboek der mathematische physica — als het eerste leerboek der experimenteele physica in de moderne beteekenis. Het stelde zich niet, zooals bijvoorbeeld het werk van den Leidschen hoogleraar Senguerd³⁾, tevreden met een uiteenzetting van het systeem der natuurkunde, maar getrouw aan de bijvoeging tot den titel „experimentis confirmata” werd de wereld der natuurkundige verschijnselen volledig doorloopen en werden deze overal door proeven toegelicht en bevestigd. Van groote geschiedkundige waarde is de uitvoerige beschrijving in het leerboek van de talrijke, meestal door 's Gravesande zelf ontworpen toestellen, die hij bij zijn onderwijs gebruikte. Deze toestellen zijn grootendeels bewaard gebleven en te Leiden in het physisch kabinet aanwezig, terwijl ze voor een deel als duplikaten in de verzameling van het Koninklijk Museum te Kassel te vinden zijn: ze kunnen stuk voor stuk met de voortreffelijke afbeeldingen in het Leerboek worden vergeleken.

¹⁾ B. Nieuwentijt (1654—1718). Het regt gebruik der Wereldbeschouwingen, tot overtuiging van ongelovigen aangetoont 1716; 6e druk 1741; ook in het Engelsch en Fransch vertaald.

²⁾ E. Gerland. Geschichte der Physik 1913. p. 676 verv.

³⁾ W. Senguerd (1646—1724). Philosophia naturalis.

De toestellen van 's Gravesande waren met nog vele andere in de Leidsche instrumentmakerij van den broeder van Musschenbroek Jan ¹⁾, die zijn vader ²⁾ en oom aldaar was opgevolgd en met 's Gravesande op voet van intieme vriendschap verkeerde, te verkrijgen. Deze werkplaats was toen ter tijde eenig in zijn soort. Een catalogus van wat het publiek werd aangeboden, werd door Musschenbroek als bijlage in zijn leerboek opgenomen. Mede uit die lijst kunnen wij opmaken, welke onderwerpen vooral de aandacht trokken en waarmede men zich bij de gemeenschappelijke beoefening der natuurwetenschap al zoo bezig hield. Proeven met de luchtpomp, die allengs een hooger en graad van bruikbaarheid bereikt had, niet weinig ook door de achtereenvolgende bemoeiingen van Leidsche hoogleeraren, de Volder ³⁾, Senguerd en 's Gravesande zelf, en ook van de Musschenbroeken, bekleedden blijkbaar een voorname plaats; de wetten der mechanica en hydrostatica konden met behulp van talrijke apparaten worden gedemonstreerd. „Een windbal, om water in wind te veranderen,” zoo wordt de vorming van stoom uit water beschreven. Proeven over breking van het licht, met prisma's en lenzen, ontbraken natuurlijk niet, en microscopen met „verscheiderlei aart van microscopia” vormden blijkbaar een belangrijke schotel op den disch, die kon worden voorgezet. Men zou de lijst volledig willen uitschrijven.

Laat ons alleen nog zien, wat een werkplaats het publiek in die dagen op electrisch gebied kon aanbieden. „Een glazen bol en draaibank, waardoor deeze bol, van lucht ontleedigd, snel wordt omgedraaid, wanneer op 't aanraken der hand de bol een groot licht geeft. Of ook op andere manieren behandeld, zijne aanlokkende kracht vertoont op lichaamen van buiten 'er omtrent geleege”. „Als men zich bedient van twee bollen, naast elkander geplaatst, en een grooter draaibank, om nogh andere merkwaardige verschijnselen te ontdekken”. „Een rad, en gestel, om een lichaam binnen in een glas zeer snel rond te draaien, terwijl het wrijft tegen een ander lichaam, waardoor 'er mede licht ontstaat” ⁴⁾. „Een glazen pijp, die gewreeven zijnde haare wonderbaarlijke aanlokkende krachten vertoont”. Deze magere verzameling doet zien, hoeveel op electrostatisch gebied nog te ontdekken viel: ze beantwoordt aan wat 's Gravesande op dit gebied onderwees en ze vertegenwoordigt de electrostatica in het stadium van

¹⁾ J. v. Musschenbroek (1687—1748).

²⁾ J. J. v. Musschenbroek (1660—1707).

³⁾ B. de Volder (1643—1709) verzorgde met Fullenius de uitgave van nagelaten geschriften van Chr. Huygens (1700).

⁴⁾ Het verdient opmerking, dat hier, om de proef in de gesloten ruimte, die ook ledig gepompt kon worden, mogelijk te maken, de wrijving met de hand door een mechanische wrijving vervangen was, terwijl deze laatste merkwaardiger wijze bij de gewone electriseermachine nog niet werd toegepast, zoodat de invoering daarvan door Winkler in 1744 terecht als een belangrijke stap in de ontwikkeling der electriseermachine wordt aangemerkt.

ontwikkeling, hetwelk zij na Gilbert (1600), von Guericke (1672) en Boyle (1680) door toedoen van Hauksbee (1705 en verv.) verkregen had, ofschoon 's Gravesande zelf ook enkele verbeteringen aanbracht. Zelfs in de laatste uitgave van 's Gravesande's leerboek van 1742 — al heeft hij blijkbaar van het nieuwere licht kennis genomen — komt niet meer voor, behalve nog verschillende proeven, welke dienden om de ontwikkeling van licht te doen zien bij de beweging van kwik in een luchtledige glazen buis, een verschijnsel, dat door Picard bij een barometer het eerst was opgemerkt, door Jean Bernoulli in zijn Groningschen tijd (1700) bestudeerd en door Hauksbee als van electrischen oorsprong verklaard, ofschoon deze opvatting eerst vele jaren later algemeen als juist erkend zou worden.

Wetenschappelijke gezelschappen.

Blijkens zijn leerboek omvatte het onderwijs van Musschenbroek in 1739 reeds de nieuwere onderzoekingen van Stephen Gray (1720 verv.) en Du Fay (1733 verv.), die het uitgangspunt vormen voor de spoedig daarop volgende snelle ontwikkeling der *Electrostatica*, bij uitstek een gewrocht van het tweede gedeelte der achttiende eeuw. In 1745 leverde Musschenbroek zelf een belangrijke bijdrage door de ontdekking, te zamen met zijn leerling Cunaeus, van de zoogenaamde „versterkingsflesch” of „Leidsche” flesch, waarvan de werking reeds iets eerder door von Kleist, naar het schijnt op minder volledige wijze, was waargenomen. Spoedig volgde Franklin met zijn geruchtmakende proeven, met name omtrent den bliksem. In diezelfde jaren nam ook de electriseermachine langzamerhand handiger vormen aan, door de toepassing van mechanische wrijving en de toevoeging van den geleider, waarop de electriciteit zich kon verzamelen. De electrische verschijnselen kwamen zoo allengs meer binnen het bereik van belangstellende leeken en geen wonder, dat in de beoefening der natuurkunde in de wetenschappelijke gezelschappen deze verschijnselen een voornaamste plaats gingen innemen.

Hoe die gezelschappen hun doel trachtten te bereiken, kunnen wij bijvoorbeeld afleiden uit het Reglement van het in 1794 te Leeuwarden opgerichte Natuurkundig Genootschap. De leden vergaderden eens per week 's avonds tusschen 5 en 9 uur. Van 6 tot 7 had de eigenlijke „les” plaats, waarbij voor een goed verband de inhoud van de vorige les eerst kort in herinnering moest worden gebracht. Er was een bepaling, die er voor waakte, dat de lesgever zich „onbelemmerd zal plaatsens, sodanig dat hij gevoeglyk van elk kan gezien en gehoord worden”. Hij werd bij meerderheid uit de leden gekozen en mocht iemand uit de leden tot assistentie roepen, zonder dat iemand „sig daartoe zal mogen indringen of enig instrument aanraken sonder permissie van de Directeurs”. De voordrager

moest een „welvoeglyk systema” volgen en zich zooveel mogelijk aan bepaalde leerboeken houden; die van Nollet en Jacquet worden genoemd. De Electriciteit zou voorafgaan „om reden, dat die wel de verwonderlijkste schijnen en daardoor het meest geschikt om de wetenslust te ontvonken en aan te wakkeren”. Overblijvende tijd kon met „microscopische verlustigingen” worden aangevuld.

Populariseering.

De opkomende natuurwetenschap, die met de eeuw groeide, werd in niet-deskundige kringen een woede, een mode-artikel ¹⁾. Verhandelingen over scheikunde liggen op de toilettafels der dames. De vrouw van den hoogleeraar Matig in Willem Leevend is een „geleerde dame, die ook over zwaartekracht spreekt, maar haar man met een oud-Duitsche onderdanigheid bemint”. Een van de „sopirants” van Chrisje Helder „praat altoos over hoorns en doubletschelpen; van zijn Naturalia;... Hij is ook verre in de Mechanica,..... Hij heeft ook tooverlantaarns, Illuminatie-kassen en luchtpompen, waar hij allerlieft mede kan omgaan; en heeft ook eens een boterkapelletje ontleed”. Er is een reuk van verwijfdheid aan dit alles, gecombineerd als het is met het verrichten van allerlei vrouwelijke handwerkjes. „Hij breit ook geldbeursjes met allerlei werkjes, heel lief”. „De opslagen van zijn jas zijn eigen vinding”. De wetenschap toont zich anderzijds veelal godsdienstig gekleurd. Matig zelf „spoort zijn studenten sterk aan om zich te oefenen in de natuurkunde....” en de meer vrijzinnige predikanten zijn mede onder de ijverigste natuuronderzoekers. De Remonstrantsche predikant Nozeman ²⁾ is medestichter en een zeer werkzaam directeur van het Bataafsch Genootschap en schrijft o. a. zijn „Nederlandsche Vogelen”; door zijn tegenstander Hofstede wordt hij bespot om zijn „kapellen vangen, horentjes verzamelen, vogels opzetten, met de luchtpomp werken”.

Het was een natuurlijk uitvloeisel van de liefhebberij der ongeleerde, maar beschaafde burgerklasse voor de natuurwetenschappen, dat sociaalvoelende menschen ook het „volk” in het genot en de intellectueele voordelen van de kennis der natuurverschijnselen wilden doen deelen. Een gedrochtelijke uiting van dien geest zien wij in het voorschrift, waaraan de hoogleeraar in de sterrenkunde te Leiden gebonden was, om bij zijn waarnemingen, 's nachts zoowel als 's avonds, het weet- en nieuwsgierige publiek toe te laten. Lulofs ondervond daarvan de meest onaangename gevolgen bij zijn waarnemingen omtrent de komeet van Halley in 1759, die daardoor grootendeels verijdeld werden, en niet minder in 1762, toen

¹⁾ L. Knappert. Geschiedenis der Ned. Herv. Kerk gedurende de 18de en 19de eeuw, p. 162, 1912.

²⁾ C. Nozeman (1721—1785).

hij een maansverduistering zou observeeren en door een verbolgen indringer zijn waarnemings-instrument beschadigd werd ¹⁾).

De in 1785 opgerichte Maatschappij tot Nut van 't Algemeen werkte mede tot het verspreiden van natuurkundige kennis door het bevorderen van het verschijnen van populaire geschriften over natuur- en scheikunde; als antwoorden op prijsvragen door haar uitgeschreven ontstonden zoo werken van Buys ²⁾ en van Uilkens ³⁾. Uilkens vond in deze soort van schriftuur een levensbestemming: hij bezorgde o.a. een nieuwe uitgave van den veelgelezen „Cathechismus der Natuur” van Martinet ⁴⁾ en is het best bekend als de schrijver van de „Volmaaktheden van den Schepper”. Uilkens, oorspronkelijk predikant, werd in 1815 hoogleeraar in de Landhuishoudkunde aan de universiteit te Groningen, waar hij met de Driessens ⁵⁾, van Swinderen ⁶⁾, Stratingh ⁷⁾ en anderen deelnam aan het levendig wetenschappelijk verkeer, hetwelk door het Natuurkundig Genootschap (1801) aldaar werd onderhouden. Omtrent de werkzaamheden van deze vereeniging vinden wij o.a. opgeteekend, dat men zich in het bijzonder op de studie van electriche verschijnselen en van de „luchtsoorten” toelegde en dat het leerboek van van Bemmelen ⁸⁾ (1795) als handleiding werd gebezigd; dit was het eerste volledige boek over natuurkunde, dat na van Musschenbroek in het Nederlandsch verscheen.

Maatschappijen.

Allengs begon men nu behoefte te gevoelen aan grootere vereenigingen, „Maatschappijen”, die zich de bevordering der wetenschap en verbreiding van wetenschappelijke kennis ten doel zouden stellen. Men richtte het oog naar Londen, Parijs, Berlijn en Petersburg en ontwaarde daar Academiën, door Staat of Vorst gesticht en onderhouden, die de groote middelpunten vormden van onderzoek en door hunne uitgaven het snel bekend worden van uitkomsten en het verkeer tusschen geleerden bevorderden. De rol, ginds door de Academiën gespeeld, moesten die groote genootschappen voor ons land op zich nemen. Dat de stichters en beheerders zich van de belangrijkheid dezer taak welbewust waren, blijkt voldoende uit de bewoor-

¹⁾ Zie F. Kaiser. *Geschichte und Beschreibung der Sternwarte in Leiden*. 1868. p. XII.

²⁾ J. Buys. (1764—1838). Met Ph. W. van Linden van Dijk onderzocht Buys den oorsprong van de echo van Muiderberg (Holl. Maatsch. 6 (1) p. 123, 1812), tot opheldering waarvan ook van Marum bijdroeg (ib. p. 154). Dat Buys een heldere kop was, mogen wij daaruit besluiten, dat hij zich niet, als Uilkens bijvoorbeeld, door de opwinding over het „dierlijk magnetisme” liet meeslepen.

³⁾ J. A. Uilkens (1772—1825).

⁴⁾ J. F. Martinet (1729—1795).

⁵⁾ P. Driessen (1753—1828) was hoogleeraar in de scheikunde. J. C. Driessen (1791—1824) was eveneens scheikundige.

⁶⁾ Th. van Swinderen (1784—1851) bewoog zich op scheikundig terrein.

⁷⁾ S. Stratingh (1785—1841) is vooral bekend door zijn ijverige bemoeiingen op het gebied van het automobilisme.

⁸⁾ A. van Bemmelen (1763—1822) schreef een aantal kleinere stukken over natuurkundige onderwerpen.

dingen, waarmede de stichtingen bij het publiek werden ingeleid, in nuanceeringen, die met karakter en smaak van den woordvoerder samengingen.

De oprichters van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem (1732), de oudste onder hare zusters, „namen in aanmerking, dat men in deze stad sedert eenigen tijd zich met natuurkundige proeven werk had gegeven”. Hier werd bedoeld op de werkzaamheid van een zekeren Jan Engelman en het natuurkundig gezelschap, dat zich voor de studie van natuur-verschijnselen had gevormd. Zij overwogen „of men niet, al ware 't van verre en met ongelijke schreden, den loffelijken ijver van andere Koningrijken en Republieken, in het ondersteunen en aanmoedigen van Kunsten en Wetenschappen in Nederland kan navolgen” en oordeelden, „dat men door het vergaderen van fraaie lettervruchten en het uitdeelen van zekere prijzen op wel uitgewrochte schriften een diergelijk oogmerk best bereiken kon”.

Luisteren wij thans naar den aanhef bij de oprichting van het Bataafsch Genootschap. „De ondervinding heeft van de vroegste tijden af en door alle eeuwen heen geleerd, dat de welvaart der Volken grootendeels evenredig zij aan den bloei der Konsten en Wetenschappen onder dezelve; en in onze tijden is men van deze waarheid zoo algemeen en zoo zeer overtuigd, dat men, sedert ruim een eeuw, alle de beschaafde Volken, in alle de gewesten der waereld, als om strijd ziet ijveren en arbeiden in het uitdenken en in 't werk stellen van alle mogelyke middelen om door de aanmoediging en bevordering der Konsten en Wetenschappen hunnen bloei ende welvaart te bevestigen of denzelven, kwynenden, uit zijn verval op te beuren en om in magt, roem en luister boven andere Volken uit te steken”. De beoefening van kunst en wetenschap dus niet, zooals men zou meenen, een gevolg, een uiting van welvaart, maar een beredeneerd middel om deze te bevorderen en andere volken te overtreffen. In den aanloop tot de publieke verklaring omtrent het doel van het Zeeuwsch Genootschap, hetwelk bijna gelijktijdig met het Bataafsch Genootschap zijn openlijken loop aanving, en dus op zijn gebied slechts één anderen voorganger had, heet het fors en brommerig, dat „Nederland zeer achteraan kwam met de stichting van Maatschappijen”, terwijl het overeenkomstige stuk van het Utrechtsch Genootschap in 1773 met deze bescheiden, haast verontschuldigende zinsnede wordt ingeleid: „Niettegenstaande reeds zoo vele geleerde genootschappen in Europa en niet weinigen ook in ons vaderland in deze eeuw opgericht zijn, dat men dezelve niet te onregt de Eeuw der Genootschappen noemen kan, wagen we” Uit die woorden zou men niet opmaken, dat er in de vier tusschengelegen jaren geen enkel geleerd genootschap bijgekomen was.

Een officieel karakter verkregen de nieuwe lichamen door het octrooi, dat hun op aanvraag door de Staten der Provincie, waaronder zij ressor-

teerden, werd verleend en niet minder door het Beschermherschapp van den Prins, dat blijkbaar telkenmale met groote willigheid werd aanvaard; deze welwillendheid gold trouwens evenzeer talrijke andere maatschappijen en genootschappen van geheel afwijkenden aard, die in het beschouwde tijdvak in grooten getale tot stand kwamen ¹⁾).

Een hoe groote waarde aan het octrooi werd gehecht, blijkt o.a. uit het protest van den kant der Hollandsche Maatschappij tegen het verlenen daarvan aan het Bataafsch Genootschap. Een voorname grief, die daarin te berde werd gebracht, gold de benaming „Bataafsch”, die als gelijkwaardig met en een vertaling van „Hollandsch” kon worden beschouwd, en bovendien: men moest de eer en het voorrecht van het octrooi eerst verdienen door werkzaamheden! Gelukkig voor den toen nog anonymen stichter van het Genootschap en zijn Bestuurders, onder wier auspiciën het zijn loopbaan begon, had het protest uit Haarlem geen uitwerking, en niemand zal nu ontkennen, dat het reeds van den aanvang af en in toenemende mate gedurende zijn honderdvijftig-jarige loopbaan het toen, misschien voorbarig, verleende officieele stempel zich ruimschoots waardig betoond heeft. In het antwoord op het Haarlemsch protest werd vooral de nadruk gelegd op het onderscheidende „proefondervindelijk” in den naam van het genootschap, hetwelk ook in de aangenomen zinspreuk „certos feret experientia fructus” zijn uitdrukking vond: men stelde zich voor om vooral ook door stelselmatigen experimenteelen arbeid en bevordering daarvan buiten het genootschap de wetenschap te dienen: het werk van mannen als 's Gravesande en Musschenbroek was voor ons land niet vergeefs geweest.

Zoo zien wij in de tweede helft der achttiende eeuw naast talrijke

¹⁾ Hieronder volgen de belangrijkste:
Concordia et libertate Amsterdam 1745.
Maatschappij van Nederlandsche Letteren 1766.
Maatschappij tot redding van drenkelingen 1767.
Maatschappij tot bevordering van den landbouw Amsterdam 1776.
Servandis civibus Rotterdam 1776.
Felix Meritis Amsterdam 1777.
Oeconomische Tak van de Hollandsche Maatschappij 1778, later Nederlandsche huishoudelijke Maatschappij, daarna Maatschappij tot bevordering van Nijverheid.
Bataviaasch Genootschap der Kunsten en Wetenschappen 1778, eerst bedoeld als oeconomische tak van de Hollandsche Maatschappij.
Wiskundig Genootschap „een onvermoeide arbeid komt alles te boven” 1779.
Natuur- en Geneeskundige correspondentie Maatschappij Den Haag 1779.
Maatschappij tot Nut van 't Algemeen 1785.
Genootschap ter bevordering der Heelkunde te Amsterdam 1790, later van Natuur-, Genees- en Heelkunde.
Diligentia Den Haag 1792.
Prodesse conamur Arnhem 1792.
Natuurkundig Genootschap Leeuwarden 1794.
Hollandsche Maatschappij van Fraaije Kunsten en Wetenschappen Amsterdam 1800, met afdelingen te Rotterdam, Leiden, Den Haag en Dordrecht.
Natuurkundig Genootschap Groningen 1801.
Natuur- en Scheikundig Genootschap Deventer 1817.

maatschappijen van anderen aard een aantal wetenschappelijke genootschappen in het leven geroepen door den zin voor wetenschap en de vrijgevigheid van particuliere burgers en zonder finantieele hulp van gestelde machten onderhouden. En tusschen die genootschappen ontwaren wij naast veel gelijkenis ook in sommige opzichten verschillen, al naar den smaak van stichters en bestuurders, of van plaatselijke omstandigheden in de omgeving, waar het genootschap geboren werd. Waar het ontstond uit een particuliere vereeniging van liefhebbers der natuurkunde, was allicht van den aanvang af een verzameling instrumenten beschikbaar, die als kern voor een kabinet op grooter schaal dienst kon doen. De grondslag van de verzameling van het Bataafsch Genootschap vormde zulk een collectie, welke de toen nog anonieme stichter bij de oprichting ten geschenke gaf en die aan een dergelijke vereeniging had toebehoord. Vele jaren later, in 1826, getuigt G. J. Mulder, die toen als lector in het genootschap was aangesteld, dat er een welvoorzien kabinet van toestellen, vooral voor proeven over Hydrostatica en Dynamica aanwezig was; terwijl het op ander gebied, op dat der electriciteit, om een voorbeeld te noemen, minder goed voorzien was. Wanneer in 1778 Teyler zijn beroemd genootschap sticht, wordt besloten zich in het bijzonder op het stichten van een verzameling instrumenten en een museum van fossiliën toe te leggen, omdat de Hollandsche Maatschappij ter zelfder stede haar aandacht voornamelijk aan een Naturaliën-kabinet schonk, hetwelk „bijzonderlijk in het Dieren-rijk” uitmuntte. Zoo beproefde men overbodige verdubbeling eenigermate te voorkomen; zonder twijfel een lofwaardig streven. Hoe zeer men er zich van bewust was, dat, welke voordeelen het bestaan van talrijke groote genootschappen ook opleverde, de toestand niettemin weinig oeconomisch was, blijkt uit een prijsvraag van het Zeeuwsch Genootschap, door A. Bonn ¹⁾ beantwoord, „raakende de Schikkingen, welke door de gezamentlijke geleerde Maatschappijen in ons vaderland zouden kunnen gemaakt worden, om, zonder elkander eenig hinder toe te brengen, zaam te werken ter bereiking van derzelver gemeen doel”. Een effect werd door die poging tot samenwerking niet bereikt, en nu, 130 jaar later, zijn wij nog niet verder.

Publicaties en prijsvragen.

Een zeer belangrijk onderdeel van de werkzaamheden der genootschappen bestond in de uitgave van Verhandelingen. Het was in die dagen voor Nederlandsche onderzoekers niet gemakkelijk wetenschappelijke mededeelingen snel het licht te doen zien; tijdschriften, die voor dit doel bestemd

¹⁾ Bonn is de bekende Amsterdamsche hoogleeraar, stichter van het Genootschap ter bevordering der Heelkunde (1790), dat zich later, na 1869, tot het Genootschap ter bevordering van Natuur-, Genees- en Heelkunde ontwikkelde.

waren, bestonden nog niet. Indien men een ontdekking meende gedaan te hebben, richtte men zich veelal per brief tot een buitenlandsch wetenschappelijk vriend, die met een der Academies of een ander publiceerd lichaam in betrekking stond, en in later dagen tot den redacteur van een gezaghebbend buitenlandsch tijdschrift. Nog tegen het einde der eeuw zien wij zoo een veelvuldig en vruchtbaar verkeer tusschen onzen van Marum en den grooten Volta. Wij zien van Marum zijn ontdekkingen mededeelen aan Berthollet en Ingenhousz en de Hollandsche Scheikundigen, over wie wij straks zullen spreken, stonden in geregelde, voor publicatie bestemde briefwisseling met mannen als Van Mons, Crell, Gren en Scherer. De verhandelingen onzer genootschappen verschenen nog niet snel en geregeld genoeg om in de gevoelde behoefte volledig te kunnen voorzien, maar blijkbaar werden ze ook door geleerden van beroep op prijs gesteld voor het publiceeren van meer uitvoerige verhandelingen over verrichte onderzoekingen, zooals het tot heden toe ook gebleven is. Langzaam aan werden wetenschappelijke tijdschriften gevestigd en ontstond de gewoonte in de bestaande letterkundige bladen wetenschappelijke bijdragen op te nemen ¹⁾).

Van bijzonder belang voor de bevordering van de wetenschap waren de prijsvragen, waarvan de genootschappen dadelijk veel werk gingen maken. De bekroonde antwoorden zouden in de geschriften een voorname plaats innemen. Landgenooten werden daardoor tot onderzoeken en publiceeren opgewekt en gelegenheid werd geboden hun arbeid algemeen, ook in het buitenland, bekend te maken, ja vele buitenlanders, waaronder mannen van grooten naam, werden door deze prijsvragen aangetrokken en intensief werd ook daardoor de wisselwerking met de wetenschap in andere beschaafde landen van Europa. De geschiedenis van de wetenschap hier te lande in deze dagen, waarop wij later licht hopen te doen vallen, doet ons zien, van hoeveel belang die prijsvragen waren. Veelal geven de vragen zelve reeds een beeld van den stand der wetenschap op het oogenblik en ook weerspiegelen zij somwijlen bijzondere trekken in het karakter van het genootschap, dat ze uitschreef.

In de verhandelingen der genootschappen was blijkbaar van alles welkom: vandaar een groote verscheidenheid en bijdragen van zeer verschillend gehalte. Eigenaardig doet het ons aan, gewend als wij zijn

¹⁾ P. J. Kasteleyn. Chemische oefeningen. 1785—1788.

id. Chem. en Physische oefeningen I 1792, II 1793, III 1797 (dit laatste deel voltooid door

J. R. Deiman en N. Bondt).

P. van Werkhoven. Nieuwe chemische en physische oefeningen 1798 en 1802.

Scheikundige Bibliotheek. Delft 1792—1799.

Nieuwe Scheikundige Bibliotheek. Amsterdam 1798—1802.

Nat. en Geneesk. Correspondentie Sociëteit in de Ver. Ned. 1783—1795 (vooral geneeskundig).

Verder schreven de natuuronderzoekers veel in de algemeene tijdschriften zooals het Alg. Mag. v. Wet. Konst en Smaak 1785—1791, met de vervolgen daarop, de Alg. Konst- en Letterbode met vervolgen 1788—1861 en de Vaderl. Letteroefeningen 1761—1876.

aan strenge selectie en schifting naar den aard der onderwerpen, nevens stukken over astronomische, waterbouwkundige en andere dergelijke vraagstukken, aantallen van mededeelingen over opvallende genees- en heelkundige gevallen, veelal realistisch geïllustreerd, aan te treffen, of te lezen over „puistebijteren”, en „een beroerd meiske door Electriciteit hersteld”.

Bataafsch Genootschap. Steven Hoogendijk.

Om van de ontwikkeling der natuurkundige wetenschappen in die dagen een indruk te geven, kunnen wij niet beter doen dan de aanvankelijke werkzaamheid van het Bataafsch Genootschap, zooals die zich in de gedrukte verhandelingen uitspreekt, in enkele hoofdtrekken te volgen.

De Liefde tot de Konst en nutte Wetenschappen
De zorg voor 't Vaderland en zijn geboortestad
De vinding om door vuur het water af te tappen
Bewogen Hoogendijk, uit zijn vergaarden schat,
't Bataafsch Genootschap hier, 't Gemeen ten nutt' te stichten
En 't eerst in dit Gewest het Stoomtuig op te richten.

Met deze woorden werd de stichter van het genootschap Steven Hoogendijk ¹⁾ bij zijn dood op 3 Juli 1788 door den volijverigen Secretaris en Directeur Dr. L. Bicker ²⁾ gehuldigd. Negen jaar had Hoogendijk van het bestaan van zijn stichting kunnen genieten en de snelle ontwikkeling er van gade slaan. Zijn grootste belangstelling gold — ook het dichtstuk doet het zien — de „vuurmachine”, die bij ons nog zoo goed als onbekend was. De eerste machine, die door zijn toedoen uit Engeland werd aangeschaft en te Rotterdam aan de Oostpoort opgericht, was nog van het oude type Newcomen, hetwelk sedert het begin der eeuw aan de mijnen voor het oppompen van het water in gebruik was. Velen hadden tot volmaking van het werktuig bijgedragen, daaronder ook de reeds genoemde Desaguliers en in samenwerking met hem 's Gravesande. In de laatste jaren had het door toedoen van Smeaton nog belangrijke verbeteringen ondergaan, juist toen het door de uitvindingen van James Watt gedoemd was om voor goed te verdwijnen. De nieuwe pompen met een zuiger met kleppen van eigen vinding, die er door Hoogendijk aan werden toegevoegd, voldeden niet, omdat ze bleken te zwak te zijn: aan een waarschuwing van de directeuren had hij geen gevolg gegeven. Na de verbeteringen van Watt, die in 1763 aanvingen en in 1781 en 1782 hun beslag kregen, werd een nieuwe machine van Watt-Boulton aangeschaft, die voor de bemaling van den Blijdorpschen polder dienen moest. De volledige geschiedenis van de Rotterdamsche stoommachines is in de Verhandelingen van het jaar 1800 te vinden; daarin weerklinken de klachten over het gemis aan medewerking

¹⁾ S. Hoogendijk (1698—1788).

²⁾ L. Bicker (1732—1801).

van de stedelijke autoriteit en vindt men ook de verschillende Rapporten, die door de eerste geleerden van ons land, onder wie de beroemde Van Swinden, de Leidsche hoogleeraar Damen,¹⁾ Steenstra²⁾ en Blassière³⁾ waren uitgebracht⁴⁾.

Hoogendijk zelf leverde een wetenschappelijke bijdrage tot de verhandelingen door de beschrijving van een nieuwen Pyrometer of vuurmeter, d. w. z. een instrument om de uitzetting van vaste lichamen te bepalen en daaruit de bereikte temperatuur af te leiden. Het bestond in een wijziging van den door v. Musschenbroek geconstrueerden toestel, wiens naam er aan verbonden is.

Stoomwerktuig.

De groote belangstelling van de beheerders van het genootschap in alles wat met de stoommachine verband hield, blijkt duidelijk uit de verhandelingen van die eerste jaren. In de vergadering van 1772 wordt een model van een vuurmachine vertoond door Allamand⁵⁾, den leerling en levensbeschrijver van 's Gravesande, die sedert 1749 zelf te Leiden hoogleeraar was en daar na den dood van v. Musschenbroek in 1761 natuurkunde doceerde. In hetzelfde jaar treffen wij een prijsvraag aan over verbetering van stoomketels en vuurhaarden, en in 1778 na de mislukking met den eersten aankoop wordt weder een prijsvraag over het onderwerp gesteld. Van belang is het eerste deel van de nieuwe reeks van 1800, hetwelk geheel aan de stoommachine is gewijd. Het bevat onder meer de lezingen, welke Bicker als Lector voor het genootschap had gegeven⁶⁾. Deze waren voor hem de aanleiding geworden tot het instellen van een interessant onderzoek over de damp-drukking van stoom bij hooge temperatuur, waarin hij door den ook op ander gebied werkzamen natuuronderzoeker-scheikundige Rouppe⁷⁾ werd ter zijde gestaan. De oudste

¹⁾ C. H. Damen (1755—1793) schreef over barom. hoogte-meting, luchtballon; in 1785 opvolger van Allamand.

²⁾ P. Steenstra (?—1788) schreef boeken over zeevaartk., meetk. en sterrenk.

³⁾ J. J. Blassière (1736—1791) heeft v. Swinden tot leerling; wisk. boeken en over plaatsbepaling komeet.

⁴⁾ Verg.: H. A. van IJsselsteijn, Een bladzijde uit de geschiedenis der Nederlandsche polderbemaling. Nijgh & van Ditmar. Rotterdam 1905.

⁵⁾ J. N. S. Allamand (1713—1787) schrijft over genezing door electriciteit, sidderrog, meteorol. waarnemingen, (zie G. C. B. Suringar. T. v. Gen. 1866 II p. 265 verv.).

⁶⁾ Bicker volgde bij zijn onderwijs de leerboeken van Desaguliers en Nollet, een bewijs, hoe lang de goede handleidingen zich wisten staande te houden.

⁷⁾ H. W. Rouppe (1765—1816?). Dissertatie te Leiden „de Respiratione”, verhandelingen over afkoelende mengsels, die toen ter tijde voor het eerst onderzocht werden, absorptie van gassen door kool (met J. van Noorden 1749—1800), genezingen door electriciteit, waarneming van zonsverduistering in 1798 (met J. Florijn 1751—1818). In 1796 werd hij lector te Rotterdam. Volgens een mededeeling van Deiman in 1801 (Scherer 7 p. 593) had hij toen reeds de scheikunde vaarwel gezegd en was commissaris bij den agent van de oeconomie geworden. Toch schreef hij nog in 1803 over ontplofbare zelfstandigheden en volgens Dr. G. P. F. Groshans (1814—1874) (Historisch verslag over de geneeskundige school te Rotterdam bij haar 25-jarig bestaan in 1853) was hij tot zijn dood in 1816 lector; toch schijnt hij Rotterdam vóór 1802 verlaten te hebben en is althans daar niet gestorven.

onderzoekingen over dit onderwerp waren van Ziegler, van het jaar 1769, terwijl in de praktijk van de stoommachine de meer nauwkeurige waarnemingen van Bétancourt gebruikt werden. In de door deze voorgangers gevolgde methode werden een tweetal belangrijke verbeteringen aangebracht: de kwik-barometer, waarmede Bicker en Rouppe de drukkingen maten, werd zoo opgesteld, dat het kwikvat in den stoomketel zelf was opgesteld, terwijl de kwikbuis door een opening in het deksel luchtdicht naar buiten stak. Op die wijze waren zij er van verzekerd, dat de geheele ruimte door den stoom ingenomen, tot aan het kwik-oppervlak, waar de stoom op drukt, dezelfde temperatuur had als door den thermometer werd aangewezen en dat dan ook de juiste, bij die temperatuur behorende, damp-drukking werd gemeten. In de tweede plaats werd de stoomketel vooraf leeggpompt, opdat de gemeten drukking inderdaad die van zuiveren stoom zijn zou en niet van een mengsel van stoom en lucht. Deze metingen van Bicker en Rouppe vergelijkende met de talrijke andere, welke in den loop der jaren zijn uitgevoerd, mogen wij zeggen, dat ze behooren tot de beste uit de periode vóór Regnault.

Rivierkunde, enz.

Behalve op het gebied der warmte-verschijnselen maakte Bicker zich verdienstelijk ten opzichte van de „rivierkunde”. In het eerste deel der verhandelingen van het genootschap vindt men een lijvig stuk van Bicker getiteld: „Rivierkundige grondwaarheden, enz., eerst opgesteld en daarna, volgens ingekomen aanmerkingen en eigen overweegingen, verbeterd door Lambertus Bicker”. De compilatie is v.n. gebaseerd op de „rivierkundige verhandeling” van C. Velsen (1749), met de „nuttige aanmerking daarop” van F. Beyerinck (1770) en het antwoord op een ten behoeve van het werk uitgeschreven prijsvraag van Ph. Renard. Voorts is gebruik gemaakt van een verhandeling van M. Bolstra, terwijl tot de „verbeteringen” o.a. N. Ypey ¹⁾, maar vooral D. Klinkenberg hebben bijgedragen. Aan deskundigen om het door deze „grondwaarheden” gestichte nut te beoordeelen. De rivierkunde was een onderwerp, hetwelk bij uitstek lag in de lijn van het Bataafsch Genootschap: geen wonder, dat zich juist te Rotterdam, ook in de uitgeschreven prijsvragen, van den eersten aanvang af groote belangstelling in dit veld van onderzoek openbaarde. Maar evenmin te verwonderen, dat op een gebied, waar nog heden de verschijnselen zich aan een strenge behandeling onttrekken en voor de meest willekeurige beschouwingen speelruimte laten, hetgeen in de werken opgenomen werd, niet altijd van het eerste gehalte was, of zich in de algemeene instemming der kenners mocht verheugen. Zoo verscheen in 1777 een amusante

¹⁾ N. Ypey (1714—1785) te Franeker.

„Open Brief” van een Dortenaar aan een vriend in Amsterdam, waarin de bekroonde antwoorden op een prijsvraag betreffende een grooten watervloed te Rotterdam, in de Verhandelingen van dat jaar ongenadig worden gehegeld ¹⁾).

Het behoeft nauwelijks gezegd te worden, dat uitingen van een wijdverbreide belangstelling in de vele practische vraagstukken, die in het algemeen met water en wind verband houden, niet tot het Bataafsch Genootschap of zelfs tot de verhandelingen der genootschappen in het algemeen beperkt zijn. Velen waagden hunne krachten aan de behandeling van hydraulische en aanverwante problemen. Teekenend is de inaugureele oratie van den hoogleeraar van der Eyk ²⁾, die in 1796 te Leiden als lector werd aangesteld en na een paar jaar de door den dood van Nieuwland in 1794 opengevallen plaats innam: in deze redevoering wordt de Hydraulica als voor ons land van bijzonder gewicht als vak van studie aanbevolen.

Overall komt men bijdragen tegen over onderwerpen als windmolens, schepraderen, bedijking en dergelijke. Onder de mannen, die zich op het gebied der waterbouwkunde onderscheidden, treft men de eerste wiskundigen en natuurkundigen aan. Tot een vroegere periode behooren Cruquius ³⁾, de uitvinder der niveau-lijnen als hulpmiddel bij de voorstelling van hoogteverschillen, 's Gravesande, die o. a. met Cruquius en zijn mathematischen collega Wittichius ⁴⁾ een plan had uitgewerkt voor de verbetering van onze rivieren, met name van de Merwede, en diens opvolger Lulofs ⁵⁾. De laatste, wiens veelzijdige werkzaamheid valt in de periode, welke onmiddellijk aan onze 150 jaren voorafgaat, verdient, dat wij een oogenblik bij hem stilstaan. Sterrekunde en cosmographie waren de eigenlijke vakken zijner keuze; zijn eerste grooter geschrift, in het Latijn opgesteld, betrof het gebruik van de beide globes; zijn „Inleiding tot een natuur- en wiskundige beschouwing des Aardkloots” (Leiden 1750) werd door Kästner in het Duitsch vertaald. Tusschen den tijd van Huygens en het optreden van Kaiser is hij de eenige Leidsche hoogleeraar, die zich als astronoom heeft onderscheiden. In 1743 en 1753 nam hij de overgangen van Mercurius voorbij de zon waar en in 1761 den Venus-overgang. In 1757 deed hij nauwkeurige bepalingen van de lengte van den secunde-slinger, in 1763

¹⁾ Een der bekroonde schrijvers had als middel tot waterkeering aanbevolen het doen zinken van een schip met ballast „ter plaatse, waar het deszelfs werking doen moet”, omdat dit middel wel eens bij een dijkbreuk met vrucht was toegepast. „De kracht van het argument is zoo groot, als dat men zegt: in Engeland zijn de vuurmachines van zeer veel nut, en werken daar zeer goed; ergo, ze zullen te Rotterdam ook goed gaan”, een vriendelijke toespeling op de tegenspoeden met de stoommachines van Hoogendijk.

²⁾ S. Sprenger van der Eyk (1771—1837) schreef boeken over physica, diff. rekening, verhandelingen over moleculaire krachten (1800), electromagnetisme (1823).

³⁾ N. S. Cruquius (1678—1754).

⁴⁾ J. Wittichius (1677—1739).

⁵⁾ J. Lulofs (1711—1768).

van het gewicht van een kubieke Rijnlandsche roede water door hydrostatische weging. Hij was zonder twijfel de man, die de astronomie bij ons tot bloei had kunnen brengen, indien hem door de autoriteiten de hoog-noodige hulpmiddelen en faciliteiten (zie boven blz. 5), waar hij voortdurend op aandrong, waren toegestaan. Maar zijn teleurstellingen op sterrekundig gebied brachten hem er toe om zich de benoeming tot Inspecteur-Generaal der rivieren te laten welgevallen; als zoodanig en als adviseur van de Regeering in allerlei zaken betreffende den Waterstaat heeft hij zich bijzonder verdienstelijk gemaakt. De door 's Gravesande c. s. voorgestelde verbetering van de Merwede werd door hem en den landmeter Bolstra ¹⁾ bestreden en later door zijn opvolger, den bekenden C. Brunings verdedigd, terwijl zijn voorstellen betreffende de verbetering van Rijn en Waal door Brunings werden ten uitvoer gebracht. De lijst van zijn geschriften, ook op ander terrein, doet Lulofs als een veelzijdig geleerde kennen, aan wien minder roem is ten deel gevallen, dan hij verdiende ²⁾.

Een tijdgenoot van Lulofs, in zijn studiën met hem verwant en in zijn werkzaamheden met hem in betrekking staande, was Klinkenberg ³⁾; oorspronkelijk als landmeter aan Bolstra toegevoegd, bewoog hij zich later v.n. op het gebied der astronomie en der rivierkunde. Bekend zijn zijn waarnemingen van de zoeven genoemde Mercurius- en Venus-overgangen, en die van de kort geleden ontdekte planeet Uranus, waarvan hij het eerst bewees, dat het geen komeet was, en niet minder zijn ontdekkingen en berekeningen van verscheidene kometen. Voor zijn waarnemingen stond hem de toegang tot de stadhoudelijke sterrewacht in Den Haag open. Door Bailly werd hij met Hennert en Van Swinden tot onze goede waarnemers gerekend. Op het gebied van den Waterstaat leverde hij een aantal verdienstelijke verhandelingen, welke in de werken van de Hollandsche Maatschappij te vinden zijn, en met grooten ijver werkte hij mede aan de „Rivierkundige Stellingen”, waarvan straks gewaagd werd.

Het ligt niet op onzen weg de verdiensten van onze ingenieurs op het terrein van den Waterstaat te schetsen en wij zullen den arbeid van C. Brunings ⁴⁾, niet te verwarren met twee jongere naamgenooten ⁵⁾, die dezelfde vakken beoefenden, Conrad ⁶⁾ en hunne opvolgers hier onbesproken

¹⁾ M. Bolstra (1704—1776) beantwoordde o.a. de eerste prijsvraag van de Holl. Maatsch. (I p. 779, 1754) over de verzanding der rivieren. Hij was een zeer ervaren landmeter en waterbouwkundige en maakte zich verdienstelijk door het vervaardigen van kaarten.

²⁾ O.a. over stroomsnelheid op verschillende diepten, sneeuw, windmolens, windsnelheid, variaties van het aard-magnetisme.

³⁾ D. Klinkenberg (1709—1799).

⁴⁾ C. Brunings (1736—1805); voor talrijke verhandelingen zie de werken der Holl. Maatschappij.

⁵⁾ C. Brunings Jr. (1757—1826) en C. E. Brunings (1775—1816). De laatste schreef over „staande schepradmolens, zijdelingsche drukking”, enz.

⁶⁾ F. W. Conrad (1769—1808) schreef prijsverhandeling over Chr. Brunings, 1807.

laten. Noemen wij slechts hen, die ook tot de ontwikkeling der zuivere natuurkunde hebben bijgedragen.

Een bekende naam is die van den Utrechtschen hoogleeraar Hennert ¹⁾, een Duitscher van afkomst, die eerst te Leiden als privaat-docent werkzaam was geweest en daar tot de vorming van Van Swinden had bijgedragen. Behalve voor de hydraulica was hij als wiskundige, astronoom en meteoroloog met vrucht werkzaam. Wij noemen zijn berekeningen over de planeet Uranus, verder een studie over de barometrische hoogte-meting, welke in die dagen door de onderzoekingen van De Luc aan de orde gebracht was, en zijn optische verhandelingen over kijkers en andere optische instrumenten, genoeg om zijn veelzijdigheid te doen uitkomen.

Krayenhoff ²⁾ — eveneens een voorbeeld van een veelzijdige werkzaamheid, zooals die in onze tijden niet meer wel denkbaar is — begon zijn wetenschappelijke loopbaan als medicus en natuurkundige. Hij gaf in 1783 een bewerking uit van Jacquet's electriciteitsleer, werkte samen met Paets van Troostwijk aan een stuk over de toepassing van de electriciteit op physica en geneeskunde, dat door Van Swinden in het Fransch vertaald werd en door een Fransch genootschap in 1786 met een gouden prijs bekroond ³⁾, en deed met hem waarnemingen over de „figuren van Lichtenberg”, die bij de uitstrooming van electricische ladingen op isolatoren ontstaan en door poeders zichtbaar gemaakt kunnen worden ⁴⁾. Nadat hij in de politiek en de krijgskunde zijn groote rol gespeeld had, werd hij na 1798 belast met geodetische en topografische operaties, welke hij, gedeeltelijk onder medewerking van De Gelder ⁵⁾, met groot talent volbracht ⁶⁾ en wier verdiensten niet verminderd worden door de overigens gegronde kritiek, welke later op zijn methode van reductie uitgeoefend is. Zijn hydrographische waarnemingen zijn eveneens zeer geroemd. Bekend onder vakgenooten zijn zijn rivierkundige verhandelingen en zijn voorschriften over het aanbrengen van bliksemafleiders (1823) ⁷⁾, waarvoor hij de materie aan den arbeid van Van Marum ontleende.

Een man van groote verdiensten, behalve als waterstaat-kundige ook als theoretisch astronoom en als natuurkundige was Van Beeck Calkoen ⁸⁾, leerling van Hennert, eerst hoogleeraar te Leiden en in 1805 opvolger van Hennert te Utrecht. Hij werd meermalen door de Regeering over

¹⁾ J. F. Hennert (1733—1813) was sedert 1764 te Utrecht.

²⁾ C. R. Th. Baron Krayenhoff (1758—1840).

³⁾ Soc. Royale de Valence en Dauphiné.

⁴⁾ Alg. Mag. v. Wet., K. en Smaak, II (1) p. 229. 1787.

⁵⁾ J. de Gelder (1765—1848) was bekend als wiskundige en als schrijver van vele leerboeken.

⁶⁾ O. a. zeer geprezen door J. D. van der Plaats.

⁷⁾ Zie ook verhandeling in Alg. Mag. v. Wet., K. en Sm., I (2) p. 937. 1785.

⁸⁾ J. F. van Beeck Calkoen (1772—1811) schreef over ophaalbruggen, de methode van Douwes, graad-meting, sextant, gebogen spiegels, fouten-rekening.

's lands waterstaat geraadpleegd en werkte krachtadig mede tot bevordering van de opleiding voor waterstaat en zeewezen. Hij stierf op jeugdigen leeftijd.

Ook de zeevaartkunde wordt in die periode ijverig beoefend; wij noemen Douwes ¹⁾, die bekend is als de schrijver van „Zeeman's tafelen”, waarvan later nieuwe bewerkingen bezorgd werden door Florijn en door Swart ²⁾. Van bijzonder belang was zijn verhandeling betreffende het bepalen van de breedte op zee buiten den middag, die ook afzonderlijk werd uitgegeven en in vele vreemde talen overgezet. Een ander zeevaartkundige, die zich ook als schrijver onderscheidde, was Bangma ³⁾.

Van Swinden.

Zoowel hier als op aanverwant terrein treedt spoedig op den voorgrond de figuur van Van Swinden ⁴⁾: achtereenvolgens te Franeker en te Amsterdam bezette hij een leerstoel. Zijn loopbaan kan hier niet uitvoerig worden geschetst ⁵⁾: de grootste roem viel hem ten deel door zijn werkzaamheid als lid van de commissie voor maten en gewichten te Parijs, waarheen hij met Aeneae, dien wij later zullen tegenkomen, in 1798 werd afgevaardigd. Op hem viel de eervolle keuze om de voorstellen dier commissie voor het Instituut uiteen te zetten en te verdedigen; op voortreffelijke wijze kweet hij zich van die taak, zoodat hij met roem overladen naar Nederland terugkeerde.

Talrijk zijn de werken van Van Swinden op het gebied van de zuivere en toegepaste wiskunde. Zijn eerste onderzoekingen betroffen het kompas en meer in het algemeen de eigenschappen van magneten ⁶⁾. Wij vermelden zijn onderzoek omtrent den invloed van electricische ontladingen op het magnetisme, dat reeds door velen bestudeerd was, maar waarvan men de ware natuur niet had kunnen te weten komen. Ook Van Swinden slaagde aanvankelijk niet in zijn pogen: een voortzetting van het onderzoek door Van Marum, die Van Swinden tot medewerking uitnoodigde, waarbij als hulpmiddel de groote electriseermachine van Teyler werd aangewend, leverde eindelijk een afdoende uitkomst. Het bleek namelijk, dat de naar het noorden of naar beneden gerichte pool van de gebezigde naald of staaf, die aan de ontlading werd blootgesteld, steeds noord-magnetisch werd; loodrecht op den meridiaan geplaatst verkrijgt hij van de sterkste ontladingen in de lengte-richting geen magneetkracht. De slotsom, welke

¹⁾ C. Douwes (1713—1773) was o. a. leeraar aan de Zeevaartschool.

²⁾ J. Swart (1796—1866), zeevaartkundige, leeraar aan de Kweekschool voor Zeevaart.

³⁾ O. S. Bangma (1768—1829).

⁴⁾ J. H. van Swinden (1746—1823).

⁵⁾ Levensbericht door Moll in 1^{ste} klasse, Kon. Instituut 1823.

⁶⁾ In 1777 werd een verhandeling over het kompas te Parijs met goud bekroond. Hetzelfde geschiedde in 1778 te München met een stuk over magnetisme en electriciteit. Zijn „Positiones physicae” bleven onvoltooid.

Van Marum uit de proeven trok, was deze, dat de ontlading juist denzelfden invloed had als andere storingen, die het metaal in trilling brengen; een specifieke werking van de electriciteit als zoodanig kon uit de proeven niet worden afgeleid.

Een rechtstreeksch verband tusschen electriciteit en magnetisme, dat door velen vermoed werd, bleek uit deze proeven derhalve niet. Toch deed Van Marum gedurende dit onderzoek een waarneming, die, zooals wij nu kunnen zien, op een electromagnetische werking berustte. Het verschijnsel kwam hemzelf „geheel nieuw en zeer zonderling voor”, maar zijn voornemen om het later uitvoeriger te bestudeeren heeft hij niet ten uitvoer gebracht. Hij had een breede naald, een stuk van een horloge-veer, loodrecht op den meridiaan opgesteld en liet de ontlading ditmaal niet in de lengterichting door de naald gaan, maar in de richting van de breedte met het doel de naald in die richting te magnetiseeren: zij bleek echter in de lengterichting gemagnetiseerd te zijn, en wel veel sterker dan bij den anderen stand. Eerst 35 jaren later zouden de verschijnselen aan het licht komen, welke de verklaring van het ontstaan der magneetkracht bij deze proef kunnen leveren.

A. Brugmans; diamagnetisme.

Wij willen deze gelegenheid gebruiken om den naam te noemen van een anderen landgenoot, die zich door het onderzoek van de magnetische verschijnselen verdienstelijk gemaakt heeft, den Groningschen hoogleeraar A. Brugmans¹⁾, vader van den bekenden Leidschen hoogleeraar S. J. Brugmans²⁾. Brugmans schreef twee werkjes over het magnetisme, welke blijkens de Duitsche vertalingen, die er van verschenen, ook in het buitenland op prijs gesteld werden. Uit het eerste halen wij aan de waarneming, dat ijzer door gloeihitte zijn magnetische eigenschappen verliest: zoolang het zich in het vuur bevindt, is het niet magnetisch, maar het herkrijgt zijn vorige eigenschappen, wanneer men het weder doet afkoelen. Het tweede werkje bevat onder meer een methode om de richting van de inclinatie-naald te bepalen met behulp van een staaf van week ijzer, verder het bewijs, dat het magnetisme niet aan den vasten toestand gebonden is, immers een oplossing van ijzervitriool werd door een sterken magneet merkbaar aangetrokken; eindelijk vond Brugmans bij zijn talrijke proeven over de magnetische aantrekking van de meest verschillende materialen in het Bismuth een zelfstandigheid, die door een magneet werd afgestooten, in plaats van aangetrokken, waarmede het thans zoogenoemde diamagnetisme ontdekt was.

Keeren wij tot Van Swinden en de Zeevaartkunde terug. Te Amsterdam

¹⁾ A. Brugmans (1732—1789) promoveerde te Leiden 1753, hoogleeraar te Franeker 1755, te Groningen 1767.

²⁾ S. J. Brugmans (1763—1819).

had Van Swinden eenige jaren van vruchtbare samenwerking met zijn geliefden leerling Nieuwland ¹⁾; door zijn toedoen werd de laatste in 1787 benoemd tot lid der Commissie voor het bepalen der lengte op zee, in 1788 voltooiden zij te zamen een Zeeman's Almanak en in 1789 werd Nieuwland op voorstel van Van Swinden te Amsterdam tot lector in de Wis-, Sterre- en Zeevaartkunde benoemd, als opvolger van Steenstra.

De veelzijdigheid van Nieuwland, afgezien van zijn gaven als dichter, blijkt uit zijn samenwerking met de „Hollandsche Scheikundigen”, waarover later meer, gedurende zijn Amsterdamsche jaren en niet minder uit zijn zeer geroemde theorie over de oorzaak van de helling der ecliptica, die hij op een reis naar Duitschland te Gotha gedurende 1793 opstelde en onmiddellijk per brief aan zijn vroegeren leermeester Damen te Leiden mededeelde. Nog het zelfde jaar werd hij te Leiden hoogleeraar, welke betrekking hij slechts een jaar mocht bekleeden, daar hij reeds in 1794 overleed: met hem daalde een schoone belofte voor de toekomst ten grave.

Over Van Swinden's meteorologische verdiensten spreken we later. Wij mogen hier besluiten met het oordeel van de commissie ²⁾, waaraan in 1900 was opgedragen een verslag uit te brengen over de verzameling geschriften en bescheiden van Van Swinden afkomstig: „al moge hij niet behoord hebben tot de weinigen, die zich door de oorspronkelijkheid hunner denkbeelden of het gewicht hunner ontdekkingen een ruime en blijvende plaats in de geschiedenis der wetenschap verzekerd hebben, toch is hij zonder twijfel door zijn groote kennis en scherpzinnigheid en zijn onvermoeide en doeltreffende werkzaamheid op verschillend gebied voor zijn tijdgenooten in en ook buiten zijn vaderland een man van beteekenis geweest”.

Scheikunde. Verbranding ³⁾).

Wij komen nu tot die onderwerpen, welke in de tweede helft der achttiende eeuw de mannen der natuurwetenschap meer in het bijzonder bezig hielden, en tot het aandeel, dat Nederlanders in de ontwikkeling daarvan hebben gehad. Die onderwerpen liggen op drie gescheiden terreinen, de electrostatica, de kennis der gassen en de quantitatieve scheikunde. Deze terreinen, vooral de beide laatste, hebben evenwel zooveel punten van aanraking, dat men geen daarvan kan bewandelen zonder telkens op een ander te belanden, zoodat een stelselmatige afzonderlijke bespreking niet wel doenlijk is. Wij zullen ons doel het best bereiken door bij de bespreking een chronologische orde te kiezen:

¹⁾ P. Nieuwland (1764—1794). Lijkrede van J. H. van Swinden in Felix Meritis, 1795.

²⁾ D. J. Korteweg, J. A. C. Oudemans en P. Zeeman.

³⁾ Bij het bewerken van dit gedeelte heeft de schrijver zich voortdurend van de geschriften van Dr. H. P. M. van der Horn van den Bos kunnen bedienen: De Ned. Scheikundigen van het laatst der vorige eeuw (prijzverhand. Utr. Gen. 1881); Stelsel van Lavoisier (prijzsvraag Genootschap ter bev. v. Nat. Gen. en Heelk. Amsterdam. Werken (2) 2 1896); Arch. Teyler (2) 6 p. 375. 1900; 9 p. 155. 1905.

bij het noemen der personen, die aan ons oog zullen voorbijgaan, vinden wij van zelf gelegenheid ook op wetenschappelijke verdiensten in andere richting de aandacht te vestigen.

Om de beteekenis van den arbeid onzer natuur- en scheikundigen in de laatste twee decenniën van de achttiende eeuw in het juiste licht te kunnen stellen, is het noodig den stand der wetenschap in die dagen met enkele trekken te teekenen. In het bijzonder geldt dit wat betreft de leer van de gassen en de theorie van de verbranding, die, zooals wij zien zullen, ten nauwste met elkander samenhangen.

Als men zich voor oogen stelt de trap van ontwikkeling, die de scheikunde heden ten dage bereikt heeft, is het moeilijk te gelooven, dat 150 jaar geleden die wetenschap nog moest beginnen met zich tot een quantitatieve wetenschap te ontwikkelen. Ten opzichte van den aard van een scheikundige omzetting verkeerde men eigenlijk nog geheel in het duister; zelfs het voor ons als fundamenteel geldende beginsel, dat de hoeveelheid der materie bij een omzetting niet grooter of kleiner kan worden, en dat de veranderingen, welke men waarneemt, altijd kunnen worden opgevat als een reeks van gedaante-verwisselingen van een volkomen standvastige hoeveelheid stof, werd volstrekt niet als zoodanig algemeen gevoeld. De verschijnselen zelve, vooral die, welke de lichamen onder den invloed van het vuur doen zien, dus juist die, welke het uitvoerigst onderzocht waren, schijnen trouwens dit beginsel voortdurend te loenstraffen. Bij de verdamping en bij de verbranding van stoffen als kool of organische zelfstandigheden verdwijnen de stoffen geheel of voor het grootste gedeelte en zonder bezwaar legde men zich bij deze schijnbare vernietiging van de materie neer. Als men nu nog eens beproeft om de veranderingen, welke door hitte in de lichamen worden teweeggebracht, onbevangen te beschouwen, dan zal men er zich niet over verbazen, dat zoovele eeuwen van waarneming niet toereikend geweest waren om een samenhangend inzicht in het wezen der scheikundige werking op te leveren. Denken wij slechts aan de groote verscheidenheid der verschijnselen door het vuur te voorschijn geroepen: somtijds, zooals bij de verbranding van koolstof, een bijkans geheel verdwijnen; bij stoffen als zwavel en phosphorus, het ontstaan van zure zelfstandigheden; bij de kalksteen de vorming van een bijtende stof, ongebluschte kalk; bij vele metalen een verdwijnen van de metaal-eigenschappen en het ontstaan van andere stoffen, hetwelk men naar analogie van de kalkvorming met den naam van verkalking bestempelde,

De meest voor de hand liggende opvatting was wel deze, dat het in het vuur aanwezige beginsel op de stoffen inwerkte, zich daarmede vereenigde om aldus nieuwe stoffen te vormen, of wel de stof in haar deelen deed uiteenvallen. Omgekeerd kon zich de voorstelling ontwikkelen,

dat door bewerking van het vuur een hypothetisch beginsel uit de zelfstandigheden werd uitgedreven. Wij gaan de groote verscheidenheid van opvatting, die men zich in den loop der tijden had gevormd, voorbij en bepalen ons tot de theorie, welke door Stahl in het begin der achttiende eeuw was opgesteld en die zich in telkens gewijzigde gedaante de geheele eeuw door wist te handhaven, totdat zij, en nu voor goed, voor de moderne voorstelling, die aan het genie van Lavoisier ontsproten was, moest wijken.

Phlogiston.

De groote verdienste van de theorie van Stahl bestond daarin, dat zij de genoemde verschijnselen voor een groot deel onder één gezichtspunt wist te brengen. Volgens haar bestond de verbranding — in de meest algemeene beteekenis — daarin, dat de stof daarbij een bestanddeel verloor, hetwelk het verbrandings-beginsel belichaamde. Dit bestanddeel, door hem phlogiston, d. w. z. vuurstof genoemd, zou aan alle stoffen, welke een invloed van het vuur ondergaan, gemeenschappelijk zijn. Bij de verbranding verliest dus het lichaam dit verbrandings-beginsel of phlogiston; hoe sterker brandbaar zij is, des te meer phlogiston bevat zij. Wat er bij de verbranding overblijft, is dus het andere bestanddeel van het lichaam. Zoo moest zwavel, waaruit bij de verhitting zwavelzuur ontstaat, volgens Stahl uit dit zuur + phlogiston bestaan. Een metaal, dat door het vuur in een metaalkalk (wat men nu een metaal-oxyde noemt) verandert, moest als een verbinding van die kalk met phlogiston worden aangemerkt. Omgekeerd, wanneer uit een metaalkalk door verhitting met een tweede stof het metaal teruggevormd wordt, is dit volgens de theorie het gevolg daarvan, dat zij uit die tweede phlogiston-rijke stof de benoodigde hoeveelheid phlogiston opneemt.

Het gelukte inderdaad een groot aantal verschijnselen langs dien weg in een samenhangend beeld te brengen; de theorie werd dan ook vrij algemeen door de mannen der wetenschap omhelsd. Wanneer iemand als Boerhaave zich tegen haar verklaarde, zoo was het, omdat hij zich liever voorstelde, dat het vuur iets, namelijk warmte-stof, aan de lichamen toevoerde, in plaats van er een beginsel aan te onttrekken. Dit was eigenlijk de meer voor de hand liggende oudere voorstelling van Becker, die onder den invloed van de autoriteit van Newton, die warmte als een toestand, niet als een actief beginsel beschouwd wilde zien, en door de theorie van Stahl verdrongen was. Maar een even duidelijk beeld als dat der phlogiston-theorie wist men aan haar niet tegenover te stellen ¹⁾.

¹⁾ Dat de moeilijkheden, welke de phlogiston-theorie aankleefden, niet geheel over het hoofd werden gezien, blijkt bijvoorbeeld uit een in 1765 te Utrecht door J. B. Bicker bewerkte dissertatie, die zich weifelend over haar uitlaat. Promotor was de hoogleeraar J. D. Hahn, die later in 1775 naar Leiden overging. Zie ook P. de Smeth, Diss. Utrecht, 1772, waarin o. a. de gewichtsvermeerdering van phosphorus na de ontvlaming quantitatief werd nagegaan, en A. Barnaart, Diss. Utrecht. 1774.

De zwakke zijde van alle gangbare opvattingen lag hierin, dat zij de rol, die de lucht bij de genoemde processen veelal speelt, geheel over het hoofd zagen of wel in een verkeerden zin begrepen en in elk geval volkomen onderschatten. Verschillende onderzoekers hadden reeds opgemerkt, dat metalen als lood, tin, kwik of antimoon bij hunne verkalking een gewichtsvermeerdering ondergingen: moest dan met het verlies aan phlogiston een vergrooting van het gewicht gepaard gaan? Had het phlogiston wellicht een negatief gewicht, dus een opdrijvende kracht naar boven toe? Inderdaad werd deze gevolgtrekking, toen de aandacht der geleerde wereld weder op die gewichts-vermeerdering werd gevestigd, door velen aanvaard, terwijl anderen zich zoo weinig om dergelijke quantitative overwegingen bekommerden, dat zij de tegenspraak met de theorie eenvoudig ter zijde lieten.

Toch had men de oorzaak der gewichts-vermeerdering bij de verkalking door combinatie van bekende verschijnselen reeds lang vóór Lavoisier, wat de hoofdzaak aangaat, kunnen vinden. Men wist, dat de verkalking alleen plaats vond in een open vat, en dit kon tot de gevolgtrekking leiden, dat de lucht bij de verkalking en verbranding onmisbaar was. Inderdaad hadden Rey, Hooke en Mayow die conclusie dan ook gemaakt en zich voorstellingen gevormd over de verbranding, welke in ieder geval de waarheid zeer nabij kwamen; maar hun arbeid was te vroeg gekomen. Als de phlogistici zich later over de noodzakelijkheid van het geopend zijn van het vat uitlieten, zoo verklaarden ze deze gewoonlijk niet uit den eisch van vrijen toevoer van lucht, maar integendeel als een maatregel om het phlogiston het ontsnappen niet te beletten.

Dampkringslucht. Gassen.

Een volledig inzicht in den aard van de genoemde voor de scheikunde zoo belangrijke processen ware toen ter tijde reeds daardoor onmogelijk geweest, dat men over de samenstelling van de dampkringslucht nog geheel in het donker verkeerde. Dat er volkomen van elkander verschillende gassen waren, was slechts tot zeer enkelen doorgedrongen. Men had bij verschillende scheikundige bewerkingen en uit minerale wateren gassen zien ontwijken en opbruisen, men had zoo waterstof en koolzuur in handen gehad en men kende bij voorbeeld het moerasgas; ook wist men dat deze stoffen andere eigenschappen bezaten dan atmosferische lucht, dat ze brandbaar waren of op de vlam en levende wezens verstikkend werkten. Van Helmont had zelfs voor die „luchtsoorten”, zooals men ze noemde, den naam „gassen” gebezigd, maar gewoonlijk stelde men zich voor, dat zij niet anders waren dan de gewone lucht, die men kende, door bijmengsels in haar eigenschappen min of meer gewijzigd, en de bijzondere benaming was dan ook niet in zwang gekomen, en werd eerst later weder door Lavoisier ingevoerd. Men kan zich dan ook de verbazing voorstellen,

die gewekt werd, toen Black in 1757 het koolzuurgas „ontdekte”, er de eigenschappen van vaststelde en de meening uitsprak, dat deze lucht van gewone lucht geheel onderscheiden was, wat o. a. daaruit bleek, dat het gas door alkaliën en kalk volledig opgeslorpt of vastgelegd werd, waarom het den naam van „vaste lucht” verkreeg. Black kende reeds een aantal bereidings-wijzen van het koolzuurgas en wist ook, dat het bij de gisting, de verbranding van koolstof en bij de ademhaling ontstond, maar zoo ingeworteld was het denkbeeld van de eenheid van alle lucht, dat een essentieel verschil tusschen lucht en koolzuurgas nog jaren lang door velen verworpen werd, daaronder bijvoorbeeld ook de beroemde Leidsche hoogleeraar H. D. Gaubuis. Anders Hahn, onder wien een dissertatie bewerkt werd over de vaste lucht door D. de Smet (1772).

Maar de uitkomsten van Black werden door anderen bevestigd en uitgebreid, met name ook door Cavendish, die in 1766 er een tweede gas aan toevoegde, hetwelk geheel van lucht en ook van koolzuur afweek, in het bijzonder door zijn brandbaarheid, de waterstof. Cavendish was ook de eerste onderzoeker, die het groote verschil in gewicht tusschen de drie nu bekende luchtsoorten vaststelde. Zoo begon men allengs — want nog jaren lang bleven er twijfelaars over — aan het bestaan van onderscheiden luchtsoorten te gewinnen. Na eenigen tijd, te beginnen met 1771, volgden nu de beroemde ontdekkingen op dit gebied van Priestley. In 1772 bereidde hij het stikstof-oxyde en onderzocht zijn eigenschappen; in het zelfde jaar ontdekte hij het stikstof-oxydule; in 1774 deed hij de belangrijkste ontdekking van alle, die van de zuurstof; en daarna volgden achtereenvolgens het zoutzuurgas (1774), ammoniak (1774), zwaveligzuur (1775), fluorwaterstof (1776) en veel later in 1798 het kooloxyde.

Zuurstof.

Bij de ontdekking van de zuurstof staan wij een oogenblik stil. Reeds in 1771 had Priestley het gas uit salpeter door verhitting verkregen en opgemerkt, dat dit gas de verbranding sterk begunstigde; in 1772 vond hij, dat door brandende kool een vijfde gedeelte van de atmosferische lucht verdwijnt en dat, wat overblijft, voor verbranding en inademing ongeschikt is, eindelijk in 1774 verkreeg hij zuurstof uit het roode praecipitaat (kwik-oxyde) door verhitting en kwam hij tot het inzicht, dat hij daar met een bepaald gas te doen had, hetwelk ook een bestanddeel van de atmosferische lucht uitmaakt. Daar dit gas de verbranding sterk bleek te bevorderen, zoo moest het — volgens de opvattingen der phlogistontheorie — het phlogiston gretig opnemen, het moest dus het van phlogiston bevrijde gedeelte van de lucht zijn, gedephlogisteerde lucht, zooals hij en zijn volgelingen het nog lang daarna noemden. Het overblijvende gedeelte, dat voor het onderhouden der verbranding ongeschikt was, de tegen-

woordige stikstof, heette dienovereenkomstig gephlogisteerde lucht ¹⁾). Priestley's uitkomsten lieten zich goed aansluiten bij de ontdekking van stikstof door Rutherford in 1772; na verwijdering van het voor de inademing geschikte gedeelte van de lucht door daarin dieren te doen ademen en na absorptie van het gevormde koolzuur-gas door kaliloog, had Rutherford een gas overgehouden, dat dus van koolzuur-gas onderscheiden was en toch evenals dit laatste de vlam en dieren deed verstikken. Het verdient allicht vermelding, dat deze beide gassen in de volgende jaren nog menigmaal met elkander verward of geïdentificeerd werden, evenals dat met de verschillende brandbare gassen het geval was.

Het is opmerkelijk, dat Priestley uit zijne ontdekkingen niet de gevolgtrekking maakte, dat verbranden en verkalken niet anders konden zijn dan een vereenigen van de brandbare stof of het metaal met het ontdekte bestanddeel van de lucht; daarvoor was hij te veel in de denkwijze der phlogiston-theorie bevangen. Nog merkwaardiger, dat hij, die, zooals wij zien zullen, door zijn ontdekking eigenlijk de doodsteek aan deze theorie toebracht, haar tot aan zijn dood in 1804 is blijven aanhangen en haar steeds met hand en tand, men zou zeggen tegen alle evidentie in, is blijven verdedigen.

Ook de beroemde Zweedsche scheikundige Scheele, die onafhankelijk van Priestley in dezelfde periode de zuurstof ontdekte, bracht het ten opzichte van de verbranding niet tot de eenvoudige voorstelling, die van ons standpunt gezien zoo vlak voor de hand lag; ook hij beproefde de verschijnselen phlogistisch te formuleeren. Eerst Lavoisier wist uit de ontdekking van de zuurstof, die hem door Priestley mondeling werd medegedeeld, de juiste gevolgtrekking te maken, v.n. omdat hij zich sedert eenige jaren met de quantitative zijde van de verbranding en verkalking had bezig gehouden en dus om zoo te zeggen voor de ontdekking volledig voorbereid was.

In 1774 was Lavoisier, die reeds een paar jaren de genoemde processen aan het onderzoeken was, al zoo ver gekomen, dat hij wist, hoe aan de gewichts-vermeerdering, welke metalen en stoffen als zwavel en phosphorus bij de verkalking ondergaan, een volkomen overeenstemmende gewichts-vermindering van de lucht beantwoordde. Toen hij nu de ontdekking van Priestley vernam en haar op allerlei wijzen kon bevestigen, lag de consequentie voor de hand, dat in de vereeniging met zuurstof het wezen van de verbranding te vinden was. Een reeks van meesterlijke onderzoekingen voerde hem tot de opstelling van een volledige theorie, die in twee verhandelingen over de verbranding (1778) en over het phlogiston (1783)

¹⁾ Deze namen doen zien, dat hij de beide gassen meer als gewijzigde lucht beschouwde dan als hare mengings-bestanddeelen.

werd neergelegd. Metalen, zwavel, phosphorus, kool zijn niet, zooals Stahl wilde, verbindingen van de kalken of oxydatie-producten met phlogiston, integendeel elementen, die door vereeniging met zuurstof deze producten opleveren.

Reductie van kwikoxyde.

Van grooten invloed op de ontwikkeling van de anti-phlogistische theorie was de ontdekking van Bayen in 1774, dat uit kwikoxyde — het roode praecipitaat — door verhitting zonder directe aanraking met de vlam het kwik kan worden verkregen: phlogiston kon hierbij niet zijn toegetreden. Bayen maakte uit zijn proef dan ook de juiste gevolgtrekking omtrent den aard der oxydatie en reductie, als zijnde een opnemen en afgeven van een gasvormig bestanddeel. Niet ten onrechte heeft men daarom wel eens zijn naam met dien van Lavoisier aan het nieuwe systeem der chemie gekoppeld.

De proef van Bayen heeft in de jaren van strijd tusschen de phlogistici en de aanhangers van Lavoisier een groote rol gespeeld. Men meende een onderscheid te moeten maken tusschen het kwikoxyde, dat door verhitting van kwiknitraat ontstaat, en het „mercurius praecipitatus per se”, dat door verhitting van kwik aan de lucht gevormd wordt: het laatste zou bij verhitting geen zuurstof afgeven, tenzij water aanwezig was, waaruit dan de zuurstof zou voortkomen. De nauwkeurigste en meest afdoende proeven hieromtrent werden door Van Mons¹⁾ genomen: zoo onwederlegbaar waren deze, dat ze een aantal van de voornaamste phlogistici deden zwichten. Ofschoon we Van Mons niet tot de Nederlandsche natuurkundigen kunnen rekenen, moge hij als „Zuid-Nederlander” hier met een enkel woord naar voren worden gebracht. Van Mons muntte uit door een enorme werkzaamheid, vooral op zuiver scheikundig gebied, en waar hij over netelige vraagstukken een oordeel uitspreekt, treft hij door zijn helder gezond verstand. Hij werd dan ook reeds vroeg een aanhanger der nieuwe leer en in den strijd, dien ze te voeren had, wist hij, waar het pas gaf, een juist woord te spreken. Van zijn natuurkundigen arbeid vermelden we een verdediging van de electriciteits-theorie van Franklin en proeven over koudmakende mengsels.

Water.

Aanvankelijk vond de nieuwe theorie weinig bijval: zelfs in Frankrijk had Lavoisier eerst alleen in zijn medewerker op natuurkundig gebied, Laplace, een aanhanger en duurde het tot 1785 voor scheikundigen van naam zich bij de „anti-phlogistische” theorie gingen aansluiten. Er ontbrak

¹⁾ J. B. van Mons (1765—1842), hoogleeraar te Brussel en te Leuven.

trouwens nog een belangrijke schakel in het geraamte van de leer, namelijk de samenstelling van het water. Zoo vroeg men, waar de waterstof van daan kwam, die zich ontwikkelt, wanneer metalen in zuren oplossen en zich daarbij verkalken? Het antwoord van vele toenmalige phlogistici zelve was: de waterstof is niet anders dan het phlogiston, dat aan het metaal bij diens verkalking wordt onttrokken en bij de revivificering, d.w.z. reductie, door waterstof teruggegeven. Aldus ontstond een van de modificaties van de phlogiston-theorie, die tot aan het einde zou standhouden.

Inmiddels moest Lavoisier het antwoord op de gestelde vraag schuldig blijven. Ook hier, evenals in het geval van de zuurstof, zou het weer een ontdekking van een ander zijn, ditmaal van Cavendish, die hem in staat stelde de oplossing te geven en zijn anti-phlogistisch stelsel te voltooien. Tevergeefs had hij sedert 1777 gezocht naar den aard van het product van de verbranding van waterstof; blijkbaar zocht hij te ver, namelijk naar een zuur, afgaande op de analoge oxydatie van zwavel, phosphorus en koolstof. Zijn laatste proeven van 1782 hadden nog geen uitsluitsel gegeven, toen hij door Blagden vernam over de vinding van Cavendish, reeds uit 1781 afkomstig, maar nog niet bekend gemaakt: het langgezochte oxydatie-product was niet anders dan — water, en nu vielen ook hem de schellen van de oogden en spoedig, nadat hij de uitkomst in allen deele had bevestigd, kon hij een volledige verklaring leveren van de inwerking van metalen op zuren in verschillende gevallen, zonder en met waterstof-ontwikkeling, die bleek volkomen in de nieuwe theorie te passen. Vermelding verdient nog, dat de bekende James Watt, zonder van de proeven van Cavendish te weten, in 1784 tot de ontdekking van de samenstelling van het water gekomen was.

Cavendish, die een uiterst zorgvuldig en conscientieus onderzoeker was, had een bepaalde reden, waarom hij zich met het openbaar maken zijner ontdekking ditmaal niet gehaast had: bij het verbranden van waterstof in zijn proeven ontstond behalve water ook een kleine hoeveelheid salpeterzuur; en deze nevenwerking moest eerst worden opgehelderd. Verdere proeven brachten hem tot het inzicht, dat het salpeterzuur van stikstof in de onzuivere zuurstof afkomstig was. Deze laatste verklaring werd door vele phlogistici, die een wichtig bezwaar tegen de nieuwe theorie zagen wegvallen, verworpen en deze beschouwden dus het salpeterzuur als het eigenlijke product van de verbranding. Andere tegenstanders verklaarden de vorming van water daaruit, dat het water een bestanddeel was van waterstof of zuurstof of van beide, hetwelk zich bij de vereeniging dezer gassen afscheidde. Aan het karakter van water als een element was nooit te voren getwijfeld; geen wonder, dat zelfs mannen als Priestley en Scheele deze omwenteling in de voorstelling niet meer konden medemaken.

Vele jaren zouden alzoo nog voorbijgaan, voordat de vast-gewortelde phlogiston-theorie geheel verslagen was: in allerlei wisselende vormen wist ze zich staande te houden om eindelijk omstreeks 1800 te verdwijnen.

Nederlanders.

Aanvankelijk stonden de Nederlanders natuurlijk nog op het oude standpunt en namen van de nieuwe denkbeelden geen notitie of plaatsten zich er kritisch tegenover. Aan de pogingen om de oude theorie met de nieuwe verschijnselen te doen harmonieeren namen ook zij deel: zoo vond bijvoorbeeld Van Marum in zijn talrijke proeven over den invloed van electricische ontladingen op gassen een bevestiging van het denkbeeld, dat de electriciteit het phlogiston zijn zou, een denkbeeld, dat ook door Deiman en Paets van Troostwijk tijdelijk omhelsd werd en later door buitenlandsche phlogistici in anderen vorm werd voorgedragen. Maar de bekeering zou niet lang op zich doen wachten en het pleit voor de onbevangenheid van hun oordeel, dat zij spoedig na de voornaamste Fransche scheikundigen en veel eerder dan het overgrootste meerendeel in Engeland en Duitschland hunne oogen voor het nieuwe licht openden. Dat niet alleen: wij zullen zien, dat zij zoowel direct als indirect niet weinig er toe hebben bijgedragen om de opvatting van Lavoisier ingang te doen vinden. Deiman ¹⁾, Paets van Troostwijk ²⁾, Ingenhousz ³⁾, Van Marum ⁴⁾ en Nahuys ⁵⁾, om slechts de voornaamsten te noemen, zouden aan het verdere onderzoek van de gassoorten en de verschijnselen der oxydatie en reductie een belangrijk aandeel nemen.

Het was niet bevreemdend, dat de verrassende ontdekkingen van Priestley ook in ons land de aandacht trokken en dat men in de natuurkundige gezelschappen begon zijn proeven te herhalen en de verschillende gassen te bereiden. In Amsterdam hadden de natuurkundigen Aeneae ⁶⁾ en Cuthbertson ⁷⁾ een cursus geopend over luchtsoorten, die door Deiman en Paets van Troostwijk werd bijgewoond en voor hen een aanleiding moet zijn geweest om zich op de studie der gassen te gaan toeleggen. Daar de eerste verhandeling van deze onderzoekers over gassen in 1778 verscheen, moeten de genoemde ondernemende Amsterdamsche natuurkundigen reeds vroegtijdig door de ontdekkingen van Priestley getroffen zijn en hun cursus ter bekendmaking daarvan hebben aangevangen.

¹⁾ J. R. Deiman (1743—1808).

²⁾ A. Paets van Troostwijk (1752—1837).

³⁾ J. Ingenhousz (1730—1799).

⁴⁾ M. van Marum (1750—1837).

⁵⁾ A. P. Nahuys (1736—1794).

⁶⁾ H. Aeneae (1743—1810).

⁷⁾ J. Cuthbertson.

Aeneae.

Beiden verdienen, dat wij een oogenblik bij hen stil staan. Aeneae was uit Friesland afkomstig, had te Franeker onder A. Brugmans en N. Ypey gestudeerd en zich onder de leiding van een bekend mechanicus, J. van der Bildt, met het vervaardigen van telescopen en verrekijkers bezig gehouden. In 1767 zette hij zich te Amsterdam neer, waar hij onderwijs gaf en o.a. den beroemden P. Nieuwland reeds als tienjarige in 1774 onder zijn leerlingen kreeg. In 1769 verwierf hij een graad te Leiden op een verhandeling in het latijn over het bevrozen van water. Hij ontwikkelde een groot talent van onderwijzen en het houden van wetenschappelijke voordrachten en werd op grond daarvan in 1778 lid en lector van het bekende, in 1777 opgerichte genootschap Felix Meritis; de zooeven genoemde cursus moet daaraan zijn vooraf gegaan en was waarschijnlijk de aanleiding voor de ontdekking van zijn gaven als spreker. Een weerklank van dezen cursus mogen wij zeker wel hooren in een mededeeling van Ingenhousz aan Priestley ¹⁾, dat hij te Amsterdam door een zekeren „Enee” een brandbaar gas (aethyleen) uit alcohol en zwavelzuur had zien bereiden. De bekendheid, die dit gas blijkbaar bij onze Nederlandsche onderzoekers misschien door Aeneae had verkregen, verklaart ook, waarom wij later Van Marum met dit gas vertrouwd vinden en het naast vele andere aan de elektrische ontlading zien blootstellen, en waarom de keuze van de „Hollandsche Scheikundigen” op het onderzoek van deze kool-waterstof viel, waarmede ze zoo veel roem inoogstten.

In 1792 schreef Aeneae een verhandeling ter bestrijding van de theorie van het negatieve gewicht van het phlogiston, in het bijzonder in den vorm, waarin Wiegleb haar had verdedigd; een uitstekend verhoog, waarin de on-natuurkundige beschouwingen van zijn tegenstander op heldere wijze aan de kaak gesteld worden en waarvan men zoo goed als ieder woord nog heden tot het zijne zou kunnen maken. De lijst van zijn verdere geschriften doet de veelzijdigheid van Aeneae kennen. Zoo schrijft hij een „Wiskundige Beschouwing van een hellend waterschep, nieuwlings door A. G. Eckhardt uitgevonden” (1774), hetwelk algemeen de aandacht had getrokken; voorts over molenwieken, over het „Tellurium van G. Adams”, door niemand minder dan Van Swinden in het Fransch vertaald, en over nog veel meer. Ook de practische astronomie trok zijn aandacht, blijkens zijn waarnemingen omtrent de zonsverduistering van 1793, te zamen met zijn leerling, nu zijn vriend, Nieuwland ondernomen. Sedert 1795 zien wij hem meer in publieke werkzaamheid optreden, bijvoorbeeld als inspecteur van het maat- en gewichtswezen en als lid van het centraal marine-comité.

¹⁾ J. Priestley. Experiments and observations relating to various branches of natural philosophy; 1779. Brief van J. Ingenhousz.

In 1798 wordt hij met Van Swinden door ons land naar Parijs afgevaardigd en neemt met groote vrucht aan de werkzaamheden van de commissie voor maten en gewichten deel. De invoering der nieuwe maten en gewichten in 1817—1820 heeft hij niet als Van Swinden mogen beleven. Dezen verdienstelijken Fries vindt men te weinig vermeld.

Cuthbertson was een Engelschman, die zich omstreeks 1772 te Amsterdam als instrumentmaker had gevestigd; Van Marum vond in hem den eenigen in ons land beschikbaren man voor de constructie van zijn groote electriseermachine en bij vele van diens proeven was Cuthbertson zijn medewerker. Evenzoo bouwde Cuthbertson de electriseermachine voor Deiman en Paets van Troostwijk, waarmede zij o. a. hun beroemde proef over de ontleding van het water door de electrische vonk verrichtten. Vermelding verdient verder een groote luchtpomp van zijn vinding, die door onze onderzoekers met groot succes gebruikt werd en waarvan de beschrijving door Deiman zelf in het Nederlandsch werd overgezet. Ook uit talrijke latere geschriften van Cuthbertson blijkt, dat hij behalve een groot mechanicus tevens een verdienstelijk natuurkundige was, aan wien de eer door onze onderzoekers behaald voor een deel toekomt; maar wij zullen zijn werk, daar hij geen Nederlander van geboorte was, niet verder bespreken ¹⁾).

Als de Nederlanders op het gebied der gassen aan het werk tijgen, staan zij — het werd reeds gezegd — nog geheel op het standpunt der phlogistische beschouwing en geen wonder, waar Priestley zelf zich voortdurend van de terminologie dezer theorie bediende. Bij alle verdiensten, die aan Priestley mogen worden toegekend voor zijn talrijke ontdekkingen en voor de nieuwe werk-methoden, die hij uitdacht en waarmee hij de wetenschap voor alle tijden verrijkte — denken wij slechts aan het gebruik van kwik als afsluit-vloeistof voor gassen in plaats van water — stond hij bij anderen, zooals Lavoisier, in helder inzicht en, wat daarmede samenhangt, in duidelijkheid van uiteenzetting verre ten achter en het is dan ook dikwijls geheel onmogelijk uit zijn geschriften, vol van blijkbaar wisselende opvattingen, een duidelijk beeld te verkrijgen, hoe hij zich de onderlinge verhouding der lucht-soorten op verschillende tijdstippen eigenlijk dacht. Die verwardheid en onduidelijkheid sleepten verwarring bij zijn navolgers met zich mede en ook bij de Nederlandsche werkers ontbreekt er in den aanvang veel aan een heldere voorstelling.

Deiman en Paets van Troostwijk.

De eerste verhandeling van Deiman en Paets van Troostwijk was getiteld:

¹⁾ Cuthbertson's voornaam wordt als John opgegeven. In dezelfde periode komt men in Nederland een Jonathan Cuthbertson tegen, die te Rotterdam als mechanicus werkzaam was en bijvoorbeeld in 1775 voor den Heer Jacob Kogel een luchtpomp vervaardigde, die voor het Bataafsch Genootschap gedemonstreerd en door Bicker van een beschrijving voorzien werd. Geldt het hier een andere persoon van denzelfden achternaam?

„Proefneming omtrent de verbetering der lucht door middel van den groei der planten”¹⁾ en sloot zich aan bij een der vroegste ontdekkingen van Priestley (1771), dat de door verbranding of ademhaling „vast” geworden, d. w. z. van zuurstof beroofde en met koolzuurgas bezwangerde lucht door den invloed van levende planten kon worden „hersteld” en aldus opnieuw dezelfde processen kon onderhouden. Toen nog onbekend met het bestaan van zuurstof als een afzonderlijk gas, kon hij in het verschijnsel niet dieper doordringen en hij was er ook later na de ontdekking van de zuurstof niet op teruggekomen. Onze schrijvers waren blijkbaar nog onbekend met de samenstelling van het koolzuurgas, als verbinding van koolstof met zuurstof, ofschoon Lavoisier die reeds in 1775 en 1777 had gevonden, en zoo was het voor hen moeilijk het proces te verstaan en slaagden zij er dan ook niet in er licht over te ontsteken. Het is opmerkelijk, hoe de belangstelling onzer chemici in het bijzonder de praktische toepassing van den invloed der planten op de samenstelling van de lucht gold, meer dan de wetten der huishouding der planten zelve; Deiman was trouwens medicus en zijn eerste geschriften waren vertalingen geweest van geneeskundige verhandelingen, een over den lintworm en een over de genezingen door kunstmagneten, terwijl zijn eerstvolgende pennevrucht (1799) een beschrijving zou bevatten van „Geneeskundige proeven en waarnemingen omtrent de goede uitwerking der Electriciteit in verscheidene ziekten”.

In deze onderwerpen zien wij als het ware den weg voor oogen, waarlangs zijn aandacht gevoerd werd naar de zuiver wetenschappelijke vraagstukken, die hem later bezig hielden.

Het aangewezen verschijnsel staat trouwens volstrekt niet op zich zelf: de scheikunde stond in die dagen veel inniger met de geneeskunde in verbinding dan later het geval was; hoe dikwijls was niet het onderwijs in de scheikunde aan medische hoogleeraren opgedragen, getuige Boerhaave en talrijke anderen na hem. Trouwens volgens de oude traditie der Universiteiten vormden de natuur-wetenschappelijke vakken met de philosophische één Faculteit en werd de beoefening van die vakken beschouwd als een voorbereiding voor de hoofd- of broodstudie in een der drie overige faculteiten van theologie, rechten of geneeskunde. Slechts zelden werd de philosophische graad verworven en ook dan volgde nog dikwijls een promotie in een der overige faculteiten. De normale studie-weg voor den toekomstigen natuur-onderzoeker was, dat hij zich een medischen graad verwierf, en tot de schare van hen, die op het gebied der natuur-wetenschappen en bepaaldelijk in de scheikunde naam maakten, leverden de doctoren en evenzoo de apothekers een belangrijk contingent. Dat in de Genootschappen de practische kant van de wetenschappelijke vraagstukken

¹⁾ J. R. Deiman en A. Paets van Troostwijk. Vaderl. Letteroefeningen 7 (2) p. 338, 436, 481, 1778.

sterk naar voren treedt, is in het geheel niet te verwonderen en dit zeer natuurlijk verschijnsel drukt zich ook telkens uit in de strekking der prijsvragen, welke over de eigenschappen van de gassen werden uitgeschreven.

Ingenhousz.

Nog eens in 1780 kwamen Deiman en Paets van Troostwijk terug op „Het nut van den groei van boomen en planten tot verbetering van lucht”¹⁾, maar intusschen was een verhandeling van een anderen Nederlander verschenen, die een gewichtige bijdrage leverde tot een volledig inzicht in het proces, dat zich daarbij in de planten afspeelt.

In onze tegenwoordige leerboeken is de naam van Ingenhousz verbonden aan een toestel, waarmede men het verschillend geleidingsvermogen voor warmte van allerlei stoffen nog heden doet zien, bestaande uit een bak, waarin water aan de kook gebracht wordt en waaruit een aantal in vorm overeenkomende staafjes van verschillend materiaal naar buiten steken; de staafjes zijn met was bedekt — tegenwoordig ook wel met een verfstof, die bij hoogere temperatuur van kleur verandert — en al naarmate van de grootte van het geleidingsvermogen smelt de was langs de staafjes spoediger en over een grooteren afstand. Het denkbeeld van dezen toestel was naar het schijnt van Franklin afkomstig. Men zou zich vergissen, indien men de verdiensten van Ingenhousz voor de wetenschap naar deze eene uitvinding wilde beoordeelen. Ingenhousz was bij voorbeeld een van de drie natuurkundigen, die onafhankelijk van elkander op het denkbeeld kwamen om den glazen cylinder, die toen ter tijde nog in de electriseermachines in gebruik was, door een glazen schijf te vervangen (1764). Dat deze wijziging een buitengewoon praktische was, blijkt wel daaruit, dat de schijf sedert dien in de wrijvingselectrificeermachines steeds in gebruik gebleven is en ook in de later in zwang gekomen influentie-machines is overgegaan. In 1772 construeerde hij een kleinere machine met schijf uit bordpapier bedekt met copal of barnsteenverniss en in 1780 gaf hij nog een ander principe van constructie aan, dat zich evenwel niet gehandhaafd heeft. Maar zijn groote verdienste ligt op geheel ander gebied, namelijk op dat der gassen in verband met de huishouding der planten. In 1779 publiceerde hij zijn beroemde proeven over het opnemen van het koolzuurgas en de vorming van zuurstof door de groene plantendeelen in het zonlicht en het daarmede samenhangend verschil in het gedrag der planten 's nachts en overdag. De eerste waarnemingen over

¹⁾ J. R. Deiman en A. Paets van Troostwijk. „Het nut enz.” Amst. 1780. Deze verhandeling was een niet-bekroond antwoord op een prijsvraag van het Utr. Genootschap, die zij — liever dan haar om te werken — ter voorkoming van tijdverlies afzonderlijk deden verschijnen. *Vad. Letteroef.* II (1) p. 422. 1780. De prijs werd in 1785 toegewezen aan W. van Barneveld en J. F. Muller. *Verh. Utr. Gen.* 3 (1) p. 1—189. 1785. Zie W. van Barneveld, *ib.* 1. p. 408. 1781; 2. p. 251. 1784.

dit onderwerp dateeren van Priestley in 1771 en Ingenhousz werd in zijn onderzoek later door Senebier gevolgd, zoodat deze drie als grondleggers beschouwd worden van onze kennis der ademhaling en assimilatie bij de planten. De waarnemingen van Priestley hadden geleerd, dat lucht, welke door verbranding voor inademing ongeschikt gemaakt was, door de werking van planten onder de genoemde omstandigheden weder in haar vroegeren normalen toestand terug keerde. Maar deze waarnemingen geschieden in de periode, welke aan de ontdekking van zuurstof door Priestley zelven in 1774 voorafging, zoodat hij de volle beteekenis van het proces toen ter tijde nog niet kon doorzien; door de onderzoekingen van Ingenhousz, die met het bestaan van zuurstof bekend was, werd reeds een vollediger inzicht verkregen, terwijl P. Senebier eindelijk aantoonde, dat de zuurstof uit het koolzuur afkomstig was.

In den loop van dit onderzoek en andere, welke Ingenhousz met gassen instelde, maakte hij zich ook verdienstelijk door het uitdenken van doelmatige en eenvoudige toestellen voor het verzamelen en bewaren en de behandeling van gassen. Hij was ook de eerste, die de verbranding van ijzer in zuurstof bewerkstelligde.

Toen Priestley de zuurstof ontdekt had als het gas, hetwelk voor de ademhaling vereischt was, begon men allerwege het gehalte van de dampkringslucht aan „levenslucht”, een van de toenmalige benamingen van zuurstof, te bepalen, in den zeer natuurlijken waan, dat dit gehalte zou blijken met den graad van frischheid en gezondheid der lucht samen te hangen. Als reactie-middel werd voor dit doel het stikstof-oxyde gebezigd, hetwelk zich met zuurstof tot een hoogere stikstof-verbinding vereenigt, waardoor het onderzochte gas een contractie ondergaat; dit middel was reeds door Priestley voorgesteld en de toestel, welke bij deze bepalingen gemeenlijk gebezigd werd en van Fontana afkomstig was, werd volgens het voorstel van Landriani Eudiometer genoemd, wat zooveel zeggen wil als „versche-lucht-meter”. Het pleit niet voor de objectiviteit der meeste onderzoekers, dat, wat men zoo zeker meende te zullen vinden, ook inderdaad door bijna allen bevestigd werd. Ook Ingenhousz liet zich medesleepen en vond, dat de zeelucht een merkbaar hooger zuurstof-gehalte bezat dan de lucht meer in het binnenland. Een experimentator van het gehalte van Cavendish was noodig om deze illusiën te verdrijven en vast te stellen, dat de veranderingen van de betrekkelijke hoeveelheden van zuurstof en stikstof onmerkbaar klein zijn.

Ingenhousz verkeerde zijn geheele leven buiten zijn vaderland, voornamelijk in Weenen en in Engeland, maar hij was toch niet geheel van Nederland vervreemd, zooals o. a. blijkt uit de Nederlandsche vertalingen, die hij gemeenlijk door Dr. J. van Breda ¹⁾ van zijn verhandelingen deed

¹⁾ J. van Breda (1743—1818) schreef over dampkrings-electriciteit, over den electrophoor, de verbetering van de dijken in Delfland, over den stikstof-oxyde-eudiometer, enz.

maken, en de bijdragen, die hij leverde voor de verhandelingen van het Bataafsch Genootschap, zooals een over gedephlogisteerde lucht, d. w. z. zuurstof, die eveneens door Dr. Van Breda op zijn verzoek uit het Fransch vertaald was ¹⁾). Hierin worden o. a. methoden aangegeven om aanmerkelijke hoeveelheden zuurstof in zuiveren toestand te bereiden en dit levenwekkende gas, zooals men meende, op de beste wijze in te ademen.

De laatste groote verhandeling van Ingenhousz dateert van 1796 en is getiteld: „An essay on the foods of plants and the renovation of soils”. Op grond van dit werk, waarvan weder een vertaling van dezelfde hand verscheen, moet Ingenhousz als de grondlegger van de wetenschappelijke landbouwchemie worden beschouwd ²⁾). Het had ook onmiddellijke praktische gevolgen, daar zijn bemestingsproeven terstond op groote schaal werden herhaald en toegepast. Ze hield in zooverre nauw verband met zijn vroegere onderzoekingen over planten-physiologie, dat de vorming van koolzuur bij de rotting der meststoffen en de ontleding van het koolzuur door de plant er een voorname rol in vervulden. De verhandeling is nu nog een lezing ten volle waard; ze werd ook toen ten tijde op groote waarde geschat en werd in verschillende talen overgezet.

Voortzetting.

Keeren wij terug tot de in Nederland verblijf houdende landgenooten. De verhandelingen van Van Barneveld en Muller over de verbetering van bedorven lucht door planten, boomen en heesters werden boven reeds vermeld (p. 31. noot) en geven geen aanleiding tot bijzondere opmerkingen. In het jaar 1781 verschijnen drie andere verhandelingen over gassen als antwoorden op uitgeschreven prijsvragen, twee daarvan, van Deiman en Paets van Troostwijk en van Tieboel ³⁾, op een vraag van het Bataafsch Genootschap over „vaste lucht” ⁴⁾ en een van Van Marum op de eerste prijsvraag van Teyler over de „gedephlogisteerde en gephlogisteerde luchten” ⁵⁾. De eerst genoemde prijsvraag legt weder zeer den nadruk op de praktische toepassing, „de voordeelen, welke de Maatschappij kan trekken uit de zekere kundigheden, die men omtrent de ware eigenschappen en verschillende soorten van vaste lucht verkregen heeft”. Deiman en Paets van Troostwijk stonden ook toen nog geheel op het oude standpunt. Het koolzuur zou geen afzonderlijk gas zijn, zooals Black geleerd had,

¹⁾ J. Ingenhousz. Verh. Bat. Gen. 6 p. 107. 1781.

²⁾ In dit opzicht heeft hij in onzen tijd zijn evenknie in J. M. van Bemmelen, die door een autoriteit op het gebied der kolloïden genoemd werd „ein Autor, den die Agrikulturchemie mit Stolz zu den Ihrigen zählen kann”.

³⁾ B. Tieboel (1758—1814), apotheker te Groningen, schreef vele stukken over praktisch-scheikundige onderwerpen.

⁴⁾ Verh. Bat. Gen. 5. 1781.

⁵⁾ Verh. Teyler's tweede Genootschap. I. 1781.

maar lucht met zeker zuur verbonden, dat evenwel niet hetzelfde was als het zuur, hetwelk voor de ontwikkeling van het gas uit het koolzure zout gebezigd was. Evenzoo bestond het stikstofoxyde, dat uit salpeterzuur bij de oplossing van bepaalde metalen, zooals koper, ontstaat, uit een mengsel van dit zuur met lucht en phlogiston. Iets dergelijks gold voor de verschillende brandbare luchten, als bestaande uit zuur, lucht en phlogiston. Zuurstof eindelijk zou een mengsel zijn van „aarde”, phlogiston en koolzuur, welke voorstelling gedeeltelijk aan Priestley ontleend was en daarop berustte, dat het gas verkregen werd uit bepaalde metaal-kalken door verhitting met zwavelzuur, waarbij onze onderzoekers ook vaste lucht opgevangen hadden. De gewichts-vermeerdering der metalen bij hunne verkalking moest aan het binnendringen van vaste lucht worden toegeschreven.

In het antwoord van Tieboel is de verwarring van denkbeelden niet minder groot dan die, welke zich in dergelijke opvattingen uit. In zijn beschrijving der verschillende luchtsoorten nam Tieboel ook de stikstof op, de gephlogisteerde lucht, die Deiman en Paets van Troostwijk onbesproken lieten, blijkbaar omdat zij dit gas als met phlogiston bezwangerde gewone lucht beschouwden. Wat de hoofdzaak betreft, stemt Tieboel met zijn mededingers overeen: de gassen waren geen afzonderlijke individuen, maar lucht met andere bestanddeelen vermengd.

Van Marum.

Niet beter is het gesteld in Van Marum's verhandeling. Zoo doet de vorming van gedephlogisteerde lucht uit menie met zuren zien, dat dit gas uit bestanddeelen dezer stoffen is opgebouwd. De vermindering in gewicht, welke zekere metaal-kalken ondergaan, wanneer zij door verhitting gedephlogisteerde lucht (zuurstof) afgeven, bewijst, dat dit gas een aardachtig bestanddeel dezer kalken moet bevatten, zoodat het dus een mengsel van beide, een aarde en een zuur, zijn moet. De geringe kennis van de gassoorten bij Van Marum blijkt bijvoorbeeld daaruit, dat hij uit zuurstof, door er een kooltje vuur in te brengen, gewone lucht meende verkregen te hebben: immers het eenige verschil tusschen zuurstof en lucht zou in het gehalte aan phlogiston gelegen zijn, en door het kooltje werd phlogiston toegevoerd. Van eenig geschiedkundig belang is een, reeds straks genoemde, onderstelling door Van Marum op den voorgrond gesteld, over de natuur van het phlogiston. Bij het doorslaan van vonken door lucht nam Van Marum volume-vermindering waar (de oorzaak hiervan, n.l. de vorming van salpeterzuur, werd eerst in 1785 door Cavendish ontdekt), en daar ook bij de verbranding het volume van de lucht met hetzelfde bedrag afnam, moest dus wel de electriche vonk het phlogiston zelf zijn of er ten minste voor het grootste gedeelte uit bestaan.

De contractie bij processen, die de lucht de-phlogisteeren, bleef uit,

wanneer ze boven kwik in plaats van boven water plaats vonden, waaruit Van Marum de gevolgtrekking maakte, dat ze aan opslorping van gas door het water toe te schrijven was (misschien was hier absorptie van het gevormde koolzuur in het spel), maar hij doet geen poging om te doen zien, hoe deze verklaring met de gangbare voorstelling omtrent de phlogistieering te rijmen was. Deiman en Paets van Troostwijk hadden ook boven kwik volume-vermindering verkregen, waarschijnlijk te verklaren uit een hooge temperatuur van het gas bij den aanvang van de proef en de afkoeling, die aan het einde plaats vond.

Het zou den modernen scheikundige bijkans ongeduldig kunnen stemmen om te zien, hoe mannen, die later zouden blijken de verschijnselen onbevangen te kunnen bezien, zich met dergelijke voorstellingen tevreden konden stellen, en het is ook niet aan te nemen, dat het werk van Lavoisier hun geheel onbekend was; integendeel: Van Marum vermeldt het in zijn verhandeling uitdrukkelijk. Laat ons niet over het hoofd zien, dat het hun tijdgenooten in andere landen evenzoo ging, ja, dat de laatsten meerendeels zouden blijken bij onze landgenooten in gemakkelijkerheid van assimilatie der nieuwe denkbeelden nog achter te staan. Waar het een zoo algemeen verschijnsel geldt, is ongeduld misplaatst: men leide er uit af, hoe moeilijk het is om zich in den gedachten-kring dier tijden in voldoende mate in te denken. In elk geval geeft werk als het boven besprokene ons een beeld van den hopeloozen toestand, waarin de phlogiston-theorie door de uitbreiding van de kennis der gassen van zelf moest geraken.

In 1783 zien wij Van Marum en Paets van Troostwijk samenwerken aan een antwoord op een prijsvraag over een uiterst praktisch onderwerp van het Bataafsche Genootschap, die met de gasleer in verband stond; „over den aard van de uitdamping van moerassen, modderpoelen, secreten, riolen, gast- of zieken- en gevangenhuizen, mijnen, putten, graven, wijn- en bierkelders en over de middelen en tegengiften om de schadelijkheid dier uitdamping te verbeteren en de verstikten te redden”¹⁾. Dit antwoord werd eerst in 1787 gedrukt, dus op een tijdstip, toen, zooals wij dadelijk zullen zien, Van Marum reeds naar het kamp van Lavoisier was overgegaan; het is noodig dit in het oog te houden, wil men bij het volgen van de ontwikkeling zijner denkbeelden niet op tegenspraak stuiten. Deze verhandeling geeft geen aanleiding tot bijzondere opmerkingen; stippen wij slechts aan, dat een onderscheid tusschen moerasgas en waterstof, beide ontvlambare luchten, door de schrijvers niet gemaakt wordt.

Verdere verhandelingen.

In 1785 ontmoeten wij een tijdschrift-artikel van Paets van Troostwijk,

¹⁾ Verh. Bat. Gen. 8 p. 1. 1787 (1783).

waarin de vorderingen in luchtkennis worden uiteengezet¹⁾. De schrijver wil de verschillende lucht-soorten nu als individueel verschillend onderscheiden zien. De lucht is noodig voor verbranding als vehiculum voor de vuur-deelen, die moeten worden afgegeven. Als een metaal verkalkt wordt, geeft het phlogiston af en neemt koolzuur op; en daardoor neemt het gewicht toe. Ongebluschte kalk dankt zijn eigenschappen eveneens aan gebrek aan koolzuur. Het herstel van bedorven lucht door water berust op het opnemen van phlogiston en het opslurpen van koolzuurgas. In verband met de werking van de groene plantendeelen onder den invloed van het licht wordt de gevolgtrekking gemaakt, dat licht en vuur hetzelfde beginsel vertegenwoordigen. Behoudens het verbeterde inzicht in den aard der gassen is nog geen vooruitgang in de richting van Lavoisier's theorie merkbaar.

Onze verbazing over de verblindheid, waarmede de in de atmosfeer der phlogiston-theorie opgegroeide scheikundigen geslagen waren, stijgt nog bij het bestudeeren van een verhandeling van Deiman en Paets van Troostwijk van 1787 over de verschillende luchtsoorten, een bij de Hollandsche Maatschappij der wetenschappen te Haarlem bekroond antwoord²⁾; nu is de theorie van Lavoisier hun geheel bekend en hun doel schijnt meer deze te bestrijden, dan haar onbevooroordeeld naar haar waarde te schatten en met de phlogiston-theorie te vergelijken. Niet dat bewijzen van scherpzinnigheid ontbreken of dat hun denkbeelden in sommige opzichten geen vooruitgang doen zien. Zij beschouwden nu althans vele gassen als bepaalde, onderling verschillende zelfstandigheden. De theorie, dat waterstof het phlogiston zijn zou, bestreden zij met doeltreffende bewijsgronden; bij voorbeeld: daar er verschillende soorten van ontvlambare luchten zijn, zouden er dus even zooveel soorten van phlogiston moeten wezen. Stikstof-oxyde bestaat uit salpeterzuur + phlogiston, immers de metalen, die het gas uit het zuur doen ontstaan, worden daarbij verkalkt d. w. z. geven hun phlogiston af. Ware phlogiston gelijk aan waterstof, zoo zou stikstof-oxyde salpeterzuur met waterstof zijn, en dus met zuurstof moeten ontploffen, wat evenwel niet het geval is, integendeel: het dooft de vlam uit. Metalen, als zijnde metaal-kalken + phlogiston en dus, volgens de gewraakte theorie, metaal-kalken + waterstof, moesten bij verhitting waterstof doen ontwijken, wat evenwel niet wordt waargenomen.

De argumenten van onze schrijvers tegen de theorie van Lavoisier golden voornamelijk de samenstelling van het water en hielden o.a. verband met een onjuiste voorstelling van den aard van waterstof. Waterstof was namelijk zuur + phlogiston, wat o.a. bleek uit het ontstaan van zuur bij

¹⁾ A. P. v. T. Alg. Mag. v. Wet. Konst en Smaak 1. (2) p. 607, 1785.

²⁾ Verh. Holl. Maatsch. 24, p. 59. 1787.

het gaan van elektrische vonken door waterstof, zooals Van Marum en Paets van Troostwijk hadden gemeend te vinden ¹⁾, een waarneming, die aan Van Marum bij later voortgezet onderzoek bleek onjuist geweest te zijn; het gevonden zuur moest afkomstig geweest zijn van het zuur, waaruit de waterstof ontwikkeld was ²⁾. Voorts maakten zij gebruik van een reeds boven besproken bewijsgrond, die gelegen was in de vorming van zuur bij de vereeniging van waterstof en zuurstof door de elektrische vonk, welk zuur volgens onzuivere waarnemingen van hen zelven verschillend was, naarmate van het zuur, dat voor de bereiding van dit gas gediend had. Daaruit zou dus volgen, dat de zuurstof in die gevallen een verschillend zuurbeginsel bevatte en dus niet een bepaald gas kon zijn. Het bewijs door Cavendish in 1783 geleverd, dat het bij de verbranding van waterstof gevormde zuur salpeterzuur was en ontstond door een bijmengsel van stikstof, werd door hen over het hoofd gezien. Een beroemde proef van Lavoisier, waarin waterdamp door een gloeiende ijzeren buis geleid waterstof voortbracht, bewees volgens onze schrijvers niets, immers ijzer zelf leverde bij verhitting onvlambare lucht, zooals Priestley gevonden had. Zoo waren er wel telkens onzuivere proeven beschikbaar, waarmede het wankelende gebouw der theorie van Stahl nog voor een wijle kon worden gestut.

Lavoisier had een eigenaardige theorie over den oorsprong van de verbrandingswarmte, die hij natuurlijk in overeenstemming met de denkbeelden van die periode stoffelijk opvatte; zij zou namelijk een deel uitmaken van de zuurstof en bij de verbranding te voorschijn komen. Deiman en Paets van Troostwijk vroegen nu: „Hoe kan dan de gewichtsvermeerdering van de brandende stof of het zich verkalkende metaal even groot zijn als het gewicht van de zuurstof”? De vuurstof moet toch ook gewicht hebben. Zij lieten dus volgens de beginsels der oude theorie de vuurstof, het phlogiston, uit de stof te voorschijn komen, zich met de zuurstof vereenigen tot een zuur en dit zuur op zijn beurt zich met de stof verbinden; de vuurstof kwam dus weer in het lichaam terug en haar gewicht had geen invloed.

Het bovenstaande is voldoende om het karakter der verhandeling te doen uitkomen en een indruk te geven van de moeilijkheden, waarmede de kampvechters der phlogiston-theorie te worstelen hadden, benevens de scherpzinnigheid, die zij bij hun taak ontwikkelden; de verhandeling werd in verschillende talen overgezet en verschafte den schrijvers algemeene bekendheid en grooten roem, in het bijzonder bij de voorstanders der phlogiston-theorie.

Voor dat wij naar Van Marum terugkeeren, vermelden wij een verhandeling van Deiman van 1788, waarin men een verandering van zijn

¹⁾ M. van Marum. Teyler 3. p. 121. 1785. Over deze verhandeling spreken we later.

²⁾ M. van Marum. Teyler 4. p. 211. 1787.

denkbeelden omtrent verbranding en oxydatie kan opmerken¹⁾. Deiman sluit zich nu aan bij die voorstanders der phlogiston-theorie, welke het phlogiston met de vuurstof wilden vereenzelvigen, en met deze vuurstof werd dan de warmte-stof bedoeld, die uit een warmte-bron afkomstig andere lichamen binnendrong. Bayen had, zooals we zagen, in 1774 ontdekt, dat men kwik-oxyde in een gesloten vat door verhitting kon ontleden, en deze proef baarde den phlogistici geen geringe moeilijkheden; immers volgens hun theorie vereischte die ontleding toevoer van phlogiston en hoe kon phlogiston in dit geval de stof bereiken? Door de onderstelde identiteit van phlogiston met warmte — en dus ook met licht — meende men de theorie te kunnen redden, hoewel anderen er terecht op wezen, dat het phlogiston iets geheel anders moest wezen dan warmte-stof; bij de verkalking toch, waar warmte wordt toegevoerd, moest juist phlogiston ontwijken; de beteekenis van phlogiston werd dus bijna ongemerkt omgekeerd. Omdat de reductie behalve door warmte en door licht — met behulp van een brandglas — ook door electriche vonken werd verkregen, moest volgens Deiman de electriciteit ook met de beide andere agentiën identiek zijn, volgens de vroeger ook door Van Marum voorgestane opvatting. Men ziet, hoe langzamerhand de phlogiston-theorie door de kracht der nieuwe ontdekkingen door de voorstanders zelve tot een absurditeit gemaakt moest worden, en de tijd was dan ook aanstaande, dat de theorie van Lavoisier niet langer te ontwijken was.

Van Marum; eerste electriche proeven.

De eerste Nederlandsche onderzoeker, wien de schellen van de oogen vielen, was Van Marum tengevolge van een bezoek in Parijs in 1785, hetzelfde jaar, waarin hij de eerste mededeeling omtrent zijn beroemde electriseer-machine en daarmede verrichte proeven had gepubliceerd. Reeds vroeger, behalve door de reeds besproken verhandelingen, had Van Marum zich als een ijverig en vruchtbaar onderzoeker, ook op electricch gebied, doen kennen. Hij was in 1773 te Groningen gepromoveerd op een dissertatie betreffende de beweging van de sappen in planten. Ondertusschen sedert 1772 was hij met een uitvoerig experimenteel onderzoek begonnen „over het electriseeren”, hetwelk eerst in 1776 voltooid en openbaar gemaakt werd²⁾. De schrijver is van oordeel, dat niet alleen de bliksem, zooals door Franklin bewezen was, maar ook waterhoozen, het noorderlicht en aardbevingen electriche verschijnselen zijn, en dat de electriciteit ook een invloed op het dierlijk en plantaardig leven uitoefent. Bij zijn proeven werd

¹⁾ J. R. Deiman. Over de waarschijnlijkheid eener algemeene hoofdstoffe van welke het licht, warmte, electriciteit, en magnetische vloeistoffe als zoovele bijzondere wijzigingen beschouwd kunnen worden. *Alg. Mag. v. Wet., Konst en Smaak* 3. (2) p. 931, 1788.

²⁾ M. van Marum. *Verhand. over het electriseeren*. Groningen 1776.

hij bijgestaan door den instrumentmaker Mr. Gerhard Kuyper; deze betroffen vooreerst de constructie van een machine, die geregelder zou werken en minder aan den invloed van vocht blootstaan dan die met een glasschijf, die tusschen kussens gewreven werd. Als wrijver werd een bak met kwik beproefd, waar de onderrand van de schijf doorheen streek, en de glazen schijf werd door een van gomlak vervangen, waarop niet zooveel vocht condenseert. Alle details werden uitvoerig onderzocht, totdat de beste vorm van machine verkregen was. De machine had behalve de reeds genoemde nog het voordeel van zeer lichte beweging en de gemakkelijkerheid, waarmede beide soorten van electriciteit konden worden afgeleid. Het kwik was ten opzichte van alle stoffen, die beproefd werden, positief. Wat de proeven aangaat, welke met de machine werden verricht, zij vermeld, dat zij ook onder de klok van een luchtpomp werd opgesteld, die luchtledig werd gepompt en met andere gassen gevuld. Van Marum bevond, dat de electriciteit in dat geval even gemakkelijk werd opgewekt, en dat de geringere lading, die in een gedeeltelijk vacuum verkregen werd, door de luchtgeleiding onder die omstandigheden te verklaren was. Bij een proef in waterstof vloog de geheele toestel uit elkaar, blijkbaar door de vorming van een ontplofbaar mengsel, maar de verklaring gaf aan Van Marum onoverkomelijke moeilijkheden. Zure en alkalische dampen verhinderden de opwekking van electriciteit, wat volgens den waarnemer niet aan een hoog gehalte van phlogiston te wijten is, immers verbrandingsgassen, midden uit een kolenvuur naar de machine gevoerd, die toch zeer rijk aan phlogiston moesten zijn, hadden geen nadeeligen invloed. Behalve zijn leermeester A. Brugmans, die het onderzoek geregeld volgde, noemt hij in het voorbijgaan denzelfden Cuthbertson, als bekend instrumentmaker te Amsterdam, met wien hij later zoo vruchtbaar zou samenwerken.

In 1776 vestigde Van Marum zich te Haarlem als geneesheer, waar hij spoedig lector werd en in 1777 directeur van het kabinet der Hollandsche Maatschappij. Na zijn bekroning door Teyler in 1781 benoemde men hem tot directeur van de verzameling aldaar in 1784, terwijl hij later in 1795 secretaris werd der Hollandsche Maatschappij. In den tusschentijd verscheen in 1776 een mededeeling van zijn hand over phosphorescentie van oliën bij verwarming op hooge temperatuur ¹⁾).

Bliksemafleiders.

Deze werd in 1781 gevolgd door een verdienstelijk stuk over bliksemafleiders ²⁾, waarin hij zich o. a. aansloot bij hen, die spitse geleiders boven de door Wilson aanbevolen stompe geleiders stelden. Tot dit onderwerp

¹⁾ M. van Marum. Verh. Holl. Maatsch. 16. (2) p. 271. 1776.

²⁾ M. van Marum. Verh. Bat. Gen. 6. 1781. Antwoord op prijsvraag door het Bat. Gen. uitgeschreven namens het Bataviaasch Genootschap.

keerde de schrijver bij zijn nu volgende reeks van onderzoekingen met de groote electriseermachine telkens terug en hij leverde menige belangrijke bijdrage tot de kennis van de juiste constructie van bliksemafleiders. Zoo nam hij proeven betreffende den graad van gemakkelijheid, waarmede verschillende metalen zich door de elektrische ontlading deden smelten¹⁾. De orde, waarin dit plaats vond, stemde in geen deele met die van hunne smeltpunten, want van ijzer met een smeltpunt van circa 1500° kon bij gelijke dikte een veel langere draad gesmolten worden dan van goud (smeltpunt 1096°) door een even sterke ontlading; op gelijke wijze werden rood koper, geel koper, zilver en Wood's metaal onderzocht. Rood koper weerstond de ontlading het krachtigst, waaruit Van Marum het besluit trok, dat dit het aangewezen metaal was om voor de afleiders te gebruiken, ook nog, omdat het vóór de smelting geen vonken doet afspringen.

Uit een later hoofdstuk in dezelfde verhandeling²⁾ blijkt, dat Van Marum de oorzaak van dit verschil in gedrag volkomen doorzag: daar neemt hij namelijk proeven om aan te toonen, dat koper een beter geleider voor de electriciteit is dan geel koper of ijzer. Voor dit doel bedacht hij een aardige methode: de ontlading der batterij werd verdeeld over een draad van het te onderzoeken metaal en een dunnen vergelijkingsdraad van ijzer; wanneer nu achtereenvolgens gelijke draden der verschillende metalen van geschikt gekozen lengte genomen werden, bleek de dunne ijzerdraad over een lengte van 6 duim te smelten, indien een ijzerdraad gebezigd werd, 2 duim smolt bij het geel koper en de ijzerdraad bleef heel bij rood koper. Hierdoor werd dus bevestigd, dat de elektrische stof in het rood koper den minsten tegenstand ondervond en dat dit metaal voor de afleiders bijzonder geschikt was. De verdienste van dit onderzoek komt bijzonder uit, wanneer men denkt, dat het ligt op het veld der elektrische stroomen, waarvan de ontginning eerst vele jaren later zou worden ter hand genomen.

Verder bewees hij het verwerpelijke van losse contacten en kettingen, van spitsen van graphiet, en toonde de wenschelijkheid aan van meerdere spitsen³⁾. Met dat alles bracht Van Marum de kennis omtrent bliksemafleiders zoo ver als het toen ter tijde, voordat de invloed van inductie en zelf-inductie bekend werd, mogelijk was. De uitkomsten van Van Marum dienden later Krayenhoff als grondslag voor de „Voorschriften wegens het plaatsen van bliksemafleiders aan 's Rijks gebouwen”, die hij voor gebruik in de praktijk opstelde⁴⁾.

Bij zijn elektrische proeven vond Van Marum spoedig een voortreffelijken

¹⁾ M. van Marum. Teyler 2^{de} Genootschap 4. p. 17. 1787.

²⁾ ib. p. 165.

³⁾ ib. p. 31, 159.

⁴⁾ Een latere bijdrage van Van Marum vindt men in de Natuurk. Verhand. Holl. Maatsch. 9. p. 319. 1819, als bijvoegsel bij een verhandeling van Böckmann (ib. p. 267).

medewerker in Paets van Troostwijk; het eerste afzonderlijk gepubliceerde onderzoek van deze beide mannen¹⁾ liep over den in 1775 door Volta uitgevonden electrophoor, een instrument, dat algemeen bij de geleerden de aandacht trok en waarmede ook Ingenhousz²⁾, Deiman³⁾ en Van Breda waarnemingen verrichtten. Dan willen wij nog de aandacht vestigen op een keurig onderzoek van Van Marum en Paets van Troostwijk van 1788 over de electricisatie van gesmolten stoffen bij het uitgieten op glas of porcelein, waarin werd aangetoond, dat hier de bekende ontwikkeling van elektrische lading bij de wrijving gedurende het uitvloeien in het spel was en dat er geen reden bestond in de verschijnselen de uitingen van een nieuwe bron van electriciteit te zien⁴⁾.

Groote electriseer-machine.

Door Van Marum's benoeming aan Teyler opende zich voor hem een schoone gelegenheid om de kennis der elektrische verschijnselen een belangrijke stap voorwaarts te brengen. Binnen een jaar had hij van de ruime middelen, die Teyler ter beschikking stelde, gebruik gemaakt tot het samenstellen van een ongemeen groote electriseer-machine en kon hij reeds den uitslag van een aantal interessante proefnemingen mededeelen⁵⁾. Zooals door Bosscha is opgemerkt, miskent men ten eenenmale de beteekenis van dit werktuig, wanneer men daarin niets anders ziet dan een voorwerp van verbazing. Het werd ontworpen met een bepaald, wel overlegd wetenschappelijk doel. De ondervinding toch had geleerd, dat men, zooals Van Marum zich uitdrukte, in de electriciteitskunde trapsgewijze verder was gekomen, naarmate men een grootere elektrische kracht verkregen had, en hoe juist de verwachting was, die Van Marum van den grooteren toestel koesterde, wordt door de verkregen uitkomsten volop in het licht gesteld.

De electriseer-machine werd vervaardigd door den reeds enkele malen genoemden Cuthbertson, die uit Engeland de ondervinding, daarvoor vereischt, had medegebracht en die te zamen met Van Marum zelf en gedeeltelijk met Paets van Troostwijk de verbeteringen ontwierp, die de machine allengs onderging. De schijven, de grootste die te krijgen waren, hadden een middellijn van 1 meter 65; met groote zorg werd de beste inrichting der wrijfkussens, der opvangers en conductoren nagespoord en eerst na herhaalde beproeving gevonden. Want bij de vervaardiging der machine bleek, dat de groote ladingen, die de enorme machine ontwikkelde, alleen

¹⁾ M. van Marum en A. Paets van Troostwijk. Verh. Bat. Gen. 7. 1783.

²⁾ J. Ingenhousz. Phil. Trans. 1778 (2) p. 1049.

³⁾ J. R. Deiman. Vaderl. Letteroef. 2 (2) p. 284. 1780.

⁴⁾ M. van Marum en A. Paets van Troostwijk. J. de Phys. 33 p. 248. 1788.

⁵⁾ M. van Marum. Teyler's 2^{de} Gen. 3. 1785.

dan haar volle werkingen konden uitoefenen, indien bijzondere maatregelen werden getroffen om de isoleering tot groote volmaaktheid te brengen. Een zeer voornaam punt bleek de „vrijzetting”, d. w. z. de isoleering van de as door middel van glazen, in plaats van houten standaards. Dank zij de stelselmatige bestudeering van de kleinste onderdeelen, overtroffen de werkingen der machine verre datgene, wat vroeger bereikt was: vonken van 60 cM. lengte en de dikte van een penneschacht werden verkregen, die zelfs nu alleen met de grootste inductoren worden teweeg gebracht. Van Marum schijnt in dit opzicht ook wel met zijn eerste machine het uiterste bereikt te hebben: althans de verbeteringen, die hij later aanbracht en waarover hij in 1795 rapport uitbracht¹⁾, hadden wel de lading, die in denzelfden tijd werd voortgebracht, aanmerkelijk vergroot, zoodat eenzelfde batterij in veel korter tijd geladen werd, maar de electricische drukking of potentiaal, waartoe de electriciteit kon worden opgedreven, was niet hooger geworden: de isoleering had hij dus niet verder kunnen verbeteren.

Proeven op gassen.

Het eerste onderzoek met de machine was gericht op een gewaanden invloed van den electricischen toestand op de snelheid van den polsslug. Nauwkeurige proeven, waaraan Paets van Troostwijk en Deiman deelnamen, op velerlei personen van allerlei leeftijd en beiderlei geslacht, deden de beweringen daaromtrent te niet. Dezelfde resultaten leverde een voortgezet onderzoek van 1795²⁾. De door Cavallo en anderen verkregen positieve uitkomsten waren volgens Van Marum toe te schrijven aan een psychischen invloed op de aan de proeven onderworpen personen.

Vervolgens werd een onderzoek ondernomen over den invloed van electricische ontladingen op allerlei gassen, waarbij weder Paets van Troostwijk met zijn verworven scheikundige vaardigheid de behulpzame hand bood. Zuurstof, aan ontladingen blootgesteld, vertoonde een verkleining van volume ten bedrage van $\frac{1}{20}$. Daarbij werd evenwel niet, zooals Priestley meende gevonden te hebben, een gas (koolzuur?) geboren, dat kalkwater troebel maakte; het onderging geen andere wijziging, dan dat het een sterken reuk verkreeg van denzelfden aard als dien, welke bij een electriseermachine wordt opgemerkt; blijkbaar had zich een aanmerkelijke hoeveelheid ozon gevormd.

Stikstof-oxyde werd ontleed en tot de helft van zijn volume verminderd — door de vorming van stikstof — terwijl de zuurstof zich verbonden had met het kwik, waarboven het gas zich bevond. Van Marum nam hierbij de vorming van salpeterzuur als tusschenproduct aan, immers het

¹⁾ M. van Marum. Teyler's 2^{de} Gen. 9. 1795.

²⁾ l.c. p. 51. 1795.

gevormde oxyde leverde bij verhitting rood precipitaat en moest dus kwiknitraat geweest zijn. Dit gaf aanleiding om na te gaan, of ook uit waterstof door de ontlading een zuur kon worden vrij gemaakt. Bij onderzoek bleek de waterstof in hoofdzaak onveranderd te blijven; een zeer geringe roodkleuring van lakmoes werd opgemerkt. Wij hebben reeds gezien (p. 36, 37), dat deze laatste waarneming tot onjuiste gevolgtrekkingen omtrent de samenstelling van waterstof aanleiding gaf, en evenzoo, hoe Van Marum later ¹⁾ zelf vond, dat zij het gevolg moest zijn geweest van onzuivere proefneming, bijvoorbeeld van het aanhangen van het zwavelzuur, dat voor de ontwikkeling van de waterstof had gediend.

In het voorbijgaan vermeldt Van Marum de bijzondere kleur der ontlading in waterstof. Aethyleen werd ontleed onder vorming van een ander brandbaar gas (acetyleen + aethaan of ook waterstof). Uit koolzuur ontstond kooloxyde en zuurstof, een reactie, die evenwel toen nog geheel onverklaarbaar was, daar kooloxyde nog „ontdekt” moest worden. Zwaveligzuur werd gedeeltelijk ontleed, terwijl er inwerking op het kwik werd opgemerkt. Zoutzuur en fluorwaterstof ondergingen weinig of geen verandering. De relatief groote weerstand, dien het eerste gas aan de vonk bood, ontsnapte niet aan de aandacht van den proefnemer. Ammoniakgas werd ontleed en een gas werd gevormd, dat met een ontploffing ontbrandde.

Eindelijk werd de gewone dampkringslucht aan de ontlading blootgesteld: de lucht verminderde daarbij in volume en er werd eenig zuur gevormd. Ongeveer ter zelfder tijd werd dit verschijnsel door Cavendish onderzocht, die bewees, dat bij het doorslaan der vonk door een mengsel van zuurstof en stikstof boven water of een waterige oplossing van loog salpeterzuur geboren werd. Hiervan in kennis gesteld herhaalde Van Marum later ²⁾ de proef en kon de uitkomst van Cavendish bevestigen, slechts verkreeg hij het zuur in geringer hoeveelheid. Wij weten nu, dat het proces in sterke mate afhankelijk is van de bijzondere omstandigheden, waaronder de lucht aan de ontlading wordt blootgesteld; zooals men weet, slaagden Rayleigh en Ramsay er in de waarneming van Cavendish te bevestigen, de stikstof door toevoeging van zuurstof geheel te binden en op die wijze uit de lucht argon in zuiveren toestand te bereiden, over het bestaan waarvan bij Cavendish reeds een aanwijzing te vinden is. Het verdwijnen van zuurstof bij deze proef werd in 1785 door Van Marum van zijn toenmalig standpunt geïnterpreteerd als een toevoer van phlogiston, en daaruit volgde, dat de elektrische stof nauw verband hield met het phlogiston of wellicht daarmede vereenzelvigd kon worden. Dat zuivere zuurstof niet verdween, was daarmede evenwel in tegenspraak, maar Van Marum hoopte te kunnen aantonen,

¹⁾ Verh. Teyler 4 pag. 211. 1787.

²⁾ ib. 4. p. 181. 1787.

dat deze slechts schijnbaar was. Deze hopelooze taak werd hem gelukkig door zijn toen aanstaanden overgang naar de theorie van Lavoisier bespaard.

De proeven, die Van Marum in tegenwoordigheid van Van Swinden instelde over den invloed van de ontlading op de magneten, werden in het voorgaande reeds besproken (Blz. 17).

Werking op oxyden.

Een verder belangrijk onderzoek betrof de werking der electriche ontlading op metaal-oxyden. Beccaria en anderen meenden gevonden te hebben, dat uit zekere metaal-kalken, zooals menie, loodwit, tinasch, zink-oxyde en bismuth-oxyde, door de ontlading de metalen konden worden afgescheiden; dit zoogenaamde revivifieeren — d. w. z. reduceeren — der metalen onder dien invloed werd door anderen in twijfel getrokken; de waargenomen metaaldeeltjes zouden van de geleiders, die de electriciteit toevoerden, afkomstig zijn. De sterke ontladingen van de groote batterij, waarover Van Marum beschikte, brachten nu zulke sterke werkingen te weeg, dat op het glas, waartusschen de metaal-kalken waren geperst, de metalen duidelijk voor het bloote oog zichtbaar waren, en in voldoende hoeveelheden om den aard der metalen door oplossing en reageeren vast te stellen. De proef werd genomen met menie, loodwit, tinasch, ijzer-sesquioxyde, zinkoxyd en antimoniumoxyd. Bij deze proeven assisteerden Paets van Troostwijk en Cuthbertson.

Zooals wij weten, beteekende het reduceeren van metaal-oxyden tot metalen in de phlogiston-leer het toevoeren van phlogiston en de gevolgtrekking, dat de electriciteit een waarneembare vorm van het phlogiston was, werd hierdoor bevestigd. Nu bleek aan Van Marum evenwel verder, dat bij het vervluchtigen van metaaldraden door zeer sterke ontladingen vezels worden gevormd, die niet anders konden zijn dan de metaal-kalken en oogenschijnlijk kon de electriciteit derhalve twee tegengestelde werkingen uitoefenen en dit was met de gestelde hypothese aangaande den aard der electriciteit moeilijk te rijmen. Spoedig daarna slaagde Van Marum er in de juiste verklaring der gevonden tegenstrijdigheid te vinden, maar ook niet dan nadat hij zijn theoretisch standpunt had veranderd en de leer van Lavoisier op haar waarde had leeren schatten.

Bekeering van Van Marum.

Voor Van Marum kwam het keerpunt in 1785 door een bezoek in Parijs na de voltooiing van zijn eerste reeks proefnemingen met zijn machine. Daar leerde hij Lavoisier kennen en andere scheikundigen, zooals Berthollet, Monge en Fourcroy, die juist in dat jaar zich voor de nieuwe theorie gewonnen hadden gegeven. Uit hun eigen mond vernam hij de denkbeelden, die de grondslagen der „anti-phlogistische” theorie vormden, en Lavoisier liet

hem de moeilijke proefnemingen zien, waarop zijn stelsel berustte, waarbij Van Marum dus ook kennis maakte met de destijds nog weinig bekende ingewikkelde en kostbare toestellen, die Lavoisier voor dit doel had laten vervaardigen.

Onder den indruk van wat hij gehoord en gezien had keerde Van Marum naar Haarlem terug en gezette overweging deed hem spoedig de juistheid van de inzichten van Lavoisier inzien. Bij zijn verdere proeven, die in 1786 aanvingen en waarvan in 1787 een eerste verslag werd uitgebracht, liet hij zich reeds geheel door deze leiden ¹⁾.

Bij de eerste ondernomen proeven over het smelten van metalen bij het doorgaan der ontlading, waarover reeds gesproken is, werden enkele bijzondere verschijnselen door den waarnemer opgemerkt, die vermelding verdienen. Het buitengewoon sterke licht, hetwelk de metaal-deeltjes bij hunne verhitting verspreidden, voerde tot de gevolgtrekking, dat de temperatuur, waartoe zij door de ontlading gebracht werden, veel hooger moest zijn dan bij de verhitting in een vuur. Voorts werd opgemerkt, dat verschillende metalen bij hunne smelting kleine bolletjes vormden, die aan kwik-druppeltjes deden denken; de juiste conclusie werd daaruit getrokken, dat deze metalen dezelfde onderlinge aantrekking van hunne deelen bezitten, welke men onderstelt in het kwik te bestaan en waaraan de vorming van de bolletjes en hun bolvormig oppervlak wordt toegeschreven.

Bij het tin vertoonden de bolletjes het eigenaardig verschijnsel, dat zij van den grond, waarop zij vielen, verscheidene malen opsprongen; Van Marum bracht dit met de sterke verdamping van het tot hooge temperatuur verhitte metaal in verband en den terugstoot, die daarbij, evenals bij een vuurpijl, te wachten was. Deze damp werd bij het uitstroomen verkalkt en liet gekleurde strepen van oxyde op het aangeraakte oppervlak achter.

Wanneer de draden bij het doorgaan der ontlading niet gesmolten worden, maar slechts tot sterke gloei-hitte gebracht, zoo vertoonen zij na hunne afkoeling veelal een aanmerkelijke verkorting; Van Marum meende, dat deze verkorting een verklaring kon vinden in een zijdelingsche uitzetting in den gloeienden toestand onder den invloed van den hoogen graad van electriche lading, die hun op dat oogenblik eigen is.

Het volgende onderwerp was een herhaling en uitbreiding van de proeven over de verkalking van metalen bij hooge temperatuur. De verkalking werd nu, dank zij zijn veranderde zienswijze, beschouwd als een opneming van zuurstof; op dien grondslag rees bij voorbeeld de vraag, of de vele wisselende kleuren, welke de metalen bij hunne verkalking vertoonen, ook aan verschillende trappen van oxydatie konden worden toegeschreven. De tegenstrijdigheid, waarop hij vroeger gestuit was, dat

¹⁾ Verh. Teyler 4. 1787.

namelijk de ontlading twee tegengestelde processen kon teweeg brengen, kon nu met één worden opgelost: het revivifiëren der kalken was de ontledende werking van den plotseligen electrischen stroom, de oxydatie daarentegen was het gevolg van de hooge temperatuur, die door de ontlading ontstond, dus een verbranding in de lucht. Het eerste proces kon uit de oude theorie verklaard worden, het tweede oogenschijnlijk niet. Op de voor de hand liggende vraag, waarom in het eene geval een verbinding met zuurstof geschiedde en in het andere juist een afsplitsing van dit gas, antwoordde Van Marum, dat dit verschil een gevolg was van een verschil in temperatuur. Hij kon daarbij wijzen op het geval van kwik, dat reeds geoxydeerd wordt bij temperaturen in de buurt van zijn kookpunt en eerst bij veel hooger warmtegraad de zuurstof weder afgeeft; zooals in vele andere gevallen verdwijnt hier de affiniteit der beide stoffen bij verhitting.

Indien de verkalking bestond in het opnemen van zuurstof uit de lucht, zoo moest zij dus nog beter gelukken, indien het metaal door zuivere zuurstof omringd was, hetgeen ook onmiddellijk bleek het geval te zijn: met name het lood werd tot een hooger oxyde gemaakt dan bij de verkalking in de lucht. Bij de andere metalen werden dezelfde oxyden verkregen als voorheen.

De nieuwe opvatting eischte, dat de verkalking in een stikstof-atmosfeer moest uitblijven, en de proef bevestigde dit volkomen.

De verkalking van tin, lood en ijzer gelukte ook in een ruimte, gevuld met stikstof-oxyde; aanvankelijk tot Van Marum's groote verbazing, totdat het hem inviel, dat dit gas voor een gedeelte uit zuurstof bestond, wat dus een gereede verklaring van het verschijnsel opleverde.

Daaruit volgde nu echter ook, dat de verkalking onder water mogelijk moest zijn, omdat het water zuurstof bevat, en dan moest het andere bestanddeel — waterstof — vrij komen. Inderdaad gelukte de oxydatie van de metalen bij het doorgaan van de sterke ontlading onder water en kwam er een gas vrij, maar dit gas was niet brandbaar: het moest dus de waterstof zijn, die te verwachten was, gemengd met lucht, die in het water opgelost was en door de ontlading vrij kwam. Eerst na herhaalde proeven met uitgekookt water en de allersterkste ontladingen gelukte het een gas te verkrijgen, dat in de lucht kon worden aangestoken. Deze uitkomst was van het grootste belang, omdat zij een geheel onafhankelijk bewijs leverde van de door Cavendish ontdekte samenstelling van het water, en tevens, omdat zij waarschijnlijk voor Deiman en Paets van Troostwijk de aanleiding werd voor hun straks te bespreken proeven over de ontleding van water door de ontlading, zonder medewerking van een metaal, dat de zuurstof opnam. Van Marum vermeldt nog, dat bij deze proefneming de heer B. Vriends en de hoogleraar Damen uit Leiden tegenwoordig waren.

Ook de proeven over de werking van de ontlading op gassen werden weder ter hand genomen; ontdekkingen werden daarbij niet gemaakt. De zeer juiste opmerking slechts zij aangestipt, dat een kleine uitzetting van het gas, die zich na afloop der proef weder herstelt, in vele gevallen eenvoudig uit de ontwikkelde warmte voortvloeide.

Schets van de leer van Lavoisier.

De verdere onderdeelen van dit rapport zullen wij ter zijde laten. Van bijzonder belang was de meesterlijke „schets der leere van M. Lavoisier, omtrent de zuivere lucht van de dampkring, en de vereeniging van derzelve grondbeginsel met verschillende zelfstandigheden”, die hij ter rechtvaardiging van zijn nieuwe inzichten aan deze verhandeling toevoegde, uitmuntende door helderheid en eenvoud, met vermindering van alle niet ter zake doende theoretische beschouwing. Volgens Lavoisier was de gas-toestand het gevolg van een verbinding van het grondbeginsel, wat wij zouden noemen de materie, eener zelfstandigheid met vuurstof; dit is een opvatting, die ons nu allicht overbodig voorkomt, maar die voortspoot uit den zeer natuurlijken wensch om een verklaring te geven van het feit, dat sommige stoffen zich als vaste lichamen of vloeistoffen, dus als niet-elastisch voordoen, terwijl andere in den verdunnen gastoestand verkeerden. Deze opvatting hield verband met de vorming van elastische dampen uit vloeistoffen door toevoer van warmte, dus van vuurstof, waarmede dus een vereeniging ondersteld werd. De ontwikkeling van warmte, die wordt waargenomen, wanneer de gas-toestand verdwijnt, en dus bijvoorbeeld ook die, welke door de vereeniging met zuurstof plaats vindt, werd door Lavoisier als het te voorschijn komen van de vuurstof uit het gas ge-interpreteerd. Van Marum achtte dit onderdeel van de theorie van Lavoisier zeer waarschijnlijk juist, maar hij gevoelde duidelijk het hypothetische karakter er van; hij noemt het een stelling, die niet door zoodanige rechtstreeks bewijzende proeven kan worden gestaafd als de overige stellingen, waaruit de theorie bestond. Deze onderscheiding geeft een bewijs van het fijne wetenschappelijke gevoel van onzen beroemden landgenoot.

Uit de schets van Van Marum willen wij nog naar voren brengen zijn bestrijding van de theorie, dat de door Lavoisier aangenomen koolstof als het „hoofdbeginsel van koolen” het langgezochte phlogiston zijn zou. Bij de verkalking van metalen zou dan koolstof voor den dag moeten komen, wat toch niet het geval was. Op de bij de reductie van kwik-oxyde ontstaande hoeveelheid kwik had de bijvoeging van kool geen den minsten invloed, wat ook met de gewraakte theorie in strijd was. Bij de verbranding van zwavel tot zwavelzuur zou een gewichtsvermindering moeten zijn waar te nemen door het verlies van koolstof, en de ontdekkende leerde het tegendeel. Eindelijk zou bij de verbranding van koolstof

zelf toch zeker gephlogisteerde lucht, d. w. z. stikstof of „mofet”, zooals zij toen nog heette, moeten ontstaan, maar wat ontstond, was iets geheel anders, namelijk vaste lucht. Op dergelijke klemmende argumenten was inderdaad niet veel te antwoorden.

Uit een opzettelijke mededeeling dienaangaande blijkt, wat trouwens strookt met den inhoud der vroeger besproken geschriften (boven blz. 36 verv.), dat Paets van Troostwijk zich nog niet met de veranderde opvattingen van den schrijver had kunnen vereenigen.

Nahuys.

Geheel onafhankelijk van Van Marum was de Utrechtsche hoogleeraar A. P. Nahuys tot hetzelfde inzicht gekomen; een prijsvraag van het Utrechtsch Genootschap, reeds in 1782 uitgeschreven en in 1785 herhaald, en gesteld in bewoordingen, die op zichzelf reeds een kentering in de gangbare denkbeelden aanwijzen, gaf hem aanleiding de vraag of „het phlogiston een waar beginsel der lichamen” was, onder de oogen te zien en hij betoonde zich in zijn antwoord (1788) een willig en scherpzinnig bekeerling tot de theorie der anti-phlogistici¹⁾. Nahuys had de proeven van Lavoisier op verschillende manieren herhaald en was daardoor „van de waarheid zoo zeer overtuigd, dat bij hem niet de minste twijfel kon overblijven, om aan de theorie van Lavoisier verreweg de voorkeur te geven boven die van Stahl of van een zijner aanhangers”. Hij vatte de experimenteele gegevens in een aantal stellingen samen, waarmede hij de phlogistontheorie in haar verschillende vormen afdoende weerlegde. Onder deze gegevens waren er, die hij zelf bijbracht; zoo bewees hij, dat uit salpeter bij verhitting in een gesloten vat een zoo groote hoeveelheid zuurstof werd ontwikkeld, dat daardoor de ontploffing met brandbare stoffen ruimschoots kon worden verklaard. Een andere bijdrage van Nahuys bestond in de waarneming, dat uit zuivere metalen, hoe hoog ook verhit, geen waterstof te voorschijn kwam; hieromtrent bestond een onjuiste meening, die door de voorstanders der theorie, dat het phlogiston met waterstof identiek was, als een gewichtig argument ten voordeele van hun zienswijze werd aangemerkt. Nahuys wees er ook op, dat bij de verbranding van phosphorus, zwavel en metalen in gesloten vaten geen waterstof geboren werd, terwijl toch naar die theorie phlogiston, dus waterstof, zou moeten ontsnappen. De reductie van metaal-kalken door waterstof bewees volgens hem evenmin iets ten voordeele dier theorie, omdat in het geval van het roode precipitaat bewezen was, dat eenvoudige verhitting hetzelfde kon bewerkstelligen.

Nahuys voegde aan zijn verhandeling een interessante bestrijding toe van de beschouwingen van Deiman en Paets van Troostwijk in hun stuk

¹⁾ A. P. Nahuys (1736—1794), Verh. Utr. Gen. 5. p. 3. 1789.

van 1787 (boven blz. 36). De meeste argumenten door deze onderzoekers tegen de theorie van Lavoisier te berde gebracht kon hij gemakkelijk ontzenuwen, maar er bleven voor hem wel enkele moeilijkheden over, bij voorbeeld ten opzichte van Lavoisier's vuurstof-hypothese, die dan ook, als men wil, een zwakke zijde van de theorie uitmaakte.

Op dezelfde prijsvraag was nog een tweede antwoord ingekomen ¹⁾, doch te laat om voor de eigenlijke bekroning in aanmerking te komen; toch werd ook aan deze verhandeling wegens haar groote verdiensten een medaille toegekend en werd zij naast het antwoord van Nahuys in de Verhandelingen van het genootschap opgenomen. Maar de schrijver kwam niet opdagen, zoodat niet bekend werd, wie hij was. Dit antwoord is meer dan drie maal zoolang als dat van Nahuys; zijn uiteenzettingen van de phlogiston-theorie en daarnaast van de theorie van Lavoisier waren dan ook veel uitvoeriger, en de voor- en nadeelen, welke naar zijn inzicht aan de beide zienswijzen eigen waren, werden met minutieuse zorgvuldigheid tegen elkander gewogen; hierbij wordt ook met de „schets" van Van Marum, waarmede hij reeds bekend is, rekening gehouden. Blijkbaar was de schrijver te zwaartillend om zich over bezwaren, die natuurlijk in iedere theorie overblijven, heen te zetten en minder helderziend dan zijn mededinger, waar het gold te bepalen aan welke zijde het voordeel gelegen was. Hij kwam dan ook niet tot een bepaalde slotsom en acht het uiterst merkwaardig, dat twee zoo uiteen loopende opvattingen beide de verschijnselen verklaarbaar kunnen maken. Terecht wijst hij er op, een hoe groot aantal nieuwe feiten door de wrijving der gedachten omtrent het phlogiston aan het licht gebracht zijn.

Een niet minder voortreffelijk stuk leverde Nahuys het volgend jaar (1789) over de samenstelling van het water ²⁾. Hij had o. a. de moeielijke proeven van Lavoisier herhaald over de inwerking op waterdamp van ijzer, in het bijzonder in gloeienden toestand, waarbij waterstof vrij werd. Daarbij bewees hij, volgens een zeer verdienstelijke methode, dat de gewichtsvermeerdering van het ijzer quantitatief overeenkwam met de vermindering van het gewicht van het water; en geheel hetzelfde bleek ook voor kool door te gaan, toen hij daarmede de proeven herhaalde. Ook de proeven van De la Metherie over een gewaande voortdurende opslorping van gassen door water, die met de theorie omtrent de samenstelling van het water in strijd zou zijn, werden door Nahuys herhaald en gedurende maanden voortgezet, waaruit hem bleek, dat zij onjuist geweest waren. Nu en dan kon Nahuys zijn ongeduld over de tegenstanders van Lavoisier blijkbaar niet bedwingen en liet hij zich tot heftige en zelfs hatelijke uitvallen verleiden.

¹⁾ Verh. Utr. Gen. 5. p. 173. 1789.

²⁾ A. P. Nahuys. Dissertatio chemica de aquae origine ex basibus aëris puri et inflammabilis secum invicem combinatis. Utrecht 1789.

Electrische proeven van Deiman en Paets van Troostwijk.

Het was zeker voor een groot deel aan den invloed van de geschriften van Van Marum en Nahuys te danken, dat Deiman en Paets van Troostwijk in hun denkbeelden omtrent de verbranding en de samenstelling van het water aan het wankelen gebracht werden. Hun aanvaarding van de zooveel eenvoudiger voorstellingen bleef nu niet lang meer uit en het zou ook niet bij een aanvaarding blijven. Door een electrische proefneming van groote beteekenis verschaften zij zich aanstonds een belangrijke plaats in de rij der medestanders van Lavoisier. Op electrisch gebied waren geen van beiden onbekenden. Deiman had met den electrophoor geexperimenteerd ¹⁾ en een verhandeling geschreven met den titel: Geneeskundige proeven en waarnemingen omtrent de goede uitwerking der Electriciteit in verscheidene ziektes ²⁾, (1779) waarin o. a. de invloed der electrische ontlading op de polssnelheid getoetst werd met positief resultaat.

Paets van Troostwijk had met Deiman samengewerkt in de beantwoording van een prijsvraag (1783, gepubliceerd 1787) betreffende het gebruik van electriciteit in de geneeskunde ³⁾, waarin een bevestiging van Deiman's resultaat voorkomt, een uitkomst, die evenwel door hun latere proeven met Van Marum (1785) werd te niet gedaan (boven blz. 42).

Verder had Paets van Troostwijk, zooals wij gezien hebben, met Krayenhoff samengewerkt en Van Marum bij verschillende electrische onderzoekingen bijgestaan. In 1789 verscheen nu een verhandeling ⁴⁾ van hun beider hand, bevattende de beschrijving van een nieuwe electriseer-machine en van proeven daarmede verricht, waaromtrent wij allereerst het een en ander willen mededeelen. Het werktuig, het eigendom van het gezelschap Felix Meritis, was min of meer een nabootsing van dat in Teyler op kleinere schaal en werd weder door Cuthbertson vervaardigd; dank zij een en ander gaf het voor zijn grootte uitstekende resultaten. Van een zeer helder inzicht voor dien tijd getuigt het duidelijk onderscheid, hetwelk zij maken tusschen de grootte der lading (hoeveelheid electrische stof) en electrische drukking of potentiaal (poging om zich gelijk te stellen).

De schrijvers deden een aantal proeven over de oxydatie en reductie van metalen. Wel zeggen zij niet tusschen de theorieën van Stahl en de Fransche chemici te willen beslissen en zich zuiver tot de beschrijving der proeven te zullen bepalen; toch noemen zij de gedephlogisteerde lucht reeds zuivere lucht, toenmaals een der benamingen voor zuurstof, en de gephlogisteerde lucht heet nu moffet, d. i. stikstof, waarmede indirect de

¹⁾ Boven p. 41.

²⁾ J. R. Deiman, Geneesk. proeven enz. Amsterdam 1779.

³⁾ A. Paets van Troostwijk en J. R. Deiman. Verh. Bat. Gen. 8. p. 63. 1787.

⁴⁾ J. R. Deiman en A. Paets van Troostwijk. Beschrijving van eene electriseermachine en van proefnemen met dezelve in het werk gesteld. Amsterdam. Holtrop 1789.

nieuwe theorie wordt gehuldigd. De verkalking geschiedde in een nauwe buis, waarin zich dus de kalk verzamelde, zoodat deze nader kon worden onderzocht. Het uit ijzer gevormd poeder blijkt het oxyde te zijn, omdat de magneet het niet merkbaar aantrekt. Zij doen de proeven ook in zuivere zuurstof en laten kalkwater toe, dat evenwel niet troebel wordt, dus ontstaat er geen vaste lucht, terwijl voornamelijk scheikundigen toch meenen, dat zuurstof + phlogiston (n.l. in dit geval koolstof, zie boven) koolzuurgas geeft. Het verdwijnen van de zuurstof bij het verkalken der metalen werd op de toenmaals gangbare wijze met behulp van den stikstof-oxyde eudiometer aangetoond. Verder wordt gevonden, dat verschillende metalen een verschillende hoeveelheid zuurstof opnemen, en zij stellen voor langs dien weg deze hoeveelheden nauwkeurig quantitatief te meten.

Met zilver en goud werden wel gekleurde poeders verkregen van den zelfden aard als in Van Marum's proefnemingen, maar dit konden geen kalken zijn, want er werd geen zuurstof opgenomen. Hier tegen werd later door Van Marum opgemerkt, dat de verhitting bij zijn veel sterkere ontladingen grooter moet zijn geweest en dat het mislukken der proef in hun geval het gevolg moet zijn geweest van de lagere temperatuur.

In stikstof bleef de verkalking uit, en evenzoo in een vacuum, dat met behulp van een krachtige luchtpomp van Cuthbertson werd voortgebracht.

Om aan te toonen, dat bij het revivifieeren van kwik uit kwik-oxyde werkelijk zuurstof te voorschijn kwam, werd de proef genomen in een atmosfeer van zuivere stikstof; immers het volume van een mengsel van zuurstof en stikstof vermindert bij het doorgaan der ontlading door de vorming van salpeterzuur en inderdaad werd nu na opslorping van de zuurstof door middel van stikstof-oxyde een vermindering van de stikstof gevonden, en desgelijks met menie. Bij het ontleden dezer oxyden heeft de electriciteit een aan de warmte overeenkomstige werking.

Ontleding van water.

Tegen het einde van hetzelfde jaar kondigden zij aan, dat het hun gelukt was water door de electriche vonk in zijn bestanddeelen te ontleden ¹⁾. Zij hadden daartoe een glazen buis aan het eene uiteinde met een kurk gesloten en met water gevuld omgekeerd in water geplaatst. Door de kurk was een gouddraad gestoken, terwijl een tweede gouddraad van onderen tot op zeer korten afstand van den bovensten draad was aangebracht. Tusschen de draden lieten zij electriche vonken gaan. Uit het water ontwikkelde zich een gas, dat zich boven in de buis verzamelde, totdat het uiteinde van den bovensten draad niet meer in het water reikte

¹⁾ A. Paets van Troostwijk en J. R. Deiman. J. de Phys. 35. p. 369. 1787. Crell 1790 (1). p. 50. Gren 2. p. 130. 1790. In Ann. Chim. 5. p. 276. 1790 een brief van Schurer uit Straatsburg aan Berthollet over deze proef, die hij bij P. v. Troostwijk gezien had.

en de vonk dus gedeeltelijk door het gas heenging. Wanneer dit punt bereikt was, ontbrandde het gas met een ontploffing en verdween tot op een klein gedeelte. Na verwijdering van deze rest herhaalden zij de proef met hetzelfde resultaat, behalve dat de resterende hoeveelheid gas na iedere ontploffing voortdurend minder werd.

Deze proef kon naar hun oordeel niet wel anders verklaard worden dan door een ontleding van het water in zijn beide bestanddeelen, zuurstof en waterstof. Een specifieke werking van de electriciteit bij het ontstaan van de waterstof uit het water was daarom zeer onwaarschijnlijk, dat de vonk uit zwavelzuur en salpeterzuur wel zuurstof maar geen waterstof deed ontstaan (de laatste zal hierbij geoxydeerd zijn). Zij meenden, dat de dubbele proef zoowel een analytisch als een synthetisch bewijs voor de ontdekking van Cavendish leverde.

Lavoisier was er reeds in geslaagd waterdamp in zijn bestanddeelen te scheiden door dien door een gloeiende ijzeren buis te leiden en anderzijds had men water door de verbranding van waterstof in zuurstof en omgekeerd verkregen en had Volta het eerst doen zien, dat waterstof met zuurstof door een vonk tot ontploffing gebracht kon worden; maar dit was de eerste maal dat een directe ontleding, gevolgd door een hereeniging van de samenstellende gassen, gelukt was. Geen wonder, dat de „Amsterdamsche proef” groot opzien baarde en allerwege werd herhaald ¹⁾, zoodat zij voor vele kenners, zoowel hier te lande als daarbuiten, de laatste stoot bleek te zijn tot een aanvaarding van de theorie van Lavoisier. De overgang van mannen als Girtanner, Kirwan, Black en De Saussure volgde dan ook binnen kort ²⁾.

In ons land werd de proef bekend gemaakt door Paets van Troostwijk in een lezing voor het genootschap „Concordia et Libertate” ³⁾, en het schijnt wel, alsof daarmede, wat Nederland betreft, het pleit onmiddellijk beslecht was. Over de grenzen bleven nog tegenstanders over, die zich niet wilden laten overtuigen, en gaf de proef aanleiding tot levendig geschrijf, waarop wij niet zullen ingaan. Aan deze gedachtenwisseling toch namen onze geleerden zoo goed als geen deel.

Andere Nederlanders.

In de nu volgende jaren lieten de Nederlandsche onderzoekers telkens hun stem ter ondersteuning van de nieuwe scheikunde hooren. Nieuwland

¹⁾ O.a. door Priestley (Crell 1790 (2) p. 236), waarbij deze verder gevonden zou hebben, dat de ontleding ook door hitte alleen, zonder electriche vonk, gelukte. De toevoeging evenwel, dat in het laatste geval de gassen niet afzonderlijk bleven bestaan, maar zich na de proef allengs weder verbonden, maakt deze proef uiterst twijfelachtig.

²⁾ Vergelijk de getuigenis van Girtanner in zijn „Neue chemische Nomenclatur für die Deutsche Sprache”. Verder: Alg. Konst- en Letterb. 7. p. 17. 1791 (2); P. J. Kasteleyn, Chem. en Phvs. Oef. I. p. 287. 288. 1793.

³⁾ Alg. Mag. v. Wet. Konst en Smaak 4. p. 900. 1790 (2).

gaf naar aanleiding van de ontdekking een uitstekende schets van het scheikundig stelsel van Lavoisier¹⁾ en Van Barneveld besprak de proef in Felix Meritis²⁾. In 1791 promoveert te Leiden Rouppe, dien wij boven (blz. 12) reeds eenmaal tegenkwamen, onder den hoogleeraar Voltelen³⁾ op een dissertatie over de ademhaling, waarin de schrijver zich een volledig aanhanger van Lavoisier betoont. Hij had trouwens in Voltelen een verlicht leermeester, die reeds in 1784 in zijn inaugureele rede de waardeering van de nieuwe chemie bepleit had en van dat jaar af geregeld de nieuwe leer der gassen behandelde. In de rede vermeldt hij den arbeid van Lavoisier met groote bewondering, maar zegt tevens, dat het er nog ver van verwijderd is, dat men zijn theorie voor goed gegrondvest kan houden of aan haar de voorkeur geven boven die van Stahl; hij was dus Van Marum in de juiste waardeering van die theorie niet voor, maar zal wel spoedig gevolgd zijn.

In 1793 leverde Aeneae — het werd reeds vermeld (boven blz. 28) — een uitstekende kritiek op de theorie van het negatief gewicht van het phlogiston, die juist toenmaals verdedigers vond.

Verder mag vermeld worden een verhandeling van Kasteleyn over de verkalking of oxydeering van metalen. Kasteleyn maakte zich in deze periode zeer verdienstelijk door het Nederlandsche publiek voortdurend van den dadelijken stand der wetenschap op de hoogte te houden⁴⁾; daartoe werd hij in het bijzonder door vriendschappelijke betrekkingen met verschillende buitenlandsche geleerden, van wie de beroemde Brusselsche scheikundige Van Mons genoemd mag worden, in staat gesteld. Bij deze gelegenheid liep het nog eens over de reductie van het roode precipitaat door hitte: van phlogistische zijde werd beweerd, dat deze reactie alleen gelukte met het product, dat door verhitting van kwiknitraat verkregen was en dus nog elementen van het salpeter bevatten zou, en niet met dat, hetwelk door verhitting van kwik in lucht of zuurstof ontstond. Kasteleyn gaf een volledig overzicht van deze quaestie⁵⁾ en verklaarde ten slotte door de zeer nauwkeurige proeven van Van Mons en Hermbstädt, die de ontleding in het laatste geval volkomen bevestigden, van de juistheid van het anti-phlogistisch beginsel overtuigd te zijn geworden. Als men een sterken indruk wil verkrijgen van de omwenteling, die Lavoisier te weeg

¹⁾ Afzonderlijk uitgegeven. Amst. 1790. N. Alg. Mag. v. Wet. Konst en Smaak 1792 (1) p. 389.

²⁾ Afzonderlijk uitgegeven. Amst. 1791. (Ook in het Duitsch vertaald). Alg. Konst- en Letterb. 7. p. 172. 1791 (2). Alg. Vad. Letteroef. 1793 (1) p. 390.

³⁾ F. J. Voltelen (1754—1795).

⁴⁾ P. J. Kasteleijn (1746—1794) schreef: De beschouwende en werkende chemie; Chemische oefeningen (1785—1788); Chem. en Phys. Oef. I (1792) II (1793) III (1797) (dit laatste deel werd door Kasteleijn begonnen en na zijn dood voltooid door Deiman en Bondt). Het tijdschrift werd door P. van Werkhoven (1772—?) voortgezet onder den titel van Nieuwe Chem. en Phys Oef. I (1798) II (1802).

⁵⁾ Chem. en Phys. Oef. II p. 197, 393. III p. 93, 169, 273.

bracht, zoo vergelijkte men deze verhandeling van Kasteleyn met zijn vertaling van een boek van J. F. Meyer uit het Duitsch (1776-77), dat nog volkomen van het oude standpunt geschreven was: men voelt zich in een andere gedachten-wereld verplaatst.

Voorts wijzen wij nog op een latere voordracht van Deiman zelf in „Concordia et Libertate” over Lavoisier na diens wreeden dood ¹⁾. Een voordracht van Paets van Troostwijk ²⁾ van 1796 in hetzelfde gezelschap brengt het niet verder dan Stahl, zoodat wij zijn oordeel over Lavoisier te dien tijde moeten missen.

Ten slotte vermelden we een verstandig stuk van Uilkens ³⁾ ter verdediging van het „anti-phlogistische scheikundig systeem”, voornamelijk gericht tegen de Luc, die een scheikundige omzetting van water in lucht aannam en omgekeerd een verandering van lucht in water, wanneer vocht uit de lucht condenseert, een theorie, waar voorstanders van Stahl zich nog in hun wanhoop aan vastklemden, en een verhandeling van den scheikundige Ypey ⁴⁾, getiteld: „verdediging der leere van de nieuwere scheikundigen, aangaande de oorzaak der dierlijke warmte bij heetbloedige dieren”, waarin verschillende bezwaren tegen de verbrandings-theorie op zakelijke wijze werden weerlegd.

Toestellen van Van Marum.

Van groot belang voor de verbreiding en ontwikkeling der nieuwe scheikunde, niet alleen hier, maar ook in den vreemde, waren de toestellen, die Van Marum in de nu volgende jaren uitdacht en voor Teyler deed construeeren, ter herhaling van de grondproeven, waarop de theorie rustte. De toestellen van Lavoisier waren meerendeels te samengesteld en kostbaar voor een uitgebreide toepassing ⁵⁾: in het bijzonder gold dit van de inrichting, waarmede de verbranding van waterstof in zuurstof werd aangetoond. Bij Lavoisier werden de gassen gemeten door middel van hun gewicht: het vat, waarin het gas besloten was, hing daartoe aan den eenen arm van een balans. Voor een deskundige is het zonder meer duidelijk, hoe moeilijk de verschillende operaties met een dergelijken gasometer moesten zijn. Van Marum's „hydrostatische” gasometer ⁶⁾ bestond

¹⁾ N. Scheik. Bibl. I. p. 89, 167, 273, 343. 1798. Alg. K. en Letterb. II. p. 148. 1799 (I).

²⁾ N. Alg. Mag. v. W. K. en S. 4 (1) p. 209. 1797.

³⁾ J. A. Uilkens. Alg. Vad. Letteroef. 1799. (2) p. 473, 524.

⁴⁾ A. Ypey. (1742—1820). ib. p. 7.

⁵⁾ De toestellen van Lavoisier zijn te vinden in zijn *Traité élémentaire de Chimie*. 1786. Hollandsche vertaling met aantekeningen en bijvoegsels van N. C. de Fremery (1770—1844) en P. van Werkhoven. Utrecht 1800. De Fremery was sedert 1795 hoogleraar te Utrecht; zijn oratie liep over het nauw verband van de scheikunde met de natuurkunde; verder bewoog hij zich op medisch en palaeontologisch gebied.

⁶⁾ M. van Marum; Brief aan Berthollet, *Ann. de Chimie* 12 p. 113. 1792. *Gren.* 5. p. 154. 1792. *Voigt's Magazin* 8 (2) p. 68. 1792. *Alg. K. en Letterb.* 7. p. 204. 1791 (2). De beschrijvingen van Van Marum's toestellen zijn vereenigd in *Verh. Teyler* 10. 1798.

uit een groote glazen flesch met wijden hals, van boven door een deksel luchtdicht gesloten en gedeeltelijk met water gevuld. Het gas kon uit dezen gasometer verdrongen worden door er met een hevel, die luchtdicht door het deksel heen ging, water uit een daarnaast geplaatst open vat in over te brengen. Dit vat was van een peilglas voorzien en het niveau van het water kon door toevoer en afvoer van water op eenvoudige wijze worden geregeld. Elk der beide gasen was in een dergelijken gasometer besloten.

De bol, waarin de verbranding geschiedde en die, evenals de gasometers, met de noodige kranen voorzien was, stond met de beide gasometers in verbinding en werd aanvankelijk met zuurstof gevuld; de waterstof, die uit den eenen gasometer werd toegevoerd, werd door een vonk ontstoken en men kon nu uit de twee gasometers de beide gasen naar willekeur doen toestroomen. De opening, waaraan de waterstof brandde, alsmede de draad, waarmede het gas werd ontstoken, waren van platina, ten einde een oxydatie te voorkomen, waarvan vroegere waarnemers last ondervonden hadden. Er was nu ook geen reden, waarom de proef niet zoo noodig halverwege kon worden onderbroken en dan weder voortgezet, bijvoorbeeld om gelegenheid te geven den uitgeputten voorraad waterstof aan te vullen.

De apparatuur omvatte voorts „ontvangers”, volgens het zelfde beginsel werkende als de gasometers, maar eenvoudiger ingericht. Uit de klok, waar het gas oorspronkelijk in was opgevangen, kon het in den ontvanger worden overgebracht en daar langen tijd bewaard, zonder gevaar voor verontreiniging. Later ¹⁾ richtte hij deze ontvangers zoodanig in, dat de gasen er onmiddellijk in konden worden opgevangen; voor dit doel werd aan den ontvanger een opvang-buis verbonden. Vóór de proef bracht hij de gasen uit de ontvangers in de gasometers over.

Deze toestel werd door den ontwerper het eerst in 1791 bekend gemaakt in een brief aan Berthollet, die in de *Annales de Chimie* van 1792 werd afgedrukt en ook in een Duitsche vertaling verscheen. In hetzelfde jaar gaf Van Marum de beschrijving van een nog eenvoudiger inrichting ²⁾ en later vervaardigde hij een dergelijken toestel op kleiner schaal, die voor algemeen gebruik geschikter was, daar deze door iederen scheikundige zelf kon worden nagebootst ³⁾. De gasometers in deze beide toestellen berustten op hetzelfde beginsel als te voren, terwijl de verbrandings-ruimte eenvoudiger was ingericht; de waterstof werd aan het uitstreamingsbuisje vooraf aangestoken en dan werd de reeds met zuurstof gevulde bol zoo snel mogelijk over de beide gasbuizen heengezet en luchtdicht daaraan verbonden. Voor quantitative proeven waren deze toestellen dus iets minder geschikt dan de eerst beschrevene.

¹⁾ Teyler 10. p. 33. 1798. Scherer I. p. 269. 1798.

²⁾ M. van Marum. Tweede Brief aan Berthollet. *Ann. de Chimie* 14 p. 313. 1792. Gren. 6. p. 3, 1792.

³⁾ M. van Marum. *Verh. Teyler* 10. p. 31. 1798.

Van Marum smaakte de voldoening, dat zijn gasometers uit Nederland ontboden en elders nagevolgd werden en dat langs dien weg zijn pogen, om de leer van Lavoisier meer algemeen ingang te doen vinden, met succes werd bekroond. Daardoor aangemoedigd ging hij op den ingeslagen weg voort, herhaalde ook de andere proeven en bracht, waar dit pas gaf, de noodige verbeteringen en vereenvoudigingen aan. De meeste daarvan werden in de jaren 1791 tot 1794 voor demonstraties en lessen in Teyler's instituut aangewend en in verschillende tijdschriften beschreven; de volledige beschrijving verscheen in 1798.

Verdere proeven.

Op deze publicatie komen wij dadelijk terug, maar eerst een enkel woord over een in den tusschentijd in 1795 verschenen tweede vervolg op de proefnemingen met de reuzen-electriseer-machine en de bijbehorende batterijen.¹⁾ De verhandeling begon met de beschrijving van een aantal verbeteringen, die in de machine waren aangebracht, met name in de wrijfkussens, waardoor nog een aanmerkelijke verbetering in de electriciteitslevering verkregen werd²⁾. Gedeeltelijk was die verbetering te danken aan het in gebruik nemen van het amalgame van Kienmayer, waarbij Van Marum eenig goudblad voegde, omdat hij meende de werking daardoor nog iets te kunnen verhoogen. Over het aandeel, dat aan ieder dezer factoren in de uitkomst toekwam, was Van Marum het niet eens met zijn vroegeren medewerker Cuthbertson, die sedert eenige jaren onafhankelijk had door-gewerkt; tusschen deze beide onderzoekers was helaas een kleine verwijdering ontstaan..

De eerst beschreven proeven³⁾ hadden betrekking op het vroegere onderzoek omtrent den invloed van de electriche kracht op den pols; deze vielen evenals toen negatief uit. Een vergrooting van vochtverlies van het menschelijk lichaam door uitwaseming kon evenmin geconstateerd worden. Bij deze proeven mocht Van Marum o. a. de hulp van de Fremery ontvangen.

Het volgende onderzoek was gericht op een invloed van de electriciteit op de irritabiliteit van de sapbuizen der planten; dit onderzoek sloot zich goed aan bij het onderwerp van zijn dissertatie. Een zekere mate van prikkelbaarheid meende hij naar analogie met wat dieren doen zien te moeten onderstellen en zijn proeven schenen hem inderdaad o. a. bij Euphorbia-soorten een invloed der lading op den sapstroomte doen kennen⁴⁾.

¹⁾ M. van Marum. Verh. Teyler 9. 1795.

²⁾ M. van Marum. Brief aan Landriani. J. de Phys. 38. p. 109. 1791. (Correcties ib. p. 248). Gren. 6. p. 70. 1792. Vroegere brief, ib. 34. p. 274. 1789. Gren. 2. p. 167. 1790.

³⁾ I. c. p. 51.

⁴⁾ I. c. p. 69. Brief aan Ingenhousz. Gren. 6. p. 360. 1792. J. de Phys. 41. p. 214. 1792. Zie J. Ingenhousz J. de Phys. 32. p. 321. 1788.

Een latere proefneming ¹⁾ bewees een versnelde verdamping aan het oppervlak eener plant, zoo deze geïsoleerd opgesteld en sterk geladen werd: maar een specifieke werking meende hij daarin toch niet te moeten zien, daar deze snellere verdamping het gevolg kon zijn van de bekende luchtstroomingen, die aan de uitsteeksels en punten van sterk geladen lichamen worden waargenomen en die dus hier de dampen kunnen meevoeren en op die wijze de verdamping bevorderen.

De vraag, wat nu eigenlijk de electriciteit was, hield Van Marum voortdurend bezig. Vroeger had hij gemeend een nauw verband tusschen haar en het phlogiston te mogen onderstellen; nu kwam de vraag bij hem op: is zij wellicht een verschijningsvorm van de warmtestof, d. w. z. van het agens, hetwelk men sedert Black en Crawford als het werkende beginsel bij veranderingen van warmtegraad en bij den overgang van den eenen agregatie-toestand in een anderen aannam? ²⁾ Dan moest echter een geleider, die zeer sterk geladen werd, een hoogere temperatuur aannemen. Een zorgvuldige proefneming met een koperen cylinder van zeer geringe warmtecapaciteit gaf een negatief resultaat. De warmte-werkingen, welke bij den doorgang van ontladingen, dus bij een electricischen stroom worden waargenomen, zouden dus niet aan de electriciteit als zoodanig ontleend zijn, maar door een soort van wrijving kunnen veroorzaakt worden. Van Marum verkreeg aanmerkelijke warmte-ontwikkeling door een thermometer op den weg van een sterke ontlading op te stellen. Misschien was de warmte-stof hier echter uit de lucht afkomstig, daar toch vroegere proefnemingen hadden geleerd, dat de electricische vonk in lucht een scheikundige werking te voorschijn roept, waarbij warmte-stof vrij zou kunnen worden. Om deze mogelijkheid te toetsen onderzocht Van Marum het verschijnsel in een gedeeltelijk vacuum, waar dan een geringer effect te verwachten was, maar integendeel de verwarming was aanzienlijk hooger. Dat de warmte niet aan de lucht ontleend was, maar met de ontlading zelve samenhang, werd bevestigd, doordat afzonderlijke proefnemingen een volkomen gelijke verwarming in zuivere zuurstof en zuivere stikstof deed kennen.

Aan het bovenstaande onderzoek knoopten zich verdere proeven vast omtrent de ontledende werking van de ontlading. Verschillende dampen van vloeistoffen en vaste lichamen werden in het luchtledig van den barometer aan vonken blootgesteld; zoo verkreeg hij uit alcohol damp en uit campher zuivere waterstof en uit ammoniak een mengsel van waterstof en stikstof. Bij waterdamp kon alleen waterstof worden aangetoond; wellicht had de zuurstof zich met het kwik verbonden.

Gedreven door zijn liefde voor de wetenschap en de zucht om die

¹⁾ l. c. p. 159.

²⁾ l. c. p. 85. Gren. Neues J. de Phys. 3. p. 1. 1796.

met uiterste krachten te bevorderen, had Van Marum zich en zijn elektrische hulpmiddelen ter beschikking gesteld voor proefnemingen, die hem door vakgenooten zouden worden aan de hand gedaan. Talrijke onderzoeken waren daarvan het gevolg, die hem zeer veel tijd kostten en betrekkelijk gering resultaat opleverden ¹⁾. Zoo onderzocht hij de werking van de ontlading op een groote verscheidenheid van stoffen, wat meestal niets nieuws te voorschijn bracht.

Bijzondere vermelding maken wij van een onderzoek met Landriani, ²⁾ reeds in 1788 ingesteld, waaruit blijken zou, dat koolstof waterstof als essentieel bestanddeel bevatte. Dat het koolzuur water bevatte en koolstof waterstof werd toen nog vrij algemeen aangenomen. Deze opvatting scheen ook steun te vinden in het plantenleven; de koolstof n.l., die de planten voor hun opbouw behoeven, moest wel uit het water, dat ze uit den grond opnemen, afkomstig zijn. Men kon zich niet voorstellen — en ook voor ons is dit in zekeren zin een verbazingwekkend feit gebleven — dat het uiterst kleine gehalte aan koolzuur van de atmosferische lucht daartoe voldoende zou zijn ³⁾. Ook Paets van Troostwijk was die meening toegedaan ⁴⁾. Het water moest dan door de planten ontleed worden in zuurstof, die uitgedemd werd, en waterstof, waaruit de koolstof gevormd werd.

Bij de genoemde proefnemingen bleek, dat bij de reductie van zorgvuldig gedroogd kwik-oxyde, hetwelk door oxydatie van zuivere kwik verkregen was, door middel van uitgegloeiden houtskool zich waterdruppels vormden, waaruit volgen moest, dat waterstof scheikundig in koolstof vevat was. Hiertegen merkte Berthollet terecht op, dat men houtskool niet voor zuivere koolstof mocht aanzien. Het gevormde koolzuur werd nu aan de ontlading blootgesteld, terwijl zich in het gas een spiraal van ijzerdraad bevond; hierbij werd volume-vermeerdering verkregen, het niet ontlede koolzuur werd door potasch verwijderd en het overblijvende gas bleek brandbaar te zijn (kooloxyde) en werd nu ook natuurlijkerwijze voor waterstof gehouden. Op verzoek van Berthollet werd deze proef (waarom de eerste niet, blijkt niet) met potlood herhaald met hetzelfde resultaat, slechts werd minder van het brandbare gas geboren. Koolstof moest dus waterstof en koolzuur water inhouden. Het zal ons blijken, dat Van Marum met deze uitkomst toch niet tevreden was en later beproefde het gewaande verband tusschen koolstof en waterstof langs anderen weg op te sporen. Het verdient opmerking, dat Lavoisier aanvankelijk eveneens de aanwezigheid van waterstof in koolstof aannam.

¹⁾ I. c. p. 125.

²⁾ I. c. p. 139. Ann. de Chim. 2. p. 270. 1789.

³⁾ Zie bijv. Teyler 10. p. 73. 1798.

⁴⁾ Paets van Troostwijk. Alg. Mag. v. Wet. K. en S, 4 (2) p. 909. 1790.

Proeven met negatief resultaat aangaande een invloed van de ontlading op gevoelige planten ¹⁾ en planten-bewegingen ²⁾, alsmede op den stand van den barometer ³⁾ stippen wij slechts aan. Van meer belang was een onderzoek, hem door Volta voorgesteld, omtrent den invloed van een sterke electriche lading op de dampvorming door vloeistoffen onder de gewone drukking ⁴⁾. Door sommigen was een versnelde, door anderen een vertraagde verdamping waargenomen. Van Marum's proeven gaven een volkomen negatief resultaat: de verdamping ondervond geen invloed van de electricisatie; de theorie doet vermoeden, dat de verdamping door de lading vertraagd wordt, maar de wijziging, die te verwachten is, is zoo gering, dat zij zeer moeilijk waar te nemen moet zijn, en Van Marum's negatieve uitkomst is daarmede goed in harmonie.

Door den slag van de groote batterij werden zelfs de grootste palingen onmiddellijk gedood en wel in die mate, dat er geen spoor van prikkelbaarheid in de dieren over was, zooals bij dooding langs anderen weg nog veelal uren lang na den dood het geval is. De oorzaak van den dood door de ontlading en dus ook door den bliksem is derhalve volgens Van Marum het verdwijnen van de irritabiliteit der spieren, in het bijzonder van het hart en de slagaders; als het wezen gespaard wordt, is dit het gevolg daarvan, dat de genoemde organen toevallig niet getroffen zijn ⁵⁾.

Van de verdere waarnemingen noemen wij nog enkele: het smelten van kwarts door de sterkste ontladingen ⁶⁾, het verkalken van zink, bismuth en antimonium ⁷⁾, de opmerking, dat het geleidingsvermogen van koper door onzuiverheden aanmerkelijk wordt verkleind ⁸⁾, en een vergeefsche poging om een onderscheid te zien in den vorm der door de ontlading in verschillende stoffen geboorde gaten, naarmate van de richting der ontlading ⁹⁾. Op andere punten in deze verhandeling is reeds vroeger de aandacht gevestigd.

Het stuk eindigt met een uitvoerige beschrijving van een nieuwe kleinere electricseermachine, die verscheidene voordeelen biedt boven die van de gewone samenstelling; daaromtrent treden wij niet in bijzonderheden ¹⁰⁾.

Verhandeling van 1798.

Ten slotte komen wij tot de laatste groote verhandeling van Van

¹⁾ I. c. p. 161.

²⁾ I. c. p. 165.

³⁾ I. c. p. 167.

⁴⁾ I. c. p. 171.

⁵⁾ I. c. p. 225. J. de Phys. 38. p. 62. 1791. Gren. 6. p. 37. 1792.

⁶⁾ I. c. p. 223.

⁷⁾ I. c. p. 259.

⁸⁾ I. c. p. 249.

⁹⁾ I. c. p. 277.

¹⁰⁾ I. c. p. 293. Brief aan J. Ingenhouz. Gren. 4. p. 3. 1791. J. de Phys. 34. p. 436. 1789. 38 p. 447. 1791.

Marum, de reeds genoemde van 1798, bevattende de beschrijving van eenige nieuwe of verbeterde chemische werktuigen en van proefnemingen met dezelve in het werk gesteld ¹⁾).

Op de toestellen voor de verbranding van waterstof volgt in de verhandeling die voor de verbranding van phosphorus ²⁾). Lavoisier stak den phosphorus aan met een brandglas, een ontstekingsmiddel, waarvan in verschillende gevallen ook reeds door anderen gebruik gemaakt was; Van Marum ontdekte, dat phosphorus bij sterke verdunning van de lucht van zelf ontbrandt en maakte hiervan in zijn toestel gebruik. Deze methode had nog het bijkomstige voordeel, dat er bij kleine luchtdrukking in het verbrandingsvat geen gevaar bestond voor het breken door de warmte-uitzetting. De zuurstof werd met behulp van een zijner gasometers zoo langzaam als noodig was toegevoerd.

Göttling meende in 1795 het verbranden van phosphorus in stikstof te hebben waargenomen en knoopte daaraan een geheele, van Lavoisier afwijkende verbrandings-theorie vast; dit werd door andere Duitsche scheikundigen nog verder uitgebreid. Nu had echter Van Marum het door hem ontdekte verschijnsel reeds in 1794 openbaar gemaakt en, indien men daarop beter gelet had, zou men volgens zijn oordeel licht kunnen begrijpen, dat de ontvlaming aan de bijgemengde zuurstof en niet aan de stikstof toe te schrijven was. ³⁾ Hij toonde aan, dat de verbranding na eenigen tijd ophield, door het verbruiken van de zuurstof, en dat zij in zuivere stikstof en in het luchtledig van een barometer geheel uitbleef. In den zelfden geest als Van Marum schreef ook Deiman over de gewaande ontdekking der Duitsche chemici ⁴⁾).

De verbrandingstoestel voor koolstof werd door Van Marum eveneens gewijzigd; in plaats van, zooals Lavoisier deed, de op een rooster uitgespreide kool aan te steken door er een stukje gloeiende kool op te werpen en dan den toestel, waarin zich de rooster bevond, te sluiten, bereikte hij het doel door langs een nauwe zijbuis een gloeiend bolletje koper aan een draad naar binnen te schuiven en de opening te sluiten, waardoor het verlies van verbrandingsproducten tot een minimum beperkt werd.

Ook Van Marum's toestel om de voortbrengsels van de verbranding van oliën te onderzoeken, week in enkele opzichten van de overeenkomstige inrichting van Lavoisier af ⁵⁾). De verbrandingslamp was van bijzondere constructie; de lucht werd uitsluitend van onderen toegevoerd, terwijl de verbrandingsproducten door een cylinder-buis, waarbinnen de lamp lucht-

¹⁾ Overzicht in Ann. Chim. 30. p. 312. An VII (1798—9).

²⁾ M. van Marum. P. J. Kasteleijn. Chem. en phys. oef. 3. p. 249. 1793—1797. Gren. N. J. 3. p. 96. 1796. Ann. de Chim. 21. p. 158. 1797.

³⁾ M. van Marum. Scherer I. p. 237. 1798.

⁴⁾ J. R. Deiman. Crell. 1796 (2) p. 623.

⁵⁾ Scherer I. p. 482. 1798.

dicht bevestigd was, werden afgevoerd, zoodat zij niet met de aankomende lucht vermengd werden. De gevormde waterdamp kon zich nu ook niet, zooals bij Lavoisier's inrichting, gedeeltelijk in de verbrandingsruimte zelve verdichten, maar werd geheel in een afzonderlijke flesch met opgezette afkoelspiraal opgevangen. Het olievat, waaruit de brandstof naar de lamp stroomt, is buiten den toestel naast de lamp opgesteld en van boven door een buis met de condensatie-ruimte verbonden, om het ontstaan van drukverschillen, die den toevoer van olie zouden tegengaan of te zeer bevorderen, te voorkomen. De nog meegevoerde waterdamp en het koolzuur werden op de gewone wijze door opslorping vastgehouden en gemeten. Met dezen toestel kon Van Marum quantitative verbrandingsproeven over verschillende oliën uitvoeren, wat aan Lavoisier niet gelukt was.

Als het er alleen om te doen was het ontstaan van waterdamp en koolzuur te demonstreeren, ging hij aldus te werk: uit de olie werd door verhitting het brandbare gas ontwikkeld en dit werd daarna in den eenvoudigen waterstof-toestel verbrand, waarbij de vorming van waterdamp zichtbaar werd en die van koolzuur met kalkwater en loog kon worden aangetoond.

Een volgend hoofdstuk is gewijd aan de ontleding van alcohol damp door koper en andere metalen ¹⁾. Op het voorbeeld van Priestley, van wien de proef afkomstig was, werd de damp van den in een retort kokenden alcohol geleid door een buis, waarin het metaal verhit werd. Bij deze proef ontstond een zwarte zelfstandigheid, die den naam van koper-kool verkregen had. Van Marum vond de uitkomst van Priestley bevestigd, slechts bevatte het door hem verkregen product veel minder koolstof dan in de proeven van Priestley. Een weging deed zien, dat niet alle koolstof uit den alcohol door het koper was achtergehouden; een gedeelte moest met de gevormde waterstof in gasvorm zijn afgevoerd. Inderdaad bleek dit gas veel zwaarder te wegen dan waterstof en moest dus een kool-waterstof zijn. Bovendien werd water opgevangen.

Met ijzer werd veel minder van de zwarte stof gevormd en alleen aan het begin van de buis, met zilver in het geheel niets; Priestley's zilver moest dus koper bevat hebben. Evenmin met lood en tin, ofschoon in alle genoemde gevallen een grootere of kleinere hoeveelheid van een brandbaar gas werd verzameld.

De gevormde koper-kool werd in een atmosfeer van zuurstof verbrand, hierbij verdween een gedeelte van de koolstof uit de kool, maar er bleef een koper-koolstofverbinding over, waarop de zuurstof niet verder inwerkte. Wanneer het koper uit deze verbinding door salpeterzuur werd opgelost, bleef koolstof over in den vorm van een zwart neerslag.

¹⁾ Crell. 1796 (2). p. 581, 122.

Van Marum's bedoeling, toen hij deze proeven zoo zorgvuldig herhaalde, was geweest een nader inzicht in de samenstelling van de waterstof en de koolstof te verkrijgen, welke stoffen algemeen ondersteld werden nauw met elkander samen te hangen en gemeenschappelijke grondstoffen te bevatten (zie boven blz. 58). De conclusie door Van Marum uit de proefneming getrokken was, dat zij geen aanwijzing gaf van een verandering van waterstof in koolstof of van een voortbrenging van koolstof uit een vereeniging van waterstof met een ander beginsel, waaromtrent hij „bij den aanvang der proefneming eenig vermoeden had”.

Het ware niet gemakkelijk aan te geven, wat er bij de beschreven reactie precies gebeurde. De werking van het metaal op den damp is tweeërlei, een reduceerende werking, waarbij uit den damp allicht aethyleen zal ontstaan, of een katalytische, onder den invloed waarvan de damp zich zal splitsen in waterdamp en aldehyde. Bij de laatst genoemde metalen is blijkbaar de katalytische werking in het spel geweest. Of een verbinding van koper en koolstof op deze wijze werkelijk ontstaat, mag aan meer bevoegden dan den schrijver ter beoordeeling overgelaten worden. Vermelding verdient, dat de „Hollandsche Scheikundigen” in 1795 koolwaterstoffen verkregen door alcohol-damp door een verhitte porceleinen buis te leiden, zonder medewerking van metalen.

Telkens hebben wij gezien, hoe belangrijk in Van Marum's dagen de proef was van de reductie van het roode praecipitaat wegens de groote rol, welke deze in den strijd der theorieën gespeeld had en nog speelde. Lavoisier had de wenschelijkheid uitgesproken van een eenvoudigen toestel, door welken men de oxydatie van het kwik kon demonstreeren en het oxyde in groote hoeveelheid bereiden. Het viel aan onzen landgenoot gemakkelijk aan dien wensch te voldoen¹⁾. Hij bracht een hoeveelheid kwik in een kolf met zeer langen, nauwen hals, die van boven verbonden werd met een zijner met zuurstof geladen gasometers. Door een brander wordt het kwik tot in de buurt van het kookpunt verhit, bij welke temperatuur het zich gereedelijk met de zuurstof verbindt: deze kon hij met de gewenschte snelheid uit zijn gasometer doen toestroomen en zoo groote hoeveelheden zuiver oxyde bereiden.

Dezelfde toestel kon ook dienen voor het oxydeeren van lood en tin, slechts moesten deze metalen voor dit doel hooger verhit worden, waartoe een kolenvuur dienst deed. De gelijkheid van gewichts-vermeerdering van de stof met gewichts-verlies aan zuurstof kon op die wijze onmiddellijk worden bevestigd. Incidenteel bewees Van Marum, dat metalen in een zuurstof-atmosfeer even goed smelten als aan de lucht, wat door een scheikundige Lentin ontkend was; de korst van oxyde, die zich onmiddellijk

¹⁾ M. van Marum. Scherer 2. p. 504. 1799.

op de oppervlakte van het metaal vormt, had hem verhinderd het vloeien van het metaal te constateeren.

De verbranding van ijzer in zuurstof geschiedde in een ruimte boven kwik. Lavoisier bezigde de ietwat onhandige methode van een klok eerst boven water met zuurstof te vullen, deze dan met behulp van een vlak bord in een kwikvat over te brengen en dan het kwik zoo goed mogelijk te drogen. Van Marum bedacht nu een zeer eenvoudige en doelmatige inrichting om zonder de voorafgaande vulling met water een vat boven kwik met een zuiver gas te vullen, een inrichting, die hem ook voor een aantal andere proeven goed te stade kwam¹⁾. Het glazen vat was van boven van een ijzeren sluitstuk met kraan voorzien; de kwikbak, van hout, was voor een gedeelte van zijn doorsnede zoo diep uitgehold, dat de buis er tot en met de kraan in kon worden neergelaten. Op gemakkelijk begrijpelijke wijze kon men door het vat met geopende kraan in het kwik neer te laten en de kraan op het laatste oogenblik te sluiten, het vat geheel met kwik vullen en dan na opheffing in het ondiepe gedeelte van den kwikbak door dezelfde kraan van boven het gas, in dit geval zuurstof, in de buis toelaten.

Bij de proef met ijzer wordt hiervan naar de methode van Ingenhousz vooraf een geschikte hoeveelheid in de buis aan het sluitstuk opgehangen. De ontbranding wordt, zooals ook veelal elders, ingeleid door het onder-einde van het ijzer van een spoortje phosphorus te voorzien, dat hier met behulp van een gebogen gloeienden ijzerdraad werd aangestoken²⁾.

Van Marum beschrijft verder nog een inrichting, waarmede hij het een of ander in de met gas gevulde ruimte brengen kon, zonder het aan te raken of zonder dat het met het kwik of de dampkringslucht in contact kwam; zonder de bijgevoegde teekening is deze echter niet wel te verstaan.

Vloeistof en damp.

Het voorlaatste hoofdstuk der verhandeling geeft een „beschrijving van toestel en proefnemingen om aan te toonen, dat verschillende vochten in luchtvormige of veerkrachtige vloeistoffen veranderen, wanneer zij in 't ijdeld worden gebracht, of wanneer de drukking der dampkringslucht op dezelve ten naastenbij is weggenomen". De toenmalige kennis hieromtrent was weder grootendeels aan den arbeid van Lavoisier te danken. Lavoisier vulde een fleschje met de vloeistof, sloot het met een blaas zoo goed mogelijk af, plaatste het onder de klok van een luchtpomp en stak na het leegpompen de blaas met een scherpe punt, die luchtdicht naar beneden gedrukt kon worden, door. Met deze inrichting, die de volkomen afwezigheid

¹⁾ M. van Marum. Scherer I. p. 409. 1798.

²⁾ M. van Marum. Scherer I. p. 405. 1798.

van lucht onder de blaas niet voldoende waarborgde, niet tevreden, verving Van Marum de blaas door een ingeslepen stop, die op het juiste oogenblik naar boven uit het fleschje kon getrokken worden.

Bij stoffen met geringe dampdrukking, zooals water, was de verdamping met deze inrichting niet duidelijk genoeg te zien; voor deze bedacht hij dus een andere methode: de stof werd in een glazen buisje met uitgetrokken punt gebracht, waarna de punt werd dichtgesmolten. Het buisje werd dan in een glas met olie geplaatst, zoodanig, dat de punt zich beneden het oppervlak van de olie bevond. Onder de klok van de luchtpomp kon met behulp van een draaibare stang de punt worden afgebroken en den damp die zich vormde zag men dan uit het uiteinde van het buisje in den vorm van dampbellen door de olie opstijgen.

Ten slotte bedacht Van Marum den toestel, waarmede nog tegenwoordig de wetten der dampvorming kunnen worden vertoond en onderzocht en de dampdrukking bij verschillende vloeistoffen kan worden vergeleken. Naderhand bleek hem, dat de toestel veel overeenkomst had met een, die door Volta voor dit doel werd aangewend ¹⁾. In een ijzeren kwikbak kunnen een aantal barometerbuizen naast elkander worden opgesteld, die alle op één na boven het kwik verschillende vloeistoffen bevatten, zoodat de damp-drukkingen onmiddellijk kunnen worden vergeleken; een horizontale index, die langs een verdeelde schaal schuift, maakt het mogelijk de drukkingen nauwkeurig te meten.

De buizen kunnen verder worden neergelaten in één van twee ijzeren buizen, die aan den bodem van het kwikvat als verlengstuk naar beneden zijn bevestigd. Hiermede kan worden aangetoond, dat de dampen, welke uit vloeistoffen in het luchtledig ontstaan, den dampvorm verliezen en weder veranderen in vloeistoffen, „zoodra ze weder aan de drukking des dampkrings worden blootgesteld”. De korte beschrijving, die Van Marum van deze belangrijke proef geeft, geeft niet den indruk, dat hem de standvastigheid van de verzadigings-drukking voor iedere bepaalde vloeistof duidelijk voor oogen stond.

Condensatie van ammoniakgas.

In het laatste hoofdstuk geeft Van Marum behalve de beschrijving van een door hem geconstrueerde luchtpomp, een gewijzigde pomp van Senguerd, die ook als perspomp kon worden aangewend, het relaas van een proef „die veel betrekking heeft tot de proefnemingen in het voorgaande hoofdstuk beschreven: vermits hierdoor, evenals door de gemelde proefnemingen, bewezen wordt, dat de luchtvormige staat van sommige vloeistoffen ophoudt, en dat zij in vochten veranderen, wanneer zij aan den

¹⁾ A. Volta, volgens brief in Ann. de Chim. 12. p. 292. 1792.

hiertoe vereischten graad van drukking zijn bloodgesteld". Deze proef was het eerst genomen met Paets van Troostwijk in Maart 1787, en werd nu met de beschreven toestellen en de nieuwe pomp herhaald.

Zij werd verricht met ammoniakgas, dat verkregen werd door verwarming van een oplossing van ammoniak en werd opgevangen in een in kwik geplaatst glazen buisje, waarnaast een dergelijke buis met lucht was opgesteld. Deze toestel werd onder de klok van de perspomp geplaatst, de pomp werd in werking gesteld, het kwik steeg in de buisjes op en de gassen werden daardoor samengedrukt. Toen de lucht in het eene buisje tot de dubbele dichtheid was gekomen, dus bij een drukking van twee atmosferen, was het ammoniakgas merkbaar meer samengedrongen, en bij drie atmosferen was het kwik tot aan den top gerezen en was het gas geheel in vloeistof veranderd. Bij het aflaten van de persing keerde de ammoniak tot den toestand van gas terug.

Indien deze proef voor Van Marum het uitgangspunt gevormd had voor een verder onderzoek van de toen reeds bekende gassen, zou hij nog meerdere ontdekkingen aan deze hebben kunnen toevoegen; maar hij ging op de zaak niet in en de waarneming trok blijkbaar in het geheel geen aandacht, zoodat bijvoorbeeld in het overigens zeer volledige geschiedkundig overzicht, hetwelk Faraday in 1823 gaf van de verdichting van gassen, de proef van Van Marum niet genoemd wordt.

Men heeft later ook wel gemeend aan Van Marum de eer te moeten ontzeggen van het eerst een gas door compressie in een vloeistof te hebben omgezet, omdat, zooals men uit de medegedeelde cijfers kan opmaken, het gas onzuiver geweest moet zijn; inderdaad zou het gas, indien het zuiver geweest ware, bij de gewone temperatuur onder de aangegeven drukking van drie atmosferen nog niet vloeibaar geworden zijn. De verzadigings-drukking van ammonia is bij 0°C reeds meer dan vier atmosfeer en om het gas bij drie atmosfeer te kunnen condenseeren, zou men de proef bij een vorst-koude van -8°C of daaromtrent moeten nemen, en het is niet waarschijnlijk, dat Van Marum bij die temperatuur aan het experimenteren was. De verklaring van de proef moet dus daarin gezocht worden, dat het ammoniakgas waterdamp bevatte, wat de bereidingswijze in aanmerking genomen niet onwaarschijnlijk is, of zelfs dat in de buis eenig vocht aanwezig was. Wegens de zeer groote oplosbaarheid van ammoniak in water zal de drukking, waaronder een mengsel van ammoniak met een spoor water in zijn geheel vloeibaar wordt, aanmerkelijk kleiner zijn dan voor het zuivere gas. Dit is echter geen reden om de groote beteekenis van de proef te ontkennen: Van Marum bewees, dat ammoniak met een klein bijmengsel van water door drukking vloeibaar wordt; indien het gas volkomen droog geweest ware, zou de condensatiedrukking iets grooter uitgevallen zijn. De proef bewees dus wel degelijk

de zeer gewichtige fundamentele waarheid, dat een gas door drukking in een vloeistof kan overgaan, evenals dit met een onverzadigden damp het geval was; zij was ook niet een toevallige waarneming, maar ondernomen met de blijkbare bedoeling om de vraag te toetsen, of gassen ook dampen van vloeistoffen waren, en men mag het den proefnemer niet tot een gebrek aanrekenen, dat hij zijn conclusie voorzichtig formuleerde en haar niet zonder meer op alle gassen toepasselijk maakte, al staat het ons vrij te betreuren, dat hij geen aanleiding vond het onderzoek voort te zetten en bijvoorbeeld ook den invloed van de temperatuur op het verschijnsel te toetsen.

De proef van Van Marum kan beschouwd worden als een tegenhanger van proeven, die Lavoisier en Laplace¹⁾ een paar jaren te voren genomen hadden met dampen van vloeistoffen als aether, alcohol en water, waarbij bleek, dat deze stoffen boven haar kookpunt bij normale drukking geheel dampvormig waren, en waaruit zij met meer durf dan Van Marum de verstrekkende gevolgtrekking maakten, dat er geen absoluut verschil bestond tusschen dampen en gassen, en dat de laatste door verlaging van temperatuur in condenseerbare dampen zouden zijn te veranderen. Deze conclusie werd ten opzichte van het ammoniak door Guyton de Morveau²⁾ in 1799 bevestigd, toen het hem gelukte dit gas door afkoeling³⁾ zonder samenspersing te verdichten, en daarmee was de tweeledige grondslag gelegd, waarop latere onderzoekers omtrent de condensatie van gassen, in het bijzonder Faraday, konden voortbouwen. De nog ontbrekende hoofdpeiler van het gebouw werd meer dan een halve eeuw later door Andrews gevestigd: hierop zullen wij in het vervolg terug komen.

De verhandeling, welke wij in het bovenstaande doorloopen hebben, geeft telkens een sterken indruk van den onvermoeiden ijver, de vindingrijkheid en het constructief talent van den schrijver. Vermelding verdient zijn streven om de toestellen werkelijk luchtdicht te maken ten einde betrouwbare uitkomsten er mede te verkrijgen, voor welk doel hij zich geen moeite spaarde: in dit verband noemen wij de luchtdichte verbinding tusschen glas en metaal met behulp van een beproefd cement, die hij telkens aanwendde, en de buigzame buizen, die de onderdeelen der ingewikkelde, luchtdichte apparaten met elkaar verbonden. De uitvoerige, keurig bewerkte teekeningen, die de verhandeling begeleiden, zijn eveneens een uiting van den ernst, waarmee hij zijn taak opvatte, om de verbreiding der nieuwe scheikunde te bevorderen, en veel van wat hij vervaardigde is van blijvende waarde gebleken.

Het oordeel van Scherer over Van Marum en zijn hierboven beschreven

1) Lavoisier. J. de Phys. 26. p. 142. 1785.

2) Guyton de Morveau. Ann. de Chim. 29 p. 290. An VII. 1798—1799.

3) Met een koudmakend mengsel; deze mengsels waren een paar jaar tevoren door Lowitz ontdekt en bij ons o. a. door Rouppe bestudeerd. Ook J. B. van Mons schreef een verhandeling over de „kunstmatige koude“.

toestellen zullen wij woordelijk weergeven¹⁾. „Der unermüdete Verfasser liefert hier das Resultat vieljähriger practischer Untersuchungen über die bequemere und zweckmässigere Einrichtung solcher Apparate, welche vorzüglich zu Versuchen, die Hauptsätze der neueren Theorie Lavoisier's theils zu bestätigen, theils deutlicher zu entwickeln dienen. Bei genauerer Prüfung der hier gelieferten Beschreibungen wird man das grosze Talent des Verfassers vielfältig zu bewundern veranlasst werden, mit welchem er die grösste Genauigkeit mit der überraschendsten Simplicität und besonders Bequemlichkeit in der Behandlung bei den angegebenen Apparaten zu vereinigen weisz. Sehr interessant wird es überdiesz auch, durch diese Bemühungen die vielfältige Anwendung kennen zu lernen, deren sein eben so einfacher als wohlfeiler Gasometer fähig ist, ein Apparat, der immer unentbehrlicher bei Versuchen dieser Art wird“.

De meeste der beschreven toestellen met nog een aantal andere, bijvoorbeeld over de wetten van Pascal, voor de uitvloeijing van vloeistoffen, enz., zijn nog heden in het museum van Teyler te vinden en vormen naast de hoefmagneten van Logeman en van Wetteren de trots van deze verzameling.

Verdere werkzaamheid van Van Marum.

Met een en ander is de wetenschappelijke praestatie van Van Marum niet uitgeput. Op electricisch gebied is men hem nog een belangrijke waarneming verschuldigd, die behoort tot het nieuwe tijdperk, dat door de waarneming van Galvani en den vruchtbaren arbeid van Volta wordt ingeleid. Levendig belangstellend in diens onderzoekingen over de galvanische werking bij de onderlinge aanraking van verschillende metalen en geleidende vloeistoffen, wier ontwikkeling hij op den voet kon volgen, daar Volta hem van den gang van het onderzoek per brief op de hoogte hield, voldeed hij onmiddellijk aan diens verzoek, hem door Pfaff, hoogleeraar te Kiel, overgebracht, om de grootte der electriciteits-ontwikkeling van de kolom van Volta, zooals Van Marum haar het eerst betitelde, te vergelijken met wat zijn groote electriseer-machine vermocht te leveren. De proeven werden gezamenlijk met Pfaff en met den Heer Van der Ende²⁾ genomen³⁾. Hij bevond, dat om zijn groote batterij door de zuil te laden tot de spanning der zuil de kortst mogelijke aanraking der pooldraden met de bladtin-bekleedsels voldoende was, zoodat, dus schreef hij aan Volta, „de stroom door uw zuil in beweging gebracht een buitengewone snelheid heeft, die onze verbeelding te boven gaat“. Juister uitgedrukt: de stroom

¹⁾ Scherer's Journal I. p. 692. 1798.

²⁾ A. v. d. Ende (1768—1846), Predikant, werd in 1803 lector van Teyler, later inspecteur onderwijs. Schreef over den donder (Holl. Maatsch. II (1) 1803) en over den waterram (Kon. Inst. 1840).

³⁾ M. van Marum. Brief aan Volta. Alg. Konst- en Letterb. 2 p. 370, 388. 1801.

heeft een buitengewoon groote sterkte, d. w. z. de hoeveelheid electriciteit door de electriche spanning van de zuil in bepaalden tijd geleverd is zeer groot in vergelijking met wat door middel van een electriseer-machine is te verkrijgen. Wanneer men de polen van een electriseer-machine, terwijl deze in werking is, door een geleider verbindt, zal er door dezen een stroom loopen, die onvergelykelyk veel zwakker is dan die, welken de zuil kan voortbrengen. Zoo komt het, dat de eigenschappen van electriche stroomen eerst ontdekt werden of uitvoerig onderzocht konden worden, nadat de galvanische opwekking gevonden was. De ontleding van water door de zuil van Volta, spoedig na hare ontdekking door Nicholson en Carlisle waargenomen, gaat veel sneller dan door de werking van de electriche ontlading, die Deiman en Paets van Troostwijk het eerst hadden aangetoond, omdat het bedrag der ontleding evenredig is met de hoeveelheid electriciteit, die door het water gestuwd wordt. Toch zou het nog tot 1820 duren, alvorens de natuurkundigen onder den invloed van de ontdekking der magnetische werking van stroomen door Oersted het onderzoek van de eigenschappen der stroomen ernstig ter hand konden nemen.

In het voorbijgaan maken we melding van een aantal proeven met de „zuil van Volta” door W. van Barneveld. Zijn mededeeling daaromtrent doet zien, dat bij het in het inzicht in de werking der zuil reeds een heel eind gebracht had.

Nu wij op het punt staan om van de werkzaamheid van Van Marum op wetenschappelyk gebied af te stappen, zullen wij nog enkele verdere onderwerpen opnoemen, waarmede hij zich gedurende zijn werkzaam leven heeft bezig gehouden. Op zuiver natuurkundig gebied liggen zijn verbeteringen van den Papiniaanschen pot en zijn bemoeiingen ter opheldering van de bekende echo te Muiderberg, naar aanleiding van een onderzoek daaromtrent van J. Buys en Ph. W. Linden van Dijk¹⁾. Verder deed hij een groot aantal waarnemingen en onderzoekingen op naturalistisch terrein, die wij terzijde moeten laten, en eindelijk maakte hij zich verdienstelyk in verband met verschillende practische quaesties: de luchtzuivering en ventilatie, ook aan boord van schepen, het opwekken van de levensgeesten bij drenkelingen door zuurstof en door dampbaden, de constructie van een draagbare brandspuit²⁾ en van dampbaden ten gebuike voor lijders aan cholera. Inderdaad mogen wij trotsch zijn op Van Marum als een Nederlander, die in hooge mate tot den roem van de nationale wetenschap heeft bijgedragen.

Hollandsche Scheikundigen.

Het succes, dat Deiman en Paets van Troostwijk met hunne proef

¹⁾ Verh. Holl. Maatsch. 6 (1) p. 123, 154. 1812.

²⁾ Ann. de Chim. 46. p. 3. 1802—1803.

over de ontleding van water oogstten, was hun een spoorslag op den ingeslagen weg voort te gaan. Binnenkort vereenigden zij zich met Nieuwland, die toen nog lector te Amsterdam was, en met den hoogleeraar in de botanie N. Bondt ¹⁾ tot een gezelschap, dat zich wetenschappelijk onderzoek op scheikundig gebied ten doel stelde. Om dit met vrucht te kunnen doen en de verkregen uitkomsten te kunnen publiceeren was finantieele steun noodig, die hun door eenige vrijgevege belangstellende Amsterdamsche heeren werd verleend ²⁾. Later werd A. Lauwerenburgh in den kring opgenomen. Ten gevolge van zijn vertrek naar Leiden en zijn spoedig gevolgden dood verdwijnt de naam van Nieuwland; na het verscheiden van Bondt in 1796 kwam G. Vrolik ³⁾ den kring versterken.

De mededeelingen van dit gezelschap verschenen in het Fransch — Nieuwland was met de vertaling belast — onder den titel van „Recherches physico-chymiques”, maar deze reeks eindigde reeds in 1793, nadat drie „cahiers” in het licht verschenen waren, en sedert dien vindt men ze alleen in andere tijdschriften, zooals in Crell, Scherer, Kasteleyn’s chemische en physische oefeningen en later de Nieuwe Scheikundige Bibliotheek. Een Hollandsche uitgave der Recherches van 1799 gaf een samenstelling van wat tot dusver geleverd was, die door nog drie stukken gevolgd werd.

De onderzoekingen, welke aan deze mannen te danken waren, betreffen grootendeels óf onderwerpen, die onmiddellijk met de theorie van Lavoisier samenhangen, óf de kennis der gassoorten en verdienen dus hier een korte bespreking. Hoe men in het buitenland en in het bijzonder Parijs over de onderzoekingen van Deiman c.s. dacht, blijkt uit de betiteling van „de Hollandsche Scheikundigen”, die zij aldaar spoedig verwierven en die terecht als een eeretitel werd beschouwd: men kon zich niet voorstellen, dat dergelijk werk door enkele particuliere personen zonder den steun van een genootschap kon worden verricht en men meende in hen de woordvoerders van een groot lichaam te moeten zien. Duidelijk spreken ook de loftuitingen, die hun nu en dan door de vermaardste scheikundigen in het buitenland werden toegezwaaid.

Stikstof-oxydule.

Het eerste onderzoek, dat de verbindingen der alcali-metalen met

¹⁾ N. Bondt (1765—1796). Hoogl. in de botanie te Amsterdam 1794; beantwoordde in 1790 met A. van Stipriaan Luisius een prijsvraag van de Société royale de Médecine te Parijs over de eigenschappen en bestanddeelen van de melk bij mensch en dieren. Zie necroloog van J. R. Deiman, Alg. Konst- en Letterb. 6, p. 75. 1796. (2) J. de Pharmacie 6 (2) p. 385.

²⁾ H. Hope, H. Muilman, P. Muilman, P. de Smeth, W. Six en Th. Hope; de Smeth is niet onwaarschijnlijk dezelfde persoon, dien wij reeds als den schrijver van een scheikundige dissertatie zijn tegengekomen.

³⁾ G. Vrolik (1775—1859), de latere bekende hoogleeraar in botanie, physiologie enz. te Amsterdam.

zwavel betrof, zullen wij onbesproken laten ¹⁾. Het tweede ²⁾ had betrekking op het stikstof-oxydule, een gas, dat door Priestley ontdekt en nog alleen door hem onderzocht was. Onze scheikundigen voegden aan de door hem gevonden bereidingswijzen nog een nieuwe belangrijke toe, namelijk door verhitting van ammoniumnitraat ³⁾. Zij bevonden, dat het gas met waterstof explodeerde en bezigden dit verschijnsel om zijn samenstelling op te sporen. Daarbij werd gevonden, dat het gas, niettegenstaande het de verbranding kan onderhouden, toch minder zuurstof bevatte dan het stikstof-oxyde en wezen het daarmede zijn juiste plaats in de reeks der oxyden van het stikstof aan. Misschien mag nog gewezen worden op het voortdurend gebruik, hetwelk de schrijvers in beide verhandelingen bij hunne verklaringen van de reacties maken van het beginsel, dat stoffen veel sterker op andere kunnen inwerken, wanneer zij in den status nascens verkeerden.

Verbranding van metalen in zwaveldamp.

In 1793 maakten de Hollandsche scheikundigen de gewichtige ontdekking van de directe vereeniging van metalen met zwavel onder licht- en vuurverschijnselen, onder afsluiting en bij geheele afwezigheid van lucht ⁴⁾. Achtereenvolgens werd aangetoond, dat het vuurverschijnsel niet van de stoffen afzonderlijk afkomstig was, maar werkelijk aan de verbinding der beide stoffen was toe te schrijven; dat de proef het best gelukte, indien de verhouding der beide stoffen een bepaalde waarde had, en dat de gunstigste gewichtsverhouding voor ieder der metalen (koper, ijzer, zink en tin) een andere was. Dat noch zuurstof noch lucht op eenige wijze aan de werking deelnamen, werd langs de meest verschillende wegen aangetoond.

Uit het oogpunt van de verbrandings-theorie van Lavoisier scheen deze reactie aanvankelijk buitengemeen bedenkelijk en dreigde een oogenblik haar te zullen onttroonen: immers hier werden verbrandings-verschijnselen waargenomen bij geheele afwezigheid van zuurstof, terwijl men dit gas juist als het voor verbranding noodzakelijke element had leren beschouwen. De ontdekkers zelve schenen door het onverwachte verschijnsel eenigszins uit het veld verslagen en wisten niet recht wat er van te denken; zij gaven althans bij hun publicatie niet duidelijk aan, in hoeverre hierin aanleiding moest worden gevonden om de theorie van Lavoisier te verlaten of haar uit te breiden. ⁵⁾ Terwijl zij slechts aarzelend en eerst later vollediger een mogelijke verklaring aangeven, werd door Van Marum de beteekenis der ontdekking oogenblikkelijk helder doorzien. ⁶⁾ Zijn meening was, dat

¹⁾ Deiman c.s. J. de Phys. 40. p. 409. 1792. Ann. de Chim. 14. p. 294. 1792.

²⁾ Deiman c.s. J. de Phys. 43. p. 321. 1793. Gren. N. J. 1. p. 243. 1795.

³⁾ Hierover later H. W. Rouppe. Alg. Konst en Letterb. 4. p. 49. 1795. (2).

⁴⁾ Kasteleyn, chem. en phys. oef. 3. p. 147. Crell 1793 (2). p. 383.

⁵⁾ Crell 1793 (2) p. 398. Kasteleyn, chem. en phys. oef. 3. p. 147. Alg. Konst- en Letterb. 11 p. 180. 1793 (2).

⁶⁾ M. van Marum. Alg. Konst- en Letterb. 1. p. 65. 1794 (1).

„deze proeven het stelsel van Lavoisier niet alleen in 't geheel niet tegenspreken, maar dat zij in zeker opzicht inderdaad ter bevestiging van hetzelfde dienen". Wel had Lavoisier bij de eerste voorstelling van de verbranding gemeend, dat de zuurstof het eenige middel was om deze teweeg te brengen, maar later erkende hij, dat de warmtestof in alle lichamen aanwezig was en dus bij de verbranding niet alleen uit de zuurstof, maar ook uit het verbrandende lichaam vrij werd. Van Marum sloot zich daarbij aan en paste nu deze opvatting op de nieuw ontdekte werking toe; indien de zelfstandigheid, welke uit de verbinding van het metaal met de zwavel geboren werd, minder warmte-stof bevatte dan het metaal en de zwavel afzonderlijk, dan zou er bij de verbranding van die warmte een gedeelte vrij kunnen worden en het product der scheikundige werking tot gloeihitte kunnen brengen. Deze verklaring is in de woorden van die periode niet anders dan het inzicht nog van heden, met dit onderscheid — boven kwamen wij dit reeds eenmaal tegen — dat men de ontwikkelde warmte thans niet meer als latente warmte uit de lichamen afzonderlijk afleidt, maar beschouwt als voortspruitende uit en æquivalent met het arbeidsvermogen van de scheikundige affiniteit tusschen de lichamen onderling. Deiman c.s. wilden nog een merkbaaren invloed toeschrijven aan het vloeibaar zijn der verbinding bij haar ontstaan, als wanneer ze dus relatief veel warmte bevatten, die mede vrij kon worden ¹⁾, maar Van Marum wees er op ²⁾, dat deze invloed niet in aanmerking kwam, omdat de producten eerst later vast werden. Toch schijnt Deiman er aan te zijn blijven vasthouden ³⁾.

De verdienste van de draagkracht dezer ontdekking zoo vroegtijdig te hebben doorzien springt nog meer in het oog, als men opmerkt, hoe vele scheikundigen van naam in het buitenland de proef meenden te moeten betwijfelen, op onjuiste wijze uitlegden of kleine bijkomstige neven-reacties voor essentieel aanzagen ⁴⁾.

In nauw verband met het laatste onderzoek staat een ander, hetwelk de Hollandsche scheikundigen er onmiddellijk op deden volgen, over de verbinding van zwavel met ijzer en andere metalen in tegenwoordigheid van water ⁵⁾. Uit een reeks van proeven, waarin de reactie ook onderzocht werd onder vervanging van het water door verdund zwavelzuur en zoutzuur, trokken zij de slotsom, dat de sulphiden der metalen het water in zijn bestanddeelen konden scheiden, ook bij diegene hunner, welke zonder zwavel niet in staat waren hetzelfde te doen; hiermede was een overeenstemming met het gedrag der alcalische sulphiden gevonden, die op analogen

¹⁾ Deiman c.s. ib. p. 73.

²⁾ Van Marum. ib. p. 82.

³⁾ J. R. Deiman. Crell 1795 (2) p. 507.

⁴⁾ Een juist inzicht toonde ook J. B. van Mons. Kasteleyn. Chem. en Phys. oef. 3. p. 277. Crell 1794 (2) p. 55.

⁵⁾ Crell 1794 (1) p. 296. Kast. ib. 3 p. 230.

bouw van de beide groepen kon wijzen; toen ter tijde was deze nog niet aangetoond: integendeel, men meende, dat de laatste verbindingen waren van zwavel met de bijtende alcaliën in plaats van met de alcalische metalen zelve.

Koolwaterstoffen.

Een verhandeling van 1795 over koolwaterstoffen, in het bijzonder aethyleen, deed den roem der Hollandsche scheikundigen nog meer stijgen¹⁾; door dezen arbeid werd de tegenwoordige kennis van de samenstelling dezer stoffen eigenlijk eerst gegrondvest. De bereiding van aethyleen uit zwavelzuur en alcohol werd tot in alle bijzonderheden nagegaan en beschreven; de dichtheid van het gas werd gemeten, de vereeniging van het gas met het chloor tot een olie-achtige vloeistof ontdekt en het bewijs werd geleverd, dat het gas uit koolstof en waterstof bestond.

Koolwaterstoffen werden ook verkregen uit aether of alcohol met salpeterzuur en uit dezelfde stoffen bij doorleiding door een gloeiende buis van klei-aarde of aluin-aarde, of door een gloeiende glasbuis, mits met stukken van deze aarden gevuld. Zonder aanwezigheid daarvan gelukte de reactie niet. Men heeft hier te doen met een afsplitsing van water door alcohol, waarbij het onverzadigde aethyleen ontstaat, onder den „katalytischen” invloed van de aarde. Onder een katalysator verstaat men een zelfstandigheid of een agens, dat de snelheid van een reactie bevordert, zonder er overigens zelf aan deel te nemen. Meer dan een eeuw later werd deze reactie door Sabatier in helder licht gesteld.

De beroemde Fransche volgeling van Lavoisier, Fourcroy²⁾, schreef naar aanleiding van dit laatste onderzoek als volgt: „Les ingénieuses recherches des Chimistes Hollandais sur le gaz olifiant sont du petit nombre de celles, qui fournissent de nouvelles vues. Elles tiendront ainsi que celles, qu'on leur doit déjà sur la décomposition et la récomposition de l'eau par l'électricité, sur les sulfures alcalins et métalliques etc. un rang distingué dans la Chimie Pneumatique, aux progrès de laquelle ils ont attaché la gloire de leurs travaux et de leurs découvertes”.

Vervolg.

Het volgende onderzoek van 1796 betref de vorming van aether uit alcohol en salpeterzuur³⁾. Incidenteel zien wij daaruit, hoe onvolledig het inzicht der chemici in de verdampings-verschijnselen nog was: blijkbaar hielden zij den aether en zijn damp voor twee verschillende lichamen,

¹⁾ Crell 1795 (2) p. 195, 310, 430.

²⁾ Fourcroy. Ann. de Chim. 21. p. 48 (71). 1796—1797.

³⁾ Crell. 1796 (2) p. 110, 222. Kasteleyn. l.c. p. 293.

ondanks hunne waarneming, dat alles in damp kon overgaan, wanneer men niet afkoelde, terwijl het distillaat zich tot vloeistof verdichtte, als men den damp sterk afkoelde.

Ontleding van koolzuur.

De verwarring, die nog altijd op het gebied van brandende gassen bestond, spreekt zich duidelijk uit in de proeven der Hollandsche scheikundigen over de ontleding van koolzuur door de electriche vonk ¹⁾. De volume-vermeerdering, welke bij het doorgaan van de vonk plaats vindt, was door Van Marum en Paets van Troostwijk in 1785 waargenomen en de aard van de producten was in 1788 door Van Marum met Landriani onderzocht. Het heeft den schijn, alsof Deiman c.s. dit laatste onderzoek geheel over het hoofd gezien hebben: zij maken er althans geen melding van. Zij onderzochten het gas-mengsel, dat zich bij het vonken vormde; een gedeelte loste in kalkwater op — dat was dus het niet ontlede koolzuur — en het overschot was ontplofbaar: volgens hen was dit een mengsel van waterstof en zuurstof, afkomstig uit het water, hetwelk het koolzuur heette te bevatten. De aanwezigheid van zuurstof werd op de gewone wijze met stikstof-oxyde bewezen. Op de voor de hand liggende opmerking, waarom het ontplofbare mengsel bij het vonken zelf niet tot ontploffing gebracht wordt, gaven zij het vernuftige antwoord, dat dit door de overmaat van koolzuur verhinderd wordt; en dit is ook inderdaad juist: bij het vonken zal er een toestand van stationnair evenwicht ontstaan, waarbij het mengsel van kooloxyde en zuurstof, dat zich uit het koolzuur vormt, niet meer toeneemt. Het is jammer, dat de ontdekking van het kooloxyde, die zoo vlak voor de hand lag, aan onze onderzoekers moest ontgaan.

Verdere proeven.

Van kort daarop dateeren eenige proefnemingen omtrent den nadeeligen invloed van kwikdamp op het leven van planten ²⁾, waarmede de Hollandsche scheikundigen een analogie zochten vast te stellen tusschen planten en dieren. Wij zagen reeds, hoe Van Marum een dergelijke analogie ten opzichte van de „prikkelbaarheid” naspoorde. Met de vermelding van dit onderzoek kunnen wij volstaan.

Ook over de proeven betreffende de werking van chloor op ammoniak zullen wij niet lang uitweiden ³⁾. Fourcroy had gemeend zuivere stikstof verkregen te hebben door een stroom van chloor door de oplossing van

¹⁾ Deiman c.s. Crell. 1796 (2). p. 291. Kasteleyn. Chem. en phys. oef. 3. p. 318.

²⁾ Kasteleyn, chem. en phys. oef. 3. p. 375. Scherer. 1. p. 667. 1798. Natuur-scheik. Verhand. 1799. Dit was het laatste onderzoek, waar Bondt aan deelnam.

³⁾ Nieuwe Scheik. Bibl. 1. p. 167. 1798. Scherer. 3. p. 730. 1800. Natuur-scheik. Verhand. 1799.

ammoniak te leiden. Deiman c.s. vonden, dat er inderdaad stikstof ontstond, maar dat dit gas van den beginne af met een brandbaar gas, waterstof, gemengd was; deze stof zou dus niet geheel tot water geoxydeerd worden.

Aard van stikstof.

Van zeer groot belang was het onderzoek door de Hollandsche scheikundigen over den aard van stikstof¹⁾. Lavoisier had deze stof onder de elementen gerangschikt, maar deze zienswijze werd door velen niet gedeeld. Op dat tijdstip liep de vraag over het ontstaan van stikstof uit waterdamp, wanneer deze door gloeiende buizen geleid werd. Deze waarneming van Priestley was door velen bevestigd en werd door de nog altijd niet overtuigde phlogistici als argument tegen de theoriën van Lavoisier gebruikt. Deiman en zijn medewerkers brachten deze zaak nu door een reeks van uitstekende proeven tot volledige klaarheid: de gevonden stikstof was niet uit den waterdamp afkomstig, maar drong van buitenaf door de buizen naar binnen. Werden namelijk glazen buizen gebezigd, die goed luchtdicht waren, in plaats van poreuze buizen van porcelein, zoo werd in het gas geen stikstof aangetroffen. Voorts vonden zij in het gasmengsel bij het gebruik van aarden buizen behalve stikstof ook koolzuur, dat uit het voor de verhitting gebezigde kolenvuur afkomstig moest zijn en dus door de buis heengekomen was. Werd de aarden buis luchtdicht door een glasbuis omgeven, zoo bleef stikstof uit. Dat er alleen stikstof en geen zuurstof naar binnen kwam, was het gevolg van het verbruik van de zuurstof in het kolenvuur: werd het kolenvuur weggenomen, zoo werd ook onmiddellijk nevens stikstof zuurstof aangetroffen. Alles wees er dus op, dat de stikstof van buiten de buizen binnendrong, en bij de proeven van vroegere waarnemers waren de buizen niet luchtdicht geweest.

In volgende verhandelingen werd dit alles nader bevestigd. Zoo had men ook stikstof verkregen door water te doen druppelen in een gloeienden koperen bol, die uit twee aan elkander bevestigde halve bollen was samengesteld; Deiman c.s. gebruikten nu voor deze proef een koperen bol uit één stuk en verkregen geen stikstof; de sluiting tusschen de halve bollen had derhalve gelekt.

Een verdere mooie proef bestond daarin, dat de aarden buis, waardoor de waterdamp gevoerd werd, omgeven werd door een ander gas dan lucht, en telkens vingen zij nu ook juist dat gas op, hetwelk zich aan de buitenzijde van de buis bevond.

Een uitstekend gestelde polemische verhandeling tegen Girtanner²⁾ was het laatste, wat van hun hand over dit onderwerp verschenen is.

¹⁾ Deiman c.s. Crell. 1798 (1) p. 8, 110; 1799 (1) p. 249. Scherer 4. p. 3. 1800. Nieuwe Scheik. Bibl. 1. p. 89, 273. Nat. en Scheik. Verh. 2de stuk. Ann. Chim. 29. p. 225. 1798—1799.

²⁾ Deiman c.s. Scherer 6. p. 115, 119. 1801. Nat. Scheik. Verh. 3de stuk, eerste verh. 1800.

De eenige fout, van ondergeschikt belang trouwens, welke in dit voortreffelijk onderzoek te ontdekken valt, is de verklaring van het binnendringen van het gas; volgens deze zou binnen in de buis door het condenseeren van den waterdamp in het koudere gedeelte van de buis een gedeeltelijk vacuum ontstaan, dat aan de onder normale drukking buiten de buis aanwezige gassen de gelegenheid bood om naar binnen te dringen. Terecht werd deze verklaring door Van Mons ¹⁾, die overigens de groote waarde der proeven ten volle beseftte, verworpen; in een zelfde wijde buis kan niet naast de gewone drukking een aanmerkelijk lagere drukking bestaan bebben; maar het gas kon toch ook zonder dat door de poreuze buis naar binnen diffundeeren, zoodat het feitelijk gebeuren niet in twijfel behoefde te worden getrokken.

Door Berthollet werd aan onze scheikundigen een welverdiende hulde voor hun afdoend onderzoek gebracht ²⁾ en de tegenstanders lieten verder niets meer van zich hooren.

Kooloxyde.

Na vermelding van een onderzoek van zuiver scheikundigen aard over het salpeterigzuur en deszelfs zouten ³⁾, hetwelk eenig verband hield met hun vroeger werk over stikstof-oxydule, bespreken wij ten slotte in het kort den laatsten arbeid, die door de zoo vruchtbare samenwerking der Amsterdamsche scheikundigen tot stand kwam; het „last not least” is daarop niet van toepassing. Het had betrekking op het intusschen door Priestley uit metaal-oxyden met koolstof verkregen kool-oxyde ⁴⁾, waarvan zij het bestaan meenden te moeten ontkennen. Volgens hen was het reeds verdacht, dat Cruikshank, die het nieuwe gas uit barium-carbonaat met ijzer-oxyde of uit ijzer met krijt bereidde, het gas beschouwde als koolzuur, gedeeltelijk van zijn zuurstof beroofd, terwijl Fransche scheikundigen het verkregen uit koolzuur met koolstof en het dienovereenkomstig opvatten als koolzuur met een overmaat van koolstof; blijkbaar zagen zij hierin een essentieel verschil. Zij beproefden de bereiding met koper in plaats van ijzer, wat niet gelukte, en dit moest bewijzen, dat de reactie met het ijzer verkeerd was geïnterpreteerd. Bovendien vonden zij ook een brandbaar gas, indien zij stikstof in plaats van koolzuur leidden door een verhitte ijzeren buis met houtskool. Zij meenden ten slotte te moeten besluiten, dat het brandbare gas, hetwelk langs al die verschillende wegen verkregen was, een koolwaterstof was. Bij het explodeeren met zuurstof verkregen zij namelijk een

¹⁾ J. B. van Mons. Ann. de Chim. 36. p. 180. 1800.

²⁾ Berthollet. Ann. de Chim. 35. p. 23. 1799—1800.

³⁾ Scherer 7. p. 243. 1801. Nat.-Scheik. Verh. derde stuk, tweede verh. 1801.

⁴⁾ Société des chim. Hollandais. Ann. de Chim. 43. p. 113. 1801—1802. Nat. Scheik. Verh. derde stuk, derde verh. 1802.

aanmerkelijke hoeveelheid water en door inwerking op zwavel zwavelwaterstof. De vorige onderzoekers moesten dus een koolwaterstof verkeerdelijk voor een nieuw gas hebben aangezien: de waterstof zou uit de koolstof, die immers altijd waterstof of water zou bevatten (zie boven blz. 58, 62), afkomstig zijn.

In een toevoegsel ¹⁾ sprak Fourcroy de meening uit, dat de waterstofverbinding, welke zij verkregen hadden, slechts een bijmengsel geweest kon zijn, en hij hield tegenover hen, evenals tegenover Berthollet, die evenmin in het nieuwe gas wilde gelooven, het bestaan van de nieuw ontdekte koolstof-zuurstofverbinding vol. Inderdaad moeten wij erkennen, dat onze landgenooten bij deze gelegenheid geen blijken gegeven hebben van een quantitatief juist blik op hunne proeven.

Na den dood van Deiman verscheen nog een verhandeling over de zelfontbranding van metaal-oxyden en van gemakkelijk oxydeerbare metalen, wanneer ze onmiddellijk na hun vorming in fijn verdeelden toestand worden uitgestort ²⁾. Hiermede sluit deze serie van publicaties.

Wanneer wij later nog eens van de overgebleven Hollandsche scheikundigen hooren, in een mededeeling van Paets van Troostwijk en Lauwerenburgh van 1814 ³⁾, dan ontbreekt de weerklink van het voortreffelijke werk van vroegeren tijd: ditmaal zouden zij uit zoutzuur-gas zuurstof hebben afgezonderd. Trouwens welke scheikundigen uit die periode, zelfs onder de allervoornaamsten, waren van dergelijke feilen vrij? De minder gelukkige uitslag der laatste proeven zal ons niet behoeven te verhinderen onze bespreking van den arbeid der Hollandsche scheikundigen te besluiten met een uiting van bewondering voor hetgeen zij ter ontwikkeling der natuur-scheikundige wetenschap in hunne dagen hebben bijgedragen.

Samenvatting.

Onze lezers, ook zij, die van de natuur-wetenschap geen bijzondere studie gemaakt hebben, zullen uit het boven gegeven overzicht van de werkzaamheden onzer landgenooten een indruk verkregen hebben van de belangrijke rol, welke zij in de besproken periode bij de grondvesting en eerste ontwikkeling der moderne scheikunde hebben gespeeld. In het nu volgend tijdperk, waar mannen als Dalton, Davy, Avogadro en Gay-Lussac op den voorgrond treden, nemen Nederlandsche onderzoekers geen belangrijk aandeel in de uitbreiding, die aan de beginselen der scheikundige wetenschap nog moest worden gegeven; des te meer valt hun arbeid gedurende de laatste twintig jaren van de achttiende eeuw in het oog. Geven wij nog een bewijs, hoe een man als Deiman bij vakkundigen stond aangeslagen: in de reeks van portretten van beroemde levende scheikundigen, die in

¹⁾ I. c. p. 132.

²⁾ Nat. Scheik. Verh. 4de stuk. 1ste verh. 1808.

³⁾ Verhand. 1ste Klasse Kon. Ned. Inst. 4. 1818.

achtereenvolgende deelen van zijn tijdschrift door Scherer werden opgenomen, prijkt in de zevende plaats de beeltenis van Deiman na die van Berthollet, Guyton, Van Mons, Achard, Scheele en Black. Daarna volgden nog Fourcroy, de beide Jacquin's en Ingenhousz.

Hoe men in Nederland en in het bijzonder in Amsterdam, waar Deiman voortdurend als praktizeerend geneesheer werkzaam bleef, over hem dacht, daarvan leggen na zijn dood twee „lofreden” welsprekend getuigenis af, een van den bekenden letterkundige en dichter J. de Bosch in „Concordia et Libertate” gehouden en een van J. E. Doornik¹⁾ in de Amsterdamsche afdeeling van de Hollandsche Maatschappij van fraaie Kunsten en Wetenschappen. De laatste lofredenaar was niemand anders dan de beroemde natuuronderzoeker-naturalist, wiens naam onder de voorloopers van Darwin een eervolle plaats inneemt.

Opmerkelijk is het, dat aan Deiman blijkbaar de eerste rang onder zijn medewerkers nooit werd betwist, terwijl hij omgekeerd bij voorkomende gelegenheid, zooals bij den dood van Nieuwland en van Bondt, aan hen in hartelijke bewoordingen, zonder de in die dagen gangbare overdrijving en wijdloopigheid, hulde wist te brengen. De bijeenkomsten van het gezelschap hadden ook althans in den aanvang ten zijnen huize plaats, zooals uit het volgende „knipbriefje” van Nieuwland blijkt, waarin hij zich bij zijn Anna Pruyssenaar verontschuldigt:

Wigtige geleerde zaken,
Die hem ten allernaauwste raken,
Verpligten hem
Naar Doctor Deiman's huis te gaan,
Wil dus hem met de thee niet wachten.

Toch heeft men gronden om te gelooven, dat de werkzaamheden later elders plaats vonden²⁾.

Het strekt aan Deiman, als aan Paets van Troostwijk, tot eer, dat de samenwerking van deze beide groote mannen zoovele jaren lang ononderbroken en onverstoord bleef voortduren. Maar dit juist maakt het voor den geschiedvorscher moeilijk het aandeel, dat aan ieder van hen in het succes van hun arbeid toekomt, naar waarde te schatten. Waar wij aan de eene zijde Deiman in Nederland en daarbuiten zoo overvloedig zien huldigen, en anderzijds lezen, hoe Paets van Troostwijk werd aangeslagen, hoe een bevoegd beoordeelaar als Van Swinden hem met Lavoisier op gelijken rang meende te mogen stellen³⁾, daar valt het ons zwaar hun

¹⁾ J. E. Doornik (1777—1837). Een lezenswaarde bespreking van dezen „vergeten Nederlander” van de hand van J. van Baren, met een volledige lijst van geschriften vindt men in het Jaarboekje voor Gesch. en Oudheidkunde van Leiden en Rijnland 6. 1909.

²⁾ In een huis op de Plantage, volgens een mededeeling van Professor J. M. van Bemmelen aan Dr. Van der Horn van den Bos.

³⁾ J. H. van Swinden in diens „Lijkrede” op Nieuwland (boven blz. 19).

verdienden tegen elkaar af te wegen. Deiman werd door buitenlandsche vakgenooten zonder twijfel als de leider der Hollandsche Scheikunden beschouwd en ook in het eigen land is hem later steeds de eerste rang toegekend ¹⁾. Door Dr. van der Horn van den Bos is met groote overtuiging de stelling verdedigd, dat Paets van Troostwijk de drijvende kracht en de ziel van het gezelschap moet geweest zijn ²⁾. Zijn bescheidenheid, waarvan door zijn tijdgenooten telkens gewag gemaakt wordt, en daarnevens de omstandigheid, dat hij geen doctorale titel had, zouden de oorzaken zijn, waarom zijn voorrang in de publicaties nergens blijkt. Merkwaardig is het zeker, dat Paets van Troostwijk van huis uit geen geleerde, maar koopman was, en dat hij tot op hoogen leeftijd in de wetenschap werkzaam bleef. Als lid van het Koninklijk Instituut schreef hij onder eigen naam nog een verhandeling over den invloed van samengeperste lucht op planten, dieren, gisting, rotting en opbruising ³⁾ en één over de gevoeligheid van planten voor electriche ontladingen ⁴⁾. Ook deed hij veel nuttig werk in de talrijke sub-commissies, waarin hij benoemd werd, tot op den dag, dat hij zich, 20 jaar vóór zijn dood, uit het openbare leven terugtrok.

Over Deiman kan nog worden medegedeeld, dat hij voortdurend met geneeskundige en pharmaceutische vraagstukken bezig bleef ⁵⁾ en dat hij met P. Driessen, S. J. Brugmans, G. G. ten Haaff ⁶⁾ en G. Vrolik de opdracht verkreeg tot het samenstellen van een Nederlandsche Pharmacopaea.

Slot.

Wij mogen van de Nederlandsche scheikundigen uit de periode van Lavoisier geen afscheid nemen zonder nog eens den naam te noemen van een vakgenoot, die op verwant terrein werkzaam was, van Stipriaan Luiscius ⁷⁾, dien wij tegenkwamen als medewerker van van Bondt (Blz. 69). Van zijn hand kennen wij meerdere geschriften over de scheikundige processen, welke een rol spelen bij rotting en gisting. Al zijn de denkbeelden, welke daarin werden ontwikkeld, nu voor een

¹⁾ B. J. Stokvis. Jaarboek Amsterdam. 1891—1892.

²⁾ H. P. M. van der Horn van den Bos. Arch. Teyler (2) 9. p. 155. 1905.

³⁾ Verh. Kon. Inst. 1810. p. 29.

⁴⁾ ib. 1815. p. 43.

⁵⁾ De volgende opgave van titels kan doen zien, welke onderwerpen Deiman alzoo ter hand nam: oorsprong der bergen 1787, invloed van het klimaat op het dierlijk lichaam 1793, warme en koude baden 1797, over den steen- en metaalregen 1806.

⁶⁾ G. G. ten Haaff (1719—1791) was geneesheer en lector te Rotterdam.

⁷⁾ A. van Stipriaan Luiscius (1753—1829) was geneesheer en lector te Delft. Antwoord op prijsvraag van Bat. Gen. over Rotting 1796; idem over Rotziekte 1801; idem van de Ned. Huish. Maat. over het herstellen van onzuiver water 1805; het middel door hem aanbevolen was ijzersulfaat + ijzeracetaat; idem van de Holl. Maat. over bederf van stilstaand water 1808; over de berookingen volgens Guyton de Morveau met chloor 1824. Hij construeerde een „zee-peiler” of „bathometer” 1805 en deed galvanische proeven in 1803. Geneeskundig magazijn, door hemzelf met anderen opgericht).

deel verouderd, voor den tijd waren ze verdienstelijk en zij nemen hun plaats in de ontwikkeling der scheikunde van de organische stoffen in.

Ook zij genoemd een verhandeling van den Harderwijkschen botanicus Schacht¹⁾ over de vraag, of er in de dierlijke lichamen, evenals bij de planten heeft, water ontleed wordt, hoe deze ontleding geschiedt en welke hare uitwerkselen en gevolgen zijn²⁾.

¹⁾ C. P. Schacht (1767—1800) was een veelbelovend onderzoeker, die door een ongeneeselijke borstkwaal in zijn werk belemmerd werd: reeds in 1792 publiceerde hij galvanische proeven.

²⁾ Nieuwe chem. en phys. oef. 1. p. 204. 1798.

HOOFDSTUK II.

OPKOMST DER MODERNE NATUURKUNDE NA 1800.

Inleiding.

In het voorafgaande gedeelte van onze geschiedkundige beschouwing zijn wij op enkele punten de negentiende eeuw een eindweegs binnengedrongen. Groote ontdekkingen of zelfs belangrijke onderzoekingen uit de aanvangsjaren van de nieuwe periode zijn op de rekening der Nederlandsche natuuronderzoekers niet te boeken. De politieke toestand van Europa was niet bevorderlijk voor een opgewekte wetenschappelijke werkzaamheid en ons land leed ook in dit opzicht zwaar onder den druk der tijden. Gelukkig dat wij nog een enkelen man als Van Swinden en Krayenhoff bezaten, die den overgang tot betere tijden konden vormen.

In het buitenland zien wij de scheikunde onder de auspiciën van mannen als Gay-Lussac, Dalton en Davy een regelmatige ontwikkeling volgen, zich weinig storend aan uiterlijke omstandigheden, een bewijs, hoe vruchtbaar de door Lavoisier ingevoerde beginselen waren. Nederland bracht eerst iets later weder een scheikundige van beteekenis voort in G. J. Mulder. De eerste betrekking, die Mulder vervulde, was die van lector aan het Bataafsch Genootschap. Na Bicker, die tusschen 1769 en 1799 als zoodanig was werkzaam geweest en O. C. Eickma (1799—1806) was het lectoraat gedurende 18 jaren onvervuld gebleven, terwijl de toestellen ter meerdere veiligheid in deze troebele tijden door de verschillende leden aan huis werden bewaard. In 1824 trad J. van der Hoeven als lector op en, toen deze te Leiden hoogleeraar werd, volgde Mulder van 1826 tot 1830.

Behalve aan het Bataafsch Genootschap en nog jaren na zijn afscheid daarvan doceerde Mulder te Rotterdam in den botanischen tuin der apothekers en later aan de in die dagen (1828) opgerichte geneeskundige school.

Mulder had een open oog voor de gebreken, welke aan het scheikundig onderwijs van die dagen kleefden, en de staaltjes, die hij in zijn levensbeschrijving van den toestand te Rotterdam en elders heeft gegeven, zijn sedert meermalen aangehaald. Ook weet men, hoe het door Mulder te Rotterdam gestichte scheikundig laboratorium het eerste in Nederland was, waar de studenten zelven praktisch werkten, en met hoeveel vrucht die inrichting, waar zelfs hoogeschoolen naijverig op waren, werkte, kan blijken uit het groot aantal geschriften van de hand van leermeester en leerlingen uit die Rotterdamsche dagen afkomstig ¹⁾. Van die leerlingen noemen wij P. J. van Kerckhoff ²⁾, die vele jaren later zijn leermeester te Utrecht zou opvolgen. Van Kerckhoff was evenals Mulder bijna uitsluitend chemicus, ofschoon wij hem nu en dan een onderwerp van meer physischen aard zien ter hand nemen, zooals de eigenaardige stervormen, die vloeistoffen in den spheroidalen toestand nu en dan vertoonen, of wel meteorologische waarnemingen, bijv. met den psychrometer van Wenckebach.

Over het bestuur van het genootschap en over de stedelijke autoriteiten, waarmede Mulder in aanraking kwam, heeft hij niet veel goeds te vertellen en de afkeuring zal wel wederkeerig geweest zijn; Mulder was een zeer krachtige maar ook moeilijke persoonlijkheid. Op de jongeren had hij een machtigen invloed, een magisch overwicht, door zijn zuivere liefde voor de wetenschap, zijn rusteloozen ijver en zijn meesleepende wijze van voorstellen.

Onder de opvolgers van Mulder in het lectoraat van het genootschap treffen wij bekende natuurkundigen aan: na D. F. van der Pant (van 1831 tot 1839) volgde K. M. Giltay ³⁾, die gedurende vele jaren tot 1872 de belangstelling van het Rotterdamsche publiek in de natuurkunde heeft weten gaande te houden en te dien opzichte groote erkentelijkheid van het genootschap en van Rotterdam verdient. De grootere toespraken van Giltay doen zijn veelzijdigheid en belezenheid kennen. De redevoering, bij het honderdjarig bestaan van het genootschap uitgesproken, was voornamelijk aan den stichter gewijd. Giltay is de vader van den plantkundige E. Giltay te Wageningen, ook onder natuurkundigen welbekend door zijn boek over het microscoop, dat aan honderden van Nederlanders den weg heeft gewezen. Na Giltay volgden L. Bleekrode (tot 1883), J. L. Hoorweg (tot 1891) en W. C. L. van Schaik, namen, die wij hier en daar in het vervolg zullen tegenkomen; daarna kwam bij het genootschap het systeem van kortere lectoraten van een of enkele jaren in gebruik, dat tot heden voortduurt.

¹⁾ Vermelding verdienen de tijdschriften, die door Mulder's toedoen tot stand kwamen en in een behoefte voorzagen. Het zijn in chronologische volgorde:

Bijdragen tot de Nat. wet. (v. Hall, Vrolik, Mulder) 1826—1832.

Natuur- en Scheikundig Archief (Mulder en Wenckebach) 1833—1838.

Bulletin de Néerlande 1838—1840.

²⁾ P. J. van Kerckhoff (1813—1876).

³⁾ K. M. Giltay (1811—1891).

Ononderbroken bleef intusschen de werkzaamheid van het genootschap ten opzichte van de prijsvragen. Tot eventueele bijzondere belooning van bekroonden, of anders tot het completeeren van boekerij of instrumentenverzameling, dient een fonds, dat in 1840 door P. Curten¹⁾ gesticht werd. Curten was wiskundige, maar tevens vol belangstelling in natuurkundige vraagstukken: hij schreef over den loop van lichtstralen door een prisma en moet ook over de „figuren van Chladni” gewerkt hebben, de figuren, die ontstaan, wanneer een met zand bestrooide metaalplaat met een strijkstok aan het trillen gebracht wordt. De beschrijving van deze proeven vindt men in het werk van Chladni over het geluid van 1802, hetwelk hij aan de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen opdroeg. Curten was naderhand lid van het Koninklijk Instituut.

Maar wij dreigen af te dwalen en keeren weder tot de begin-jaren van de eeuw terug.

Op natuurkundig gebied ontwaren wij tot omstreeks 1815 een betrekkelijken stilstand, ofschoon groote mannen niet ontbreken; de werkzaamheid van den genialen Th. Young, wiens naam in het bijzonder aan ontdekkingen op het gebied van het licht verbonden is, valt in dezen tijd. De ontdekking van de polarisatie van het licht door Malus (1811), die spoedig door die van de natuurlijke draaiing van het polarisatie-vlak door Arago en Biot gevolgd werd, was het uitgangspunt voor talrijke onderzoekingen, maar de groote ontwikkeling van de optica vangt aan met Fresnel sedert 1815.

Op electrisch terrein valt de stilstand tusschen 1800 en 1820 nog meer in het oog. Van de werkingen van de zuil van Volta werd door Davy en anderen voor electro-chemische ontleding partij getrokken en ook de ontdekking door denzelfden Davy van den electrischen lichtboog dateert uit die periode. Maar de groote voortgang kwam later. Volta had de werkingen in den sluitkring van zijn zuil reeds als een „electrischen stroom” opgevat; toch brak deze opvatting zich eerst door toedoen van Ampère baan, nadat de werkingen van den stroom buiten den stroom-geleider bekend geworden waren. De grootsche ontwikkeling van de leer der stroom-electriciteit moest nog wachten op de ontdekking van het verband tusschen electriciteit en magnetisme: dit verband was reeds lang geleden vermoed op grond van den invloed der electrische ontlading — ook een, zij het voorbijgaanden, electrischen stroom — op magneten en kompasnaalden en wij hebben gezien, hoe Van Swinden uitvoerig over het verband schreef en hoe Van Marum dwaalbegrippen over het onderwerp uit den weg had geruimd. Aan Oerstedt (1819) komt de eer toe van de ontdekking der kracht, die de electrische stroom op een magneet-naald uitoefent, en van de omgekeerde werking van een magneet op een bewegelijk gemon-

¹⁾ (1767—1840).

teerden stroomkring. Deze ontdekkingen werden door Ampère voortgezet en met die van de wederzijdsche krachten tusschen stroomdragende geleiders aangevuld. Spoedig werden zij gevolgd door die van het opwekken van magneetkracht in ijzer door den invloed van den electricischen stroom (Gay-Lussac en Arago 1820), terwijl de laatste hoofdpeiler van het gebouw in 1831 gelegd werd door Faraday met de ontdekking van de inductie van electricische stroomen door magneten of andere stroomen.

Nederlanders.

Natuurlijk trokken de nieuwe verschijnselen, evenzeer als de onthulling van de wetten der electrolyse door Faraday in 1833, ook bij ons zeer de aandacht en gaven aanleiding tot velerlei proeven en publicaties. Zoo zien wij den reeds genoemden Leidschen hoogleeraar S. S. van der Eyck (1771—1837), in Utrecht G. Moll (1785—1838) en A. van Beek (1787—1856), te Groningen S. Stratingh, te Haarlem J. G. S. van Breda (1788—1867) en P. Elias (1804—1878), te Amsterdam W. S. Swart (1807—1847) en in Deventer P. O. C. Vorsselman de Heer (1809—1841) met electricische stroomen bezig en met electro-magnetische apparaten, zonder dat wij hun namen aan bepaalde ontdekkingen kunnen vastknoopen.

De laatst genoemde, misschien wel de meest talentvolle van deze mannen, die ook in het buitenland hoog stond aangeschreven, stierf helaas op jeugdigen leeftijd; vermeld mag worden zijn voorstel om electricische seinen telegraphisch over te brengen met gebruikmaking van het oorspronkelijke Galvani-effect, d. w. z. het physiologisch effect van den stroom. Van Breda, de zoon van den vroeger genoemden natuurkundige, volgde in 1837 Van Marum als secretaris van de Hollandsche Maatschappij en tevens als conservator van het natuurkundig kabinet van Teyler op. Behalve met natuurkundige quaesties van verschillenden aard hield hij zich veel met geologie bezig. Een aantal van zijn proeven bijv. die over kataphorese of electricische endosmose, d. w. z. het meevoeren van vloeistoffen door den electricischen stroom, deed hij in samenwerking met W. Logeman (1821—1894).

Logeman was instrumentmaker van beroep; zijn wetenschappelijke ontwikkeling blijkt daaruit, dat hij later als leeraar in de natuurkunde werkzaam was. Bovendien herinneren wij er aan, hoe Logeman door de uitgave van het Album der Natuur met P. Harting en D. Lubach tot de verbreiding van natuurkundige kennis krachtadig heeft bijgedragen. Hij is bekend als de vervaardiger te zamen met den smid N. van Wetteren van buitengewoon sterke permanente magneten; de door hen gevolgde methode was door Elias aangegeven. Van een dezer magneten, die voor Parijs geleverd werd, wordt medegedeeld, dat hij uit zeven afzonderlijke stalen lamellen bestond, die te zamen 67 kilo wogen en een draagkracht bezaten van 275 K.G. Een andere opgave betreft een magneet, die 0.5 K.G. woog en een

draagkracht had van 14.75 K.G.; zooals men weet, neemt de draagkracht van een magneet veel minder snel toe dan haar gewicht. In het museum van Teyler zijn nog eenige hunner machtige hoefmagneten te vinden.

Van Elias mag worden medegedeeld, dat hij van beroep rechter was, eerst te Haarlem en daarna te Amsterdam en eindelijk raadsheer in den hoogen raad. De methode, die Elias aangaf om sterke magneten te vervaardigen, wordt nog heden in leerboeken aanbevolen; het bijzondere dezer methode bestaat daarin, dat men het te magnetiseeren staal in den draadklos op en neer schuift (vergelijk de „dubbele streek van Aepinus”) en den stroom verbreekt op het oogenblik, dat de staaf haar middelsten stand inneemt; bovendien is het wenschelijk de staaf bij het magnetiseeren van weekijzeren poolstukken te voorzien of, als het een hoefmagneet geldt, het anker er op te zetten. De magneten van Elias waren sterker dan die van voorgangers, al werden ze op haar beurt door die van Logeman overtroffen. De bijzonderheden van Logeman's werkwijze zijn niet bekend: de samenstelling van het staal was zeker van groot belang. Elias is verder bekend door de constructie van een electro-magnetische machine of motor, waarvan het anker groote overeenkomst vertoont met den ring van Pacinotti, die naast den ring van Gramme een rol heeft gespeeld in de ontwikkeling van den dynamo. Deze motor bevindt zich in het natuurkundig laboratorium der technische hoogeschool. Ook bestaat nog een door hem geconstrueerde machine ter opwekking van electrische stroomen.

In Elias zien wij een voorbeeld van het vooral in ons land zeldzame geval, dat een liefhebber buiten het vak staande zich vruchtbaar met wetenschappelijken arbeid bezig houdt: nergens meer dan bij ons wordt de amateur met achterdocht aangezien en nergens ondervindt hij minder aanmoediging. Als een later voorbeeld uit de periode, waar wij over handelen, mag de Groningsche Rector van het Gymnasium J. L. Sirks (1837—1905) genoemd worden. Sirks legde zich bij voorkeur op fijn optisch werk toe, wat te meer te waardeeren is, waar slechts schamele hulpmiddelen hem ten dienste stonden. Een van zijn verhandelingen betrof de verandering, die de electrische weerstand van selenium ondergaat onder den invloed van een bestraling met licht. Waarschijnlijk zijn belangrijkste onderzoek loopt over de verzwakking, die het beeld van een ster ondergaat door plaatsing vóór het objectief van een rooster. Dit onderzoek ligt op het gebied der „buiging” van het licht. In dit geval heeft de buiging ten gevolge, dat het centrale beeld door een aantal in helderheid afnemende buigingsbeelden omgeven is. Door het rooster is de geheele hoeveelheid licht, die den kijker binnentreedt, in een zekere verhouding 1 : k verkleind: uit het onderzoek van Sirks blijkt, dat van die hoeveelheid juist het k-de gedeelte in het centrale beeld terecht komt, zoodat de geheele verzwakking

1 : k^2 bedraagt. In het proefschrift van D. R. Thierry over de buigingsverschijnselen (Leiden 1900) kan men over dit vraagstuk meer vinden.

Sirks zou licht verward worden met zijn jongeren broeder J. Sirks (1844—1891), die uitsluitend natuurkundige was.

Bij het aftreden van Van Breda in 1864 werd de combinatie der beide betrekkingen aan Teyler en de Hollandsche Maatschappij niet voortgezet. E. H. von Baumhauer werd secretaris aan de laatste, terwijl V. S. M. van der Willigen (1822—1878) in Teyler opvolgde. Bij den wetenschappelijken arbeid van Von Baumhauer, die scheikundige was, zullen wij niet stilstaan. Wat Van der Willigen aangaat, door hem herleefde, zooals Bosscha ergens zegt, de roem, dien het natuurkundig kabinet van Teyler onder Van Marum had verworven. Van velerlei aard waren de onderwerpen, die Van der Willigen achtereenvolgens ter hand nam; hij was de eerste, die aantoonde, dat de terugkaatsing van het licht aan het oppervlak van niet-metallische, maar toch sterk absorbeerende stoffen, zooals aniline-kleurstoffen, dergelijke eigenaardigheden vertoont als bij de metalen zelve. Vermelding verdienen zijn onderzoekingen over de glim-ontlading in vacuum-buizen. Het meest bekend evenwel zijn zijn bepalingen van brekingsindices en van golflengten, die door voor dien tijd buitengewone nauwkeurigheid uitmunten, een nauwkeurigheid, die ook voor de meeste doeleinden nog heden volkomen voldoende mag heeten.

De plaats van Van der Willigen werd na zijn dood ingenomen door E. van der Ven (1833—1909), eveneens een ijverig experimentator op natuurkundig gebied, terwijl men daar sedert 1912 Lorentz met verschillende assistenten, G. J. Elias, W. J. de Haas en J. M. Burgers aan het werk ziet. De Hollandsche Maatschappij benoemde in 1885 J. Bosscha en na diens aftreden in 1909 den bioloog J. P. Lotsy.

Wij zijn van de natuurkundigen uit de jaren na 1820 afgedwaald en keeren tot hen terug.

In 1823 ontdekte Van Beek, in samenwerking met Moll en met den Generaal-majoor P. H. van Zuylen van Nyevelt, het thermo-electrisch verschijnsel; dit bestaat, zooals men weet, daarin, dat in een gesloten stroom-kring, die uit verschillende metalen is samengesteld, een elektrische stroom wordt teweeg gebracht door de aanrakingsplaats tusschen twee der metalen te verwarmen of in het algemeen op een andere temperatuur te brengen dan het overige deel van den kring. Dit verschijnsel was iets te voren reeds door Seebeck waargenomen, maar blijkbaar zonder dat dit aan de Nederlandsche waarnemers nog bekend geworden was. De ontdekking bestaat dus ook terecht op naam van Seebeck.

Geluidssnelheid.

De namen van Moll en van Beek zijn onder de natuurkundigen het best bekend in verband met een bepaling van de snelheid van het geluid

in 1823. Bij deze proeven stond hun de majoor M. A. Kuytenbrouwer (1777—1850) terzijde en uit Mulder's autobiographie zien wij, dat ook hij, toen nog student, assisteerde. De bepaling geschiedde in de open lucht tusschen den Kooltjesberg en de Zevenboomen bij Amersfoort, 17.5 K.M. van elkaar verwijderd. Bij deze meting komt het er op aan den tijd vast te stellen tusschen het oogenblik, dat men op grooten afstand het schot van een stuk geschut ziet afgaan, en het iets latere oogenblik, waarop men het geluid van het schot hoort. De afstand van de twee plaatsen, gedeeld door dat tijdsverloop, zal de gezochte snelheid van het geluid opleveren.

Een storende invloed bij de proef is gelegen in den wind, die het geluid — om het zoo uit te drukken — met zich mede voert. Om dezen invloed onschadelijk te maken werd op beide plaatsen een stuk geschut opgesteld en werden de proeven in de beide tegengestelde richtingen genomen. Met den wind mee zal men een snelheid waarnemen gelijk aan de som van geluidssnelheid en windsnelheid; immers de geluidssnelheid is de snelheid van het geluid ten opzichte van de lucht en de windsnelheid is die van de lucht ten opzichte van den grond: wat men waarneemt is de snelheid ten opzichte van den grond en dus blijkbaar gelijk aan de som der genoemde snelheden. Omgekeerd neemt men tegen den wind in het verschil der twee snelheden waar; de snelheid van het geluid vindt men dus door het gemiddelde te nemen van de beide gemeten snelheden.

Op die wijze wordt de invloed van den wind geëlimineerd, mits de wind inderdaad in de richting tusschen de beide gekozen waarnemingsplaatsen blaast; bij een andere richting van den wind wordt de fout door de meevoering van het geluid door den wind met die methode volstrekt niet weggenomen. Dit laatste werd naar aanleiding van de proeven van Moll en van Beek door R. van Rees (1797—1875) in het licht gesteld. Ook zonder opstelling der, trouwens niet ingewikkelde, formules kan men de juistheid der bewering inzien door zich het tegenovergestelde uiterste geval te denken, dat de wind blaast in een richting loodrecht op de verbindingslijn tusschen de plaatsen van waarneming: gelijk men uit de symmetrie van den wind met betrekking tot de twee plaatsen ziet, zullen de proeven in de twee richtingen nu dezelfde uitkomst moeten geven en het nemen van het gemiddelde zal geen nieuwe uitkomst kunnen opleveren; toch schuilt er in de uitkomst nog een fout, door den wind veroorzaakt. Immers het geluid, dat van de eene plaats in de andere aankomt, heeft ten opzichte van de bewegende lucht een schuinen en dus langeren weg afgelegd zoodanig, dat de wind het geluid naar de plaats van waarneming meevoert. De hierdoor begane fout laat zich uit de proeven op zich zelve in het geheel niet afleiden; en iets dergelijks geldt, natuurlijke in mindere mate, wanneer de windrichting tusschen de twee genoemde uiterste, onderling loodrechte richtingen gelegen is. Door de dubbele proeven in



G. MOLL. 1785-1838.

worden uit waarnemingen in stelsels van buizen, zooals door Regnault in niet meer gebruikte riolen werden ten uitvoer gebracht, waarbij minder krachtige signalen voldoende zijn, en waarschijnlijk levert dit de verklaring, waarom Regnault en later anderen langs dien weg iets kleinere waarden voor de voortplantingssnelheid in lucht vonden.

Kleinere waarden worden eveneens gevonden door de zeer gebruikelijke indirecte bepalingen in nauwe buizen met zuivere tonen uit golfengte en trillingstijd; dergelijke methoden moeten in ieder geval gebezigd worden, waar het geldt de snelheid van het geluid in andere gassen dan lucht. Maar in dat geval moet in aanmerking worden genomen, dat in nauwe buizen onder den invloed der wanden door inwendige wrijving en warmte-uitwisseling een verkleining van de voortplantingssnelheid te vreezen is. Van de talrijke proeven, volgens dit beginsel genomen, mogen wij die noemen van Van Rees, die de toonhoogte van een orgelpijp vergeleek, wanneer die achtereenvolgens met lucht, zuurstof, stikstof, aethyleen en andere gassen werd aangeblazen.

Van belang uit dit oogpunt is een methode, die later door Bosscha werd voorgesteld, waarmede de snelheid van vrije voortplanting in de lucht op korten afstand, en dus met zwakke geluiden, verkregen kan worden. Zij berust op het waarnemen van coïncidenties tusschen twee geluiden, in dit geval de tikken van twee klokken, waarvan de eene 60 en de andere 61 tikken per minuut gaf en die op een zekeren afstand van elkander zijn opgesteld. Bij stilstand zal de waarnemer de tikken van de twee klokken beurtelings uit de pas hooren gaan en dan weer samenvallen; het laatste zal telkens na een minuut plaats vinden, omdat dan de tweede klok de eerste juist een tik heeft ingehaald. Verplaatst de waarnemer zich, terwijl hij naar de tikken luistert, over een zekeren afstand bij voorbeeld naar de eerste klok toe, dan zal hij het samenvallen der tikken nu later hooren gebeuren, want het geluid, dat van de eerste klok naar hem toekomt, behoeft nu slechts een korteren weg af te leggen dan in het eerste geval en dat van de tweede klok een evenveel langeren weg. Uit de verplaatsing en het aantal tikken tusschen de twee coïncidenties wordt de voortplantingssnelheid gereedelijk afgeleid. De bekende Parijsche instrumentmaker König, autoriteit op het gebied van het geluid, vond langs dien weg bij ongeveer 12° Celsius 340 meter per seconde, wat gelijk staat met 333 bij 0° . De methode werd met zekere wijzigingen later nog eens door Szamari toegepast en met moderne verfijnde hulpmiddelen door Hebb; deze waarnemers vonden resp. 333.6 en 331.3 bij 0° . Deze kleinere waarden, vooral de laatste, verdienen meer vertrouwen dan die, welke met kanonschoten verkregen worden, door de afwezigheid van de genoemde bron van fouten.

In het bovenstaande willen wij een aanleiding nemen om verdere

bijdragen van Nederlanders op het gebied van de geluidsverschijnselen en en de leer der trillingen in het algemeen aan een bespreking te onderwerpen.

Beginsel van Doppler.

Indien een waarnemer met zekere snelheid op een geluidsbron afkomt, zal hij den toon van de bron hooger hooren, dan wanneer hij stilstaat, en omgekeerd hoort hij hem lager, terwijl hij zich van de bron verwijderd. Immers men kan het geluid opvatten als een regelmatige opeenvolging van stooten, wier aantal in een bepaalden tijd de toonhoogte bepaalt, zoodanig, dat de toon hooger is, naarmate de frequentie grooter is. Aan iederen stoot beantwoordt één uitgezonden golf, zoodat de golven elkaar met gelijke tusschenruimten achterna loopen. Komt de waarnemer dezen golven tegemoet, dan treffen de stooten zijn oor in een sneller tempo, dan wanneer hij stilstaat, en hoort hij dus een hooger toon, en omgekeerd bij een verwijdering van den waarnemer.

Eveneens zal een beweging van de geluidsbron zelve naar den waarnemer toe of van hem af een verandering van den waargenomen toon met zich brengen. De uitgezonden golven zullen dan n.l. niet meer dezelfde tusschenruimte hebben als bij stilstand: aan den kant, waarheen de bron zich beweegt, zitten zij elkander dichter op de hielen, omdat het uitgangspunt der golven de reeds uitgezonden golven achterna komt, en omgekeerd is de tusschenruimte, die men golflengte noemt, aan de zijde, van waar de geluidsbron komt, vergroot. De waarnemer, die de golven in zijn oor opvangt, zal in het eerste geval, waar de golflengte door de beweging van het geluidgevend lichaam verkleind is, een in verhouding grooter aantal stooten opvangen en dus een hooger toon hooren en, indien de bron zich van hem verwijderd, neemt hij een evenzoo een lageren toon waar.

Zoo geeft dus een relatieve nadering of verwijdering van geluidsbron en waarnemer in ieder geval tot een verhooging, resp. verlaging van de toonhoogte aanleiding. Dit beginsel, in 1841 door Doppler aangewezen, is niet alleen op het geluid, maar evenzeer op het licht en op iedere andere golfbeweging van toepassing. Wat het geluid betreft, laat het zich kwalitatief door dagelijksche waarneming bij de snelle bewegingen van fluitende locomotieven en trouwens ook reeds van bellende rijwielen gemakkelijk bevestigen. Quantitatief werd het beginsel, spoedig nadat het bekend geworden was, door C. H. D. Buys Ballot (1817—1890) op de proef gesteld. Door een persoon, die op een met gemeten snelheid rijdenden locomotief geplaatst was, liet hij op een hoorn een toon van bepaalde hoogte voortbrengen, bij het naderen van den locomotief wordt de toon door een waarnemer hooger, bij het zich verwijderen lager gehoord dan bij stilstand. Het waargenomen muzikale interval bleek binnen de grenzen der nauwkeurigheid van de proeven overeen te stemmen met wat volgens

de boven gegeven verklaring te verwachten was. De proeven werden eveneens genomen met den waarnemer op den locomotief en den hoornblazer stilstaande.

Later heeft men verschillende eenvoudige methoden bedacht om het beginsel voor het geluid in de collegekamer te demonstreeren; wij noemen de inrichting van D. van Gulik: evenals in die van Mach wordt een stemfluitje door middel van de centrifugaalmachine langs een grooten cirkel snel rond bewogen; wanneer het fluitje den waarnemer nadert, hoort hij een hooger toon, dan wanneer het zich verwijderd. Het bijzondere van de inrichting bestaat hierin, dat de lucht niet voortdurend wordt aangeblazen, maar alleen in een bepaalden stand gedurende de wenteling. Wanneer deze stand veranderd wordt, hoort men den toon hooger of lager worden.

Voor verdere mededeelingen omtrent dergelijke methoden verwijzen wij naar het leerboek van Bosscha, Boek 3, 5de druk, bewerkt door W. C. L. van Schaik (1860—1900). Dit leerboek is niet alleen een uitstekende handleiding bij de studie van de leer der trillingen, het heeft voor den Nederlander nog de bijzondere aantrekkelijkheid, dat de onderzoekingen van landgenooten, in het bijzonder die van den schrijver zelf, er in tot hun recht komen. Op enkele dezer zullen wij dadelijk de aandacht vestigen. Een theoretische verhandeling over het beginsel van Doppler gaf E. A. O. Was (1881).

Verdere geluids-proeven.

Laten wij beginnen met te noemen de zoogenaamde proef van Rijke¹⁾. In deze proef wordt een geluid door warmte voortgebracht. Dit kan op allerlei wijzen geschieden: zoo zal een aan beide zijden open buis over een vlam geplaatst zoodanig, dat de vlam binnen de buis steekt, in vele gevallen een luiden toon geven. De trillingen worden in zulke gevallen door de warmte onderhouden of anders uitgedrukt: de energie der geluidstrillingen wordt ontleend aan de energie van de warmte-bron. Voorwaarden voor het ontstaan van het geluid zijn (1) de aanwezigheid van een ruimte, hier de buis, waarin de lucht bij trilling een toon van bepaalde hoogte voortbrengt, en (2) een zoodanige stand van de warmte-bron ten opzichte van de ruimte, dat de uitzetting, die de warmte in de lucht teweegbrengt, de trilling bevordert en niet tegenwerkt: anders zou zij nimmer kunnen ontstaan en nog minder voortduren. Rijke ontdekte nu een eigenaardig geval, waarin aan die voorwaarden voldaan wordt: in een verticale buis bevinden zich een of meer stukken metaalgaas op ongeveer $\frac{1}{4}$ van de lengte van de buis van onderen af; de stukken zijn iets grooter dan de

¹⁾ P. L. Rijke (1812—1901).

doorsnede van de buis, zoodat ze op de aangegeven plaats loodrecht op de as van de buis blijven klemmen. Men maakt nu het gaas met een vlam gloeiend: op het oogenblik, dat deze wordt weggenomen, begint de buis haar grondtoon te geven, die voortduurt, totdat het gaas is opgehouden met gloeien. Brengt men het gaas door een electrischen stroom blijvend aan het gloeien, zoo blijft ook de toon aanhouden. De toon houdt op, wanneer de buis in plaats van verticaal horizontaal gehouden wordt. Blijkbaar is het noodig, dat de lucht door de buis naar boven stroomt: er moet voortdurend koele lucht langs het gaas stroomen, opdat aan de warmte de gelegenheid gegeven worde zich aan de lucht mede te deelen en zoo de energie van de trillingen te onderhouden. Het gaas moet zich op de aangegeven plaats bevinden, opdat aan de in de tweede plaats genoemde voorwaarde voldaan zij, wat wij evenwel hier niet nader zullen toelichten.

Bosscha vond, dat het omgekeerde verschijnsel eveneens mogelijk is: hij liet n.l. een toon ontstaan door een stroom verwarmde lucht op een stuk gaas van de gewone temperatuur te richten: daarbij bleek het gaas in de bovenste helft van de buis geplaatst te moeten worden om haar den grondtoon te doen geven.

Het eigenlijke arbeidsveld van Rijke was de experimenteele electriciteitsleer. Van zijn talrijke onderzoekingen noemen wij er hier eenige. Rijke ontdekte, dat de werking van een inductor beter wordt, wanneer de onderbreking van den primairen stroom geschiedt in de buurt van de magnetische kern van den klos, omdat door de magneet de lichtboog, die zich in de vonkruimte tracht te vormen, waardoor de verbreking minder plotseling wordt, wordt op zijde gedreven en zoo verbroken. Van dit beginsel wordt tegenwoordig in allerlei toestellen gebruik gemaakt, waar het om te doen is ten behoeve van een plotselinge stroomverbreking een boogvorming te verhoeden.

Andere onderzoekingen betroffen het verband tusschen slagwijdte van de electrische vonk en de dichtheid van de lading aan het oppervlak der electroden, verder den aard van de vonk onder verschillende omstandigheden, den duur van de vonk, de eigenschappen van extra-stroomen, waarbij Rijke de uitkomsten van Edlund volgens onafhankelijke methoden op oorspronkelijke wijze wist te bevestigen en uit te breiden. Ook ontdekte hij de electrische ladingen, welke ontstaan bij de proef van Leidenfrost op het oogenblik, dat de spheroidale druppel uiteenbarst. Rijke mag onder de talrijke experimentatoren van zijn periode genoemd worden, al vinden veel van de door hem onderzochte verschijnselen eerst in de ontdekkingen van latere jaren hun verklaring.

Men verkrijgt een indruk van de veelzijdigheid en de vruchtbaarheid zijner werkzaamheid, wanneer men de lange lijst der onder hem bewerkte,

grootendeels experimenteele proefschriften dóorziet; men vindt daaronder metingen van den electricchen weerstand (J. Sirks 1868), over de absorptie van stralende warmte door waterdamp (H. Haga 1876) of door poeders (J. G. van Deventer 1879), over de warmtegeleiding in gassen (D. J. Janssen 1878), over de schijnbare adhaesie van vaste lichamen (B. J. Goossens 1878), en isothermen-bepalingen (W. J. Janssen 1877).

Proeven van Van Schaik.

Wij zullen nu eenige der onderzoekingen van Van Schaik de revue doen passeeren. Met voorliefde heeft hij zich bezig gehouden met de trillingen van luchtstroomen in verband met de verklaring van de werking van orgelpijpen. Een orgelpijp is een buis, waarin de lucht in staande trilling gebracht wordt door het aanblazen met een gasstroom. De moeilijke vragen, die zich daarbij voordoen, zijn, bij voorbeeld, hoe de luchtstroom zich gedraagt, wanneer de trilling aan den gang is, en hoe het komt, dat de trilling door de energie van den stroom onderhouden wordt, dus vragen, die analoog zijn met die, welke bij de proef van Rijke zijn opgeworpen.

In verband met die vragen toonde Van Schaik vooreerst de gevoeligheid van een platten uit een spleet te voorschijn komenden luchtstroom voor uitwendige trillingen aan; de pulsaties van een dusdanigen stroom kunnen worden aangetoond met rook of een slappe donsveer. Verder deed hij zien, hoe een aan een veerenden reep bevestigd blokje, voor een opening geplaatst, langs deze in trilling kan geraken door een luchtstroom, die uit de opening komt. Het beginsel, dat bij de verklaring van het ontstaan van een heen en wedergaande beweging langs dien weg een hoofdrol speelt, heet naar Daniel Bernoulli¹⁾ en komt ook bij de verklaring van de trillingen van orgelpijpen te pas. In een bepaalden stroom van een gas of een vloeistof is de drukking niet overal even groot en wel des te lager, naarmate de snelheid der beweging grooter is. Wanneer men met dit beginsel gewapend den aard van de stroomingen in de buurt van een beletsel nagaat, zoo vindt men, dat bij de genoemde proef de luchtstroom inderdaad een beweging, die eenmaal begonnen is, bevordert en dus onderhoudt.

Naar aanleiding van de laatste proef construeerde Van Schaik een bijzondere tong, afwijkende van de gebruikelijke opslaande en doorslaande tongen van tongpijpen; deze tong heeft aan haar uiteinde een rechthoekig omgebogen stukje, dat voor de luchtopening geplaatst wordt en evenals het blokje in de vorige proef door den luchtstroom in trilling geraakt.

Deze verschijnselen geven ook een verklaring aan de hand van een door Bleekrode ontdekt verschijnsel, daarin bestaande, dat een stuk metaal op een stuk vast koolzuur geplaatst somtijds een luiden toon doet ontstaan,

¹⁾ D. Bernoulli was de zoon van Jean Bernoulli en te Groningen geboren.

vooral indien het eenigszins aangedrukt wordt. De snelle verdamping van het koude koolzuur door het veel warmere metaal teweeggebracht levert den dampstroom, die hier de periodieke beweging van het metaal te voorschijn brengt. Evenzoo kan een verwarmd voorwerp op een snel verdampende stof, als kamfer of salmiak, geplaatst een toon doen ontstaan.

Bij zijn onderzoek van de luchtrillingen in de pijp mengt Van Schaik met de toestroomende lucht eenig zeer fijn talkpoeder, dat den vorm van den luchtstroom zichtbaar maakt. Daarmede is evenwel de zaak niet uit: de opeenvolgende standen van een snel trillend lichaam, in dit geval den luchtstraal, zijn niet afzonderlijk waar te nemen, maar versmelten op het netvlies in ons oog door de nadering tot één geheel samen.

Om de afzonderlijke standen van het lichaam af te zonderen en uit de opeenvolging van die standen de eigenlijke beweging te leeren kennen, maakt men veelal gebruik van de zoogenaamde stroboscopische of vibroscopische methode. Het lichaam wordt daarbij niet blijvend bekeken, maar telkens na een bepaald klein tijdsinterval. Op talrijke wijzen kan dit geschieden, hetzij objectief met intermitterende belichting, of subjectief door het gezicht intermitterend vrij te laten. Zoo kan men bijvoorbeeld een draaiende schijf bezigen met een aantal openingen op gelijken afstand, die achtereenvolgens het licht doorlaten of wel het oog passeeren. Is de snelheid van de schijf zoo geregeld, dat het tijdsverloop tusschen de oogenblikken, dat de openingen het oog voorbijgaan, juist met den vollen trillingstijd van het te onderzoeken trillende lichaam overeenstemt, dan ziet men dit lichaam in een bepaalden stand schijnbaar stilstaan, omdat de achtereenvolgende beelden, die men opvangt, geheel overeenstemmen en ons dus als één stilstaand beeld bewust worden, of anders gezegd, omdat het lichaam, telkens wanneer men het kan zien, weder denzelfden stand inneemt. Loopt de schijf iets langzamer, dan ziet men het lichaam telkens in een iets verderen stand en het oog stelt die standen samen tot een langzame beweging, die met de werkelijke veel snellere beweging gedurende de trilling in alle opzichten overeenstemt. Omgekeerd als de schijf iets te snel loopt, zal men de trilling in omgekeerde richting voor oogen krijgen.

Langs dien weg kan men derhalve de trilling in al haar bijzonderheden voor het oog zichtbaar maken en haar aard bestudeeren. Ook is het mogelijk op die wijze de beweging objectief voor een publiek te demonstreeren. Met groot effect maakte Van Schaik van de stroboscopische methode voor het genoemde doel gebruik, bij voorbeeld met de reeds genoemde donsveer, en hij leverde zoo een belangrijke bijdrage tot ons inzicht in den aard der pulsaties van den luchtstraal in orgelpijpen.

Op grond van zijn onderzoek slaagde hij er ook in om de orgelpijp zoo in te richten, dat zij voor uitwendige trillingen „gevoelig” werd. De

pijp geeft dan bij het aanblazen aanvankelijk geen toon, maar kan aan den gang gemaakt worden door op een afstand een toon van de aan de pijp eigene hoogte te doen klinken zoodanig, dat, als deze ophoudt, de toon van de pijp nu toch blijft doorgaan. Een dergelijk verschijnsel bij gevoelige vlammen was reeds bekend.

Het onderzoek leverde ook de verklaring van het al of niet voor den dag komen van de boventonen van de pijp, in zooverre dit afhankelijk is van de detail-constructie en van de kracht, waarmede de pijp aan-geblazen wordt.

In verband met het bovenstaande noemen wij nog de experimenteele toelichting, die Van Schaik gaf van het ontstaan der aan het strand welbekende kabbelingen in het zand, die ontstaan, wanneer wind of een stroom water er over heen strijkt, waarmede ook samenhangen de kleinere details van de figuren van Kundt in de bekende naar hem genoemde proef.

Eindelijk vermelden wij zijn proeven over de benedenste grens van hoorbaarheid van tonen, waartoe hij van een aan het uiteinde belasten veerenden reep gebruik maakte.

Eenigszins verwant met Van Schaik's werk is een experimenteel onderzoek van J. W. Giltay en M. de Haas over de overbrenging van het geluid in snaar-instrumenten. Door proefneming werd aangetoond, dat de kam niet uitsluitend of zelfs voornamelijk in zijn eigen vlak trilt, maar sterker in de richting van de snaren en dan, zooals men spoedig inziet, met een dubbele frequentie. Uit het onderzoek mogen we de verklaring van de werking van de sourdine aanstippen: het timbre van de noot verandert, doordat de beide genoemde trillingen niet even sterk gedempt worden en dus ook de verhouding der even en oneven boventonen gewijzigd wordt, en van die verhouding hangt de kleur van den toon af.

Onder de Nederlanders, die zich ten opzichte van de experimenteele geluidsleer verdienstelijk hebben gemaakt, moet ook H. J. Oosting genoemd worden. Reeds in zijn dissertatie (Groningen 1889) publiceerde hij een aantal sprekende proeven betreffende de trillingen van gespannen draden; aan het uiteinde van den draad, die gewoonlijk van caoutchouk was, kon met een motor een cirkelvormige beweging worden medegedeeld, die zich langs den draad voortplant en dezen door terugkaatsing in staande trilling brengt. Door aan den draad ten opzichte van deze cirkelbeweging verschillende standen te geven en de beweging tot bepaalde vlakken of richtingen te beperken konden zoowel transversale trillingen, d. w. z. loodrecht op de draadrichting, als longitudinale, in de richting van den draad, worden bestudeerd.

Met N. G. van Huffel heeft Oosting later een universeel trillingsapparaat aangegeven, waarmede op zeer mooie wijze gedwongen longitudinale en transversale trillingen kunnen worden gedemonstreerd, benevens

de figuren van Lissajous, die ontstaan wanneer twee trillingen loodrecht op elkander worden samengesteld.

Van dergelijke golfmachines noemen wij verder een toestel van J. van Dam, die dient voor de samenstelling van twee cirkelvormige bewegingen in een zelfde vlak en om het zelfde middelpunt, en een voor het zelfde doel van Van Schaik: deze toestellen kunnen o. a. worden gebruikt ter toelichting van de draaiing van het polarisatie-vlak van het licht, welke inderdaad het gevolg is van de samenwerking van twee cirkelvormige lichtbewegingen, zooals wij later gelegenheid zullen vinden om te bespreken; over dit laatste onderwerp had Van Schaik gewerkt, voordat zijn aandacht op de trillingsverschijnselen viel (Diss. Utrecht 1882).

Zeer doelmatig is de door W. H. Julius en F. L. Bergansius geconstrueerde toestel: de voortplanting der trilling geschiedt hier zoo langzaam, dat haar eigenaardigheden rustig met het oog gevolgd kunnen worden. Een inrichting die geschikt is voor projectie is afkomstig van Borgesius.

Nu wij hier gelegenheid vonden enkele door landgenooten geconstrueerde demonstratie-toestellen te vermelden, is de verleiding groot om in die richting verder te gaan en eenige der talrijke van dergelijke apparaten op het gebied van andere deelen der natuurkunde te bespreken; Van Schaik, Oosting, Borgesius en Van Gulik hebben zich op die wijze verdienstelijk gemaakt, zooals het bekende tijdschrift „für den Physikalischen und Chemischen Unterricht” en bij voorbeeld het werk van Frick—Lehmann „Physikalische Demonstrationen” op menige bladzijde aantonen. Maar wij mogen ons hier in dit onderwerp niet in bijzonderheden verdiepen.

Muzikale echo's.

Wij moeten nu een geheel ander verschijnsel uit de geluidsleer bespreken, dat behoort tot het onderdeel der zoogenaamde „muzikale echo's”. Een dergelijk verschijnsel werd reeds door Huygens met een natuurkundig oor waargenomen en door hem verklaard. In het park van Chantilly de la Cour trof hij een fontein aan, die zich tegenover een steenen trap bevond; in de echo van het geklater was een muzikale toon te herkennen. De verklaring is gelegen in de samenwerking der verschillende echo's, die van de opeenvolgende trappen afkomstig zijn en die het oor niet tegelijkertijd, maar met ongeveer gelijke tusschenpoozen bereiken. Een bepaalde geluidsstoot treft dus eenige malen achtereen met een bepaalde frequentie het oor van den waarnemer en deze frequentie bepaalt de hoogte van den toon, dien hij hoort; deze hangt dus uitsluitend van de breedte der treden van de trap af. Dergelijke muzikale echo's zijn bij voorbeeld ook tegen hekken en gecorrigeerd ijzer herhaaldelijk waar te nemen.

Een ander verschijnsel, dat met het genoemde in verband staat, wordt waargenomen, wanneer een geluidgevend lichaam, zooals een rollend

rijtuig of nog duidelijker een blazende stoomboot of locomotief een waarnemer nadert of zich van hem verwijderd. Men hoort dan bij nadering in het overigens zeer samengestelde geruisch duidelijk een toenemende verlaging van de toonhoogte, die bij verwijdering omgekeerd weder allengs hooger wordt. Dit verschijnsel is door D. van Gulik verklaard geworden en hij staaft zijn verklaring door bijzondere proefneming bij een locomotief op het perron van een spoorwegstation en bij een waterval.

In deze gevallen is de vlakke bodem, het wateroppervlak of het perron het terugkaatsende vlak; de echo van dit vlak afkomstig bereikt het oor iets later dan het geluid zelf. Een eenvoudige meetkundige beschouwing doet onmiddellijk zien, dat het tijdsverloop tusschen de waarnemingen van het geluid zelf en de echo des te langer is, hoe nader het geluidgevend lichaam zich bevindt. De toon, dien men hoort en die onmiddellijk met dit interval samenhangt, is dus des te lager, naarmate de geluidsbron dichterbij is. Het merkwaardige in dit geval is, dat elk onderdeel van het geruisch, dat als een doorlopende reeks van geluidsstooten is op te vatten, slechts tweemaal, en niet, als in het vorige geval, eenige malen het oor treft, en dat toch een bepaalde toonhoogte wordt herkend ¹⁾).

Men kan evenwel het verschijnsel op een andere wijze opvatten, die in den grond op hetzelfde neerkomt, maar het ontstaan van een bepaalde toonhoogte duidelijker maakt. Het geruisch is op zichzelf zeer samengesteld en mag gezegd worden een groote verscheidenheid van tonen van verschillende hoogte te bevatten. Volgens een theorema, dat in de leer der trillingen veelvuldig toepassing vindt, het theorema van Fourier, kan iedere evenwichtsverstoring worden beschouwd als een samenstel van een groot aantal, veelal doorlopend aaneensluitende afzonderlijke zuivere trillingen, dus hier tonen. De aanwezigheid van deze partieele tonen, die voorloopig slechts als theoretisch gedacht behoeft te worden, zal zich practisch openbaren, wanneer het samengestelde geluid bijv. een toestel treft, die op die partieele tonen aanspreekt, een zogenaamde resonator: het gevoelig orgaan van het oor is b.v. een verzameling van dergelijke resonatoren en zoo zal een geofend oor b.v. in een samengestelden muzikalen toon de afzonderlijke grond- en boventonen kunnen onderkennen. In het onderhavige geval komen de componenten van het geluid op andere wijze voor den dag, n.l. door de samenwerking of interferentie van het geluid zelf en zijn echo. Onder interferentie verstaat men de omstandigheid, dat een trilling een tweede trilling kan versterken of verzwakken, resp. geheel uitdooven, doordat zij in een zelfde richting tegelijkertijd plaats vinden of juist in tegengestelde richting. Nu zullen in het punt, waar de waarnemer zich

¹⁾ Zie hieromtrent een onder H. Zwaardemaker bewerkt proefschrift van J. F. A. van Mens. Overigens kunnen we de physiologische zijde van de geluids-quaesties hier niet bespreken en moeten dus vele bijdragen van Zwaardemaker en andere physiologen terzijde laten.

bevindt, door interferentie sommige der partieele tonen elkaar geheel of gedeeltelijk uitdooven, terwijl andere elkaar versterken. Er is n.l. een bepaald tijdsverschil tusschen de oogenblikken, dat het geluid zelf en diens echo ter plaatse aankomen: is dit verschil gelijk aan den trillingstijd van een bepaalden toon, dan zullen daarvoor de twee trillingen elkander blijkbaar versterken; is het juist gelijk aan den halven trillingstijd, zoo hebben de twee trillingen in tegengestelden zin plaats en dooven dus elkaar uit; voor tonen van tusschengelegen trillingstijd zal de uitdooving een gedeeltelijke zijn. Derhalve: doordat met de verschillende componenten van het samengestelde geruisch bij de interferentie iets anders gebeurt, neemt dit een muzikaal karakter aan, waarin die toon, welke door de interferentie het meest versterkt wordt, op den voorgrond treedt; deze toon is juist diegene, die ook volgens de eerste verklaringwijze bij de terugkaatsing zou ontstaan. Wanneer het geluid naderbij komt, zal het oor van den waarnemer samenvallen met het maximum van een toon van grooteren trillingstijd, dus met een lageren toon en zoo zal dus bij de nadering een geleidelijke verlaging van toonhoogte worden vernomen.

Analoge lichtproef. Aard van het witte licht.

De hier besproken geluidsproef vertoont een zeer groote analogie met een bekende interferentie-proef bij het licht, n.l. met de proef van Lloyd, die eene wijziging is van de proef van Fresnel, waarmede hij het eerst het trillingskarakter van het licht aantoonde. Terwijl bij de laatste proef het van een nauwe spleet afkomstige licht op twee bijna evenwijdige spiegels teruggekaatst wordt en de interferentie wordt onderzocht tusschen de twee teruggekaatste bundels, die dus mogen beschouwd worden als afkomstig van de twee spleetbeelden, heeft men bij de proef van Lloyd slechts één spiegel en geschiedt de interferentie, evenals bij de besproken geluidsproef, tusschen het licht van de spleet zelve en dat van het eene beeld. Met het oog overziet men het geheele interferentie-beeld: voor iedere component van het witte licht bestaat dit uit een aantal op gelijken afstand gelegen maxima en minima, welke afstand evenwel voor iedere samenstellende kleur een andere is, daar de kleuren juist door hare trillingstijden van elkaar onderscheiden zijn. Door het over elkaar vallen van die verschillende beelden ontstaat een systeem van gekleurde interferentie-strepen.

Vroeger stelde men zich op het voetspoor van Newton, die het eerst het licht met behulp van een prisma analyseerde, voor, dat de genoemde samenstellende kleuren van het witte licht daarin reeds vóór de splitsing als zoodanig aanwezig waren en door de werking van het prisma, of in ons geval door de interferentie, als het ware uit elkaar gehaald worden en naast elkaar neergelegd. Uit het bovenstaande blijkt evenwel, dat deze opvatting niet noodig is: ook indien de evenwichtsverstoringen van het

licht deze componenten alleen als mathematisch te denken bestanddeelen bevatten, zullen deze toch op de aangegeven wijze door de interferentie (en in het andere geval door de breking) uit het licht te voorschijn komen. Evenmin als het aan te nemen is, dat in het sissen van den stoom een groot aantal muzikale noten afzonderlijk worden voortgebracht en dus als zoodanig aanwezig zouden zijn, even onwaarschijnlijk is het, dat in de lichtbron, die het witte licht uitzendt, die aaneensluitende reeksen van regelmatige trillingen van alle denkbare kleuren van het spectrum afzonderlijk zouden voorkomen. Veeleer denkt men zich tegenwoordig, dat het witte licht door een hoogen graad van onregelmatigheid gekenmerkt wordt: ja men meent, dat men zich, indien men wil, als tegenovergesteld uiterste mag denken, dat het uit afzonderlijke lichtstooten (impulsen) bestaat, zoo men deze slechts zoo gekozen denkt, dat bij ontleding volgens het theorema van Fourier die verdeling van de energie over de verschillende golflengten verkregen zal worden, die inderdaad in het witte licht wordt aangetroffen.

Aan deze zienswijze schijnt nu echter een eigenaardig bezwaar te kleven. Men kan zich zulk een impuls wel mathematisch in reeksen van trillingen ontleed denken, die dan kunnen interfereeren, maar hoe geschiedt de interferentie in werkelijkheid? Een impuls, die van de spleet in een bepaald punt aanlandt, is daar eerder dan die welke van het beeld afkomstig is en dus een langeren weg heeft afgelegd: misschien is dit verschil wel zoo groot, dat de eene impuls al voorbij is, wanneer de andere aankomt, en hoe kunnen die dan toch samenwerken? Men is gedwongen toe te stemmen, dat interferentie onder die onstandigheden niet mogelijk is: maar daarmee is de zaak niet uit. Men moet het licht nog verder op zijn weg naar en in het oog volgen; de twee impulsen zullen op het netvlies aankomen. Daarin bevinden zich lichtgevoelige elementen, men zou ze resonatoren kunnen noemen, die op de verschillende golflengten, d. w. z. kleuren, verschillend aanspreken. In het oog heeft dus een ontleding van den impuls plaats, die geheel evenwijdig loopt met de ontleding, welke de mathematicus met het theorema van Fourier bewerkstelligt. Natuurkundig uitgedrukt: de impuls brengt de lichtgevoelige organen aan het trillen en, zoo deze eenigen tijd aanhouden, kunnen die, welke van de beide impulsen afkomstig zijn, op de gewone wijze met elkander interfereeren. Het interferentie-beeld ontstaat dus in dit geval eerst in het oog zelf, wat echter voor de waarneming op hetzelfde neerkomt, als wanneer het objectief op de plaats van waarneming geschiedde. Misschien mag men zich het analoge interferentie-verschijnsel bij het geluid in de straks behandelde proef op een dergelijke wijze ontstaan denken: de toon, dien men waarneemt, ontstaat niet objectief door de samenwerking van het geruisch en zijn echo, maar in het gevoelige apparaat van het oor, dat door deze geluiden aan het meetrillen wordt gebracht.

Over het zeer lastige vraagstuk, waar wij ons hier mede bezig hielden, heeft behalve zij, die de theorie hebben ontwikkeld, Gouy, Rayleigh en Schuster, ook onze landgenoot C. H. Wind een verhandeling geschreven, die ook door Van Gulik ten behoeve van zijn verklaring van de geluidsproef wordt aangehaald.

Spraakklanken.

Tot onze kennis van den natuurkundigen aard der spraakklanken hebben verschillende Nederlanders medegewerkt. Wij noemen F. C. Donders, die in 1866 ontdekte, dat bij het uitspreken van een bepaalden klinker de mondholte een zoodanigen vorm aanneemt, dat zij voor een bepaalde toonhoogte weerklinkt, en dat dit onafhankelijk is van den leeftijd of het geslacht des sprekers. Het karakteristieke van een klinker moet dus althans voor een deel in dien bepaalden toon gezocht worden. De theorie werd later door Helmholtz bevestigd en nader ontwikkeld, terwijl H. Zwaardemaker iets dergelijks voor medeklinkers heeft meenen te ontdekken.

Voor het onderzoek van het spraakgeluid maakte J. D. Boeke (1842—1902) het eerst van het op de wasrol van den phonograaf neergeschrevene gebruik; door uitmeting van de breedte van de geschreven gleuf kon hij de diepte er van op de verschillende punten leeren kennen en dus de amplitude van de zeer samengestelde trilling, die aan den gesproken klank beantwoordt. Op de gevonden trillingslijn kan dan het theorema van Fourier worden toegepast, om den aard der samenstellende deelen van den klank bloot te leggen.

Voortplanting van het geluid in een gas volgens de kinetische theorie.

Een onderwerp van geheel anderen, zuiver theoretischen aard betreft de vraag, hoe men zich de voortplanting van het geluid in gassen te denken heeft, als men zich deze voorstelt als te bestaan uit afzonderlijke moleculen, die met groote snelheden door elkaar warren. Reeds Daniël Bernoulli, die de kinetische theorie der gassen in haar eerste, zeer ruwe inkleeding opstelde, vermoedde een verband tusschen de snelheden der moleculen zelve en de snelheid van voortplanting van het geluid. Toen men later, in het midden der negentiende eeuw, deze snelheden uit de drukking van het gas en zijn soortelijk gewicht heeft leeren bepalen, is gebleken, dat zij de snelheid van het geluid nog eenigszins overtreffen. Zoo is de gemiddelde snelheid der luchtmoleculen (als een enkelvoudig gas beschouwd) bij 0° Celsius 447 meter per secunde, terwijl de geluidssnelheid 331 meter per secunde bedraagt. Evenals de drukking van een gas door de beweging van zijn moleculen wordt teweeggebracht, zoo zal ook het geluid, waarbij het op de voortplanting van tijdelijke en plaatselijke drukveranderingen aankomt, door de moleculen als het ware moeten worden

overgedragen. En men kan zich ook wel begrijpelijk maken, dat bij dit proces de snelheid van het geluid kleiner uitvalt dan die der moleculen zelve: immers deze vliegen niet juist alle in de eene richting, waarin het geluid zich voortplant, maar in alle richtingen gelijkelijk, en de voortplanting moet dus langzamer gaan dan de moleculen zich bewegen.

Men kan zich van het vraagstuk verder afmaken door de eenvoudige opmerking, dat waar de drukking van een gas uit de kinetische beschouwing volledig verklaard kan worden, de voortplanting van een dichtheidsverandering en dus van een drukverandering natuurlijk eveneens uit de theorie met het juiste bedrag voor den dag moet komen. Maar men is daarmee, en terecht, niet tevreden geweest en zoo zien wij ook landgenooten als v. Rees, Mees, Hoorweg ¹⁾, H. J. Rink (1847—1883) en J. Nieuwenhuijzen Kruseman (1897) zich met de, zeker niet gemakkelijke afleiding van de geluidsbeweging uit de kinetische theorie bezig houden. Een zeer uitvoerige en afdoende behandeling van het vraagstuk heeft men aan H. A. Lorentz te danken, zooals hij trouwens ook in andere richting veel tot de ontwikkeling der kinetische theorie heeft bijgedragen. De vereischte beschouwingen zijn te ingewikkeld, dan dat wij ze hier in ons kort bestek zouden kunnen weergeven.

Een toetsing van de formule voor de voortplantingssnelheid in dampen door berekening gaf H. C. Los (proefschrift Leiden 1897).

In andere richtingen zien we C. H. C. Grinwis (1831—1899) aan problemen uit de leer van het geluid arbeiden; de theorie van resonatoren, mechanische theorie van het geluid, vrije voortplanting van het geluid, cilindrische geluidsgolven, energie van trillende snaren, zijn de titels van eenige zijner verhandelingen. Het meest legde hij zich op de electriciteitsleer toe en hij was de schrijver van een destijds veel gebruikt leerboek over de wrijvings-electriciteit. Mededeelingen van bijzonderheden omtrent zijn onderzoekingen zouden hier niet op haar plaats zijn.

Als een verdere theoretische quaestie uit de leer der trillingen willen wij hier nog vermelden de voortplanting van evenwichtsverstoringen in elastische buizen, door D. J. Korteweg behandeld naar aanleiding van een proefondervindelijk onderzoek van A. Isebree Moens over de eigenschappen van de polsgolf (1877).

Deze theorie vindt bij voorbeeld ook een toepassing bij de voortplanting van het geluid in een vloeistof, die in een buis bevat is, waarvan de wanden niet volkomen rigide zijn: door het meegeven van den wand wordt de snelheid van voortplanting verkleind en daarmee wordt bijv. de toon, dien een met water aangeblazen orgelpijp doet hooren, merkbaar

¹⁾ Hoorweg heeft een veelzijdige wetenschappelijke werkzaamheid ontwikkeld. Zijn bijdragen liggen, behalve op het terrein van het geluid, ook op dat van de dioptrica, van de straling en van den galvanischen stroom. Door zijn onderzoekingen werd hij geleid tot physiologische vraagstukken, waaraan hij zich sedert heeft gegeven.

lager dan anders het geval zou zijn. Wat golfbeweging in het algemeen betreft, mag ook de dissertatie van J. E. Couvée genoemd worden (1887).

Ook in het vervolg zien wij, dat Korteweg zich steeds weer het meest aangetrokken voelde door zoodanige mathematische problemen als nauw met natuurkundige verschijnselen samenhangen. Op het gebied der hydrodynamica, waar de genoemde verhandeling thuis behoort, vermelden wij een bijdrage, in samenwerking met G. de Vries, tot de theorie van de golfbeweging in nauwe kanalen, welke van toepassing is op de vloedbeweging in riviermonden, voorts studiën over beweging van vloeistoffen met in aanmerking neming van de wrijving, waar Korteweg eenige belangrijke nieuwe theorema's opstelde, een onderwerp, waaraan, zooals wij in het voorbijgaan willen opmerken, ook Lorentz meer dan eens zijn aandacht geschonken heeft¹⁾. Verdere onderzoekingen van physischen aard door Korteweg betreffen de volume-veranderingen van een condensator voor electriciteit bij het laden en ontladen, die het gevolg zijn van de krachten, welke tusschen de geladen bekleedsels van den condensator werken, in samenwerking met V. A. Julius,²⁾ en de verbetering van de toestandsvergelijking, waar we later over spreken. Verder wijdde hij een studie aan de wetten der electrodynamica. Uit de verschijnselen leert men de krachten kennen, die electriche stroomen op een afstand op elkaar uitoefenen. Sedert Ampère had men beproefd deze krachten terug te brengen tot elementaire werkingen tusschen de stroom-elementen, d. w. z. tusschen de kleine stukjes, waarin men een gesloten stroom verdeeld kan denken. Korteweg toonde aan, dat de door anderen opgestelde wetten als bijzondere gevallen van een meer algemeene wet waren te beschouwen. Dit vraagstuk, dat toen ter tijde van fundamenteel belang moest beschouwd worden, is thans op den achtergrond getreden door de ontwikkeling van de theorie van Maxwell, volgens welke de bedoelde werkingen niet langer beschouwd worden als het gevolg van krachten op een afstand, maar gedacht worden als door spanningen en drukkingen in het medium, waarin de stroomgeleiders zich bevinden, overgebracht.

Korteweg's theorie van plooiën en plooi-punten op meetkundige oppervlakken is een onmisbare handleiding gebleken bij de studie van het evenwicht tusschen verschillende toestanden of „phasen”, zooals zij genoemd worden, bij mengsels van stoffen: immers deze evenwichten worden afgeleid met behulp van thermodynamische oppervlakken, die de mogelijke toestanden van mengsels voorstellen, en de plooiën, die in dergelijke oppervlakken voorkomen. Daarop zullen wij later moeten terugkomen.

Eindelijk noemen wij zijn onderzoek omtrent de centrale beweging, d. i. de beweging van een lichaam onder den invloed van een kracht, die

¹⁾ Zie ook proefschrift van F. M. Cohen (Amst. 1901).

²⁾ Hierover ook proefschrift van D. Bos (Groningen 1888).

van een middelpunt uitgaat en volgens een bepaalde wet van den afstand tot dit middelpunt afhankelijk is; hierbij werden een aantal interessante theorema's omtrent de mogelijke banen van het lichaam aan den dag gebracht.

De naam van Korteweg zal ook verbonden blijven aan de uitgave van de brieven en geschriften van Huygens door de Hollandsche Maatschappij der wetenschappen te Haarlem; van den voortgang van dit monumentale werk, waar vele anderen, als H. G. van de Sande Bakhuyzen, D. Bierens de Haan, J. Bosscha en H. A. Lorentz aan hebben medegewerkt en nog medewerken, komt de eer voor een groot gedeelte aan Korteweg toe. Ook ziet men telkens interessante mededeelingen van de hand van Korteweg zelf of van zijn leerlingen verschijnen over natuurkundige vraagstukken, die door hem aan de werken van Huygens ontleend waren. Als voorbeeld noemen we de bepaling van de verschillende standen, waarin een lichaam van bepaalden meetkundigen vorm op een vloeistof zal kunnen drijven. Onder de leiding van Korteweg loste P. Brandsen (Diss. 1909) het vraagstuk op voor een balk in den vorm van een rechthoekig parallelipedum en in het bijzonder van een kubus.

In verband met de hydrodynamische onderzoekingen, die boven gememoreerd werden, willen wij een Leidsche dissertatie vermelden van E. J. Evers (1897), waarin gepoogd wordt een verklaring te geven van de waargenomen bewegingen van roode en witte bloedlichaampjes in den bloedstroom.

Onderzoekingen van Bosscha (1831—1911).

Voor het onderzoek aangaande de wetenschappelijke werkzaamheid van Bosscha, die wij thans nader in oogenschouw willen nemen, staat ons de uitgave van zijn verspreide geschriften, hem door zijn vrienden op zijn 70^{sten} verjaardag aangeboden, ten dienste. Over Bosscha's methode ter bepaling van de snelheid van het geluid, die hij nog voor zijn promotie in het licht gaf, hebben wij reeds gesproken. De dissertatie liep over een onderwerp uit de electriciteitsleer, den differentiaal-galvanometer; hierin wordt o. a. een nieuwe methode ter bepaling van de verhouding van de electromotorische krachten van galvanische elementen voorgesteld, afwijkende van de bekende compensatie-methode, die door Poggendorff kort te voren in een nog onvolkomen vorm was aangegeven. Terwijl in de laatste de E. M. K. van een element wordt opgeheven door het potentiaal-verschil langs een draad, waardoor een tweede element een stroom voert, zoodat het eerstgenoemde bij de meting vrij van stroom is, zijn in de methode van Bosscha de twee elementen achter elkaar geschakeld en met twee regelbare weerstanden tot een stroomkring vereenigd: ze geven dus beide stroom, terwijl een brug-draad op zoodanige wijze is aangebracht, dat de elementen zich aan weerszijden daarvan, ieder met een der weerstanden

bevinden. Deze worden zoo geregeld, dat de brug stroomvrij wordt. Dezelfde methode is later onafhankelijk door Heavyside gevonden. Bosscha geeft ook aan, hoe men den onbekenden weerstand der elementen zelve kan elimineeren door de proef te herhalen met andere weerstanden in den hoofdtak, en tevens hoe door dienzelfden kunstgreep, het toevoegen van twee weerstanden in de beide stukken van den hoofdkring, de methode van Poggendorff verbeterd kan worden. Eerst later door Du Bois Reymond en Clark verkreeg deze laatste methode den modernen vorm, waarin de stroom in den hoofdkring onveranderd gelaten wordt en de vergelijking geschiedt tusschen twee electromotorische krachten of potentiaal-verschillen, die achtereenvolgens of tegelijkertijd in zijdraden worden gecompenseerd.

Op het onderwerp der verdeeling van stroomen over de beschikbare geleiders kwam Bosscha later meer dan eens terug. Bij die gelegenheid stelde hij een aantal nieuwe theorema's op, waaronder zeer opmerkelijke, die uit de bekende wetten van Kirchhoff kunnen worden afgeleid of met behulp daarvan bewezen. Wij zullen er een noemen: in een netwerk van geleiders, die door stroomen doorloopen worden, verandert men niets aan de stroomsterkten, wanneer men in elk der geleiders, welke in een kruispunt samenkomen, een gelijke E. M. K. toevoegt of wegneemt, alle naar het kruispunt toe of daarvan afgekeerd. Dezelfde stelling geldt evenzeer voor de geleiders, die niet in één punt, maar in de knooppunten van een gesloten maas van het net uitkomen. Het bewijs van deze stellingen wordt geleverd door op te merken, dat in alle denkbare gesloten kringen van het net de geheele E. M. K. door de toevoeging of de verwijdering der genoemde electromotorische krachten niet veranderd wordt. Voor verdere bijzonderheden en toepassingen zij de belangstellende lezer naar de oorspronkelijke verhandelingen verwezen. Wij noemen alleen de toepassing op de vroeger vermelde metingen van Rijke over extra-stroomen, waarin voor het eerst de brug van Wheatstone bij meting van plotselinge stroomen gebezigd werd. Misschien mogen wij ook in de door Bosscha voorgestelde methode om langs een draad meer dan een telegraphische depeche tegelijkertijd in dezelfde richting te zenden een uitvloeisel zien van zijn toenmalige belangstelling in het vraagstuk der stroomverdeeling. Schroeder van der Kolk heeft een van Bosscha's methoden ter bepaling van weerstanden onder diens leiding toegepast.

Spoedig maakte een ander vraagstuk op electrisch gebied van groot fundamenteel belang Bosscha's aandacht gaande, n.l. de toepassing van de eerste wet der warmte-theorie, d. w. z. de wet van het behoud van arbeidsvermogen, op de arbeidsverrichtingen in een electrische keten. Volgens die wet moet de warmte door den stroom in een keten ontwikkeld equivalent zijn met het in de galvanische cel verloren gaande arbeidsvermogen; daaruit was door Helmholtz en Kelvin afgeleid, dat de E. M. K. van een

cel equivalent moest zijn met het per eenheid doorgegangene lading in de cel verloren scheikundig arbeidsvermogen. Voor de toetsing daarvan was een nauwkeurige bepaling noodig van de E. M. K. van een bepaald galvanisch element. Daartoe werd het element van Daniell gekozen, omdat het warmte-equivalent der daarin plaats vindende scheikundige werkingen uit bekende calorimetriscbe bepalingen was af te leiden. De meting gaf een zeer bevredigende uitkomst, die als een bevestiging van het theoretische resultaat mocht worden aangemerkt. Evenzoo vond Bosscha een tamelijke overeenstemming bij het element van Becquerel (in zijn eenvoudigsten vorm bestaande uit Pt, zuur, alkali, Pt).

Eerst later is gebleken, dat de bedoelde wet een wijziging behoefde: aan het aanrakings-oppervlak tusschen een metaal en een electrolyt of van twee electrolyten heeft bij den doorgang van den stroom een warmte-werking plaats, die onafhankelijk is en onderscheiden moet worden van de warmte-ontwikkeling in de vaste en vloeibare geleiders zelve en waarmede bij het opstellen van de wet geen rekening gehouden was. Het gevolg daarvan is, dat de E. M. K. niet nauwkeurig equivalent is met de verloren chemische energie: zij kan grooter of kleiner zijn; toevallig is bij het element van Daniell het verschil gering, zoodat het bij de nauwkeurigheid, die de proeven toen ter tijde toelieten, aan de waarneming moest ontsnappen.

In de verhandeling, die Bosscha aan het onderwerp wijdde, besprak hij voorts de door anderen genomen proeven over de warmte-ontwikkeling in een voltameter, d. w. z. in een toestel, waarin door den stroom chemische werking wordt teweeggebracht; dit vraagstuk is a. h. w. het omgekeerde van het eerst besprokene. In de plaats van de gebrekkige voorstellingen en misvattingen van zijn voorgangers stelde hij de juiste betrekkingen voor dit geval op. De voltameter is niet met een weerstand gelijk te stellen, maar oefent een tegen-E. M. K. uit, zooals reeds door Vorsselman de Heer was aangewezen, en de tegen die E. M. K. verrichte arbeid is equivalent met den verrichten scheikundigen arbeid. Bij de berekening voor het geval van een water-voltameter kwam nu een groot verschil voor den dag: uit proeven van Bosscha zelf en anderen was de E. M. K. der polarisatie in dit geval bekend en deze zou dus met de vormingswarmte van water uit waterstof en zuurstof equivalent moeten zijn, maar het bleek, dat ze meer dan $1\frac{1}{2}$ maal zoo groot was. Om dit te verklaren onderstelde hij, dat dit aan de „activiteit” der gassen bij hun vorming toe te schrijven zou zijn. Het is inderdaad juist, dat bij de electrolyse van water een grootere tegen-E. M. K. dan de theoretische wordt opgewekt, die o. a. afhankelijk gebleken is van den aard der gebruikte electroden; in het bijzonder geldt dit voor de anode, waar dus de zuurstof te voorschijn komt, en daar wordt dan ook gewoonlijk een grootere locale warmte-ontwikkeling waargenomen. De verklaring van het gevonden verschil hangt zeker met de

straks genoemde locale werking aan de electroden samen, maar een alleszins bevredigende verklaring is zelfs nu nog niet gegeven. Later bevestigde Bosscha zijn uitkomsten door berekening voor het element van Smee, waarin eveneens gas ontwikkeld wordt.

Een voordracht van Bosscha over de wet van het behoud van arbeidsvermogen van 1858, waarin o. a. de boven besproken uitkomsten verwerkt worden, verdient in twee opzichten onze aandacht, vooreerst omdat ze ons een uitstekend voorbeeld geeft van Bosscha's groot talent van half-populaire uiteenzetting — men denke aan zijn bekend leerboek en de groote populariteit, waarin dat zich heeft mogen verheugen — en vervolgens ook, omdat ze voor het eerst zijn zin voor historisch-kritisch werk over wetenschappelijke onderwerpen openbaart. In het onderhavige geval betreft het de historische ontwikkeling van den stelregel van de onmogelijkheid van een perpetuum mobile, waarbij o. a. 's Gravesande een rol gespeeld had. De lijvige aantekeningen, die Bosscha aan deze voordracht toevoegde, met hun schat van historische bijzonderheden en kritische opmerkingen, doen zijn talent te dezen opzichte, dat hij ook later meermalen zou ten toon spreiden, reeds toen kennen.

In latere jaren zien wij hem met grootè liefde het werken van landgenooten als Van Marum en Huygens uiteenzetten. Tegenover hen, die voor Galilei op de ontdekking van den verrekijker aanspraak maakten, verdedigde Bosscha met groote warmte het goed recht van den Nederlander Johan Lipperhey van Middelburg (1608)¹⁾. Evenzoo trok Bosscha in den strijd tusschen de voorstanders van Galilei en van Marius ten opzichte van de ontdekking van de manen van Jupiter met geestdrift voor den laatstgenoemde partij. In deze neiging, vooral waar het landgenooten gold, zien we een van meerdere punten van gelijkenis met Van Swinden, die bijv. in de quaestie van de ontdekking van het slingeruurwerk met groot talent voor Huygens was opgekomen. Bosscha was in dergelijke quaesties geen rustig, objectief historicus. Daarvoor gaf hij er zijn hart te veel aan. De mannen, wier partij hij gekozen had, werden voor hem helden, die hij, zoo veel als zijn geweten het toeliet, verheerlijkte. Zoo steekt Van Marum hier en daar zijn hoofd boven Lavoisier uit en naast Huygens neemt Newton bijkans een tweede plaats in; maar daaraan heeft men dan ook de groote welsprekendheid en den warmen gloed van het betoog te danken.

Waarnemingen van Regnault.

Het buitengewoon talent, waarmede Bosscha blijkens zijn electriche verhandelingen de waarnemingen van andere onderzoekers kritisch wist te bewerken, komt nog sterker voor den dag in de reeks van onderzoekingen,

¹⁾ Volgens C. de Waard moet Lipperhey voor Sacharias Janssen (1604) plaats maken en werkte deze Nederlander bovendien nog naar een Italiaansch model van 1590.

die hij aan de beroemde metingen van Regnault wijdde. Het eerste onderzoek gold de afleiding van de ware uitzetting van kwik. Wanneer men de rol nagaat, die deze vloeistof in de experimenteele natuurkundige wetenschap gespeeld heeft en nog speelt, dan vraagt men zich af, hoe deze zich zou hebben ontwikkeld of zelfs hebben kunnen ontwikkelen, indien het kwik op aarde ontbroken had. De geheele physica door, en evenzeer in de verwante wetenschappen, vindt kwik als onontbeerlijk hulpmiddel toepassing, in het bijzonder ligt het gebruik van kwik aan metingen met gassen van drukkingen, temperaturen en volumes ten grondslag. Geen wonder, dat Regnault voor een eerste onderzoek de uitzetting van het kwik koos en dat Bosscha het de moeite waard achtte aan dit onderzoek een lijvige studie te wijden.

De eenvoudigste onderstelling omtrent het verband tusschen het volume eener zelfstandigheid en de temperatuur is deze, dat het volume van een bepaalde temperatuur, bijv. 0° , uit gemeten voor iederen graad stijging met hetzelfde bedrag toeneemt: men verkrijgt dan algebraïsch de betrekking $v = v_0 (1 + a t)$, waar v_0 het volume bij de uitgangstemperatuur voorstelt en de constante grootheid a den naam van uitzettingscoëfficiënt draagt. Het blijkt spoedig, dat deze betrekking de uitzetting niet met groote nauwkeurigheid voorstelt, dan alleen voor die stof, welke bij het vaststellen van de thermometrische schaal de rol speelt van thermometrische zelfstandigheid, zoodat voor die stof de uitzetting bij wijze van definitie precies evenredig is met de temperatuur-verandering. Als deze stof dient tegenwoordig gewoonlijk een gas, bij voorbeeld waterstof of helium. Voor een willekeurige andere stof volgt de uitzetting een meer ingewikkelde wet en om dit weer te geven moet ook de formule meer samengesteld genomen worden. Gewoonlijk schrijft men voor dit doel met een voor de hand liggende uitbreiding der grondformule $v = v_0 (1 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots)$, waarin dus het volume in een reeks naar opklimmende machten van de temperatuur ontwikkeld is, met zooveel termen als voor de voorstelling der metingen noodig blijken te zijn. Regnault maakte van een dergelijke betrekking gebruik om de uitzetting van kwik weer te geven, evenals ook anderen deden, zooals Wüllner, Chappuis, en Broch, die zich met de bewerking zijner waarnemingen hebben bezig gehouden.

Bosscha stelde hierin een verandering voor: hij oordeelde, dat het rationeel was om te onderstellen, dat de uitzetting per graad evenredig zou zijn met het volume, dat het kwik bij iedere temperatuur beslaat, of analytisch uitgedrukt, dat $\frac{d v}{d t}$ evenredig zou zijn met v ; daaruit kan men gereedelijk de betrekking $v = v_0 e^{a t}$ afleiden. Deze formule heeft het voordeel boven de eerst genoemde, dat er slechts één constante a in voorkomt in plaats van twee of meer als in de andere. Deze constante eenmaal bepaald zijnde, leert de formule het volume van het kwik bij iedere willekeurige temperatuur kennen. De uitvoerige berekeningen van Bosscha,

waarbij alle vereischte correcties met de grootste zorgvuldigheid werden aangebracht, leeren, dat de formule tot vrij hooge temperatuur toe (ongeveer 260°) de waarnemingen met voldoende benadering voorstelt.

Boven deze grens van temperatuur komen toenemende afwijkingen tusschen formule en waarneming voor den dag en Bosscha toonde zich geneigd als oorzaak hiervan aan waarnemingsfouten te denken. Daar wij echter geen reden hebben om, zooals hij deed, aan de formule uit een theoretisch oogpunt den voorrang te geven, is er voor ons geen grond deze laatste gevolgtrekking over te nemen. Wij behoeven niet verder te gaan dan de formule van Bosscha te kenmerken als de eenvoudigste formule, die tot 260° kan dienen om het volume van kwik te berekenen.

Het onderzoek van Bosscha leerde o.a. dat de uitzetting tusschen 0° en 100° , die volgens Regnault zelf 0.018153 bedroeg, eerder op 0.018241 gesteld moest worden. Hieruit volgt incidenteel, dat aan de uitzettingscoëfficiënten van glas en lucht eveneens grootere waarden moeten worden toegekend dan door Regnault geschied was: immers de eerste wordt gevonden door de schijnbare uitzetting van kwik in een vat van de gebezigde glassoort te meten en dan de bekende betrekking toe te passen, dat de schijnbare uitzetting gelijk is aan de ware uitzetting van de vloeistof verminderd met de uitzetting van het materiaal van het vat. Nu de ware uitzetting iets grooter schijnt uit te vallen, moet ook de uitzetting van het glas iets grooter worden aangenomen. Evenzoo wordt de uitzettingscoëfficiënt van de lucht op haar beurt gevonden door bij den gemeten schijnbaren uitzettingscoëfficiënt dien van het glas op te tellen en ook hij zal dus iets grooter uitvallen, n.l. tusschen 0° en 100° 0.003667 in plaats van 0.003665; een grootere waarde is ook bij latere metingen door anderen gevonden geworden.

Bij het verdere onderzoek verkreeg Bosscha een uitkomst, die van groot gewicht is voor de thermometrie; in tegenstelling met wat Regnault zelf meende te mogen aannemen, kunnen de verschillen in de aanwijzingen van kwik-thermometer en lucht-thermometer, welken laatsten Regnault als standaard bij al zijn metingen vooropstelt, tusschen 0° en 100° volstrekt niet worden verwaarloosd. Het hangt af van den aard van het glas, of de afwijkingen in de eene of in de andere richting vallen: bij thermometers van gewoon glas, d. w. z. zacht soda-glas, vindt Bosscha, dat zij bij 50° ongeveer 0.3° hooger aanwijzen dan de luchtthermometer, terwijl thermometers uit het veelal door Regnault gebezigde „kristal-glas” bij die zelfde temperatuur 0.2° te laag staan. Bosscha verkreeg die uitkomst door weer de waarnemingen van Regnault zelf over de schijnbare uitzetting van kwik in glas zoo nauwkeurig mogelijk door formules voor te stellen: het zal n.l. duidelijk zijn, dat de aanwijzing van een kwikthermometer onmiddellijk van die schijnbare uitzetting afhangt.

Wij willen ons naar aanleiding van het hier besproken onderzoek van Bosscha veroorloven de aandacht van den niet-ingewijden lezer te vestigen op de in de natuurkunde gebruikelijke, uiterst nuttige gewoonte om bij metingen van bovenstaanden aard de waarnemingen zelve, alsmede alle bijzonderheden omtrent de gebezigde toestellen en de gevolgde rekenwijzen in al haar uitvoerigheid mede te deelen, opdat de uitkomsten later kunnen worden nagewerkt en zoo noodig gecorrigeerd. Talrijke voorbeelden zouden te noemen zijn, waar metingen nog na tal van jaren, ook na wijziging van het gezichtspunt der wetenschap, op die wijze aan deze dienstbaar konden worden gemaakt.

Ook tegenover Regnault zelf hield Bosscha het goed recht zijner uitkomsten vol; verder deed hij zien, dat de invloed van dergelijke verschillen als werden genoemd bij nauwkeurige metingen van physische grootheden niet mogen worden verwaarloosd. Zoo oefenen zij op metingen van de verdampingswarmte en van de soortelijke warmte een zeer merk-baren invloed uit: de waarde van de soortelijke warmte van lucht, d. i. de warmte vereischt om een gram lucht een graad in temperatuur te doen stijgen, wat om verschillende redenen een uiterst belangrijke physische constante is, waarvoor Regnault het getal 0.23771 opgeeft, moet tot 0.23918 verhoogd of tot 0.23624 verlaagd worden, al naarmate van de soort van glas, waaruit de gebezigde thermometer vervaardigd was. Evenzoo zal de door Regnault gevonden waarde voor de verdampingswarmte van water bij 100° (536) met 3 calorieën verhoogd of verlaagd moeten worden. Hierbij merken wij op, dat, te oordeelen naar latere uitkomsten van anderen, in beide gevallen de verhooging noodzakelijk schijnt.

Aan de betrekking tusschen temperatuur en dampdrukking van water wijdde Bosscha een afzonderlijke verhandeling: in dit geval geeft Regnault de aflezingen aan zoowel van den lucht-thermometer als van twee kwik-thermometers. Bosscha kon nu met zijn formules de laatste op den eersten reduceeren en dus indirect zijn vroegere uitkomsten op de proef stellen; daarbij bleek een groote overeenstemming te bestaan, die een bevestiging mocht heeten van het geheele voorafgaande onderzoek, vooral wanneer kleine, zeer aannemelijke fouten in de constanten der luchtthermometers, die in verschillende serieën gebezigd waren, werden ondersteld.

Uit Regnault's onderzoek over de soortelijke warmte van water bij verschillende temperaturen tusschen 0° en 100° gelukte het Bosscha op grond van de gevonden thermometer-correcties een nauwkeuriger uitkomst af te leiden dan Regnault zelf had gedaan. De verschillen zijn hier weder van dien aard, dat ze niet mogen worden verwaarloosd: ook hier zijn de waarnemingen nauwkeuriger dan de waarnemer zelf had durven onderstellen. Zoo vindt Bosscha voor de geheele warmte, die vereischt wordt om een gram water van 0° op 100° te brengen 101.1 calorieën, terwijl uit Regnault's

formule voor diezelfde warmte-hoeveelheid 100.5 zou volgen. Dat de formule van Bosscha zelf voor de soortelijke warmte van water $n.l c = 1 + 0.00022(t - 18)$ toch ook niet juist is, volgt uit nieuwere waarnemingen van Rowland en anderen, die hebben uitgewezen, dat deze grootte tot 30° of 40° toe afneemt, een minimum doorloopt en dan eerst allengs grooter wordt.

Het reeds eenige malen genoemde bekende leerboek van Bosscha dankt zijn oorsprong aan een uitnoodiging van den kant der uitgevers van het jaar 1864. De kritische bewerking van Regnault's waarnemingen valt dus in de periode, waarin hij met het schrijven van het leerboek bezig was, en het is niet onwaarschijnlijk, dat juist door die bezigheid zijn aandacht op het onderwerp gevestigd werd. Evenzoo zullen de vraagstukken uit de leer der capillaire krachten, waaraan hij zijn aandacht gaf, hem bij de bespreking der capillaire verschijnselen aan de hand zijn gedaan. Hetzelfde geldt in ieder geval voor Bosscha's studie omtrent gecentreerde optische stelsels, die het eerst in het leerboek een plaats vond en later nog werd uitgebreid. Zijn methode van behandeling gaat terug tot die van Lagrange: terwijl in de meer gebruikelijke methoden, die van Gauss en Möbius afkomstig zijn, voor het vinden van den loop der lichtstralen in elk samenstel van lenzen van de brandpunten, hoofdpunten en knooppunten gebruik gemaakt wordt, is het uitgangspunt bij Lagrange en Bosscha de divergentie van de stralen, d. w. z. de hoek, dien de lichtstraal met de as van het gecentreerde stelsel maakt. In de latere bewerking van dit gedeelte van het leerboek van R. Sissingh is deze methode behouden gebleven: zonder twijfel heeft zij zekere voordeelen boven de meer gebruikelijke, voordeelen, die den schrijver hebben doen heenstappen over het bezwaar om in een leerboek, dat ook tot inleiding in grootere werken moet dienen, zoo sterk van de elders gevolgde methoden af te wijken. In een afzonderlijk gepubliceerde verhandeling heeft Sissingh op de methode van Bosscha voortgebouwd. Nadere beschouwingen vindt men ook in het proefschrift van P. G. Tiddens (Leiden 1904).

Bosscha gaf ook een aardige oplossing van het probleem om met behulp van drie verschuifbare lenzen een kijker te construeeren van veranderlijke vergrooting, zonder verandering van de instelling van het oog, een verbetering van een door Donders beschreven „pancratischen” kijker, die een voortdurende verandering van instelling vereischte. De oplossing van Bosscha berustte op het gebruik van de ruit van Peaucellier.¹⁾

Nadat wij nog op een alleenstaand experimenteel onderzoek gewezen hebben betreffende „de gevoeligheid van den telefoon en de electriciteits-hoeveelheden door het trillend plaatje in beweging gebracht”, komen wij tot Bosscha's bemoeiingen in verband met de „Meter-commissie”.

¹⁾ Kleinere bijdragen op het gebied der dioptrica gaf J. D. van der Plaats.

Nederlandsche meters.

Wij hadden vroeger gelegenheid de diensten in herinnering te brengen door Van Swinden en Aeneae bewezen ten opzichte van de vestiging en de invoering van het metrieke stelsel. De eenheden, die toen ter tijde waren vastgesteld, hadden allengs een groote verbreiding gekregen: de meeste landen bezaten copieën van den standaard-meter en het standaard-kilogram, die veelal door gedelegeerden met de te Parijs aanwezige standaarden waren vergeleken, zij het ook niet met de authentieke standaarden zelve „des Archives,” maar met copieën, die op haar beurt aan de eigenlijke eenheden waren aangesloten. Van verschillende zijden waren bezwaren tegen den bestaanden toestand ingebracht, men wilde nieuwe standaarden en wenschte eenheid in de vergelijking verkrijgen, die de grootste nauwkeurigheid zou waarborgen, welke voor verschillende wetenschappelijke doeleinden — graadmeting en slingerwaarnemingen — geboden was.

De Fransche Academie besloot op deze denkbeelden in te gaan: de bedoeling was als schakel tusschen den „mètre des Archives” en de internationale standaarden een „mètre à traits” te doen vervaardigen, d. w. z. een meter, welks lengte werd aangegeven door den afstand van twee op de staaf getrokken fijne strepen: de mètre des Archives is een „mètre à bouts”, dus een waarvan de lengte gelijk is aan den afstand tusschen de vlakke uiteinden. Toen in 1869 door de Fransche Regeering een internationale commissie werd bijeengeroepen, die met de Fransche commissie zou samenwerken om een wettige copie van den oorspronkelijken meter, benevens een aantal nieuwe standaard-meters voor de verschillende landen te doen vervaardigen, was er zeker niemand in ons land, die door zijn talenten als experimenteel physicus en door zijn persoonlijkheid beter dan Bosscha geschikt was om in deze commissie de rol van Van Swinden te vervullen. Door het sterven van F. Kaiser werd Bosscha naast F. J. Stamkart als lid der commissie aangewezen en zoo kwam de taak om als wetenschappelijk adviseur Nederland te vertegenwoordigen voor een groot gedeelte op de schouders van Bosscha te rusten.

F. J. Stamkart (1805—1882) nam een werkzaam aandeel in de Nederlandsche Driehoeksmeting, ten behoeve waarvan bij in 1868 een basis-meting uitvoerde in de Haarlemmermeer, waarvoor eerst in 1913 een nieuwe in de plaats kwam op den straatweg tusschen Amersfoort en Apeldoorn op de hoogte van het station Stroe, onder leiding van Hk. J. Heuvelink en H. G. van de Sande Bakhuyzen. Hij was nog een drietal jaren lid van de in 1879 ingestelde Rijkscommissie voor Graadmeting en waterpassing. Bovendien behandelde hij een aantal vraagstukken betreffende maten en gewichten en was dus voor de taak van lid der meter-kommissie in vele opzichten berekend. Onder zijn geschriften komen, behalve de mededeeling van velerlei waarnemingen betrekking hebbende

op het aardmagnetisme, waterstanden en getijden, en op meteorologie, ook meerdere oorspronkelijke verhandelingen voor, zooals over een door hem uitgevonden „intensiteits-kompas”, een optische methode tot het meten van kleine afstanden, van den aard van den „optischen hefboom”, een methode om de dichtheid te meten van een vloeistof in een gesloten vat door middel van een magnetischen zinker, die van buiten door een sterken magneet juist tot zweving gebracht wordt, en over mechanische vraagstukken.

Bosscha was eigenlijk van de wenschelijkheid van het instellen dezer internationale commissie niet overtuigd, omdat het werk gerust aan de Fransche commissie kon worden overgelaten, maar men meende zich daarom toch niet van den aanvang af aan het deelnemen in de conferentie te moeten onttrekken. De werkzaamheden der commissie, die door den oorlog van 1870 onderbroken werden en in 1872 hervat, kwamen eerst in 1875 tot een einde met de instelling van een internationaal bureau, dat tot heden toe te Breteuil zijn zetel heeft gehad. Aan deze stichting was een diplomatieke bijeenkomst voorafgegaan, waarin tot het oprichten van het bureau werd besloten.

De leider van de tegenstanders van dit plan was Bosscha geweest; met groote welsprekendheid had hij de denkbeelden der minderheid telkens weer geformuleerd, uiteengezet en verdedigd. Hij meende, dat door de vestiging van dit bureau het particulier initiatief der afzonderlijke geleerden zou worden gedrukt, dat de arbeid van het bureau onder contrôle van de internationale commissie zou lijden en dat het nut der instelling in de verte niet evenredig zou zijn aan de kosten, die het zou medebrengen. Alle pogingen tot schikking mislukten en de landen, wier bezwaren tegen de stichting van een dergelijk blijvend metrologisch instituut onoverkomelijk waren, moesten zich terugtrekken. Nog heden staan met Nederland ook Griekenland en Brazilië buiten dit internationaal verband.

Wij zullen ons hier niet begeven in een discussie van de argumenten, die bij monde van Bosscha tegen de oprichting werden aangevoerd, en evenmin de vraag bespreken, of het niet beter geweest zou zijn, toen eenmaal met overweldigende meerderheid en zelfs onder medewerking van Frankrijk zelf tot de ontbinding van de internationale meter-commissie en de vestiging van het internationaal bureau was besloten, indien Nederland zich er bij had aangesloten. Zeker is, dat het niet in de natuur van Bosscha lag om zich op dien grond gewonnen te geven. In één opzicht mogen wij ons althans verheugen in den loop, dien de zaak genomen had: hij was n.l. indirect de aanleiding tot het benoemen van een commissie, bestaande uit Stamkart, Bosscha en J. A. C. Oudemans, die zorg zou dragen voor het in ontvangst nemen van de twee aan Nederland toekomende standaardmeters, nadat deze direct met den Archief-meter zouden zijn vergeleken. Het verslag van de werkzaamheden dezer commissie (1876-1880) is een belang-

rijke bijdrage geworden van Bosscha tot de metrologische wetenschap, het draagt van het begin tot het einde den stempel van ideale wetenschappelijkheid en van de zeldzame capaciteit voor kritische discussie en uiteenzetting van den schrijver. Het bevat o. a. een volledige bepaling van het optisch systeem der gebruikte microscopen volgens Bosscha's eigen methode.

Een enkel punt van belang voor de waardeering van onze standaardmeters moge nog naar voren gebracht worden. Onze meters zijn vervaardigd uit het eerste mengsel van platina en iridium, dat voor dit doel bereid was. Dit mengsel was evenwel in 1877 door het internationaal comité afgekeurd, omdat het gebleken was kleine hoeveelheden ijzer, koper en ruthenium te bevatten, die een nadeeligen invloed konden hebben op de fysische en chemische eigenschappen van het mengsel en gevaar konden opleveren, dat de strepen op de meters door roesten verloren konden gaan. Om hierover een onderzoek in te stellen gingen Bosscha en Oudemans in 1878 naar Parijs; zij kwamen tot de slotsom, dat de gebreken van het mengsel als zoodanig geen invloed ten kwade konden hebben op het gebruik der meters. De voor Nederland bestemde meters (19 en 27) werden aan allerlei behandelingen onderworpen, waarbij o. a. bleek, dat zij door een oppervlakkige schuring met amaril en reiniging van het oppervlak van de eigenschap om te roesten konden worden bevrijd. Dit resultaat der Nederlandsche commissie werd later in 1879 door de internationale commissie bevestigd, maar het nieuwe zuivere alliage was intusschen reeds afgeleverd, zoodat de standaardmeters der meeste landen uit dit laatste mengsel zijn vervaardigd.

Van bijzonderheden omtrent de verschillende door onze commissie verrichte waarnemingen of omtrent die, welke Bosscha later in 1890 hieraan toevoegde, onthouden wij ons. Slechts dit, dat onze meters direct met den *mètre des Archives* vergeleken werden en dat uit de metingen de slotsom getrokken werd, dat de nieuwe standaard-meter van de internationale commissie, die volgens haar in lengte met den *Archief-meter* overeenstemt, van 2.31 tot 2.96 micron of duizenste millimeter korter is uitgevallen. Men ziet, dat de onzekerheid slechts enkele millioenste deelen van de geheele lengte bedraagt.

Over onze maten en gewichten heeft later J. D. van der Plaats een studie gepubliceerd ¹⁾. De geschiedenis wordt daarin van Snellius af opgehaald, toen de Rijnlandsche roede de standaard van lengte was. Wat de meterquaestie betreft, komt de schrijver tot de slotsom, dat de *mètre des Archives* als zijnde een *mètre à bouts* ongeschikt is als standaard, dat onze meters als zijnde van het zeer onzuivere alliage, met onvolmaakt tracé en een niet direct bepaalden uitzettingscoëfficiënt, bij de latere meters achterstaan, en eindelijk, dat een directe vergelijking met den tegenwoordigen

¹⁾ Maandbl. v. Natuurw. 20. p. 15, 40. 1896; 22. p. 134. 1898.

standaardmeter te Breteuil zeer gewenscht blijft, de uitnoodiging waartoe in 1887 niet had mogen worden afgewezen. Althans wat het laatste punt betreft, zal de groote meerderheid der tegenwoordige vakkundigen zeker het oordeel van den schrijver gaarne onderschrijven.

De meteorologie in Nederland.

Deze tak van wetenschap verdient, dat wij er een wijle bij stilstaan, al laat ons bestek niet toe, dat wij meer doen dan de voornaamste bijdragen van landgenooten vluchtig aan ons oog te laten voorbijgaan.

De meteorologische verschijnselen zijn bij ons steeds met voorliefde beoefend. Het praktische vraagstuk van de weervoorspelling, van zooveel gewicht voor landbouw en scheepvaart, zal tot die belangstelling niet weinig hebben bijgedragen. Natuurlijk was ook hier de praktische beoefening van de weerkennis ouder dan de wetenschappelijke studie van dezen tak der natuurkunde en de weerkenners zagen veelal met leede oogen de „weerglazige secte”, zooals de Friesche practicus J. Bothnia van Burmannia (1664—1726) ze noemde, verrijzen, die na de uitvinding van den barometer dit instrument aan de weerkennis dienstbaar ging maken, en omgekeerd ondervonden zij zelve meermalen een niet geheel gerechtvaardigde minachting van den kant der opkomende wetenschappelijke meteorologen.

De oudste waarnemingen van de luchtdrukking in ons land, die ons zijn overgeleverd, zijn afkomstig uit de jaren 1697—98 van den Leidschen hoogleeraar W. Senguerd, ook reeds genoemd om zijn luchtpomp. Daarop volgt een lange reeks van waarnemingen uit 1709—1740 van Mr. J. Eckhart, Ontvanger der Domeinen te Breda, en zijn voorbeeld werd elders nagevolgd. Den aanvang van een meer systematische beoefening van de meteorologie moet men zoeken bij P. van Musschenbroek. De omvang van het meteorologische gedeelte van diens „Beginsels der Natuurkunde” legt een welsprekend getuigenis af van zijn groote belangstelling in het onderwerp. Zijn verdiensten op dit gebied liggen evenwel niet in de uitvoerige verklaringen en beschouwingen, die hij aangaande de verschijnselen ten beste gaf, maar in zijn inzicht, dat alleen door het bijeenbrengen van velerlei waarnemingen op verschillende plaatsen vooruitgang in de kennis van het klimaat en in de verklaring der verschijnselen op dit terrein te verwachten was. „Dewijl men” zoo lezen wij „in de kennis der Luchtverhevelingen hier te lande niet verre gevorderd was, en hiertoe veele waarneemers tegelijk, op verscheide plaatsen woonende, vereischt wierden, heb ik na eenige braave mannen, welke mij hulp konden bieden, omgezien, en hen aangespoort om gelijkerhand deesen arbeid te aanvaarden; aanstonds zijn hiertoe gereed geweest de Hooggeleerde Heeren J. de Gorter, wijdberoemd Hoogleeraar in de Geneeskunst tot Harderwijk, J. Steenberg, Hoogleeraar der Ontleedkunde tot Dordrecht, L. Stocke, vermaard Geneesheer tot Middelburg,

G. van Zwieten, Geneesheer tot Leiden, en eenige wakkere Wijsgeeren, een Genootschap tot Haarlem uitmakende, welke mij hunne waarneemingen eenige jaaren agter een hebben meêgedeeld, waaruit ik veele besluiten heb opgemaakt, en ontdekt, hetgeen zonder hun toedoen lang onbekend zou gebleeven zijn, waardoor zij deze wetenschap en alle liefhebbers 'er van, hoog aan zich verplicht hebben". Het is dus in de eerste plaats aan zijn bemoeiingen te danken, zooals in later tijd aan die van Van Swinden en van Wenckebach, dat er uit die perioden veel meer bouwstof voor de kennis van ons klimaat bijeengebracht is, dan in andere landen.

Musschenbroek schijnt ook de eerste geweest te zijn, die graphische voorstellingen van meteorologische grootheden gegeven heeft, een machtig hulpmiddel in een grootendeels empirische wetenschap (zie zijn *Ephemerides Meteorologicae Ultrajectinae* van 1728).

Vermelding verdient misschien de reproductie in het leerboek van Van Musschenbroek van een „tafel der winden" door Cruquius „op ordre van de WelEd. Heeren, mijne Heeren Dijkgraaf en Hoogere Heemraden van Rhyndland, getrokken uit de waarneemingen van de jaren 1733, '34, '35 en '36".

Langzamerhand werden de waarnemingsplaatsen talrijker en hadden de waarnemingen op meer meteorologische grootheden betrekking. De lange reeks van waarnemingen van het huis Zwaanenburg te Halfweg omvatten reeds: Barometer, Thermometer, neerslag, het „uitgewasemde", de windkracht en de luchtgesteldheid. Vele der uitkomsten zijn in de publicaties van de geleerde genootschappen te vinden.

De waarnemingen van Van Swinden te Franeker en Amsterdam onderscheidden zich evenals die van Van Musschenbroek uit vroeger tijd van die van zijn voorgangers. Groot waren inderdaad zijn belangstelling in dit vak van wetenschap en zijn ijver om haar te bevorderen. Hij ontdekte door zijn waarnemingen de dagelijksche periodieke verandering van de barometer-drukking voor ons land. Vermelding verdienen verder die van Wenckebach te Breda; zoowel diens eigen waarnemingen als zijn verzameling van die van voorgangers en hunne kritische behandeling staan op hoog peil. Zooals de beroemde meteoroloog Dove verklaarde: Wenckebach voltooide het werk, dat door Van Swinden begonnen was. De verzameling van Wenckebach werd na diens dood door Buys Ballot bewerkt en door het Utrechtsch Genootschap uitgegeven ¹⁾.

Utrecht, waar ook Van Musschenbroek zijn eerste waarnemingsreeksen had verzameld, werd door Buys Ballot het middelpunt van de meteorologische bedrijvigheid in ons land. Wij zien daar in den loop der tijden,

¹⁾ W. Wenckebach (1803—1847) schreef voor de Maatsch. tot Nut van 't Alg. een „Handleiding tot de kennis der Natuur", die door C. J. Matthes (1811—1882) voltooid werd. De laatste bezorgde ook een deel van een nieuwe editie van Uilkens.

behalve Buys Ballot zelf, verschillende mannen aan meteorologische onderzoeken deelnemen: zoo Van Rees met zijn metingen van den regenval en andere grootheden op den Utrechtschen Dom, ondernomen met het doel om de vermindering vast te stellen van den regenval bij toenemende hoogte, Harting ¹⁾ met zijn Atmometer of verdampingsmeter, een gewijzigden vorm van den toestel, waarmede men de hoeveelheid aan de vrije lucht verdampend vocht tracht te bepalen, en Dr. F. W. C. Krecke ²⁾ den schrijver van het bekende werk: Het klimaat van Nederland, dat ook thans nog de lezing waard is, al hopen wij ook op een nieuw werk in die richting, waarvoor bouwstoffen reeds nu van tijd tot tijd door Dr. J. P. van der Stok in het licht gegeven worden.

Het meteorologisch observatorium, in 1848 door Buys Ballot en Krecke als particuliere inrichting begonnen, verkreeg in 1854 het karakter van een Rijks-instelling, die zich allengs tot het tegenwoordige instituut in De Bilt ontwikkeld heeft.

Wie bij ons aan de meteorologie denkt, denkt daarbij dadelijk vanzelf aan Buys Ballot, en wie dat doet, denkt ook weer onmiddellijk aan de naar hem genoemde wet. Deze wet, voor het eerst in 1857 bekend gemaakt, kan aldus worden uitgesproken: een waarnemer, die den wind in den rug heeft, heeft de plaats van hoogste drukking aan zijn rechter- en die van laagste drukking aan de linkerhand. De wind waait dus ongeveer loodrecht op de richting, waarin de drukking van de atmosfeer het sterkst verandert. Men verwacht natuurlijk dat de wind zal waaien van de hoogste drukking naar de laagste drukking toe: dat dit niet het geval is, moet aan den invloed van de draaiing der aarde om haar as worden toegeschreven. Laten wij ons ergens een gebied denken, waar de drukking door de een of andere oorzaak lager geworden is dan in de omgeving. De lucht beproeft a. h. w. langs den kortsten weg dit gebied te bereiken en begint dus met straalsgewijze daarop gericht te zijn. Een luchtlaag, van een bepaalde plaats afkomstig, deelt in de beweging, die aan deze plaats door de as-wenteling eigen is, en komt bij haar beweging langs plaatsen, die een andere snelheid bezitten. Lucht, die uit het noorden komt b.v., zal in het noordelijk halfmond, waar wij ons het gebeurende willen denken, langs plaatsen strijken, die een toenemende snelheid naar het oosten bezitten, en zal dus bij die oostelijke beweging achter blijven, d. w. z. naar het westen, afwijken. Evenzoo moet een zuidenwind naar het oosten buigen. De lucht kan dus niet recht op het doel afgaan: door den wederzijdschen invloed van de luchtlagen op elkander verandert de straalsgewijze gerichte strooming in een spiraalbeweging naar en om het gedachte centrum van depressie,

¹⁾ P. Harting (1812—1885), op physisch gebied ook bekend door zijn boek over het microscoop.

²⁾ F. W. C. Krecke (1812—1882).

blijkens de gegeven verklaring in een richting, van boven gezien, tegengesteld aan die van de wijzers van een uurwerk. In het uiterste geval kan het spiraal-karakter dezer beweging zoo sterk uitgesproken worden, dat de richting van den luchtstroom bijkans loodrecht op de richting der stralen komt te staan en dus de toestand geboren wordt, waarvan de wet van Buys Ballot de uitdrukking is. De bestudeering van de door het meteorologisch instituut uitgegeven weerkaartjes levert telkens duidelijke bevestiging van den naar het bovenstaande te verwachten toestand, waarbij men van kleine afwijkingen in de windrichting, die het gevolg zijn van plaatselijke storingen, moet afzien. In het zuidelijk halfrond is de richting der spiraalvormige beweging de omgekeerde.

De regelmatigheid, waarvan de wet de uitdrukking is, was reeds vóór Buys Ballot opgemerkt, maar hij was de eerste, die haar duidelijk uitsprak en deed zien, hoe daarvan ten behoeve van weervoorspelling partij getrokken kon worden. Daartoe is ook noodig een vermoeden omtrent de waarschijnlijke verplaatsingen en afwijkingen van het opgemerkte gebied van drukking, hetwelk door de verdere ontwikkeling van de meteorologie mogelijk geworden is.

Van de periodieke werken, die door het meteorologisch instituut worden uitgegeven, is het merkwaardigste datgene, hetwelk den titel draagt van „Onweders, optische verschijnselen, enz. in Nederland; naar vrijwillige waarnemingen”, waarvan reeds bijna 40 jaargangen het licht hebben gezien. De uitgave is aan het initiatief van Buys Ballot te danken; van 1882 tot 1892 was ze onder de redactie van E. Engelenburg, daarna tot 1902 van H. Ekama en sedert dien wordt zij door den tegenwoordigen directeur van het instituut E. van Everdingen voortgezet. Er bestaat volgens het oordeel van bevoegde autoriteiten in de geheele literatuur geen tweede, even kostbare vindplaats voor waarnemingen van meteorologische verschijnselen; met name geldt dit van de waarnemingen, die betrekking hebben op halo's, die er sedert 1893 een belangrijke plaats in gingen innemen. Dit is vooral te danken aan Ekama, zelf een autoriteit op het gebied. Onder de geregelde waarnemers is niemand, die wat ijver en betrouwbaarheid betreft eerder verdient genoemd te worden dan G. W. Hissink te Zutphen.

Met een woord moge hier melding worden gemaakt van een bijdrage tot de theorie van de vorming van halo's van de hand van S. W. Visser, die kort geleden een betrekking aan het meteorologisch instituut te Batavia aanvaard heeft. Zooals men weet, ontstaan halo's door breking van het licht door in de atmosfeer gesuspendeerde ijskristallen. De talrijke vormen, die halo's vertoonen, kunnen vrij volledig uit de diverse brekingswijzen door kristallen van verschillende vorm en verschillende oriëntering en rangschikking worden afgeleid. Een zekere tegenspraak viel evenwel niet te ontkennen met de waarneming wat de mate van kleuring en het

verschil in de kleuren bij verschillende gelegenheden aangaat. Volgens de opvatting van Visser kan deze tegenspraak worden uit den weg geruimd door de „buiging” van het licht bij zijn doorgang door de fijne kristalletjes in aanmerking te nemen. Onder buiging of „diffractie” verstaat men het verschijnsel, dat een golfbeweging, wanneer zij een beletsel, scherm of opening treft, voorbij het scherm niet den rechthoekigen weg vervolgt, maar om den rand van het beletsel heenbuigt en daarbij interferentie-verschijnselen vertoont, waardoor maxima en minima van intensiteit voor den dag komen. Door dit in het onderhavige geval in aanmerking te nemen, op dezelfde wijze als dit bij de volledige theorie van den regenboog geschiedt, slaagt de schrijver er in de theorie met de waarneming in betere overeenstemming te brengen, waarbij o. a. blijkt, dat de intensiteit en duidelijkheid van de kleuren in de eerste plaats met de grootte der kristallen samenhangt, evenals ook de aard der kleuring bij den regenboog van de grootte der waterdruppels, die den boog te voorschijn roepen, afhangt.

Ook Van Everdingen houdt zich met de studie der halo-verschijnselen en de voorwaarden voor hun optreden bezig. Een bijdrage gaf ook Chr. C. A. Nell en kort geleden M. Pinkhoff.

Het is moeilijk, zonder aan dit overzicht een te grooten omvang te geven, de talrijke bijdragen tot de meteorologische wetenschap van onze landgenooten nader te specificeren. Nog niet genoemd werden M. Snellen (1840—1907), de onmiddellijke opvolger van Buys Ballot, E. van Ryckevorsel, C. Easton, A. J. Monné en C. H. Wind, de voorganger van den tegenwoordigen directeur. De jongere leden van den tegenwoordigen staf in De Bilt, Ch. M. A. Hartman, P. H. Gallé, C. Schoute, H. G. Cannegieter, G. van Dijk helpen ieder op zijn eigen terrein mede tot de ontwikkeling der zeer verschillende takken der weer- en aardkunde. Ten opzichte van de kennis der onweersverschijnselen en van de verspreiding van weerberichten door draadlooze telegraphie heeft, als buiten het instituut staande, D. van Gulik zich onderscheiden.

Ook het meteorologische instituut te Batavia brengt het zijne bij tot den goeden naam der Nederlandsche meteorologie. De namen van S. Figeë, J. P. van der Stok, thans in De Bilt, W. van Bemmelen en C. Braak mogen in herinnering worden gebracht. Van Van Bemmelen noemen wij zijn onderzoekingen over de seculaire variaties van het aard-magnetisme, over de nog altijd niet voldoende begrepen aardstroomen, wel bekend uit de praktijk der telegraphie, en zijn waarnemingen met peil-ballons, die belangrijke resultaten hebben opgeleverd omtrent de luchtstroomingen in de hoogere lagen der atmosfeer in het zuidelijk halfrond.

In verband met de meteorologie eenerzijds en anderzijds met de astronomie staat een onderzoek van L. Yntema (Diss. Groningen 1909) over de helderheid van den achtergrond des nachtelijken hemels. Dit

hemellicht blijkt slechts voor een deel aan de sterren te kunnen worden toegeschreven: het overige moet van zwakke elektrische ontladingen afkomstig zijn en dus van denzelfden aard als het noorderlicht.

Sterrekunde en geodaesie.

Om consequent te zijn zouden we de vroeger getrokken lijn der sterrekundige werkzaamheid van landgenooten uit de achttiende eeuw naar het heden moeten doortrekken. Daarbij zouden ons behalve de reeds vermelde namen die van J. F. Keizer, F. Kaiser, H. G. van de Sande Bakhuyzen, M. Hoek, J. A. C. Oudemans, E. F. van de Sande Bakhuyzen, J. C. Kapteyn, A. Pannekoek, J. W. J. A. Steyn, W. de Sitter, A. A. Nijland en nog vele anderen bezighouden. Evenwel, hoe talrijk ook de aanrakingspunten tusschen deze wetenschap en de natuurkunde, ze staat zoo zeer op zich zelve, dat we haar niet mogen rekenen als tot ons terrein te behooren en haar dus ter zijde kunnen laten, temeer waar ze in de beschikbare ruimte toch niet tot haar recht zoude komen.

Hetzelfde geldt mutatis mutandis voor de geodaesie, waar we ook telkens terloops mee in aanraking gekomen zijn. In het voorste gelid onzer tegenwoordige geodaeten staat naast Heuvelink, die de metingen in Nederland onder zijn hoede heeft, J. J. A. Muller, welbekend om zijn arbeid in onze Oost.

Beide onderwerpen zouden ons overigens gelegenheid gegeven hebben om de aandacht te vestigen op de belangrijke rol door Nederland gespeeld in de internationale samenwerking voor wetenschappelijke en praktische doeleinden, een gelegenheid, die ons des te aangenamer zou zijn, na wat we boven moesten mededeelen over de afwijzende houding door ons vaderland in den persoon van Bosscha ten opzichte van de meter-conventie aangenomen. Hierbij zou vooral de jarenlange vruchtbare werkzaamheid van H. G. van de Sande Bakhuyzen op den voorgrond komen, ook gedurende de oorlogsjaren in het vertrouwen op een herstel in de toekomst voortgezet. Moge deze coöperatie tusschen de landen weer spoedig hervat worden!

HOOFDSTUK III.

MODERNE LEER VAN ELECTRICITEIT EN LICHT.

Inleiding.

Om een inzicht te verkrijgen in het wezen van de moderne electriciteitsleer als onderscheiden van andere voorstellingen, kan men niet beter doen dan vroeger gangbare theorieën omtrent de electriciteit historisch te volgen. Het blijkt dan spoedig, dat er onder de electriciteits-verschijnselen een aantal zijn, die zich op geheel verschillende wijzen onder beeld laten brengen, zoodat de keuze van dit beeld tot op zekere hoogte onverschillig is. Dikwijls is het dan een vraag van eenvoud of van persoonlijken smaak of van filosofisch gevoel, aan welke voorstelling men de voorkeur geven zal.

Reeds in de achttiende eeuw, toen de verschijnselen der electrostatica één voor één aan het licht kwamen, ontstonden twee theorieën, die elkander jaren lang den voorrang betwistten. De zoogenaamde dualistische theorie lag het meest voor de hand, vooral waar men met een dergelijke theorie over het magnetisme vertrouwd was: volgens de opvatting van Du Fay en diens opvolgers waren er twee soorten van electriciteit: de glas-electriciteit, die op het glas gevonden wordt, wanneer het met zijde is gewreven, en de hars-electriciteit, die op hars ontstaat bij wrijving met flanel of bont. Met gelijknamige electriciteit geladen lichamen stooten elkaar af, ongelijknamig geladen trekken zij elkander aan. Het is onverschillig, of men zich de electriciteit zonder meer als een onweegbare vloeistof denken wil, dan of men zich haar in gedachten als uit afzonderlijke deeltjes electriciteit bestaande wil voorstellen. Zoo is het immers ook bij gewone vloeistoffen: een groot aantal eigenschappen van vloeistoffen laten zich in beeld brengen, zonder dat men zich over de innerlijke samenstelling bepaalde voorstellingen behoeft te vormen, waarbij men ze dus als doorlopend of continu behandelt. Eerst voor de verklaring van bepaalde verschijnselen wordt men gedwongen

op de constitutie van een vloeistof in te gaan en daarbij lost zij in onzen geest van zelf in discrete deeltjes op, zoodat een atomistische theorie ontstaat.

Uit den regel omtrent de aantrekking en afstooting blijkt, dat de beide soorten electriciteit in zeker opzicht aan elkander tegengestelde eigenschappen bezitten; nog duidelijker wordt dit door de omstandigheid, dat zij elkaars werkingen kunnen neutraliseeren. Een met glas-electriciteit geladen lichaam kan zijn werkingen naar buiten verliezen, doordat men het een juist gekozen lading van de andere soort toevoert. Het lichaam gedraagt zich dan als electrisch neutraal en men zal de hoeveelheid van beiderlei teeken, die het in dien toestand bevat, gelijk noemen. De natuurlijke, ongeladen toestand van het lichaam is ook een neutrale toestand.

Verdere proeven leerden, dat bij de wrijving beide soorten van electriciteit tegelijkertijd ontstaan en wel in gelijke hoeveelheid; zoo wordt b.v. bij het wrijven van eboniet met flanel het eerste hars-electrisch, maar het flanel zelf tegelijkertijd glas-electrisch geladen, waarbij de beide ladingen zoodanig zijn, dat ze elkanders werkingen naar buiten juist opheffen, dus evengroot. Zoo komt men tot de voorstelling, dat de lichamen in den natuurlijken toestand reeds beide soorten van lading in zich opsluiten; bij de wrijving wordt dan glas-electriciteit door het flanel aan het eboniet onttrokken, waardoor het eerste een overmaat van glas-, het tweede van hars-electriciteit verkrijgt, of wel omgekeerd: hars-electriciteit gaat van het flanel op het eboniet over, of eindelijk kan men aannemen, dat beide overgangen tegelijkertijd plaats vinden. De uitkomst is, wat den eindtoestand betreft, in zooverre als de verschijnselen aangaat, volkomen dezelfde en het blijft onbeslist en onbeslisbaar, welke van de drie onderstellingen de juiste is.

Met deze laatste onbepaaldheid staat een andere in dadelijk verband: de lading in den neutralen toestand is onbepaald. In den natuurlijken toestand bevat een lichaam gelijke hoeveelheden van de twee soorten, maar hoeveel is door niets gegeven. Voert men aan een lichaam gelijke hoeveelheden der beide soorten toe, zoo blijft het neutraal of in den toestand van lading, die aanwezig was, en evenzeer, wanneer men gelijke en tegengestelde ladingen er aan onttrekt. De absolute grootte der ladingen openbaart zich op geenerlei wijze, slechts hun verschil.

Deze onbepaaldheid bestaat niet in de unitarische theorie, die omstreeks 1750 door Franklin werd opgesteld. Franklin kwam tot het inzicht, dat men de bekende verschijnselen even goed met behulp van één als met twee electricische fluïda kon weergeven. Volgens hem is er slechts één electriciteit: de materie oefent op de electriciteit een aantrekking uit en bevat daarvan dientengevolge in den normalen toestand een bepaalde hoeveelheid. Ten gevolge van die aantrekking openbaart zich de aanwezigheid van de electriciteit niet: het lichaam gedraagt zich als ongeladen, neutraal. Verkrijgt het te veel van de electriciteit, dan doet het zich voor

als met glas-electriciteit, of zooals Franklin dit het eerst noemde, positief geladen. Een te kort aan electriciteit openbaart zich als een hars- of negatieve lading. Natuurlijk zou Franklin even goed de hars-electriciteit als de alleenlijk bestaande hebben kunnen kiezen.

Electriciteit stoot volgens de theorie van Franklin electriciteit af: vandaar de afstooting tusschen positief geladen lichamen. Electriciteit en stof — dit bleek reeds — trekken elkander aan, vandaar ook de aantrekking tusschen het lichaam met een overmaat en een neutraal lichaam of een met een tekort. De afstooting tusschen twee lichamen met een tekort, die dus niet met electriciteit verzadigd zijn, dwingt ten slotte tot de onderstelling, dat stof een afstooting uitoefent op stof.

Men ziet nu ook, waarom in deze theorie geen onbepaaldheid voor den dag komt: men kan aan een lichaam alleen de eenige bestaande soort van electriciteit onttrekken of toevoegen, zoodat bij iederen bepaalden electrischen toestand de absolute lading ondubbelzinnig vastligt. Zoo ontstaan de ladingen van het eboniet en flanel bij het wrijven, volgens deze theorie, doordat lading van het eboniet op het flanel overgaat: een andere mogelijkheid is er niet.

De unitarische theorie van Franklin heeft zich op den duur niet kunnen handhaven tegen de dualistische theorie, nadat deze door Symmer in het leven teruggeroepen was. Volgens het verhaal was de aanleiding tot Symmer's belangstelling in de electrische verschijnselen een waarneming bij het uittrekken van zijn kousen, waarvan hij ouder gewoonte twee paar boven elkaar droeg, beide van zijde, maar de onderste zwart, de bovenste wit. Bij het over elkaar glijden werden de kousen electrisch geladen met tegengestelde electriciteit, zoodat de gelijk-gekleurde kousen elkaar afstootten, de ongelijk-gekleurde een wederzijdsche aantrekking vertoonden. Aan de ongelijkheid der kousen in electrisch opzicht bleek later de zwarte kleurstof schuld te zijn. De zeer opmerkelijke waarneming wekte Symmer's belangstelling in de electrische verschijnselen op en voerde tot het opstellen van een dualistische theorie met positieve en negatieve electriciteiten beide, die niet anders blijkt te zijn dan de bijkans vergetene uit vroeger jaren in een andere gedaante.

Het is moeilijk voor ons te begrijpen, waarom men zich over de keuze tusschen de beide opvattingen zoo warm maakte, waar toch een eenvoudige beschouwing, als boven gegeven, doet inzien, dat de toenmaals bekende verschijnselen, ja alle verschijnselen van de eigenlijke electrostatica op beide wijzen evengoed kunnen worden verklaard¹⁾. Wel kunnen wij ons begrijpen, waarom de dualistische formulering de overhand verkreeg: toen het er op aan kwam de wetten der electrostatica quantitatief te gaan

¹⁾ In de omstandigheid, dat de zijdelingsche takken van de hoofdvonk bij een sterke ontlading eenzijdig (van + naar -) uitschieten, meende men een argument voor de unitarische opvatting te vinden. Daarover schreef het Kon. Ned. Inst. in 1819 een prijsvraag uit.

bewerken, bleek het spoedig veel eenvoudiger ook de tweede soort van lading als een werkelijk aanwezig iets te behandelen, dan aan haar voortdurend te moeten denken als aan een grooter of kleiner tekort. Denken wij bij voorbeeld aan de vraag, hoe een lading zich over het oppervlak van een geleider verdeelt, waarbij dus de dichtheid van de oppervlakte-lading op ieder punt te pas komt: hoe veel bevattelijker is dan de voorstelling, waarbij niet alleen de positieve lading, maar ook de negatieve een werkelijk bestand iets is. Coulomb, die de wetten der electricische aantrekking en afstooting ontdekte en de quantitative electriciteitsleer inleidde, bediende zich dan ook van de dualistische terminologie.

Moderne theorie.

Een tusschenvorm tusschen de unitarische en de dualistische theorie is de onderstelling, dat er wel twee soorten van electriciteit zijn, maar dat slechts een daarvan vrij bewegelijk is, doordat de andere vast met de materie verbonden is en daarvan een essentieel, onvervreemdbaar bestanddeel uitmaakt. Inderdaad is dat de grondgedachte van de moderne electriciteitsleer; terwijl men a priori weer vrij is in zijn keuze ten opzichte van die soort, die men als de bewegelijke wil nemen, leeren de verschijnselen, die v.n. sedert 1895 aan het licht zijn gekomen, dat de negatieve electriciteit deze rol vervult, terwijl dus de positieve een bestanddeel vormt van de stof. In haar formuleering is deze theorie dualistisch, maar in het wezen nadert zij tot de grondgedachte van Franklin, met dit onderscheid, dat de rol, die bij Franklin de materie zelf speelde, nu wordt opgedragen aan de positieve electriciteit, die als integreerend bestanddeel van de materie gedacht wordt.

Bovendien gaat de moderne theorie veel verder: door de nieuwontdekte en bestudeerde verschijnselen is men gedwongen geworden op de constitutie der electriciteit in te gaan en heeft men geleerd, dat de negatieve electriciteit uit afzonderlijke deeltjes — electronen — bestaat. Een neutraal atoom bevat een of meer electronen en een even groote lading positieve electriciteit, een neutrale geleider derhalve een ontzaggelijk aantal electronen en weder — in al zijn atomen te zamen genomen — een even groote positieve lading. Een negatief lichaam is er een met een meer dan normaal aantal electronen, terwijl een lichaam positief geladen wordt als er electronen aan worden onttrokken. De analogie met de unitarische theorie valt hierbij aanstonds in het oog. Bij het wrijven van glas met zijde gaan electronen van het glas op de zijde over, en zoo verder. Men zal zich de vrijheid mogen veroorloven om zich voor het gemak de positieve lading somtijds als een overmaat van positieve electriciteit te denken, om eerst wanneer het noodig blijkt tot het werkelijk gebeuren terug te keeren, zonder dat dit tot onjuistheden in de gevolgtrekkingen zal kunnen leiden.

Electrische stroom.

Laten wij ons nu ook nog de vraag stellen, hoe men zich volgens de verschillende bovengenoemde opvattingen een electrischen stroom denken zal. Indien men slechts één soort van electriciteit als bestaande aanneemt, is een electrische stroom een beweging van die electriciteit door den geleider tusschen de atomen door. Bij de dualistische opvatting zal men zich een beiderzijdsche beweging van de positieve en negatieve electriciteiten moeten denken, zonder dat dit verschil in de voorstelling op de waarneembare eigenschappen van stroomen invloed uitoefent.

Volgens de moderne electronen-theorie zijn de negatieve electronen het bewegelijke agens van de electriciteit: een stroom in een geleider bestaat dus in een beweging tusschen de atomen door van electronen, natuurlijk in de richting, die tegengesteld is aan wat wij gewend zijn de richting van den stroom te noemen: immers bij het invoeren van dezen naam had men het oog op de richting van beweging van de positieve electriciteit. Het is zeker jammer, dat Franklin's geheel toevallige keuze van de glas-electriciteit als de positieve het onbehagelijke gevolg heeft en misschien wel voor altijd hebben zal, dat de werkelijke beweging, die in een stroom-dragenden geleider plaats vindt, tegengesteld is aan wat men de richting van den stroom noemt.

De electronen, die het vervoer van de electriciteit belichamen, zijn uit de atomen afkomstig: er bevinden zich dus in een geleider voor den electrischen stroom een aantal „vrije” electronen, die om de een of andere reden uit de atomen zijn los gekomen. Deze electronen spelen, behalve bij de stroomgeleiding, ook een rol bij de contact-electriciteit, de thermo-electrische verschijnselen, de warmte-geleiding, de photo-electriciteit en het thermo-electronisme; een en ander zal later ter sprake komen.

In de geleiders van de tweede soort, de electrolyten, d. i. de oplossingen of gesmolten stoffen, die door den stroom scheikundig ontleed worden, wordt de stroom vervoerd niet door vrije electronen, maar door de „ionen” d. w. z. de positief of negatief geladen atomen of atoom-groepen, waarin de moleculen van de opgeloste of gesmolten zelfstandigheid gesplitst zijn. Zoo bevinden zich b. v. in een oplossing van zilvernitraat positief geladen atomen zilver en een even groot aantal negatief geladen groepen NO_3 . Een negatief geladen ion is een atoom of atoomgroep met één of meer extra electronen bevracht, in ons voorbeeld één; een positief ion is een atoom of groep, waaraan een of meer electronen onttrokken zijn. De stroom bestaat dus in een beweging van de ionen met een overmaat van electronen tegen de richting van den stroom in en van de ionen met een tekort aan electronen met den stroom mee.

De uit den stroomkring van buiten aan de eene electrode, de kathode, aankomende electronen dienen er voor om de aldaar in tegengestelde

richting uit de vloeistof aanlandende positieve ionen de hun ontbrekende electronen te verschaffen, ze op die wijze te neutraliseeren en hun de gelegenheid te geven zich als neutrale atomen af te zetten of te ontwikkelen, terwijl anderzijds aan de andere electrode, de anode, de aankomende negatieve ionen hun overtollige electronen aan den uitwendigen stroomkring afstaan.

Invloed van het medium.

Maar wij zijn op de historie vooruit geloopt en hebben zodoende een belangrijken trek van de moderne leer nog onbesproken gelaten. De theorie van Coulomb was geschoeid op de leest van de gravitatie-theorie van Newton: evenals de lichamen elkaar op een afstand aantrekken, zoo werden ook de electricische krachten tusschen de ladingen gedacht als werkende zonder tusschenkomst van de middenstof. Een andere opvatting was evenwel mogelijk en deze werd bijkans noodzakelijk, toen het bleek, dat de krachten tusschen twee geladen lichamen niet uitsluitend afhangen van de grootte en ligging dier ladingen, maar ook van den aard der stof, waarin de lichamen geplaatst zijn. De krachten tusschen bepaalde ladingen zijn kleiner in olie of terpentijn dan in de lucht, en de laatste weder kleiner dan die in een luchtledige ruimte. Faraday, die een reeks van meesterlijke onderzoekingen over de electrostatische verschijnselen volbracht, ontwikkelde op grond van een en ander een bepaalde voorstelling over de rol door het medium bij de verschijnselen gespeeld, die later door Maxwell in een wiskundig kleed werd gestoken. Een bevattelijke voorstelling van deze theorie vindt men in het bekende leerboek der natuurkunde van Lorentz: zij is daar unitarisch in karakter met de positieve electriciteit als de eenige bestaande, wat natuurlijk weder op een willekeurige keuze berust.

Volgens deze voorstelling is de geheele ruimte, zoowel waar lichamen zich bevinden als daarbuiten, met een electricische vloeistof gevuld; in een luchtledige ruimte, waar dus overigens niets anders te denken is dan de wereld-aether, die dus overal door de electriciteit doordrongen is, is deze aan haar bepaalde plaats gebonden: zij kan wel eenigszins op zijde geschoven worden, maar blijft toch aan haar oorspronkelijke plaats gehecht en er ontwikkelt zich dus bij een verschuiving een kracht tegengesteld aan die verplaatsing, des te grooter, naarmate de laatste grooter is.

In geleiders is de electriciteit vrij in haar beweging, maar ook zij zijn met electriciteit gevuld en deze is onsamendrukbaar, zoodat wanneer er van buiten een overmaat van lading op den geleider wordt gebracht, deze zich over het oppervlak van den geleider moet verdeelen, zooals ook steeds het geval is. Dit kan niet gebeuren zonder dat de electriciteit in den omringenden aether op zijde geschoven wordt, weder wegens de

onsamendrukbaarheid, natuurlijk van den geladen geleider af. Hij wordt dus een centrum van zoogenaamde diëlectrische verplaatsing en deze moet zich van wege de niet-samendrukbaarheid tot op willekeurigen afstand uitspreiden. De tegenstand, door het medium op de aangegeven wijze tegen deze verschuiving uitgeoefend, heeft een drukverhooving (potentiaal of electricische spanning) op den geleider ten gevolge; deze drukking plant zich ook langs de richting der verschuiving in het medium voort, waarbij zij van punt tot punt allengs afneemt en op grooten afstand tot de normale waarde nadert. De lijnen, die in het medium de richting van de verschuiving en den potentiaal-val aangeven, dragen den naam van verschuivingslijnen of krachtlijnen.

Wanneer omgekeerd lading aan een geleider onttrokken wordt, d. w. z. wanneer het lichaam negatief geladen wordt, heeft de diëlectrische verplaatsing in het medium de omgekeerde richting, d. i. naar den geleider toe; aan diens oppervlak dringt de electriciteit uit het medium den geleider een kleinen afstand binnen om het daar ontbrekende aan te vullen en de drukking op den geleider zal in dit geval negatief zijn. Behoudens wat de richting der verschuiving aangaat, maakt het voor de krachtlijnen niet het minste verschil, of men een bepaald lichaam positief of even sterk negatief laadt. In het laatste geval mag men ook nog wel zeggen, dat de krachtlijnen van het lichaam uitgaan, als men er dan maar aan toevoegt, dat het negatieve krachtlijnen zijn, d. w. z. lijnen, die eigenlijk op het lichaam toelopen.

De krachtlijnen, die van een positief lichaam uitgaan, kunnen ook op een tweeden geleider belanden: er ontstaat daar dus een negatieve lading, immers de verplaatsing is op dien geleider naar binnen gekeerd. Was deze geleider geïsoleerd en aanvankelijk ongeladen, zoo moet, al weder wegens de onsamendrukbaarheid, aan de achterzijde een even groote verplaatsing naar buiten plaats vinden, dus een positieve lading ontstaan. Dit als een voorbeeld, hoe de gewone verschijnselen der electrostatische influentie uit de theorie op eenvoudige wijze voortvloeien: voor nadere uitwerking verwijzen wij naar het genoemde leerboek.

Een verdere essentieele trek van de theorie is deze, dat tengevolge van de geschetste toestandsverandering in het medium een stelsel van spanningen langs de krachtlijnen of krachtbuizen, wanneer men ze met eindige doorsnede denkt, ontstaat en van drukkingen tusschen de naast elkaar gelegen buizen. Om eenige voorstelling daaraan te verbinden, kan men zich die buizen als uitgerekte elastieke vezels denken. Maxwell deed ook zien, welke grootte men aan deze spanningen en drukkingen moet toeschrijven. Met behulp van deze laten zich op het voetspoor van Faraday de krachten tusschen de geleiders verklaren. Zijn bijvoorbeeld twee geleiders tegengesteld geladen, zoo loopen een aantal krachtlijnen tusschen hun

oppervlakken en de spanningen langs die krachtlijnen trekken de geleiders naar elkander toe, waarmede de waargenomen aantrekking tusschen tegengesteld geladen lichamen in overeenstemming is. De afstooting tusschen ladingen van gelijk teeken wordt veroorzaakt door de spanningen langs die krachtlijnen, die aan de achterzijde van de geleiders deze uiteentrekken. De onmiddellijke werking op een afstand tusschen de ladingen is dus in deze theorie geheel vervallen: alle werkingen geschieden door bemiddeling van het medium en de krachtlijnen, die van de lichamen uitgaan of er op belanden.

Men noemt de ruimte, waarin krachtlijnen loopen, een electrostatisch of eenvoudig electricisch veld, een uitdrukking, die op analoge wijze gebezigd wordt voor de ruimte, waarin magnetische krachten werken, in dat geval magnetisch veld. Wordt de ruimte met een andere niet geleidende stof gevuld, bijv. met een gas of nog beter met een vloeistof als olie, dan maakt dit in zooverre een onderscheid, dat de diëlectrische verschuiving een minder groote reactie in de ruimte teweeg brengt dan in een vacuum en dus ook bij gegeven grootte kleinere potentialen op de geleiders met zich brengt. Ook de genoemde spanningen langs de krachtlijnen worden daardoor kleiner en mitsgaders ook de aantrekkingen en afstootingen, die immers uit die spanningen voortvloeien, in overeenstemming met de verschijnselen. Daartegenover staat tevens, dat wanneer men op een geleider door toevoer van lading den potentiaal even groot maakt, als bij een proef zonder de vloeistof, dus in vacuo, de diëlectrische verschuivingen en dus ook de ladingen nu grooter zijn dan in het eerste geval, wat men ook kan uitdrukken door te zeggen, dat het bevattingvermogen of de capaciteit der geleiders door de aanwezigheid van de stof in het medium vergroot wordt. De factor, die de verkleining der reactie in het veld en daarmede de vergrooting van de capaciteit meet, heet diëlectrische constante of specifiek induceerend vermogen. Nadere bijzonderheden zijn ter aangehaalde plaatse te vinden.

Zooals wij zeiden, viel de keuze van Lorentz, toen hij zijn unitarisch beeld van de verschijnselen naar de theorie van Maxwell ontwierp, op de positieve electriciteit als de bestaande, maar kan men even goed de negatieve electriciteit als grondslag aannemen en inderdaad zou dit laatste meer in overeenstemming zijn met de moderne wetenschap, waarin immers de negatieve electriciteit, in den vorm van electronen, diegene is, welke onafhankelijk van de materie bestaan kan, terwijl de positieve er mede een onscheidbaar geheel vormt. Wilde men de verschijnselen dualistisch beschrijven, zoo zou men er vanzelf toe komen om langs de krachtlijnen in het medium een dubbele verschuiving, van positieve lading in de eene en negatieve lading in de andere richting aan te nemen. Het is evenwel overbodig dit nader uit te werken.

Wij kunnen nu ook in overeenstemming met de theorie van Maxwell onze voorstelling omtrent den aard der electronen vollediger maken. Wij moeten ons n.l. een electron denken als een in een zeer kleine ruimte geconcentreerde negatieve lading, waarvan naar alle richtingen een negatieve diëlectrische verplaatsing uitgaat — wij zeiden boven wat hier onder te verstaan is — een negatief geladen atoom, d. i. een atoom met een of meer extra electronen, is evenzeer het uitgangspunt van een negatief veld. Evenzoo is een positief atoom, hetwelk dus een of meer electronen mist, het uitgangspunt van een positief veld, anders gezegd er komen negatieve krachtlijnen op uit.

Electro-magnetische evenwichts-verstoring.

Wij moeten nu op een geniale gevolgtrekking de aandacht vestigen, die door Maxwell uit zijn theorie gemaakt werd, n.l. de mogelijkheid van de voortplanting van electriche evenwichtsverstoringen of trillingen door de ruimte met een zekere eindige snelheid. In de oude electrostatica, waar onmiddellijke werking op een afstand als grondslag dienst deed, was natuurlijk van een voortplanting van electriche werking geen sprake, evenmin als in de theorie van Newton omtrent de zwaartekracht. In de theorie van Maxwell is dit anders: indien aan het medium de rol wordt opgedragen om die werkingen over te brengen, komt vanzelf de vraag naar voren, die reeds meer dan eens uit een zuiver proefondervindelijk oogpunt gesteld was, of dit vervoer al dan niet momentaan geschiedt. Het antwoord op die vraag is, dat voor de overdraging inderdaad tijd vereischt wordt. Voor zoover wij de grondslagen der theorie van Maxwell tot nu toe hebben aangegeven, levert zij echter voor de voortplantingssnelheid nog geen bepaalde waarde: dit gebeurt eerst, wanneer men ook nog gaat letten op de beteekenis van een veranderlijke diëlectrische verplaatsing, want bij de voortplanting gaat het juist om een electriche toestand, die zich eerst in één punt en dan in een verder gelegen punt bevindt, en dus om een veranderenden toestand in één en hetzelfde punt. De electrostatica bemoeit zich alleen met den evenwichtstoestand, die bij gegeven ladingen of potentialen intreedt: bij een evenwichtsverstoring komen werkingen te voorschijn, die behooren bij het gebied der electriche stroomen, de electro-dynamica en het electro-magnetisme.

Stel, dat de lading van een geleider plotseling grooter wordt; dan zal ook de diëlectrische verplaatsing in het medium grooter worden, d. w. z. de electriche stof in het medium verschuift iets verder. Omgekeerd als de lading afneemt, schuift de electriche stof in de tegengestelde richting. Wordt misschien de lading beurtelings vergroot of verkleind, of beurtelings positief en negatief, dan schuift de electriciteit langs de krachtlijnen heen en weder. Het is nu een van de verstrekkende gedachten van Maxwell,

dat deze electriche bewegingen in het medium met electriche stroomen, zooals men die in geleiders kent, gelijk te stellen zijn. En indien dit bewaarheid zal worden, dan moeten dergelijke verschuivings-stroomen, zooals men ze volledigheidshalve wel noemt, deelen in verschillende eigenschappen, die aan gewone geleidings-stroomen eigen zijn.

In de eerste plaats dan ontstaan gedurende de beweging magnetische krachten, evenals een stroomdragende geleider ook op magneten een werking uitoefent of, algemeener uitgedrukt, door een magnetisch veld omgeven is. Daar waar een diëlectrische verschuiving bestaat, die toe- of afneemt, zullen dus tegelijkertijd afwisselende magnetische krachten te voorschijn komen.

Daarmede gaat nu echter nog een omgekeerde werking gepaard. Indien in de buurt van een geleider een magneet wordt bewogen, zoo ontstaat in dien geleider door „inductie” een electromotorische kracht en dus een stroom. Hetzelfde geschiedt, indien in een naburigen stroomkring een stroom wordt opgewekt of een reeds bestaande stroom plotseling ophoudt of ook indien slechts de stroom in dien kring de een of andere verandering ondergaat; de twee gevallen, n.l. de inductie door magneten en die door stroomen kunnen tot één verschijnsel worden teruggebracht door op te merken, dat in beide gevallen, bij de beweging van den magneet evenals bij de verandering van den stroom in den naburigen stroomkring, in de ruimte een veranderend magnetisch veld aanwezig zijn zal. Wij kunnen dus zeggen, dat in het algemeen bij een verandering van een magnetisch veld in een aldaar geplaatsten geleider een inductiestroom ontstaat. Welnu, volgens Maxwell moet hetzelfde in het niet-geleidende medium het geval zijn: een wisselende magnetische kracht brengt in het medium een wisselenden diëlectrischen stroom met zich mede.

Er bestaat dus een dubbel verband tusschen de diëlectrische verplaatsing en de magnetische kracht: een wisseling in de eerste doet een veranderlijke magnetische werking ontstaan en omgekeerd zal deze weder een wisseling in de verschuiving met zich brengen. Aan dat dubbele verband zullen de beide grootheden moeten voldoen. De ontstaande diëlectrische verplaatsing doet in de omgeving magnetische krachten geboren worden, die op haar beurt diëlectrische verplaatsing in een naburig punt teweegbrengen, enz. Ook zonder dat wij deze beide betrekkingen in een mathematisch kleed steken, wat hier niet op zijn plaats zijn zou, kan men allicht gevoelen, dat aan de beide wederzijdsche betrekkingen tusschen de genoemde grootheden slechts op één bepaalde wijze voldaan kan worden, m. a. w. dat de theorie een volkomen bepaalde voortplantingssnelheid van de evenwichtsverstoring als de eenig mogelijke doet kennen.

De vergelijkingen leeren vooreerst, dat de diëlectrische verschuiving

en de magnetische kracht beide loodrecht zullen staan op de richting van voortplanting en bovendien loodrecht op elkander. De evenwichtsverstoring geeft dus aanleiding tot wat men een „transversale” golf noemt, d. w. z. een waarbij de beweging der deeltjes (hier de diëlectrische verplaatsing) loodrecht staat op de voortplantingsrichting, dus zooals men dat bij de voortplanting van een golf op het oppervlak van water kan waarnemen of nog zuiverder bij een uitpuiling, die zich langs een gespannen koord voortbeweegt.

Men weet, hoe deze theoretische gevolgtrekking allereerst door Hertz proefondervindelijk bevestigd is, hoe hij eerst op kleine schaal dergelijke electro-magnetische golven heeft weten voort te brengen en hun eigenschappen bestudeeren, en hoe zich uit zijn proeven allengs de methoden der draadlooze telegraphie hebben ontwikkeld. Voor de voortplantings-snelheid vond Maxwell in een vacuum 3.00×10^{10} cM. of 300000 kilometer per seconde: ook dit werd door de proeven bevestigd gevonden.

Draadlooze telegrafie.

De electriche golven gaan uit van een geleider, die door een plotselinge ontlading in electriche trilling gebracht wordt. Deze golven brengen in een tweeden geleider, dien ze treffen, een trilling teweeg, die des te krachtiger is, naarmate hij nauwkeuriger op den eersten geleider afgestemd is. In den tweeden geleider is de een of andere gevoelige „detector” ingeschakeld: als zoodanig diende oorspronkelijk de „cohaerer” van Branly, een buisje met metaalpoeder, waarvan de korreltjes door de electriche trilling onderling beter geleidend gemaakt worden; van deze geleiding wordt partij getrokken om een waarneembaar signaal te doen ontstaan.

Over het wezen van het Branly-effect is men het niet geheel eens; misschien moet de verklaring in dezelfde richting gezocht worden als bij den dadelijk te noemen „kristal-detector”. D. van Gulik heeft er in het laboratorium te Groningen een onderzoek over ingesteld (dissertatie 1896).

Onder de tegenwoordige, meer gevoelige detectoren neemt de kristal-detector de eerste plaats in; in dit geval maakt men gebruik van de verandering, die de trilling teweegbrengt in het electriche contact tusschen een metaalspits en een kristaloppervlak. Dit contact is tevens in een stroomkring met telefoon ingesloten. Over dit effect schreef onlangs M. J. Huizinga te Groningen zijn proefschrift. Hij meent daarin het bewijs te hebben geleverd, dat het — evenals bij den electrolytischen detector — op een ongelijke stroomgeleiding in de twee richtingen berust, hier veroorzaakt door een laagje vocht op het kristalplaatje.

Van oudere dagteekening is de ontvanger van Bleekrode ¹⁾, bestaande

¹⁾ L. Bleekrode 1846—1905.

uit eenige naalden, die op een paar evenwijdige koolstaafjes liggen; evenals bij de vorige detectoren wordt de trilling door de contacten geleid, die ook deel uitmaken van een telefoon-kring.

Wellicht hangt met het voorgaande ook samen het effect, dat o. a. door Haga bestudeerd is, bestaande in een weerstandsverandering, welke dicht naast elkaar uitgespannen metaaldraden van opvallende elektrische golven ondervinden. Hierbij zou men overigens ook kunnen denken aan een analogon van de werking van het licht — ook een electromagnetische straling — op den weerstand van sommige stoffen, met name van selenium, waarover o. a. J. L. Sirks proeven gedaan heeft. Dit is het effect, waarvan bij het telegrafisch overbrengen van platen gebruik gemaakt wordt. Bijzonder munten uit de selenium-cellen, die door J. W. Giltay te Delft vervaardigd worden. Een dergelijk effect vertoont volgens proeven van F. M. Jaeger het zwavel-antimoon.

Het licht als een electro-magnetische golfbeweging.

De theoretisch en empirisch gevonden snelheid van voortplanting van electro-magnetische golven stemt in getalwaarde nauwkeurig overeen met de snelheid van het licht. Derhalve, aldus reeds Maxwell, zal het licht eveneens een electro-magnetische evenwichtsverstoring zijn, afkomstig van snelle elektrische bewegingen in de deeltjes van het lichaam, hetwelk het licht uitzendt.

Voordat wij op grond van deze overeenstemming in de voortplantings-snelheden de door Maxwell getrokken conclusie mogen aanvaarden, moeten wij eerst de vraag onder de oogen zien, of de aard van het licht, zooals men dien uit optische verschijnselen heeft leeren doorgronden, voldoende gelijkenis vertoont met de electromagnetische golven, waarover boven gehandeld werd. Dat het licht een golfbeweging is en dat het dus ook uit trillingen bestaat, volgt uit de talrijke interferentie-verschijnselen, die het vertoont. In dat opzicht behoeft dus aan de vereischte gelijkenis geen oogenblik te worden getwijfeld.

Polarisatie van het licht.

Een verdere trek van de elektrische golven was, dat de trillingen loodrecht gericht zijn op de richting van voortplanting, of anders gezegd, dat de golven transversaal zijn. Ook deze eigenaardigheid wordt in het licht teruggevonden, blijkens de zoogenaamde polarisatie-verschijnselen. Voor het goed begrip van allerlei problemen, die ons zullen bezig houden, is het wenschelijk, dat wij daaraan eenige ruimte besteden. Bij deze verschijnselen komt het evenmin als bij de interferentie-verschijnselen op het mechanisme der trillingen aan: wij mogen ze ons voortdurend denken als elektrische trillingen, maar even goed mogen wij ons voorstellen, indien

dit ons gemakkelijker valt, dat de lichttrillingen, als in de vroegere theorie, uit heen en weder gaande bewegingen van de deelen van een elastisch medium, den aether, bestaan. Het zal slechts om den vorm der trillingen en hun richting te doen zijn. Wij hebben de transversale electriche golven vergeleken met de trillingen, die langs een gespannen koord voortschrijden. Indien men het uiteinde van een zeer lang, horizontaal uitgespannen koord vasthoudt en nu de hand heen en weer beweegt, zal men langs het koord een stelsel van transversale golven zich zien voortplanten. De richting der handbeweging en dus ook die der ontstaande golven kan daarbij nog willekeurig gekozen worden; zij kan bijv. op en neer zijn of horizontaal heen en weer. Terwijl bij een longitudinale golf, waar dus de trilling met de voortplantingsrichting samenvalt, zooals bij het geluid in de lucht, slechts één trillingsrichting mogelijk is, kan bij het koord de beweging in allerlei vlakken geschieden. Volkomen hetzelfde geldt nu voor het licht: doordat de lichttrillingen loodrecht op de richting van den straal staan, kunnen zij in talrijke verschillende richtingen plaats vinden. Zijn de trillingen van een lichtbundel tot een bepaald vlak beperkt, zoo spreekt men van het licht als gepolariseerd of, vollediger: rechtlijnig gepolariseerd. Twee bundels, waarin de trillingen onderling loodrecht staan, bijv. twee evenwijdige horizontale bundels, de een met de trillingen horizontaal, de ander met verticale trillingen, heeten onderling loodrecht gepolariseerd.

In ongepolariseerd licht, dus bij voorbeeld het licht, dat onder normale omstandigheden van een lichtbron uitgaat, hebben trillingen in alle mogelijke richtingen loodrecht op den straal plaats: met het koord zou men een analoge golfbeweging verkrijgen, door de hand niet stelselmatig in één richting heen en weer te bewegen, maar met snelle afwisseling nu eens in het eene vlak en dan weer in een ander, kortom in alle mogelijke richtingen loodrecht op het koord.

Zooals wij reeds weten, kan een electriche golf ontstaan gedacht worden, doordat een electriche lading heen en weder bewogen wordt; geschiedt deze beweging weder uitsluitend langs een vaste lijn, dan zal de ontstaande electriche golf in de richting van die lijn rechtlijnig gepolariseerd zijn. Als dus door een rechte verticale antenne, zooals bij de draadlooze telegraphie wordt aangewend, een oscilleerende ontlading gaat, gaan van haar verticale electriche trillingen uit en de electriche golf, die ontstaat, zal in die richting gepolariseerd zijn. De electriche golven, die wij met onze toestellen verkrijgen, zijn dus uit den aard der zaak vrij zuiver rechtlijnig gepolariseerd. Anders is het met het licht: de lichttrillingen komen voort uit de heen en weergaande of circuleerende electriche deeltjes in de atomen der lichtgevende stoffen en deze trillingen zijn, zooals van zelf spreekt, niet tot een bepaald vlak beperkt; integendeel, alle trillingsrichtingen zijn even waarschijnlijk en komen dus ook gemiddeld even talrijk

voor en in het uitgezonden licht zijn dus ook alle richtingen loodrecht op den bundel gelijkelijk vertegenwoordigd.

Polarisatie door spiegeling.

Men kent nu evenwel allerlei middelen om het natuurlijke licht te polariseeren, wat dus zeggen wil, de trillingen, die aanvankelijk in alle mogelijke richtingen geschieden, tot één richting te brengen. De mogelijkheid hiervan vormt juist het criterium voor transversale trillingen, daar een analoge verandering bij longitudinale trillingen ondenkbaar is. Wanneer een bundel lichtstralen op een doorschijnende stof als glas of water valt blijken zoowel de teruggekaatste als de gebroken bundel gedeeltelijk gepolariseerd te zijn, d. w. z. in het teruggekaatste licht overwegen trillingen van een bepaalde trillingsrichting en wel die, welke loodrecht staan op het vlak van inval (onder invalsvlak verstaat men in de wetenschap niet het vlak, waarop het licht invalt, maar het vlak, loodrecht op dat vlak, waarin de lichtstraal zich beweegt, of ook, anders uitgedrukt, het vlak gebracht door den lichtstraal en de normaal op het terugkaatsende oppervlak) en dus evenwijdig zijn aan het oppervlak. In het gebroken licht daarentegen overwegen de trillingen in het invalsvlak. Het teruggekaatste licht blijkt volledig gepolariseerd te zijn, als de hoek tusschen straal en normaal een voor iedere zelfstandigheid bepaalde waarde heeft, bijv. voor glas omstreeks 56° . Deze hoek voldoet aan een eenvoudige voorwaarde en is met behulp daarvan door berekening dadelijk te vinden, n.l. de teruggekaatste straal en de gebroken straal staan bij dien hoek van inval juist loodrecht op elkaar. Het gebroken licht daarentegen kan niet volledig gepolariseerd verkregen worden: bij elken hoek van inval blijven trillingen van andere richtingen er in voorkomen.

Wat wij hier eenvoudig meedeelden, kan bewezen worden door het gepolariseerde licht op een tweeden spiegel te doen vallen; dan blijkt eerst en onmiddellijk, dat het door de eerste terugkaatsing van eigenschappen veranderd is. Wanneer men n.l. den tweeden spiegel zoodanig stelt, dat vooreerst het door den eersten teruggekaatste licht onder den polarisatiehoek invalt, en vervolgens ook zoo, dat de invalsvlakken loodrecht op elkaar staan, zoodat trillingen, die loodrecht staan op het eerste invalsvlak, in het tweede invalsvlak liggen, dan wordt het licht op den tweeden spiegel niet teruggekaatst en is er dus alleen een gebroken straal. Dit merkwaardige verschijnsel levert het bewijs, dat de bovenstaande beschrijving, van wat er met de trillingen geschiedt, juist is. Immers indien natuurlijk licht op den tweeden spiegel viel, zouden alleen trillingen loodrecht op het invalsvlak in het teruggekaatste licht aangetroffen worden; nu in het invallende licht slechts trillingen voorkomen, die in het invalsvlak gelegen zijn, blijft de terugkaatsing geheel uit. Men kan even goed aannemen, dat

de trillingen in het door een spiegel teruggekaatste licht in het invalsvlak liggen; ook dan zal de terugkaatsing op den tweeden spiegel bij onderling loodrechten stand der beide invalsvlakken onmogelijk zijn. Later heeft men bevonden, dat de electriche trillingen loodrecht staan op het invalsvlak, en dan moeten de magnetische trillingen, die immers op de eerste loodrecht staan, met het invalsvlak samenvallen.

Staan de spiegels evenwijdig en dus ook de invalsvlakken, dan is er wel een teruggekaatste bundel. Bij een tusschengelegen stand, waarin derhalve de invalsvlakken een hoek maken, die tusschen 0° en 90° in ligt, is de intensiteit van het gereflecteerde licht kleiner; de trillingen moeten dan ontbonden gedacht worden in dezulke, die in het invalsvlak liggen, en die, welke er loodrecht op gericht zijn, en alleen de laatste kunnen worden gereflecteerd. Bij draaiing van den tweeden spiegel, met behoud van den bepaalden hoek als hoek van inval, ziet men dus de intensiteit van het teruggekaatste licht van een grootste waarde allengs tot nul afnemen. Men kan ten slotte ook precies aangeven, hoe groot de intensiteiten zijn van de gereflecteerde en gebroken bundels bij hoeken van inval, die van den polarisatiehoek verschillen, maar wij laten de daarop betrekking hebbende formules achterwege.

Polarisatie door dubbele breking.

Een ander middel om licht te polariseeren heeft men in dubbelbrekende kristallen. Een lichtbundel, die op een stuk IJslandsch kristal invalt, geeft niet één, maar in het algemeen twee gebroken stralen. Deze twee stralen blijken bij onderzoek met een spiegel loodrecht op elkaar gepolariseerd te zijn. Laat men dus de beide bundels op een spiegel invallen, weder onder den polarisatie-hoek, zoo ziet men bij draaiing van den spiegel, dat zij beurtelings worden uitgedoofd en hun grootste sterkte verkrijgen, en wel zoodanig, dat de een juist op zijn grootste sterkte is als de andere verdwenen is. Evenals men een spiegel kan gebruiken om het licht te polariseeren, maar ook om den polarisatie-toestand van invallend licht te onderzoeken, dus als polarisator en als analysator, geldt dit voor het kristal. Gepolariseerd licht op het kristal invallend zal al naarmate van de oriëntering van het kristal ten opzichte van het vlak, waarin het licht trilt, twee gebroken stralen opleveren van verschillende intensiteit: in twee standen van het kristal, die onderling loodrecht zijn, ontbreekt de eene of de andere der twee gebroken stralen, terwijl dan juist de overblijvende zijn grootste lichtsterkte bezit.

Voor onderzoekingen met gepolariseerd licht is het wenschelijk een van de twee gepolariseerde bundels, die uit het kristal treden, afzonderlijk te verkrijgen, opdat de andere de verschijnselen niet verwarre. De meest gebruikelijke inrichting van dien aard, welke wegens haar handigheid verre

boven een glazen spiegel de voorkeur verdient, is het „prisma van Nicol”, of kortweg de „nicol”. Het bestaat uit IJslandsch kristal, maar de eene bundel wordt binnen in den toestel op een wijze, die wij niet verder zullen beschrijven, door totale terugkaatsing op zijde geworpen en door een dofzwart oppervlak geabsorbeerd, zoodat alleen de andere rechthoekig gepolariseerde bundel uit den nicol naar buiten treedt.

Uit het voorgaande volgt nu, wat gebeuren zal, indien men dit licht met een tweeden nicol onderzoekt, of analyseert. Het licht zal worden doorgelaten, indien de tweede nicol „evenwijdig” staat met den eersten, waarmede bedoeld wordt, dat de overeenstemmende kristalvlakken van de prisma's evenwijdig staan. De trillingen, die uit den eersten nicol voor den dag komen, hebben dan immers juist de richting van de trillingen, die de tweede nicol zou voortbrengen, en die moet hij dus ook doorlaten. Staan daarentegen de nicols „gekruist”, zoo stemmen de trillingen, die op den tweeden nicol invallen, in richting overeen met die van den in dezen terzijde geworpen en geabsorbeerden straal; deze komen dus niet te voorschijn en daar trillingen van de andere richting ontbreken, zal er uit den nicol geen licht voor den dag komen. Bij gekruiste nicols wordt derhalve het licht geheel uitgedoofd, evenals straks bij gekruiste spiegels.

De dubbele breking is een gevolg van de anisotropie van het kristal, d. i. de omstandigheid, dat het kristal, optisch gesproken, in verschillende richtingen verschillende eigenschappen heeft. De voortplantingssnelheid is i. h. a. verschillend voor een straal, naarmate de trilling een andere richting heeft ten opzichte van de as van het kristal; zij heeft een uiterste waarde voor trillingen evenwijdig aan de as en een andere uiterste waarde, als de trillingen daarop loodrecht gericht zijn. Valt nu natuurlijk licht, waarin dus de trillingen naar alle richtingen loodrecht op den straal georiënteerd zijn, op een kristal, zoo zal deze straal als zoodanig het kristal niet kunnen binnendringen, want bij iedere afzonderlijke trillingsrichting behoort een andere snelheid van voortplanting; er zouden dus oneindig vele partieele stralen moeten ontstaan. De natuur is hier, als elders, zoo spaarzaam mogelijk en ze doet het met twee stralen af. Alle trillingen worden n.l. ontbonden in twee onderling loodrechte richtingen en aan elk dier beide beantwoordt een bepaalde straal met bepaalde voortplantingssnelheid, zoodat het licht in twee stralen met verschillende snelheid gesplitst wordt.

In een meer uitvoerige bespreking van de verschijnselen der dubbele breking, ook in kristallen van meer samengestelden bouw dan het kalkspaat, kunnen wij ons niet begeven; evenmin behandelen wij de vraag, hoe men de optische anisotropie moleculair-theoretisch kan verklaren, als liggende buiten het bestek van onze beschouwingen. Alleen zij opgemerkt, dat Lorentz in zijn dissertatie, waar wij ook straks meer over zullen mededeelen, het eerst heeft doen zien, op hoe eenvoudige wijze de

electro-magnetische theorie de verschijnselen leert beschrijven: door eenvoudig aan te nemen, dat het kristal in de richtingen zijner assen verschillende electriche eigenschappen bezit, zooals trouwens, bij voorbeeld in het geval van zwavel, door onmiddellijke electriche waarneming is gebleken het geval te zijn. Zoowel hier als elders heeft de genoemde theorie, wat aannemelijkheid betreft, groote voordeelen boven de vroegere elastische theorieën, waarin veelal tegenstrijdige hypothesen moesten worden ingevoerd.

Circulaire en elliptische polarisatie.

In verband met wat later volgen zal, wijzen wij verder op de mogelijkheid om cirkelvormige en elliptische lichttrillingen voort te brengen en te onderkennen. Met ons koord gaat dit onmiddellijk, indien men de hand in het vlak loodrecht op het koord in een cirkelbaan of ellips doet rondgaan. De verschillende punten van het koord zullen dan alle achtereenvolgens een dergelijke kromme gaan beschrijven. De beweging kan rechts- of links-circulair zijn, waarmede men bedoelt, dat van het andere uiteinde van het koord gezien de beweging is met of tegen die van de wijzers van een klok.

Het is a priori reeds waarschijnlijk, dat dergelijke trillingen bij het licht mogelijk moeten zijn; electricch kan men ze ontstaan denken, door een electriche lading een cirkel te doen beschrijven: in een richting loodrecht op het vlak van dien cirkel zou van die beweging een circulair-gepolariseerde bundel electriche stralen uitgaan. Voor het licht is dat geen praktisch uitvoerbare methode. Toch kan men ze op verschillende manieren verkrijgen.

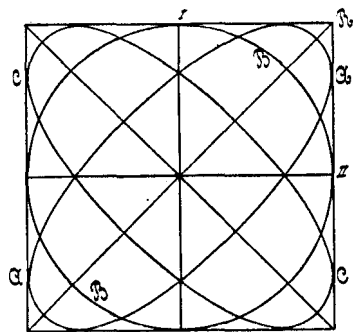


Fig. 1.

Eén methode berust daarop, dat uit twee lineaire trillingen van gelijken trillingstijd, die loodrecht op elkaar staan, door samenstelling een elliptische of cirkelvormige trilling kan geboren worden. Het resultaat van de samenstelling hangt er van af, hoe het met de „phase” der twee trillingen gesteld is. Bij een vroegere gelegenheid zagen wij, wat met een verschil in phase bedoeld wordt. Men denke zich twee trillingen van dezelfde periode, b.v. twee slingers, die in hetzelfde tempo heen en weer gaan. De bewegingen kunnen nu zoo zijn, dat de slingers op hetzelfde oogenblik hun uiterste standen bereiken en dus ook op hetzelfde oogenblik door den middenstand heengaan, of de eene slinger kan bij den anderen voor of achter zijn, en dit zal dan gedurende de beweging ook verder zoo blijven, omdat het tempo der twee slingeren hetzelfde is. Men zegt dan, dat de trillingen in phase overeenstemmen of, in het tweede geval, een verschil in phase bezitten. Gaan de bewegingen

tegen elkaar in, dan is het phaseverschil $\frac{1}{2}$, immers de eene trilling is dan bij de andere een halven trillingstijd voor of achter. Het phaseverschil is $\frac{1}{4}$, wanneer de eene beweging door den evenwichtsstand passeert op hetzelfde oogenblik, dat de andere den uitersten stand inneemt.

Keeren wij terug tot de twee onderling loodrecht gerichte trillingen I en II, beide aan weerszijden van hetzelfde middelpunt. Hebben zij dezelfde phase, dan zal door de samenstelling een rechtlijnige trilling verkregen worden, die ten opzichte van de componenten schuin gericht is (R in fig. 1). Voert men de constructie uit bij een verschil van phase, dan ontstaat een elliptische of in een bijzonder geval cirkelvormige beweging. Uitgaande van het eerstgenoemde geval, waar het phaseverschil nul is, zal men bij gestadige verandering van de phase uit de genoemde rechte lijn eerst een langgerekte ellips A zien ontstaan, die allengs wijder wordt en bij een phaseverschil van $\frac{1}{4}$ den symmetrischen stand B verkrijgt. Deze laatste ellips zal een cirkel zijn, indien de beide assen even lang zijn, en dit is het geval, zoo de oorspronkelijke trillingen dezelfde wijde (amplitude) bezitten. Dit is dus het genoemde bijzondere geval, waarin een cirkel ontstaan zal: twee trillingen van dezelfde amplitude en een phaseverschil van $\frac{1}{4}$.

Wordt het verschil in phase nog grooter, dan vernauwt de ellips of de cirkel zich weder (C), maar nu om een schuine lijn in de beide andere quadranten, terwijl eindelijk bij een verschil $\frac{1}{2}$ weder een rechtlijnige trilling geboren wordt langs de zoeven genoemde richting. Bij nog grooter verschillen komen dezelfde figuren weder te voorschijn, in omgekeerde volgorde.

Om deze gevallen met het licht te verwezenlijken, gaat men van rechtlijnig gepolariseerd licht uit en laat dit loodrecht op een dun kristalplaatje vallen. In de figuur zijn de twee hoofdrichtingen van het plaatje door H_1

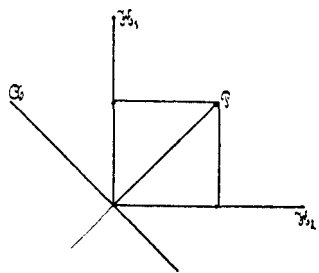


Fig. 2.

en H_2 aangeduid: daaronder verstaat men de richtingen van de beide trillingen, die ontstaan, als licht loodrecht op het plaatje invalt en dubbel gebroken wordt. De richting der invallende trillingen is door P aangegeven. Deze kunnen niet als zoodanig het plaatje binnengaan: ze moeten door projectie op H_1 en H_2 in de twee mogelijke trillingen ontbonden worden. Valt P met H_1 samen, dan ontbreekt H_2 en omgekeerd, zoodat het licht onveranderd doorgaat en het plaatje dus geen invloed heeft. In het algemeen is dat niet het geval. Laat ons voor de eenvoudigheid het geval nemen, dat P gelijke hoeken van 45° met de beide hoofdrichtingen maakt; de twee ontbondenen langs H_1 en H_2 zijn dan even groot en de twee stralen even intensief. Deze beide trillingen doorloopen nu het kristalplaatje en zullen aan het tegenovergestelde zijvlak uittreden en aldaar tot één trilling samen te stellen

zijn. Nu loopen evenwel de twee trillingen niet even snel, haar voortplantingssnelheid is, gelijk wij zagen, verschillend; ze komen dus niet tegelijk aan het tweede grensvlak aan of anders gezegd: zij hebben een phaseverschil gekregen en met dat phaseverschil moeten ze worden samengesteld. Deze samenstelling, volgens het aangegeven beginsel ten uitvoer gebracht, zal een rechtlijnige, elliptische of cirkelvormige trilling opleveren, al naar mate van de grootte van het phaseverschil, en dit hangt ceteris paribus van de dikte van het plaatje af. Een plaatje van zoodanige dikte, dat tusschen de twee stralen een phaseverschil van $\frac{1}{4}$ of $\frac{1}{2}$ ontstaat, wordt een $\frac{1}{4} \lambda$ of $\frac{1}{2} \lambda$ -plaatje genoemd, waar λ de golflengte beteekent. Dit komt op hetzelfde neer, als wanneer men van een plaatje van $\frac{1}{4}$ of $\frac{1}{2}$ trillingstijd zou spreken.

Het onderkennen van elliptisch en circulair licht.

Het zal duidelijk zijn, dat als men elliptisch of circulair licht met een nicol gaat analyseeren, het onmogelijk zal blijken het licht door draaiing uit te dooven, zooals met rechtlijnig licht altijd het geval is. Projecteert men n.l. een ellips of cirkel op de richting, die door den nicol wordt doorgelaten (bijv. A), dan kan de projectie onmogelijk nul worden. Bij het draaien van den nicol zal bij elliptisch licht alleen beurtelings versterking en verzwakking van het licht gezien worden, de grootste lichtsterkte op het oogenblik, dat de groote as van de ellips evenwijdig is met de richting van de doorgelaten trillingen, en omgekeerd een minimum, als de kleinste as die richting heeft. Op die wijze kan men elliptisch licht niet onderscheiden van gedeeltelijk gepolariseerd licht. Circulair licht geeft in het geheel geen afwisseling in intensiteit en is dus niet te onderscheiden van natuurlijk ongepolariseerd licht.

Men kan nu echter circulair licht door middel van een $\frac{1}{4} \lambda$ plaatje in lineair licht veranderen: het kan toch volgens boven worden opgevat als te zijn ontstaan uit twee onderling loodrechte rechtlijnige trillingen met een phaseverschil van $\frac{1}{4}$. Voegt men derhalve met behulp van een kwart λ plaatje daaraan nog eens een verschil van $\frac{1}{4}$ toe, dan wordt het verschil $\frac{1}{2}$ en dus moet, zooals boven bleek, een lineaire trilling geboren worden, die den hoek tusschen de hoofdrichtingen van het kwart λ plaatje middendoor deelt. Het licht kan nu door den nicol worden uitgedoofd. Circulair licht wordt dus daaraan herkend en van ongepolariseerd licht onderkend, dat het met een $\frac{1}{4} \lambda$ plaatje en een nicol uit te dooven is.

Ook uit elliptisch licht kan men met het kwart λ plaatje een rechtlijnige beweging verkrijgen, want ook de elliptische beweging mag evenals de circulaire worden beschouwd als de resultante van twee loodrechte trillingen langs de assen van de ellips met een phaseverschil van $\frac{1}{4}$.

Plaatst men dus een kwart λ plaatje met zijn hoofdrichting evenwijdig

aan die assen, zoo wordt het phaseverschil weder $\frac{1}{2}$ en de resultante een rechte lijn, die echter — juist omdat het een ellips is en niet een cirkel — den hoek tusschen de genoemde richtingen niet middendoor zal deelen. Door draaiing van den analysator is ook nu het licht uit te dooven. Men beproeft dus een stand te vinden van het $\frac{1}{4} \lambda$ plaatje, waarbij de nicol het licht door draaiing uitdooft; is deze te bereiken, dan weet men met elliptisch licht te doen te hebben en vindt tevens den stand van de assen der ellips.

Een andere toestel om elliptisch gepolariseerd licht te onderzoeken is de compensator van Babinet. Hij bestaat uit twee even dikke, zwak wigvormige plaatjes van kwarts, die op elkaar geplaatst zijn (fig. 3),

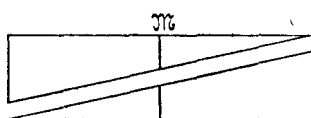


Fig. 3.

zoodanig dat de hoofdrichtingen H_1 en H_2 van het eene plaatje juist samenvallen met respectievelijk H_2 en H_1 van het tweede. Een straal, die in het eerste plaatje langs H_1 trilt, zal dan in het tweede juist langs H_2 trillen en omgekeerd. Het gevolg daarvan is, dat de straal, die in de eerste wig, dank zij een grootere voortplantingssnelheid, vóór komt bij den anderen, omgekeerd na het binnentreden van de tweede wig op den tweeden straal verliest. In het midden bij M, waar de wiggen even dik zijn, wordt het ontstaande phaseverschil tusschen de twee stralen derhalve juist opgeheven. Daar zal men dus, wanneer de compensator tusschen gekruiste nicols opgesteld is, een zwarte lijn zien, evenwijdig aan de ribben der wiggen. Naar links en naar rechts neemt het phaseverschil geleidelijk toe, omdat een der plaatjes door de toenemende dikte met gelijktijdige vermindering van de dikte van het andere plaatje op het laatste meer en meer de overhand behaalt. Achtereenvolgens zal men dus tot plaatsen komen, waar het verschil $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, 2 enz. bedraagt en dus beurtelings lichte en donkere lijnen verkrijgen, evenwijdig aan de centrale lijn.

Vóór den compensator zijn twee fijne draadjes gespannen evenwijdig aan de ribben en dus aan de genoemde interferentie-strepen, zoodanig, dat de centrale donkere streep juist tusschen de draadjes valt. Indien nu elliptisch gepolariseerd licht op den compensator valt, zal het midden tusschen de draadjes niet donker zijn, omdat tusschen de twee componenten langs H_1 en H_2 reeds een phaseverschil aanwezig is: door draaien van den analysator is het nu i. h. a. niet mogelijk deze plaats duister te maken. De toestel is nu echter zoo ingericht, dat men een der wiggen naar rechts of links verschuiven kan; daardoor wordt de dikte in het midden geleidelijk veranderd en daarmee het phaseverschil, dat aan de componenten van het invallende licht wordt toegevoegd. Het is dus mogelijk door dit hulpmiddel het phaseverschil tusschen die componenten op te heffen of tot $\frac{1}{2}$ te vergrooten; in beide gevallen wordt het elliptische licht in recht-

lijinig licht veranderd en wanneer dat bereikt is, zal het mogelijk zijn door draaiing van den analysator het midden van het veld tusschen de draadjes geheel te verduisteren. De grootte van de verplaatsing van de wig, die vereischt wordt om dit te bereiken, leert het phaseverschil tusschen de componenten langs H_1 en H_2 kennen, terwijl uit den stand van den nicol, waarbij het veld ter plaatse donker is, de stand van de assen der ellips gevonden wordt. Natuurlijk moet de compensator vooraf gecalibreerd zijn, d. w. z. men moet eens voor al bepaald hebben, welk phaseverschil aan een bepaalde verplaatsing van de wig beantwoordt.

Straks zullen wij onderzoekingen tegenkomen, waarbij de compensator voor de bestudeering van het elliptisch gepolariseerde licht een belangrijke rol speelt.

Het zal ons later blijken, dat elliptisch en circulair licht nog op andere wijzen kunnen ontstaan, maar voorloopig zal de bovenstaande uiteenzetting voldoende zijn om te doen zien, dat het licht alle eigenaardigheden vertoont, die bij een transversale golfbeweging te verwachten zijn, en dat dus in dat opzicht een overeenstemming met de electro-magnetische theorie voorhanden is.

Verdere toetsing. Grootte van de voortplantingssnelheid in andere media dan het luchtledige.

Een verdere bevestiging van de theorie wordt gevonden in de waarde van de voortplantingssnelheid in andere stoffen. Uit het verschijnsel van de breking van het licht, dat schuin op het scheidingsvlak van twee media invalt, had reeds Huygens afgeleid, dat de genoemde snelheid in ieder medium een andere waarde heeft. In alle stoffen is zij kleiner dan in een vacuum en wel in een verhouding kleiner, die door den absoluten brekingsindex van de stof wordt aangegeven. Nu moet ook volgens de theorie van Maxwell de snelheid van een electro-magnetische trilling in een andere middenstof dan den aether kleiner zijn. Dit staat met de diëlectrische constante van de middenstof in verband; immers de electro-motorische kracht van de inductie, die door een veranderlijke magnetische kracht wordt opgewekt, geeft in een stof een des te grooter diëlectrische verschuiving, naarmate deze constante grooter is; het medium geeft, electrisch gesproken, meer mee en nu is het een vaste regel bij de voortplanting van golven, ook in gewone mechanische systemen, dat de snelheid van voortplanting kleiner is, waar het medium minder sterk tegen de werkende krachten reageert en dus volgens de wetenschappelijke terminologie de elasticiteit kleiner is. Wanneer men het uitrekent, vindt men, dat de snelheid kleiner wordt in een verhouding, die door den vierkantswortel uit die constante wordt gemeten, of anders gezegd: ze is omgekeerd evenredig met dien wortel. Daar de snelheid van het licht omgekeerd

evenredig is met den brekingsindex, zoo moet volgens de theorie de brekingsindex door hetzelfde getal worden uitgedrukt als de wortel uit de diëlectrische constante.

Deze gevolgtrekking wordt voor gassen en voor een aantal andere stoffen volkomen bevestigd. De onderstaande tabel geeft van deze gelijkheid bij gassen een ontwijfelbaar bewijs.

	n	$\sqrt{\epsilon}$
Lucht	1.000294	1.000295
Waterstof	1.000138	1.000132
Koolzuur	1.000449	1.000473
Kooloxyde	1.000346	1.000345
Stikstofoxydule	1.000503	1.000497
Aethyleen	1.000678	1.000656
Moerasgas	1.000443	1.000472

In een geval, zooals wij hier tegenkomen, waar grootheden in een eenvoudig verband blijken te staan, die oogenschijnlijk niets met elkaar te maken hebben, daar zij uit metingen zijn afgeleid, die tot geheel verschillende gedeelten van de physica behooren, moet men tot een innig verband tusschen de verschijnselen, waarop zij betrekking hebben, besluiten en dit verband kan niet anders zijn dan de reeds genoemde hypothese, dat het licht een electricisch verschijnsel is. Aan toeval mag in zulk een geval niet gedacht worden.

Maar: de gevonden overeenstemming is somtijds minder nauw en ontbreekt bij talrijke andere stoffen ten eenenmale: wat kan daar de

	n	$\sqrt{\epsilon}$
Water	1.33	9.0
Methylalkohol.	1.34	5.7
Aethylalkohol .	1.36	5.0

oorzaak van zijn? Ook deze vraag heeft men in den loop van den tijd bevredigend leeren beantwoorden. De diëlectrische constante wordt electrostatisch bepaald, dus door middel van proeven, waarbij men de werkingen tot evenwicht laat komen. Bij de snelle electriche trillingen van het licht heerscht op geen enkel oogenblik een blijvende toestand en kan dus ook de verhouding tusschen electriche kracht en verplaatsing door een ander getal worden uitgedrukt dan in den toestand van rust. Bij wijze van toelichting kan men het geval aanhalen van caoutchouc; wanneer men aan een stuk caoutchouc een gewicht ophangt, zoo zal men zien, dat de uitrekking niet dadelijk tot stand komt, maar dat nog een geruimen tijd lang de uitrekking toeneemt. Men verkrijgt dus een geheel andere waarde voor de elasticiteit van de zelfstandigheid, indien men op de eerste uitrekking afgaat, dan indien men wacht tot de definitieve evenwichtstoestand is ingetreden. Zoo moet men het zich ook voorstellen, waar het geldt de electriche veerkracht der middenstoffen. Bij de langdurig werkende electro-

statische krachten kan de veerkracht kleiner uitvallen, d. i. de constante groter, dan bij de snel wisselende krachten, die in de lichttrillingen aanwezig zijn.

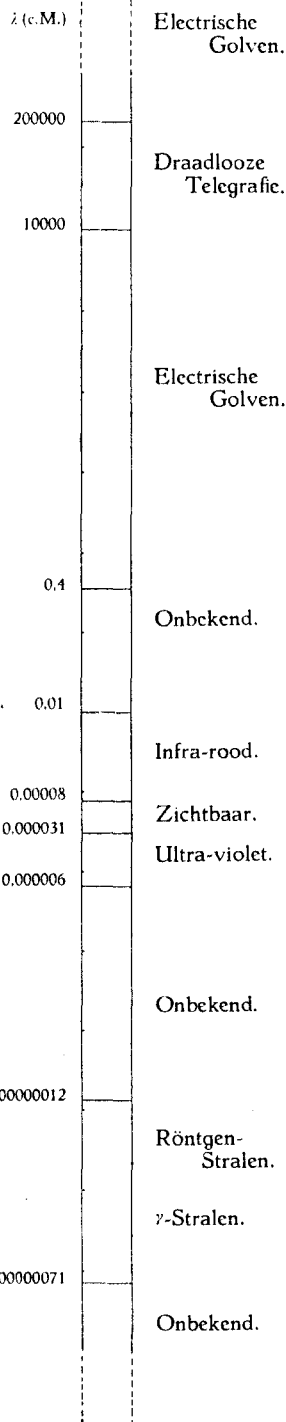


Fig. 4.

Inderdaad heeft men gevonden, dat voor de stoffen, welke de genoemde uitzonderingen vormen, de brekingsindex andere en wel grootere waarden gaat aannemen, als men hem gaat bepalen met trillingen, die langzamer zijn dan de eigenlijke lichttrillingen. Wij moeten n.l. in het voorbijgaan opmerken, dat de zichtbare lichttrillingen tot een betrekkelijk nauw gebied beperkt zijn, wat betreft den trillingstijd, d. w. z. den tijd door een trilling in beslag genomen (fig. 4)¹⁾. Vooreerst kent men trillingen, die nog sneller zijn dan het violet, de snelste lichttrillingen, die zichtbaar zijn; deze noemt men de ultra-violette trillingen. Overigens zijn ze geheel van denzelfden aard als de zichtbare trillingen en sluiten er zich zonder onderbreking bij aan. Nog veel sneller zijn de trillingen van de Röntgenstralen en γ -stralen, waarover wij later het een en ander zullen hebben mede te deelen. Anderzijds kent men trillingen, die zich aan de roode stralen aansluiten, maar grooteren trillingstijd bezitten, de infra-roode stralen, ook wel warmte-stralen genoemd, een benaming, die evenwel niet aan te bevelen is, omdat zij den onjuisten indruk wekt, dat de lichtstralen zelve geen stralende warmte zouden zijn. Deze infra-roode stralen kan men een eindweegs naar grooteren trillingstijd toe volgen; men heeft zelfs stralen leeren isoleeren en onderzoeken, wier trillingstijd meer dan honderd malen grooter is dan voor de zichtbare lichtstralen. Na een voorloopig nog oningevuld interval bereikt men de electro-magnetische stralen, die men met electriche toestellen kan teweeg brengen en welke we reeds straks bespraken (Blz. 127-9). Deze trillingen zijn derhalve veel langzamer dan die van het licht, wat onmiddellijk daarmee samenhangt, dat de toestellen, waarmee men die trillingen te voorschijn brengt, zeer grof zijn vergeleken met de moleculen en atomen der lichtgevende stoffen, waarin de lichttrillingen geboren worden.

¹⁾ Om de grafische voorstelling van de golflengte λ der verschillende trillingen mogelijk te maken, is in plaats van λ zelf $\log \lambda$ langs de schaal afgezet. Door een vergissing staat het gedeelte zichtbaar-ultraviolet één schaaldeel te hoog.

Door de toestellen, die voor het voortbrengen van de trillingen dienen, de oscillatoren, te vergrooten kan men deze verder zoo langzaam maken als men wil.

Wij willen hier aan toevoegen, dat men de stralen gewoonlijk niet onderscheidt naar hun trillingstijd, maar hun golflengte in een vacuum, wat evenwel geen onderscheid maakt, daar de beide grootheden recht evenredig met elkaar zijn, dank zij de omstandigheid, dat de snelheid van voortplanting voor alle stralen, hoe snel of hoe langzaam hun trillingen ook mogen zijn, in een luchtledige ruimte precies even groot is.

Na deze misschien niet geheel overbodige toelichting tot de bepalingen van den brekingsindex terugkeerende, vermelden wij, dat voor de meermalen genoemde stoffen deze grootheid grooter uitvalt, wanneer men bij de proeven niet licht, maar allereerst ultra-roode stralen en vooral electro-magnetische golven gaat gebruiken. Overal, waar men de zaak onderzocht heeft, wordt dan ten slotte een brekingsexponent gemeten, die met den wortel uit de statisch gemeten diëlectrische constante in getalwaarde overeenstemt. Als een extreem voorbeeld kiezen wij het onderzoek van water; voor de diëlectrische constante had men ongeveer 80 gevonden en de brekingindex van die vloeistof zou dus ongeveer 9 moeten zijn, terwijl hij voor gewoon licht de waarde 1.33 heeft, zooals men ziet een enorm verschil; van overeenstemming geen sprake. Maar toen Cohn en Zeeman de voortplantingssnelheid voor electricch teweeggebrachte golven in water gingen bepalen, vonden zij deze 8.9 maal kleiner dan in een vacuum, zoodat de brekingsindex voor die golven 8.9 bedraagt, wat uitstekend met de theoretische waarde $\sqrt{80}$ overeenstemt. Tegenover electriche trillingen, die langzaam genoeg zijn, gedraagt zich het medium derhalve op dezelfde wijze als tegenover statische krachten: het heeft daarbij blijkbaar voldoende tijd om zich volledig naar de werkende krachten te schikken.

Als de brekingsindex voor lange golven (n_{∞}) niet gemeten is, kan hij veelal bij benadering door extrapolatie gevonden worden en ook dan blijkt de overeenstemming tusschen n_{∞}^2 en ϵ (zie tabel).

	n_{∞}^2	ϵ		n_{∞}^2	ϵ
Flintglas	6.77	6.7-9.1	Zwavel	3.59-4.60	3.59-4.62
Vloeispaath	6.09	6.8-6.9	Diamant	5.66	5.50
Steenzout	5.18	5.8-6.3	Gele Phosphorus	4.22	3.60
Kwarts	4.58	4.6-4.7	Selenium	6.02	6.60
Sylvien	4.55	4.9	Broom	2.53	3.10
			Chloor (vl.)	1.87	1.88

Absorptie van het licht.

Laat ons nu eens gaan letten op het licht, dat een stof binnendringt; hoe geheel verschillend gedragen de stoffen zich ten opzichte van het binnendringende licht! Soms, bij voorbeeld in glas, wordt het bijna onverzwakt doorgelaten, in andere gevallen heeft een zwakkere of sterkere

opslorping of absorptie van het licht plaats. Onder de stoffen, die het licht het sterkst absorbeeren, zoodat zij zelfs in dunne lagen zeer ondoorzichtig zijn, behooren de metalen en dat zijn nu juist de goede geleiders voor electriciteit. Dit is weder geen toeval: de theorie doet een dergelijk verband vooruitzien. Een electricische kracht toch zal in een geleider niet uitsluitend een diëlectrische verplaatsing opwekken, maar tevens een gewone geleidingsstroom. Met een stroom gaat een ontwikkeling van warmte gepaard en deze warmte wordt aan de energie van de golfbeweging onttrokken, die daardoor bij haar voortgang allengs in intensiteit moet afnemen. Zoo ziet men dadelijk in, dat goede geleiders het licht moeten opsorpen.

Daarmede is de zaak echter niet afgelopen, want als men de punten op de i 's gaat zetten, komen weder allerlei moeilijkheden voor den dag. Vooreerst zijn de meeste electrolyten, die toch onder de vrij goede geleiders behooren, zeer doorzichtig. Deze tegenspraak laat zich op een dergelijke wijze opheffen als zoo straks de afwijking van de theoretische betrekking tusschen brekingsindex en diëlectrische constante. De lichttrillingen zijn zoo snel, dat de wisselende geleidingsstroom, die door die trillingen zouden moeten worden opgewekt, niet tot ontwikkeling kunnen komen, of althans, dat de wrijving, die de ionen bij hunne beweging ondervinden en waarop de warmte-ontwikkeling en dus de absorptie zouden berusten, niet de volle waarde bereikt, welke voor standvastige stroomen als gemiddelde over een langen tijd geldt. Deze onderstelling wordt tot op zekere hoogte bevestigd door proeven over de absorptie van langzame, n.l. electricische golven in electrolyten. Bij langzame trillingen mag n.l. volgens de aangeduide verklaring een grootere absorptie verwacht worden, die allengs nadert tot de waarde, die men uit het geleidingsvermogen voor constante stroomen zou afleiden.

Zoo bleek bijv. bij proeven van Zeeman, dat electricische golven in zekere verdunde zoutoplossingen op een afstand van 5 centimeter tot twee-derde van hun intensiteit verminderden. Dit is een vrij sterke absorptie, als men haar vergelijkt met het geringe intensiteitsverlies van licht op een even grooten afstand; een opsorping van dit bedrag doet ook de theorie verwachten.

Een dergelijke tegenspraak blijkt zich bij nader inzien ook voor te doen bij metalen: het absorptie-vermogen van metalen, hoewel zeer groot, is toch kleiner dan de theorie vereischt. Dunne metalen plaatjes zijn meer doorzichtig dan het geval behoorde te zijn. De mate der opsorping wordt door een zekeren coëfficiënt uitgedrukt, die aangeeft in welke verhouding het licht op de eenheid van doorloopen afstand vermindert, en voor dezen coëfficiënt geeft de theorie van Maxwell de eenvoudige waarde $4 \pi \sigma c$, waar σ het geleidingsvermogen der stof voor den electricischen stroom en c de lichtsnelheid voorstellen. Deze betrekking werd, zooals gezegd, aan-

vankelijk niet bevestigd. Maar ook in dit geval bleek de overeenstemming van theorie en waarneming terug te keeren, wanneer men van minder snelle trillingen gebruik maakte: ja, bij de metalen werd de betrekking reeds bevestigd bij proeven met infra-roode stralen; deze gedroegen zich geheel volgens de theorie.

Men moet dus nog zoeken naar een plausibele verklaring van het feit, dat de nog snellere lichttrillingen minder sterk worden opgeslorpt dan volgens het gewone geleidingsvermogen te verwachten was. Misschien kan men zich de zaak als volgt denken: de weerstand, dien de electronen bij hun beweging ondervinden, is toe te schrijven aan hun botsingen met de atomen, waar tusschen zij zich onder den invloed van de electriche kracht een weg moeten banen. Bij die botsingen gaat stroomingsenergie verloren en aan dat verlies is de warmte-ontwikkeling van den stroom toe te schrijven. Maar bij den doorgang van het licht werken op de electronen zeer snel wisselende krachten, waardoor zij zeer snel heen en weder zullen bewegen. Indien nu de trillingstijd van het licht klein is vergeleken met den tijd, die gemiddeld tusschen twee opeenvolgende botsingen verloopt, dan kan men niet verwachten, dat de weerstand tegen die bewegingen even groot zal zijn als bij langzame trillingen of bij een stroom, die steeds in één richting doorgaat, omdat gedurende den trillingstijd het aantal botsingen gering is, of liever omdat de electronen in dien tijd met een kleiner aantal atomen in aanraking komen, dan bij een standvastigen stroom gemiddeld in denzelfden tijd het geval is. Volgens Lorentz zou de verklaring daarin te zoeken zijn, dat in de metalen behalve de vrije electronen tusschen de atomen ook de „gebonden” electronen in de atomen bij het verschijnsel een rol vervullen; maar daarover zijn geen nadere inzichten verkregen.

Terugkaatsing en breking.

Wij zullen nu het vraagstuk der terugkaatsing en breking aan het oppervlak van twee media algemeen in het oog vatten. Wanneer een golfbeweging uit het eene medium in het andere komt, waar de voortplantingssnelheid een andere waarde heeft, dan ontstaat er aan het scheidingsvlak noodzakelijkerwijze ook een teruggekaatste golf. Mathematisch uitgedrukt: aan de voorwaarden, welke aan het scheidingsvlak tusschen de twee media gelden, kan alleen voldaan worden door behalve den invallenden en den gebroken bundel nog een teruggekaatsten bundel in te voeren. Lorentz heeft het eerst in zijn dissertatie (1875) dit vraagstuk van de terugkaatsing en breking van het licht aan het oppervlak van doorschijnende lichamen volgens de electro-magnetische theorie opgelost, natuurlijk met inachtneming van den polarisatie-toestand. In tegenstelling met de meeste natuurkundigen op het vasteland, zag hij de beteekenis van de nieuwe theorie toen reeds volledig in.

Het is niet moeilijk in te zien, wat voor „voorwaarden” aan het oppervlak zoo moeten gelden. De diëlectrische verschuiving in het eerste medium, in de richting loodrecht op het oppervlak naar dit oppervlak toe ontbonden, moet even groot zijn als diezelfde ontbondene in het tweede medium van het oppervlak af, omdat de electriciteit onsamendrukbaar is en zich dus aan het oppervlak niet kan ophoopen. De electricische kracht daarentegen verschilt in de twee media, wegens het verschil der diëlectrische constanten. Evenwijdig aan het oppervlak daarentegen moet de electricische kracht even groot zijn in de twee aangrenzende stoffen. Dergelijke voorwaarden kunnen worden aangegeven voor de magnetische grootheden, waarop wij niet willen ingaan. Het was er alleen om te doen, den lezer te doen zien, van welken aard de voorwaarden zijn, waarvan bij de oplossing van het vraagstuk gebruik gemaakt moest worden.

Lorentz toonde nu aan, dat men uit de electro-magnetische theorie langs dien weg zonder eenige nieuwe hypothese door van de voornoemde voorwaarden gebruik te maken de reeds bekende en door velerlei proeven gestaafde wetten der terugkaatsing en breking zoowel voor stralen, die in het invalsvlak, als voor die, welke loodrecht daarop trillen, uit de theorie van Maxwell verkrijgt, in het bijzonder ook wat betreft de intensiteiten van den teruggekaatsen en den gebroken bundel. In dit opzicht bleek uit dit onderzoek de theorie veel bevredigender te zijn dan de vroegere „elastische” lichttheorieën, waarin bij hetzelfde probleem om het beoogde doel te bereiken bijzondere onderstellingen moesten worden ingevoerd, zonder dat het gelukt was deze zoo te kiezen, dat alle verschijnselen er consequent door konden worden weergegeven.

Nog een verdere gevolgtrekking kon uit de theorie worden gemaakt. Bij de bespreking van de polarisatie hebben wij er op gewezen, dat deze even goed verklaard kon worden, zoo men aannam, dat de lichttrillingen in het door een spiegel gepolariseerde licht loodrecht op het invalsvlak plaats vinden als dat zij in dat vlak geschieden. De door Lorentz ontwikkelde theorie op electro-magnetischen grondslag leerde nu, dat de electricische trillingen loodrecht op het invalsvlak staan en dus de magnetische trillingen in datzelfde vlak gelegen zijn. Daarmede is meteen de richting der trillingen bij gepolariseerd licht in het algemeen vastgelegd, want men kan de richting der polarisatie in ieder geval steeds met die voor den door een spiegel gepolariseerden straal vergelijken.

Welke van beide men nu de lichttrillingen noemen wil, is eigenlijk onverschillig; in een lichtstraal zijn altijd beide gelijkelyk vertegenwoordigd, de eene soort is niet denkbaar zonder de andere. Wel kan men vragen, of bepaalde werkingen, die het licht uitoefenen, meer bepaaldelyk aan de electricische of aan de magnetische trilling gebonden zijn; zoo is bijvoorbeeld

de chemische werking op een lichtgevoelige plaat aan de electriche trilling te wijten en hierin kan een grond gevonden worden, om bij het spreken over het licht meer in het bijzonder aan de electriche trillingen te denken. Maar deze quaestie valt buiten het gebied van de beschouwingen, die ons op het oogenblik bezig houden.

Moleculaire theorie van de breking en kleurschifting ¹⁾).

Een volgende stap in het onderzoek was de nadere verklaring van de breking en in het bijzonder van het verschil in den brekingsindex voor de verschillende kleuren of anders gezegd golflengten, dus van de zogenoemde dispersie. De straks besproken theorie, die den brekingsindex eenvoudig met de diëlectrische constante in verband brengt, is voor dit doel niet voldoende: immers zij zou doen vermoeden, daar toch slechts van één diëlectrische constante voor een bepaalde stof sprake geweest is, dat ook de brekingsindex slechts één waarde hebben kan en dus even groot zou moeten zijn voor alle golflengten, wat evenwel niet het geval is. Zoals men weet, neemt in normale gevallen de index toe, naarmate de golflengte afneemt, dus naar het violette gedeelte van het spectrum.

Op het mechanisme, waardoor de stof zich van het vacuum onderscheidt, moest worden ingegaan. Naar analogie van vroegere dispersie-theorieën in de mechanische lichttheorie nam Lorentz aan, dat de invloed van de materie afhankelijk zou zijn van de aanwezigheid in de lichamen van electriche geladen deeltjes. Onder den invloed van de passerende lichtgolf gaan deze deeltjes meetrillen en deze trillende beweging heeft een terugwerking op de voortplantingssnelheid van de golven.

De eerste onderstelling, die het meest voor de hand ligt, is deze, dat de onderstelde deeltjes geheel vrij in hun bewegingen zijn, d. w. z. dat zij niet aan bepaalde plaatsen gebonden zijn en ook bij hun beweging geen wrijving ondervinden. Een zoodanig deeltje zal dan om zoo te zeggen een speelbal van de golf zijn, zoodat het zonder vertraging met de wisselende kracht heen en weder gaat. Men heeft dus in dit geval behalve de diëlectrische verplaatsing van electriciteit in den aether, die er in ieder geval is, ook nog de verplaatsing van de lading der genoemde deeltjes en deze behooren eenvoudig te zamen te worden genomen om de totale verplaatsing van electriciteit in een punt van het medium te verkrijgen. Bij een bepaalde electriche kracht verkrijgt men zoodoende een grootere totale verplaatsing dan bij afwezigheid van de deeltjes, wat ook zoo geformuleerd kan worden: de diëlectrische constante is grooter dan in het vacuum. Daar volgt weder uit evenals straks (blz. 139), dat de reactie in

¹⁾ Behalve in verhandelingen van Lorentz vindt men de dispersie-theorie uiteengezet door H. Bremekamp, in een Leidsche dissertatie van 1905.

het medium kleiner is, zijn elektrische elasticiteit dus ook kleiner, en dus de voortplantingssnelheid kleiner, zooals uit de leer van de trillingen en golfbeweging welbekend is.

Men verkrijgt nu echter op dien grondslag blijkbaar nog geen dispersie, want het meetrillen heeft voor alle frequenties van trilling gelijkelijk plaats en de snelheid wordt dus eveneens onafhankelijk van die frequentie. Trouwens ook om een andere reden mag de onderstelling van vrije of niet-gebonden deeltjes niet worden toegelaten: met haar toch komt men met de electrostatica in tegenspraak, want de stof zou immers een geleider voor de electriciteit zijn, zoo er zich vrij bewegelijke ladingen in bevonden, en wij spreken over niet-geleiders. Nu is de essentieele, fundamenteele eigenschap dezer laatste juist, dat de elektrische deeltjes er in aan vaste plaatsen gebonden zijn, bij voorbeeld, doordat zij zich in de atomen der stof bevinden, waarin zij zich wel over zekeren afstand heen en weer kunnen bewegen, maar die zij niet kunnen verlaten.

Om dispersie te verkrijgen, moet dus zeer in het algemeen worden aangenomen, dat de meetrillende elektrische deeltjes aan zekere evenwichtsstanden gebonden zijn, waarheen ze teruggetrokken worden, wanneer ze daaruit door uitwendige krachten worden verwijderd. Afscheiden van uitwendige krachten kan een dergelijk deeltje om zijn evenwichtsstand trillingen uitvoeren van bepaalden trillingstijd, die afhankelijk is van de kracht, welke hen in dien stand tracht te houden, en de eenvoudigste onderstelling is, dat er in een bepaalde stof slechts één soort van die deeltjes voorkomt met een bepaalde natuurlijke frequentie van trilling,

Hoe zullen nu dergelijke deeltjes reageeren op een elektrische trilling, die door de stof heenstrijkt? Dit wordt beantwoord door de bekende wetten van het meetrillen of de zoogenaamde resonantie. Het maakt voor de beweging een belangrijk verschil, of de uitwendige trillingen langzamer dan wel sneller zijn dan de natuurlijke trillingen in het systeem. Neem een enkelvoudigen slinger, d. i. een zwaar lichaam aan een koord bevestigd, in de hand en beweeg de hand heen en weer: de beweging van de hand stelt de uitwendige trilling voor, de slingeringen van den slinger bij stilstaande hand de natuurlijke trillingen van het systeem. Indien men nu de hand beweegt in een tempo, dat langzamer is dan het tempo van den slinger zelf, zoo zal men zien, dat de slinger met de hand meegaat, of, zooals men het technisch uitdrukt, de phase van de teweeggebrachte trilling stemt overeen met die van de uitwendige kracht; de slingerwijdte of amplitude is des te grooter, naarmate de beide perioden minder verschillen. Gaat daarentegen de hand sneller heen en weer dan het natuurlijke tempo van den slinger, zoo ziet men het omgekeerde plaats vinden; de slinger gaat tegen de kracht in, zijn phase is tegengesteld aan die van de handbeweging.

Zoo zal het nu ook zijn met de electriche deeltjes: voor invallende trillingen, die langzamer zijn dan de natuurlijke trillingen, gaat het deeltje met de trilling mee en verkrijgen wij dus kwalitatief hetzelfde geval als straks bij het niet-gebonden deeltje; het systeem geeft mee, de elasticiteit en de voortplantingssnelheid zijn kleiner dan zonder de deeltjes het geval zou zijn, de brekingsindex zal grooter zijn dan de eenheid en de snelheid neemt af, dus de brekingsindex toe, naarmate de trillingstijd kleiner wordt en tot dien van de eigen trillingen der deeltjes nadert, omdat daarbij het meetrillen, zooals wij zagen, aldoor sterker wordt. Men ziet, dat dit beloop van de breking voor licht van verschillende kleur juist datgene is, hetwelk wij in normale gevallen bij de stoffen waarnemen: een toenemende brekingsindex naar het violet, d. w. z. naar kleiner golflengte of trillingstijd. De normale dispersie kan dus worden verklaard door de aanwezigheid in de stof aan te nemen van deeltjes, die tot trillen in staat zijn in een periode, die kleiner is dan de perioden van het zichtbare licht en dus zou overeenstemmen met de periode van het licht, dat in het ontoegankelijk gedeelte van het ultra-violet gelegen zou zijn. Wij komen daar straks nog eens op terug.

Onderzoeken wij eerst, welken invloed de trillende deeltjes uitoefenen op trillingen, die sneller zijn dan hun eigen trillingen. Deze laatste doen de deeltjes naar den tegengestelden kant uitwijken. Terwijl de diëlectrische verplaatsing in den aether in de richting valt van de trillingen, is de verplaatsing van de electriche deeltjes in de omgekeerde richting; de geheele verplaatsing is dus kleiner dan anders het geval zijn zou en wij kunnen derhalve zeggen, dat de elasticiteit en de voortplantingssnelheid door de aanwezigheid der deeltjes vergroot zullen zijn en dat de brekings-

index, die immers de verhouding is van die snelheid tot die in den aether, kleiner moet zijn dan de eenheid.

Wanneer wij derhalve den brekingsindex aan weerszijden van het punt, waar de natuurlijke trillingen der deeltjes liggen, graphisch voorstellen, verkrijgen wij het beloop, dat in figuur 5 is weergegeven. De brekingsindex (n) is in verticale richting uitgezet, de golflengte overeenstemmende met de verschillende trillingen (λ) in horizontalen zin. Onder λ_0 is te verstaan de golflengte behoorende bij de natuurlijke

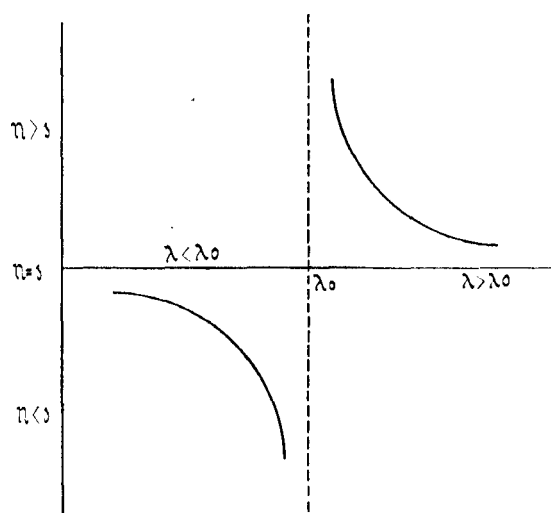


Fig. 5.

trillingen van de aangenomen deeltjes. Men ziet in de figuur, hoe de index voor kleinere golflengten kleiner dan 1 is en afneemt bij nadering tot λ_0 ,

voor $\lambda > \lambda_0$ is de brekingsindex groter dan 1 en wel des te groter, naarmate λ minder van λ_0 verschilt, alles in overeenstemming met wat boven werd afgeleid. Als men het geheele gebied aan weerszijden van λ_0 in oogenschouw neemt, blijkt het, dat de dispersie „anomaal” is: de index neemt, van de groote golflengten uitgaande, niet voortdurend toe, maar bij het passeeren van λ_0 maakt hij een plotseligen sprong naar beneden en gaat dan eerst weer toenemen.

Volgens de gegeven verklaring zou de index voor λ_0 tot een oneindige waarde naderen: bij de bespreking van de proeven zal straks blijken, dat dit niet het geval is. Deze tegenspraak staat daarmede in verband, dat de theorie nog niet volledig is medegedeeld. Het meetrillen van het deeltje met de invallende trillingen gaat n.l. met absorptie gepaard, en dit moet zijn verklaring vinden in een weerstand of wrijving, waaraan de trillingen

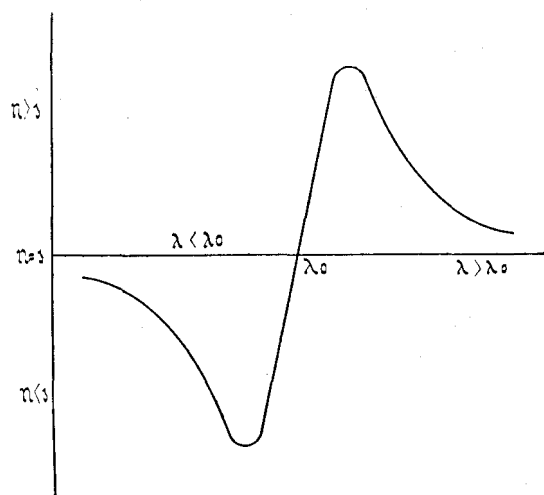


Fig. 6.

der deeltjes onderhevig zijn. Met deze wrijving moet in de theorie nog rekening gehouden worden. Het meetrillen heeft ook nu nog vrijwel op dezelfde wijze plaats, maar het resultaat verandert toch in zooverre, dat de brekingsindex nu niet oneindig wordt, maar het doorlopend karakter verkrijgt, dat in figuur 6 is weergegeven. Het meetrillen is het sterkst in de buurt van de natuurlijke trillingen, d. i. van λ_0 ; daar is dus ook de absorptie het sterkst, ja veelal is ze alleen in de onmiddellijke omgeving van λ_0 merkbaar en mag die omgeving het absorptie-gebied genoemd worden. Door dit absorptie-gebied heen neemt dus de index snel van een groote waarde naar een kleine waarde af. Wij kunnen dus onze uitkomst nog eens aldus formuleeren, dat aan weerszijden van een gebied van opslorping de dispersie anomaal zijn zal en wel steeds het beloop zal vertoonen, door de kromme lijn in figuur 6 weergegeven.

Wij gaven reeds aan, hoe de normale dispersie van stoffen volgens bovenstaande theorie kan worden verklaard door meetrillende deeltjes te onderstellen met een natuurlijke frequentie behorende tot het ultra-violet; wij kunnen dus ook zeggen: door een absorptie-gebied aan te nemen in het ultra-violet. Voorbij dit gebied zouden dus brekingsindices kleiner dan 1 moeten voorkomen. Dit kan niet geverifieerd worden, omdat straling van die golflengte ons onbekend is; alleen weet men, dat de Röntgenstralen, wier golflengte nog weer veel kleiner is, duizendmaal kleiner dan van het uiterste ultra-violet, dat bekend is, niet merkbaar gebroken worden

en dus een brekingsindex hebben, die onmerkbaar weinig van de eenheid afwijkt. Het gebied der Röntgenstralen moet dus zoo ver voorbij het onderstelde absorptiegebied liggen, dat de linksche tak van de kromme lijn in figuur 6 de horizontale as praktisch bereikt heeft.

De anomale dispersie kan in haar geheel worden waargenomen bij stoffen, die behalve het onderstelde gebied van absorptie in het verre ultra-violet ook nog ergens in het toegankelijke deel van het spectrum een sterke absorptie vertoonen.

De verandering van den brekingsexponent, die daarvan het gevolg is, moet dan gesuperponeerd gedacht worden op de kromme, die de normale dispersie weergeeft. Het gevolg van die samenstelling is eenvoudig dit, dat de normale kromme bij dit gebied een dergelijke dubbele bocht vertoont als wij boven in figuur 6 leerden kennen, zonder dat het noodig is, dat de onderste lus van die bocht diep genoeg reikt om den brekingsindex kleiner dan de eenheid te doen worden.

Er is eigenlijk geen enkele stof bekend, die niet op een of meer plaatsen in het spectrum, hetzij in het zichtbare gedeelte of het infra-rood, absorptie-lijnen bezit, maar slechts enkele zijn geschikt om er de anomale dispersie duidelijk bij aan te toonen. Zoowel bij verschillende anilinekleurstoffen, die veelal sterke absorptielijnen bezitten (vandaar hun kleur), als b.v. bij dichten natriumdamp met zijn bekende absorptie in het geel (D-lijn in het zonnenspectrum) heeft men de theoretische kromme in allen deele experimenteel kunnen bevestigen. Onder de meest betrouwbare waarnemers op dit terrein noemen we W. H. Julius met diens leerlingen, waaronder B. J. van der Plaats.

Bij zeer sterk absorbeerende lichamen heeft men in overeenstemming met de theorie brekingsindices kleiner dan de eenheid aangetroffen. Proeven over de breking van het licht in zeer dunne metalen prisma's werden genomen door H. E. J. G. du Bois in samenwerking met Rubens. De theorie dezer breking behandelde naar aanleiding daarvan Lorentz.

Brekingsindex en dichtheid.

Wij keeren tot de besproken theorieën terug. Lorentz heeft o. a. van zijn uitkomsten partij getrokken voor het opstellen van een betrekking tusschen brekingsindex en dichtheid. Telkens doet zich de vraag voor, hoe de breking van een zelfstandigheid veranderen zal, als men haar dichtheid wijzigt. Bij voorbeeld: stel, men kent den index van een gas bij gewone temperatuur en drukking, hoe kan men daaruit die zelfde grootheid vinden voor een hoogere temperatuur of voor het gas onder een drukking van 10 of 100 atmosfeer? of ook: kan men den index voor een damp vinden, als men hem kent voor dezelfde stof in den vloeibaren toestand? Laplace leidde uit de vroegere elastische theorie af, dat als de dichtheid d

van een lichaam door verandering van drukking of temperatuur of van aggregatie grooter of kleiner wordt, de uitdrukking $(n^2-1) : d$ even groot zal blijven; n is hier weer de brekingsindex. Noemt men (n^2-1) het brekend vermogen, dan drukt de vergelijking uit, dat het brekend vermogen van een zelfstandigheid evenredig is met haar dichtheid.

Hoek¹⁾ gaf een andere afleiding van de formule en deed ter toetsing in samenwerking met Oudemans²⁾ waarnemingen omtrent den invloed van de temperatuur op breking en dichtheid, of, zooals ze het in verband met de toenmalige opvatting der lichtverschijnselen noemden, ter bepaling van de hoeveelheid wereld-aether in de vloeistoffen vervat. De proeven wezen op een vermindering der verhouding $(n^2-1) : d$, dus in de taal der aether-theorie op een uitdrijven van aether. Ook Van der Willigen³⁾ stelde een dergelijk onderzoek in.

Alles samengenomen werd de wet niet nauwkeurig bevestigd gevonden, veel beter klopte dan nog de empirische formule $(n-1) : d = \text{constant}$. De straks geschetste theorie nu leverde aan Lorentz de volgende, iets meer samengestelde betrekking op: $(n^2-1) : (n^2+2) d = \text{constant}$, als geldende in niet te dichte nabijheid van een gebied van sterke opslorping. De breuk $(n^2-1) : (n^2+2)$ kan weder het brekend vermogen genoemd worden en de constante verhouding tot de dichtheid: het specifiek brekend vermogen. Deze formule draagt den naam van Lorentz; ze wordt somtijds zeer goed en in andere gevallen tamelijk goed bewaarheid. Van het mededeelen van experimenteele uitkomsten zullen wij ons ter bekorting onthouden.

Op grond van de gegeven theorie kan men voorspellen, hoe groot de breking van een mengsel van stoffen zijn zal, indien men de indices voor de bestanddeelen van het mengsel kent. Indien men n.l. voor ieder dezer bestanddeelen op zich zelf het specifiek brekend vermogen $\frac{n^2-1}{n^2+2} \frac{1}{d} = r$ berekent, dan moet de brekingsindex n van het mengsel voldoen aan de betrekking:

$$r = \frac{n^2-1}{n^2+2} \frac{1}{d} = \frac{m_1}{m} r_1 + \frac{m_2}{m} r_2 + \dots$$

De indices 1, 2, enz. duiden in deze formule de verschillende componenten van het mengsel aan; $m_1, m_2, \text{enz.}$ zijn dus de massa's der componenten en $r_1, r_2, \text{enz.}$ hunne specifieke brekende vermogens, terwijl dezelfde symbolen zonder index op het mengsel in zijn geheel slaan. Men ziet dus, dat voor ieder bestanddeel het specifieke brekend vermogen naar evenredigheid van de massa van het bestanddeel in rekening moet worden gebracht, om door optelling die zelfde grootte voor het mengsel te verkrijgen.

¹⁾ M. Hoek (1834—1873).

²⁾ A. C. Oudemans (1831—1895).

³⁾ V. S. M. van der Willigen (1822—1878).

Wij hebben deze betrekking voornamelijk daarom medegedeeld, dat zij gebleken is in vele gevallen ook voor scheikundige verbindingen door te gaan, alsof deze eenvoudige mengsels waren. Noemt men het moleculair-gewicht van de samengestelde stof M en de atoomgewichten der daarin voorkomende elementen $A_1, A_2, \text{ enz.}$, terwijl $n_1, n_2, \text{ enz.}$ de aantallen dezer atomen in het molecuul der verbinding aanduiden, dan wordt de bedoelde betrekking door deze vergelijking weergegeven:

$$Mr \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{d} = n_1 A_1 r_1 + n_2 A_2 r_2 + \dots$$

Het product van specifiek brekend vermogen en moleculairgewicht Mr heet moleculair-refractie, en evenzoo Ar atoomrefractie, zoodat de vergelijking uitdrukt, dat de moleculair-refractie van een verbinding gevonden wordt door de atoomrefracties van alle in de verbinding vereenigde atomen bijeen te tellen. De talrijke onderzoekers, die zich met de toetsing van deze betrekking hebben beziggehouden, hebben haar in vele gevallen bevestigd gevonden.

Wat de algemeene beteekenis der bovenstaande betrekking betreft nog het volgende: indien de een of andere physische grootheid voor een samengestelde scheikundige stof bevonden wordt verkregen te kunnen worden door optelling van een aantal dergelijke grootheden, welke ieder voor zich op de afzonderlijke bestanddeelen, in dit geval atomen, betrekking hebben, dan mag men daaruit het besluit trekken, dat de oorsprong van het verschijnsel, waarop de grootheid betrekking heeft, in de afzonderlijke atomen te zoeken is. In ons geval loopt het over het brekend vermogen der stof en concludeeren wij dus, in overeenstemming met de reeds voorgedragen theorie, dat de oorzaak van de breking aan een onderdeel der atomen afzonderlijk toe te schrijven is, n.l. aan het meetrillen van in de atomen voorhandene electriche deeltjes.

Indien de opgestelde regel nauwkeurig doorging en indien er geen uitzonderingen gevonden werden, zoo zou men mogen besluiten, dat de electriche trillingen dier deeltjes geen onderlingen invloed ondervonden; kleine afwijkingen, zooals inderdaad bestaan, mogen op rekening van een dergelijken onderlingen invloed worden geschoven en niets is ook natuurlijker, dan dat de electriche deeltjes in naburige atomen elkaars bewegingen min of meer zullen wijzigen.

Bepaalde uitzonderingen doen zich bijv. daar voor, waar de scheikundigen aanleiding vinden om bijzondere bindingswijzen tusschen de atomen aan te nemen. Dergelijke uitzonderingen worden o. a. gevonden bij onverzadigde koolstof-verbindingen, waar zoogenaamde dubbele binding tusschen de atomen bestaat. Zonder twijfel zijn de verbindingen van de atomen met elkander van electriche aard en het behoeft ons dus niet te verwonderen, dat een bijzondere soort van scheikundige binding op de breking een invloed uitoefent, al kan voorloopig niet in bijzonderheden worden

nagegaan, hoe zulk een invloed werkt. In de toekomst zullen de besproken verschijnselen zeer waarschijnlijk aan de onderzoekers een welkom middel opleveren om nader in den aard der scheikundige binding en in de elektrische constitutie der atomen en moleculen door te dringen.

Onze landgenoot J. F. Eykman (1851—1915) heeft zich jaren lang aan het onderzoek van de refractie van organische lichamen gewijd. Zijn spectrometer richtte hij op een bijzondere wijze in, die hem in staat stelde de metingen tot 150° C. uit te strekken. Daarbij bleek de formule van Lorentz niet meer in staat het verband tusschen refractie en dichtheid met de gewenschte nauwkeurigheid voor te stellen en zag hij zich dus genoodzaakt een empirische wijziging aan te brengen, die aan het doel beantwoordde, n.l. $r = \frac{n^2 - 1}{n + 0.4} \cdot \frac{1}{d}$.

In allerlei opzichten wijken Eykman's uitkomsten van die van anderen af. De atoom-refracties bleken niet als constant te kunnen worden aange-merkt; evenmin is het increment voor een dubbele binding een standvastige grootte; het hangt af van de plaats, die ze in een molecuul inneemt. Een atoomgroep als -OH geeft naar omstandigheden een eenigszins andere bijdrage voor de refractie van een verbinding. Zelfs stereo-isomeren — d.w.z. stoffen van volkomen denzelfden bouw, slechts verschillend wat betreft de plaatsing der groepen in de ruimte volgens de theorie van Van 't Hoff — geven eenigszins verschillende refracties. Samengenomen leveren Eykman's onderzoekingen een kostbaar materiaal voor de kennis der kleine afwijkingen, welke de lichamen ten opzichte van de straks genoemde eenvoudige regels vertoonen. Vermelding verdient nog, dat Eykman zich niet tot metingen bij een enkele golflengte bepaalde, maar ze over het geheele zichtbare spectrum uitstrekke.

Van experimenteel belang zijn zijn nauwkeurige bepalingen van de voor de toetsing vereischte dichtheid zijner stoffen tot 150° C, waartoe hij een doelmatigen pycnometer inrichtte.

Breking van gassen.

Wegens hun geringe dichtheid breken de gassen het licht veel minder sterk dan vloeistoffen. Om die reden meet men den brekingsindex van gassen gewoonlijk niet met een prisma, maar bezigt een interferentiemethode. Daarbij komt het eigenlijk op de voortplantingssnelheid aan, maar, zooals men weet: de brekingsindex hangt daar onmiddellijk mede samen. Een wijziging van de voortplantingssnelheid voor één van twee met elkaar interfereerende lichtbundels brengt een phase-verandering voort, die zich in een verschuiving van het stelsel interferentie-strepen verraadt: deze verschuiving wordt gemeten en leert aldus verschillen in de voortplantingssnelheid en dus in den brekingsindex kennen. Laat men dus bijv. de twee stralen even lange luchtledige buizen doorloopen en doet dan in een daarvan

een gas toestroomen, zoo levert het aantal der interferentie-strepen, waarover het beeld zich verplaatst, de vertraging van het licht in de gaszuil en daarmee de gezochte vermindering in de voortplantingssnelheid, dus den brekingsindex. Om de nauwkeurigheid te verhoogen kan men de drukking van het gas zoo groot mogelijk doen worden.

Een der meest gezochte instrumenten voor dit doel is de interferentiaal-refractor van Jamin, waarover L. H. Siertsema in 1890 te Groningen zijn proefschrift schreef. Met dien toestel heeft hij later, gedeeltelijk in samenwerking met M. de Haas, een reeks bepalingen gedaan over de dispersie in waterstof, lucht en koolzuur, waarbij de druk wat de eerste twee gassen aangaat tot 100 atm. werd opgevoerd. De metingen strekten zich over het geheele zichtbare spectrum uit. Door het onderzoek bleek de dispersie — d. i. de graad van verandering van den brekingsindex met de golflengte — bij de hoogste drukkingen niet merkbaar anders te zijn dan bij de laagste.

Daar de normale dispersie met absorptie in het ultra-violet samenhangt, stellen dergelijke metingen ons in staat den trillingstijd te berekenen van het licht, dat door het gas opgeslorpt wordt. Deze opslorping is het gevolg van het meetrillen van electriche deeltjes in de moleculen van het gas, zoodat de uitkomst dienst kan doen om ons in te lichten over den bouw van het molecuul.

In verband met het juist medegedeelde vermelden wij, dat A. H. Borghesius te Groningen met den interferentiaal-refractor, op een oorspronkelijke wijze ingericht, bepalingen heeft uitgevoerd van de breking van verdunde oplossingen. De atoomrefracties van bepaalde ionen bleken gemeenlijk, zooals uit de theorie der electrolytische dissociatie te verwachten is (zie een later hoofdstuk), in verschillende combinaties even groot te zijn. Voor de dispersie gold dit niet. Meer uitvoeriger metingen van D. Dijken bevestigden deze uitkomsten (Diss. Groningen 1897).

Constitutie der hemellichamen, in het bijzonder van de zon.

In de voorafgaande bespreking van het verschijnsel der anomale dispersie vinden wij een aanleiding om eenige bladzijden te wijden aan de physische geaardheid van de hemellichamen, daar bij bepaalde theorieën daaromtrent dat verschijnsel een belangrijke rol speelt. Zoo goed als alles, wat wij omtrent de hemellichamen meenen te weten, is aan het spectroscopisch onderzoek van het door hen uitgestraalde licht ontleend. De aard n.l. van een spectrum is geheel verschillend, naarmate het lichaam, dat het licht uitzendt, in een anderen toestand verkeert. Gloeiende vloeibare en vaste lichamen geven een doorlopend spectrum, waarin de kleuren zonder gapingen in elkaar vloeien. Daarentegen is het spectrum van gloeiende gassen van niet te groote dichtheid een verzameling van volkomen afgescheiden lijnen, die

niet anders zijn dan beelden van de spleet van het instrument, elk door een aparte kleur en dus aparte golflengte gevormd.

De trillingen, die door een lichtgevend lichaam worden geëmitteerd, zijn naar de moderne opvatting afkomstig van elektrische deeltjes, die in de atomen zetelen en aldaar heen en weer trillen of om een aantrekkend middelpunt gesloten banen beschrijven. Nu zijn in een verdund gas de moleculen gemiddeld zoover van elkander verwijderd, dat de deeltjes in verschillende moleculen weinig op elkander inwerken en dus de trillingen haar eenvoudig karakter behouden: het van de afzonderlijke moleculen afkomstige licht komt vrijwel ongestoord naar buiten en de verschillende in het spectrum waargenomen lijnen beantwoorden dus aan de verschillende trillingen, die in de moleculen plaats grijpen. Hoe dichter het gas, des te grooter wordt de kans op wederzijdsche storingen der moleculaire trillingen, waardoor zij ons niet meer zuiver bereiken of ook zelve samengestelder van aard worden. Men neemt waar, dat onder den invloed van die wisselwerkingen de lijnen meer en meer verbreed worden (soms ook dat er allengs een doorlopend spectrum bijkomt) en zoo kan het lijnen-spectrum van een gas bij voortdurende vergrooting van de dichtheid tenslotte in een volledig continu spectrum veranderen, zooals ook bij vloeistoffen en vaste lichamen wordt aangetroffen.

Hoe het ten slotte, wanneer een stof continu licht uitzendt, met de afzonderlijke trillingen der deeltjes gesteld is, is een moeilijk probleem. Geheel onwaarschijnlijk is de vroegere voorstelling, dat in het lichaam, dat het doorlopende licht uitstraalt, reeksen van regelmatige trillingen zouden voorkomen beantwoordende aan de talloze golflengten, waarin men het doorlopende spectrum naar willekeur kan gesplitst denken: daarover spraken wij reeds bij een vorige gelegenheid (zie blz. 97). In elk geval is het uiterst opmerkenswaardig, dat, terwijl men aan het spectrum van een verdund gas kan zien, met welk gas men te doen heeft, omdat ieder gas zijn eigen karakteristieke trillingen uitzendt, dit bij stoffen die continu licht geven ten eenenmale onmogelijk is. Het spectrum van deze stoffen is voor alle vrijwel volkomen hetzelfde en hangt, wat de verdeling en intensiteit der verschillende lichtsoorten aangaat, uitsluitend af van de temperatuur: het witte licht verraadt dus, in tegenstelling met het homogene licht, zijn afkomst niet!

Als het licht van een hemellichaam derhalve in den spectroscop een doorlopend spectrum geeft, zal men alleen kunnen besluiten, dat het gloeiend vloeibaar of vast is of gasvormig, maar dan onder zeer hoge drukking, zoodat de dichtheid van dezelfde orde is als bij de andere aggregatie-toestanden, maar uit welke stoffen het hemellichaam bestaat, wordt door den spectroscop niet verraden. Vindt men daarentegen een spectrum, hetwelk uit eenige lichte lijnen bestaat of in andere gevallen uit

een doorlopend spectrum, waarop zich eenige lichte lijnen afteekenen, zoo kan men onmiddellijk tot de aanwezigheid op het lichaam van bepaalde gloeiende gassen besluiten.

Van het grootste belang is een derde soort van spectrum, dat bij hemellichamen voorkomt, n.l. een doorlopend spectrum met donkere absorptie-lijnen doorsneden. Deze absorptie is te wijten aan de werking van een atmosfeer van gassen, die het gloeiende lichaam omgeeft, zooals men door laboratorium-proeven gemakkelijk kan aantonen. Wanneer men continu licht, b.v. het licht van den lichtboog afkomstig, laat strijken door een metaaldamp, zooals den damp van het metaal natrium, dan wordt in het doorlopende spectrum een absorptielijn gezien van denzelfden aard als in het zonnenspectrum en dat van andere hemellichamen voorkomt. Wat de plaats dezer lijnen in het spectrum betreft, stemmen zij overeen met de lichte lijnen, die hetzelfde gas of dezelfde damp voortbrengen, wanneer zij in gloeienden toestand als gas hun eigen spectrum geven.

De donkere D-lijn bijv. in het zonnenspectrum staat precies op dezelfde plaats in het spectrum als de lichte lijn, die in het spectrum van een natriumvlam gezien wordt. Wij kunnen het aldus uitspreken, dat een gas juist die soorten licht absorbeert, die het ook zelf uitstraalt. Deze wet vormt een voorbeeld van het verband tusschen absorptie en emissie, dat als het beginsel van Kirchhoff in de natuurkunde een belangrijke rol speelt. In dit geval is de samenhang niet anders dan wat men uit de gegeven theorie van de absorptie, als berustende op het meetrillen van deeltjes, zou afleiden. Ieder deeltje toch zal het sterkst moeten gaan meetrillen met die doortrekkende bewegingen, welke in frequentie met zijn eigen natuurlijke frequentie overeenstemmen; de wrijving, welke deze trilling ondervindt, heeft een omzetting van energie ten gevolge, die aan de lichtenergie onttrokken wordt, zoodat de lichtsterkte voor dien trillingstijd een vermindering ondergaat, die zich in het spectrum als een donkere lijn openbaart, indien n.l. de temperatuur van het gas zelf niet zoo hoog is, dat het door het gas zelf geëmitteerde licht overweegt. Een voorwaarde voor het zichtbaar worden der absorptie is derhalve, dat het absorbeerende gas een lagere temperatuur bezit, dan de warmtebron, waaruit het licht afkomstig is.

De studie van de absorptie-spectra leert dus, welke gassen in de atmosfeer van een ster gevonden worden. Groote moeilijkheden ontstaan evenwel, wanneer men zich van den toestand der hemellichamen met hunne koelere atmosferen een meer gedetailleerd beeld tracht te vormen. In de voornaamste plaats heeft men zich op de theorie van de zon toegelegd, de ster, waarvan men wegens haar betrekkelijke nabijheid veel meer kan te weten komen dan van andere sterren.

De meest voor de hand liggende opvatting, dat de zon zou bestaan uit een scherp begrensde, gloeiend vloeibare kern door een atmosfeer

van gloeiende dampen op lagere temperatuur omgeven, wordt tegenwoordig niet meer als voldoende beschouwd. De gemiddelde temperatuur van het gedeelte der zon, dat ons zijn licht toezendt, wordt op grond van de lichtverdeling in het spectrum en de grootte van de geheele straling op $\pm 6000^{\circ}$ Celsius geschat. Binnenin is de zon zeker nog veel warmer. Dergelijke temperaturen zijn zoo hoog, dat van een vloeistof-toestand geen sprake kan zijn. Bij zulke temperaturen is voor de meeste, zoo niet voor alle stoffen slechts één aggregatie-toestand mogelijk, dien men gasvormig noemt, al is het volstrekt niet uitgesloten, dat ook bij dien graad van warmte onder genoegzamen druk dichtheden ontstaan, die in orde van grootte met de gewone vloeistofdichtheden correspondeeren. Zoo komt men er toe in een hemellichaam als de zon een groote gas-massa te zien: onder den invloed van de zwaartekracht, die tusschen de deelen dezer enorme massa werkt, neemt de dichtheid van het lichaam naar binnen toe, en de gemiddelde dichtheid van de zon 1,4 is zoo hoog, dat men in het binnenste enorme drukkingen moet onderstellen. Bij het ontstaan van het lichaam door verdichting uit een zeer ijlen, nevelachtigen toestand is de hooge temperatuur ontstaan. Door uitstraling verliest het lichaam voortdurend warmte naar buiten, terwijl door voortgaande samentrekking van binnen nieuwe warmte geboren wordt: de temperatuur zal om die redenen van binnen naar buiten allengs lager worden. Hoe het evenwicht van substantie en temperatuur in een dergelijken heeten gasbol zijn zal, is op zichzelf reeds een probleem van uiterste ingewikkeldheid, waarop wij hier niet willen ingaan.

Scherpe begrenzing.

Een eerste vraag is nu, hoe de scherpe bolvormige begrenzing ontstaat, die men bijv. aan de lichtsfeer — photo-sfeer — van de zon waarneemt; men zou eerder een allengs verminderende, vloeiend uitlopende lichtsterkte verwachten. Volgens een theorie, die van een Duitsch physicus A. Schmidt afkomstig is, zou die scherpe begrenzing een schijnbare zijn en het gevolg van de breking der uit verschillende diepten van de zon afkomstige stralen in lagen, die naar boven toe sterk in dichtheid afnemen. Evenals bij de refractie in onze atmosfeer zullen de lichtstralen in een medium van veranderlijke optische dichtheid gekromd worden en wel te sterker, naarmate die dichtheid van punt tot punt sneller verandert. Ten gevolge van de vermindering der dichtheid met toenemenden afstand van het middelpunt der zon zal een straal, die ons bereikt van een punt, dat niet juist in het midden van de zon schijnt te liggen, een kromme baan doorloopen hebben, met een grootere of kleinere kromming naar dit middelpunt toegekeerd. Volgens de theorie zou het dichtheidsverval in een bepaalde laag zoo groot kunnen worden, dat de uit die laag afkomstige straal

sterker gekromd werd, dan de cirkel om het middelpunt van de zon beschreven; daaruit volgt, dat zulk een straal uit diepere lagen van de zon afkomstig is en een grooten afstand door de sterk lichtgevende gedeelten van de zon heeft afgelegd. Stralen uit lagen verder naar buiten zullen minder sterk gekromd zijn dan de cirkel om het middelpunt, zoodat zij slechts geringe afstanden in weinig sterk lichtende lagen hebben afgelegd, en de overgang wordt gevormd door die laag, waar de kromtestraal van den straal gelijk is aan den afstand van het centrum; in die buurt moet dus door ons de schijnbare scherpe afscheiding tusschen de lichte schijf en de omgeving gezien worden.

W. H. Julius heeft deze theorie nog eenigszins gewijzigd: volgens hem zou de buiging der stralen, die ook hij voor zijn verklaring noodig acht, niet het gevolg zijn van een regelmatige afname van dichtheid van het middelpunt af, maar van toevallige onregelmatige wisselingen van dichtheid in de zonneatmosfeer. In de buitenwaarts gelegen deelen van de zon zouden dergelijke sterke overgangen van dichtheid in naburige punten te verwachten zijn tengevolge van de afkoeling der lagen, die dan te midden der minder sterk afgekoelde massa's naar beneden zinken. Indien men nu verder aanneemt, dat deze onregelmatigheden op een bepaald niveau vrij sterk toenemen, zoodat ook de krommingen van de stralen, die voorkomen, vrij snel naar binnen toe toenemen, dan zal men een dergelijk effect verkrijgen als in de theorie van Schmidt. Door deze krommingen worden allerlei stralen, die anders ons oog niet zouden bereiken, naar ons toegebogen en dit effect zou in de genoemde overgangslaag zoo snel moeten toenemen, dat daardoor voor ons een schijnbaar zeer plotselinge verhooging van lichtsterkte geboren wordt. Het zou dus niet noodig zijn aan te nemen, dat de dichtheid zelve naar boven snel gaat afnemen, waartegen volgens Julius een aantal andere verschijnselen zouden pleiten, en men zou dienovereenkomstig de zonnegassen tot op groote diepte als doorzichtig mogen beschouwen.

Anomale diffusie.

In zijn verdere theorieën omtrent de zonsphenomenen maakt Julius een ruim gebruik van de diffusie van het licht in onderscheiding van de absorptie, waar gewoonlijk uitsluitend op gelet was. Zooals bekend is, zal een lichtstraal, die door een gasvormig medium trekt, behalve door eigenlijke absorptie ook daardoor aan intensiteit verliezen, dat de deeltjes, die door het licht aan het meetrillen gebracht worden, zijdelings hun trillingsenergie uitzenden, terwijl het licht bij de absorptie door wat wij „wrijving” hebben genoemd in andere energievormen overgaat en dus als licht werkelijk verloren gaat. Uit de theorie der diffusie van Rayleigh blijkt, dat zij des te sterker is, naarmate de golflengte van het licht kleiner is: zoo verklaart men bijv. de blauwe kleur van den hemel als het door de luchtdeeltjes

zijdelings verspreide licht, waarin het gedeelte, dat de kleinere golflengten heeft, dus van het blauwe uiteinde van het spectrum, boven het roode overweegt, terwijl omgekeerd het recht doorgaande zonlicht daardoor een meer oranje of zelfs roode tint aanneemt. Deze kleur wordt bijzonder opvallend bij de ondergaande zon, omdat de doorloopen luchtlaag dan zoo groot wordt en ook de waterdamp en stofdeeltjes in de buurt van het aardoppervlak er het hunne toe gaan bijdragen.

In de beperkte gasmassa's, waarmede men in het laboratorium zijn proeven neemt, komt alleen de absorptie in aanmerking; in de uitgestrekte massa's, die bij het zonneprobleem voorkomen, gaat de diffusie een hoofdrol spelen.

De theorie van Rayleigh leert verder, dat de diffusie grooter is, naarmate de brekingsindex van de zelfstandigheid, die de verspreiding van het licht teweegbrengt, grooter is; ze is n.l. evenredig met het vierkant van de „brekende kracht.” Nu hebben wij straks gezien, dat de breking in de buurt van een absorptielijn anomale, waaronder relatief groote, waarden aanneemt, en daaruit volgt, dat ook de diffusie daar anomaal belooft, en betrekkelijk zeer sterk kan worden. De absorptie, die men waarneemt, is dus slechts gedeeltelijk aan de absorptie zelve te wijten: voor een deel is zij het gevolg van een sterkere „verspreiding”, die het licht ter zijde werpt. Volgens Julius zou de eigenlijke absorptie in een waargenomen absorptielijn tot een zeer nauw gebied van golflengte beperkt zijn, terwijl dan de diffusie een verbreding en een gewijzigde lichtverdeling in de lijn ten gevolge zal hebben.

De verschillende verschijnselen, die de zon ons aanbiedt, worden nu door Julius uit dit oogpunt beschouwd. Vooreerst maakt hij duidelijk, waarom de zon aan den rand minder lichtsterk schijnt en rooder dan in het midden van de schijf. Het randlicht heeft een grooteren weg door de zonnegassen afgelegd en moet dus volgens boven door diffusie relatief meer van het blauw-violette bestanddeel verloren hebben. Hij kant zich vooral tegen de algemeene opvatting, dat de zon door afzonderlijke absorbeerende lagen omgeven zou zijn: de lichtvermindering en kleur zijn die, welke zonder bijzondere opslorping door de diffusie te verwachten zijn.

Vervolgens wat de zonnevlekken aangaat, deze zijn naar alle waarschijnlijkheid groote draaikolken in de zonnegassen; deze opvatting heeft een grooten steun verkregen door de ontdekking van de „magnetische splitsing” der spectraallijnen in het spectrum van de vlekken. De splitsing van lichte of donkere spectraallijnen onder den invloed van een magnetisch veld is het naar Zeeman genoemde effect, waar wij later over spreken. Op de zon zouden de magnetische krachten ontstaan door de wentelingen der sterk ge-electriseerde (ge-ioniseerde) zonnegassen en de waargenomen eigenaardigheden der splitsing op verschillende gedeelten van de zonneshijf

zijn met deze verklaring in overeenstemming bevonden. In dergelijke draaikolken nu zijn weder die groote dichtheidsverschillen op kleinen afstand te verwachten, die door Julius voor de sterke veranderingen van richting der lichtstralen verantwoordelijk gemaakt worden. Zoo zou de scherpe afscheiding, die men waarneemt, tusschen de donkere kern der vlekken en de omringende halfschaduw niet anders zijn dan een door sterke buiging der lichtstralen te voorschijn komend vervormd beeld van den zonnehorizon. De ruimte ontbreekt ons om meer te doen dan het denkbeeld van deze verklaring aan te geven.

Aan den rand van de zonneschijf worden, het eerst bij zonsverduisteringen, uitstekende lichtvlammen waargenomen, die den naam dragen van protuberanzen. Volgens de oude opvatting zijn dit uitbarstingen van gloeiende gassen uit de fotosfeer, in de omringende koelere gasmassa's. Zoowel directe waarneming van de snelle uitbreiding dezer lichtvlekken, alsook de spectroscopische waarneming schenen het bestaan van die groote snelheden te openbaren, welke bij dergelijke uitbarstingen te verwachten zijn. Wat het laatste betreft willen wij aan het beginsel herinneren, dat ons in staat stelt door spectrale metingen tot bewegingen in de gezichtslijn, dus naar ons toe of van ons af, te concludeeren. In een geheel ander verband hebben wij dit beginsel reeds besproken (blz. 89): het is niet anders dan het principe van Doppler, hetwelk betrekking heeft op de schijnbare verkleining van de golflengte eener golfbeweging, die op ons afkomt, en de overeenkomstige vergrooing, als zij zich van ons verwijderd. Wij zagen, hoe men het beginsel voor het geluid door directe waarneming gemakkelijk bevestigt: voor het licht is dit veel bezwaarlijker, omdat de grootste snelheden, welke bij de proeven te verkrijgen zijn, toch nog altijd relatief klein blijven vergeleken met de snelheid van het licht, en op de verhouding dier beide snelheden komt het voor het bedrag der verandering in de golflengte aan. Toch is ook deze bevestiging met behulp van een snel draaienden spiegel gelukt. Indirect openbaart zich het Doppler-effect in een verschuiving van de lichte of donkere spectraallijnen uit de normale plaats naar het violet, zoo de lichtbron naar ons toevliegt, en omgekeerd naar het rood, zoo de lichtbron wegsnelt. Op de toepassing van dit beginsel ter bepaling van de beweging van sterren in de richting der lijn van visie gaan wij hier niet in.

Aanvankelijk konden, zooals gezegd, de protuberanzen en de gekleurde lichtrand, waaruit ze schijnen op te schieten, de chromosfeer, slechts bij totale zonsverduisteringen worden gezien. Men bevond toen, dat het door hen uitgestraalde licht een lijnen-spectrum geeft, in het bijzonder dat van waterstof, en men besloot, dat ze uitbarstingen van dat en andere gassen waren. Wanneer men op de spleet van den spectroscop het licht van den zonnerand doet vallen, terwijl de schijf niet verduisterd is, zoo zal van het

spectrum der protuberanzen niets gezien worden, doordat het continue licht van de fotosfeer het veel zwakkere lijnen-spectrum geheel uitwischt; maakt men echter gebruik van een spectraalapparaat met een zeer sterke uitspreiding van het licht, dan wordt het continue spectrum overeenkomstig verzwakt, terwijl daarentegen het monochromatische licht der spectraallijnen in bepaalde plaatsen in het spectrum geconcentreerd blijft en derhalve geen verzwakking ondergaat; dientengevolge komen deze lijnen op den verzwakten continuen achtergrond te voorschijn, zoodat men in staat gesteld wordt, de aanwezigheid van de chromosfeer en de protuberanzen ook zonder verduistering te constateeren. Daar komt bij, dat men door een wijde spleet te gebruiken op de plaats der lijnen, die van de protuberanzen afkomstig zijn, beelden van deze lichtverschijnselen, natuurlijk in de kleur der lijnen, in het spectrum voor den dag ziet komen; zoo kan men tegenwoordig van dag tot dag ook den vorm en de vormveranderingen der protuberanzen bestudeeren.

Men heeft nu bevonden, dat de lijnen der protuberanzen in vele gevallen aanmerkelijke afwijkingen uit den normalen stand vertoonen, en besloot daaruit natuurlijkerwijze, door toepassing van het beginsel van Doppler, dat in de protuberanzen enorme snelheden in de richting naar ons toe voorkomen, wat in overeenstemming is met de meening, dat zij geweldige uitbarstingen van gloeiende gassen uit het zonsoppervlak zouden zijn, en deze meening werd ook versterkt door de directe waarneming der genoemde spectroscopische beelden, die aan belangrijke, onmiddellijk waarneembare vormveranderingen onderhevig zijn. De snelheden, waartoe men gedwongen was te besluiten, bedragen somwijlen vele honderden kilometers per seconde.

Julius wil deze verklaring van de waarnemingen niet laten gelden: volgens hem zijn chromosfeer en protuberanzen op zich zelf zwak stralend. Het licht, dat van de diepere lagen der zon afkomstig is, ondervindt in deze koelere gassen sterke breking en dus kromming zijner stralen, vooral, zooals wij gezien hebben, in de buurt van die lichtsoorten, welke geabsorbeerd worden; want daarvoor is immers de breking anomaal en ook abnormaal groot. Ook de anomale diffusie kan daarbij medewerken; voor het optreden van dergelijke sterke lichtkrommingen komen weer plaatsen, waar wervelbeweging plaats vindt, in de eerste plaats in aanmerking. Het licht, dat wij zien, zou dus niet het door de protuberanzen zelve uitgestraalde licht zijn, maar licht uit de meer lichtsterke lagere deelen van de zon, hetwelk op daarvoor gunstige plaatsen een afwijking langs onze gezichtslijn verkregen heeft. Daar die plaatsen, welke voor de vereischte werking het gunstigst zijn, snel van oogenblik tot oogenblik kunnen veranderen, krijgen wij den indruk van een bewegende gasmassa, terwijl men veeleer de voortplanting van een bepaalden dichtheidstoestand voor oogen heeft; of wel

het kan zijn, dat een toevallige sterke breking voor een bepaalde lichtsoort een oogenblik later op een terzijde liggende andere golfengte is overgegaan. Het is ongetwijfeld een voordeel van deze verklaring, dat zij de onderstelling van dergelijke fabuleuze snelheden van gasmassa's als wij straks noemden overbodig maakt.

De ringvormige zonsverduistering van 17 April 1912 bood o. a. gelegenheid om een schatting te verkrijgen omtrent de straling van de atmosfeer, die de zon omgeeft. Bij een ringvormige verduistering toch is deze geheel onbedekt en voor de straling van den kleinen onbedekten rand van de zonneschijf kan een correctie worden aangebracht. De waarnemingen in de buurt van Maastricht, verricht in het voor die gelegenheid ingerichte waarnemingsstation, leerden, dat de straling van de geheele zonneatmosfeer minder bedraagt dan $\frac{1}{1000}$ van die der zonneschijf. Volgens de redeneering van Julius zou dit bedrag veel grooter moeten zijn, indien de gangbare zonnetheorie geldig ware: de absorbeerende atmosfeer, die volgens haar de gloeiende zon omgeeft, zou een aanmerkelijk breukdeel (zoo iets als de helft) van de zonnestraling opslorpen en deze opgeslorpte energie zou ze in anderen vorm toch weer moeten uitstralen. Daarmede zijn dus de waarnemingen in lijnrechte tegenspraak. Dit zou pleiten voor de theorie van Julius, waarin een dergelijke absorbeerende laag ontbreekt.

Bij de voorbereiding van de verschillende metingen, welke bij deze gelegenheid zijn verricht, kon partij getrokken worden van de ondervinding door Nederlandsche astronomen en natuurkundigen ¹⁾ bij twee vroegere expedities tot waarneming van totale zonsverduisteringen (in 1901 naar Karang Sago op Sumatra en in 1905 naar Burgos in Spanje) opgedaan.

Geheel onafhankelijk van Julius heeft onze landgenoot A. Brester aan de physica van de zon talrijke studiën gewijd; evenmin als Julius kan hij aan de enorme snelheden gelooven, waartoe de meest voor de hand liggende interpretatie vanzelf voerde. Ook hij meent, dat, wat wij zien bewegen, niet de stof zelve is, maar een bepaalde toestand; bij voorkeur maakte hij bij zijn verklaringen van de voortplanting van scheikundige werkingen gebruik, dus van een soort voortlopende explosie: hierbij zijn dergelijke groote snelheden niet onaannemelijk. In zijn theorie spelen in later jaren elektrische van de kern uitgaande stralingen een voorname rol.

Zoo straks werd er reeds op gewezen, dat de combinatie van anomale absorptie met anomale diffusie van een uiterst smalle absorptielijn een veel bredere maken moet; wanneer men dit met behulp van den aard der anomale breking en dien van de anomale diffusie, die er mede samenhangt, nauwkeurig uitwerkt, vindt men, dat de verbreding niet symmetrisch is naar beide zijden, zooals immers ook de asymmetrie van figuur 6 doet

¹⁾ W. H. Julius, J. H. Wilterdink, A. A. Nijland.

verwachten, en dat de verbreeding vooral aan de roode zijde van de lijn geschiedt, zoodat de lijn in haar geheel iets naar het rood verschoven schijnt. Op grond van deze verklaring wordt het duidelijk, waarom de kleine verschuiving naar het rood, die inderdaad in sommige gevallen bestaat, het duidelijkst is waargenomen nabij den rand van de zonneschijf, immers daar speelt, zooals wij zagen, de diffusie de grootste rol. Ook het feit, dat de verschuivingen voor verschillende lijnen zeer in grootte verschillen, kan uit de theorie ongedwongen worden afgeleid door te letten op het in elkaar grijpen van de dispersie-gebieden van naburige lijnen. Met deze verklaring kant Julius zich v.n. tegen de opvatting, dat de waargenomen verschuivingen naar het rood het gevolg zouden zijn van verhoogde drukkingen ter plaatse, waar het licht vandaan komt. De onderzoekingen van Julius hebben aanleiding gegeven voor verschillende proefschriften, als van J. W. H. Moll (1907), J. Spijkerboer, B. J. van der Plaats, W. van der Elst (1917) en P. H. van Cittert (1919).

Spectro-heliographische methode.

Groote vermeerdering van kennis ten opzichte van deze en andere verschijnselen op de zon is te verwachten van de spectro-heliographische methode van waarneming. Deze methode, door Deslandres het eerst toegepast, stelt den onderzoeker in staat om een fotografisch beeld te verkrijgen van een deel of van de geheele zonneschijf in een willekeurig uitgezochte lichtsoort. Met behulp van een heliostaat wordt allereerst een vaststaand beeld van de zonneschijf ontworpen in het vlak, waarin zich de spleet van een spectraalapparaat bevindt; de spleet laat dus alleen licht door van een spleetvormige uit het zonnebeeld uitgesneden lijn. De spectroscop geeft van dit licht een volledig spectrum. In het vlak daarvan bevindt zich een tweede spleet, die een bepaalde vooraf te kiezen lichtsoort uit het spectrum doorlaat, en onmiddellijk achter deze spleet staat de lichtgevoelige plaat. Nadat de belichting afgelopen is, wordt het zonnebeeld iets verschoven, zoodat nu een aangrenzend deel van het beeld door de eerste spleet wordt doorgelaten, en tegelijkertijd verschuift men eveneens de fotografische plaat over de breedte van de tweede spleet, zoodat een tweede beeld op de plaat ontstaat onmiddellijk aan het eerste grenzend en daarmee later bij de ontwikkeling een geheel vormend. De tweede spleet is intusschen in het spectrum vast blijven staan en blijft dit ook bij de latere achtereenvolgende opnamen, zoodat telkens alleen licht van de eene eenmaal gekozen soort voor de vorming van het photographische beeld wordt gebruikt. Men herhaalt de operatie, totdat het geheele beeld, dat men wenscht te verkrijgen, bij voorbeeld van de omgeving van een zonnevlek of casu quo van de geheele zon, voltooid is, en dan eerst wordt de plaat ontwikkeld.

De aldus verkregen photographieën vertoonen een eigenaardige vlokkege structuur: volgens de gewone opvatting zouden deze vlokken een maat zijn voor de dichtheid van den op de verschillende punten van het zonsoppervlak aanwezigen stralenden damp, waaraan de gekozen lichtsoort beantwoordt, of anders gezegd, die licht van de gekozen golflengte uitzendt. Anders weder naar de boven uiteengezette theorie: de vlokken geven volgens haar de plaatsen aan, waar toevallige sterke dichtheidsgradiënten in den bedoelden damp aanwezig zijn. Ze zouden dus niet anders zijn dan de granulaties, die bij directe waarneming van de zon met den kijker worden opgemerkt, en nu langs spectroscopischen weg gereproduceerd. Voor deze interpretatie pleit o.a., dat gelijktijdige fotografieën met verschillende lichtsoorten in hoofdzaak met elkaar overeenstemmen, wat niet wel begrijpelijk is, als men de schakeeringen aan de hoeveelheden aanwezigen damp toeschrijft, die immers voor verschillende scheikundige stoffen geheel anders zouden kunnen zijn: anderzijds is het niet meer dan natuurlijk, dat een snelle overgang van dichtheid, zooals de andere theorie die postuleert en die bijv. met de aanwezigheid van een sterke werveling kan samenhangen, zich bij alle stoffen, die zich ter plaatse bevinden, in de lichtverdeling moet openbaren.

Door de bemoeiingen van Julius zal Nederland binnenkort in het physisch laboratorium te Utrecht een volledige spectro-heliographische apparatuur bezitten, die, naar te verwachten staat, krachtig zal medewerken om aan de kennis van de physica der zon de zoo gewenschte uitbreiding te geven.

Straling: experimenteele methoden.

We mogen nog wel iets mededeelen omtrent de waarnemingsmethoden bij stralingsproeven. Het ligt het meest voor de hand de straling op den bol van een thermometer op te vangen en de temperatuur af te lezen, waartoe daardoor de thermometer stijgt. Voor zwakke straling beschikt men over veel gevoeliger instrumenten: den bolometer en het thermo-element.

In den bolometer wordt partij getrokken van de weerstandsvergrooting, die een fijne metaaldraad bij verwarming ondergaat: indirect ontstaat hierdoor een stroom, die gemeten wordt. Dit instrument is o. a. door Julius en door W. J. H. Moll toegepast: de laatste bezigde den bolometer bij het uitmeten van de emissie-spectra voor eenige metalen in het infrarood en paste daarbij een oorspronkelijke, automatische registreermethode toe, die we niet kunnen weergeven.

Een bolometer werd ook door Van Gulik gebezigd om de sterke absorptie van stralende energie in het roode deel van het spectrum door chlorophyll aan te toonen.

Het essentieele deel van een thermo-element is een contact-plaats

tusschen twee verschillende metalen: wanneer deze verwarmd wordt (casu quo afgekoeld), ontstaat een electromotorische kracht, die in den stroomkring, waarvan het thermo-element deel uitmaakt, een stroom teweegbrengt. Eventueel kan men een aantal van dergelijke elementen achter elkander schakelen: de achtereenvolgende contact-plaatsen der beide metalen worden dan om de ander aan de straling blootgesteld. Een bijzonder gevoelige toepassing van het thermo-element heeft men in den radio-micrometer van Boys; de stroomkring met het thermo-element is hier zeer gevoelig tusschen de polen van een sterken magneet opgehangen en de stroom, die ontstaat, doet de inrichting over zekeren hoek draaien, die door spiegel-aflezing wordt afgelezen. Zoowel Julius als Z. P. Bouman (Amsterdamsch proefschrift 1897) hebben den radio-micrometer tot den grootst mogelijken graad van gevoeligheid trachten te brengen.

Het thermo-element van W. J. H. Moll heeft zekere belangrijke voordeelen, in het bijzonder wat betreft een snelle aanwijzing. In den gewonen vorm van het thermo-element wordt alleen de contact-plaats verwarmd: het duurt dan eenigen tijd (enkele seconden), voordat de warmte zich van daar uit langs de draden verspreid heeft en de stationnaire eind-toestand bereikt is. Om dit proces te verhaasten worden in het element van Moll de beide draden, in elkaars verlengde uitgespannen, over hun geheele lengte aan de straling blootgesteld: de draden zijn niet te dun en geleiden de warmte betrekkelijk goed, zoodat de eind-toestand zich snel instelt. Dit voordeel van de snelle aanwijzing weegt in vele gevallen op tegen het nadeel van een iets geringere gevoeligheid.

In verbinding met den door Moll geconstrueerden spoel-galvanometer, die enkele belangrijke beginsels belichaamt, vormt het thermo-element een uiterst nuttig instrument, zoowel voor demonstratie als wetenschappelijk onderzoek. Bij de waarnemingen tijdens de ring-vormige zoneclips in de buurt van Maastricht in 1912 heeft het o. a. goede diensten bewezen.

Ten besluite wijzen wij op de interessante bijdragen tot de kennis der straling, die uit het laboratorium der Philips lampen fabrieken afkomstig zijn: deze heeft men v.n. aan G. Holst en L. Hamburger te danken.

Verschijsel van Zeeman. Inleiding.

Na dit uitstapje op het gebied der astro-physicsa vatten wij den draad van onze beschouwingen over de ontwikkeling der electriche en optische theorieën weder op. Wij zagen, hoe de verklaring van de dispersie door Lorentz vanzelf de aandacht vestigde op de rol van de electricch geladen deeltjes in de atomen der stoffen. Deze rol is, zooals ons reeds meermalen bleek, tweeledig: zij kunnen meetrillen met de trillingen van uitwendig invallende golven en anderzijds zijn ze de bron voor de straling, die de stof zelf bij hooge temperatuur uitzendt. Voorloopig bleef het onbeslist,

van welk teeken deze ladingen waren: in de theorie, voor zoover die toenmaals ontwikkeld was, kon dit in het midden gelaten worden. Het in 1896 door Zeeman ontdekte verschijnsel bracht hierin plotseling verandering: wij zullen zien, hoe dit verschijnsel den natuurkundige in staat stelt het teeken van de bewegende ladingen vast te stellen en omtrent de grootte dezer ladingen en de massa der bewegende deeltjes een gevolgtrekking te maken. Het bleek dadelijk, dat deze deeltjes groote overeenstemming vertoonden met de negatieve deeltjes, die zich in vacuumbuizen in den vorm der kathodestralen openbaren en wier aard juist in hetzelfde jaar door de onderzoekingen van J. J. Thomson en van Wiechert nader bekend begon te worden. Van dat jaar dagteekent dan ook eigenlijk de opkomst van de electronen-theorie, ofschoon zij door Lorentz reeds vroeger in twee beroemde verhandelingen van 1892 en 1895 in haar hoofdtrekken was ontwikkeld. Uitgebreide toepassing begon zij eerst in 1896 te vinden.

Grondbeginsel van de electronen-theorie.

Wij moeten bij onze beschouwing over de ontdekking van Zeeman een belangrijk beginsel vooropstellen, dat den grondslag vormt van de electronen-theorie: een geladen deeltje, hetwelk zich voortbeweegt, vertoont de eigenschappen, die aan gewone elektrische stroomen in geleiders eigen zijn. Een nieuw beginsel was dit trouwens niet. Men weet, dat de elektrische stroom in een electrolyt reeds door Faraday werd opgevat als een beweging van positieve en negatieve ionen te midden van de moleculen van het op zich zelf niet geleidende oplosmiddel en dat deze stroom overigens naar buiten toe werkingen uitoefent, die ook aan stroomen door eigenlijke geleiders, die van de eerste soort, eigen zijn, en omgekeerd van buiten dergelijke werkingen als geleidingsstroomen ondervindt. Op hetzelfde beginsel berust ook de mogelijkheid om den stroom in metalen zelf te beschouwen als een beweging van geladen deeltjes te midden van de stilstaande atomen van het metaal en Weber had reeds in een veel vroegere theorie van datzelfde denkbeeld gebruik gemaakt.

Ten overvloede heeft men proefondervindelijk kunnen aantonen, dat een met electriciteit geladen lichaam bij snelle beweging werkingen uitoefent en ondergaat als een elektrische stroom.

Wanneer dit beginsel eenmaal aanvaard is, kan men gaan uitrekenen, hoe groot de magnetische werking is, die een electron met gegeven lading e en een snelheid v in de omgeving uitoefent, en omgekeerd, hoe groot de kracht is, die het ondervindt, wanneer het in een magnetisch veld voortbeweegt. Bij het verschijnsel van Zeeman is het om dit laatste te doen. De kracht zal, evenals bij een elektrischen stroom, loodrecht staan zoowel op de richting van beweging als op die van de magnetische kracht H in het veld. Het eenvoudigst wordt de kracht, zoo het electron zich loodrecht

op het veld beweegt; ze is dan eenvoudig gelijk aan het product van de drie grootheden e , v en H .

Deze uitkomst kan nu o. a. worden toegepast op de electronen, die in de atomen van de stof hun bewegingen uitvoeren en die bij genoegzaam hooge temperatuur de electriche golven uitzenden, welke wij als onzichtbaar en zichtbaar licht gewaar worden; daarop komt het bij de proeven van Zeeman aan.

De inrichting, door Zeeman gebruikt, was als volgt. Tusschen de polen van een sterken electromagneet wordt een lichtbron opgesteld, die licht van bepaalde golflengte uitzendt; bij de eerste en ook vele latere proeven was het een natriumvlam. Het licht wordt met behulp van een spectroscop in zijn bestanddeelen gesplitst. Wanneer het veld nog niet aan staat, neemt men in het spectrum de gewone D-lijn waar, die trouwens bij voldoende uitspreiding een dubbele lijn blijkt te zijn. De vraag was nu, of in deze lijnen een verandering zou zijn waar te nemen, wanneer de magnetische kracht begon te werken. De electronen, die het licht emitteren, bewegen zich dan in een magnetisch veld en moeten volgens de theorie daarvan een invloed ondervinden. Men kan den spectroscop nog in twee verschillende richtingen opstellen, hetzij zoodanig, dat de lichtstralen, die naar den spectroscop loopen, evenwijdig zijn aan de richting van de magnetische krachtlijnen, of wel dat zij loodrecht daarop gericht zijn. In beide gevallen nam Zeeman een splitsing van de lijn in het spectrum waar en het bleek spoedig, dat de voornaamste daarbij waar te nemen bijzonderheden uit de theorie van Lorentz voortvloeiden.

Denken wij ons een electricch deeltje, dat om een aantrekkend middelpunt een cirkelvormige baan beschrijft, terwijl een magnetische kracht werkt, die loodrecht op het vlak van de baan gericht is. Volgens den straks gegeven regel zal het deeltje een kracht ondervinden in de richting van den straal des cirkels, hetzij naar het middelpunt toe of daarvan af. De oorspronkelijke aantrekkende kracht naar het middelpunt wordt derhalve door het magneetveld vergroot of verkleind, naarmate van het teeken van de lading van het deeltje en van de richting, waarin het om het centrum roteert. Wanneer de kracht naar het middelpunt vergroot wordt, gaat het deeltje sneller om het centrum loopen, en omgekeerd langzamer, indien de middelpuntzoekende kracht verkleind wordt. De trillingen, die het deeltje uitzendt, worden dus ook versneld of vertraagd en deze veranderingen van den rotatietijd brengen verschuivingen van de spectraalstreep naar het violet of het rood met zich.

Bespreken wij nu eerst het geval, dat in de richting van het veld wordt waargenomen; dit wordt de „longitudinale” stand genoemd. Wij kunnen dan vooreerst opmerken, dat de rechtlijnige trillingen van de electronen, die nog alle mogelijke richtingen zullen hebben, alleen in zooverre

in aanmerking komen, als zij loodrecht op de waarnemingsrichting geschieden, daar immers de trillingen transversaal moeten zijn. Daarom beginnen wij met alle trillingen te projecteeren op het vlak, dat loodrecht op de gezichtslijn staat. Vervolgens gaan we de zoo verkregen trillingen elk ontbinden in twee tegengestelde circulaire bewegingen, in hetzelfde vlak gelegen. De lezer kan er zich gemakkelijk van vergewissen, dat twee tegengestelde cirkelbewegingen langs een en denzelfden cirkel door samenstelling een rechtlijnige beweging langs een middellijn opleveren, die de punten verbindt, waar de bewegende punten elkaar ontmoeten. De omgekeerde ontbinding zal dus ook steeds mogelijk zijn.

Op deze twee cirkelbewegingen, waartoe de trillingen zijn teruggebracht, passen wij nu de boven gegeven redeneering toe. Door het magneetveld zal de eene beweging versneld en de tegengestelde vertraagd worden: in plaats van de rechtlijnige trillingen komen dus twee circulaire trillingen met perioden, die iets kleiner resp. grooter zijn dan de oorspronkelijke periode: de oorspronkelijke ongepolariseerde lijn in het spectrum wordt dus vervangen door een dubbele lijn, een doublet, waarvan de componenten tegengesteld circulair gepolariseerd moeten blijken te zijn.

In de richting van waarneming loodrecht op het veld („transversale” waarneming) is de zaak anders. Vooreerst komen nu in aanmerking trillingen, die evenwijdig aan het veld geschieden: deze zijn loodrecht op de waarnemingsrichting en zullen dus gezien worden, maar zij ondervinden geen invloed van het veld en blijven dus in het spectrum als een lijn op de oorspronkelijke plaats zichtbaar, en wel rechtlijnig gepolariseerd met trillingen evenwijdig aan het veld. Op de trillingen loodrecht op het veld kunnen wij de redeneering van straks toepassen: zij worden dus door de twee cirkelbewegingen vervangen; deze worden nu echter niet als cirkels waargenomen, maar als rechte trillingen, daar de cirkels op hun kant worden bekeken. Zij geven dus in het spectrum twee rechtlijnig gepolariseerde lijnen ter weerszijden van de centrale lijn met trillingsrichtingen loodrecht op het veld. De waarneming zal dus in dezen stand van den spectroscop moeten leveren een triplet, met een centrale lijn, die niet van plaats veranderd is, maar evenwijdig aan het veld trillende, en een lijn aan beide zijden, loodrecht op het veld trillende.

Door Zeeman werd inderdaad de door hem verwachte invloed van het magneetveld op de spectraallijnen waargenomen en hij kon de voorspellingen, die Lorentz op de aangegeven wijze omtrent den polarisatietoestand der lijnen maakte, volkomen bevestigen. De lijnen van het doublet konden door een $\frac{1}{4} \lambda$ plaatje rechtlijnig gemaakt worden (zie blz. 137) en waren dus circulair gepolariseerd. Bovendien kon nu uit de richting der beide circulaire trillingen worden opgemaakt, of de trillende deeltjes positief, dan wel negatief electrisch waren; het antwoord was steeds: negatief.

Aard van het electron.

Eindelijk leverde de grootte van de waargenomen verschuivingen der lijnen een middel om omtrent den aard dezer negatieve deeltjes iets naders te weten te komen. Hoe grooter de lading van een deeltje, des te grooter de kracht $H \times e \times v$, die het in het veld ondervindt, en dus ook de versnelling naar of van het middelpunt van zijn baan en de wijziging in den trillingstijd, dien men uit de grootte der verplaatsing in het spectrum afleidt (de volledige beschouwing doet zien, dat de snelheid v daarop geen invloed heeft, zoodat de proef daaromtrent ook niets leert). Omgekeerd, hoe grooter de massa m van het deeltje is, des te kleiner zal de genoemde versnelling en dus ook de verandering van golflengte wezen. Zoo kan ten slotte uit de waarneming de verhouding e/m voor de deeltjes worden gevonden. In electromagnetische maat bleek deze ongeveer 1.6×10^7 te bedragen. De reeds genoemde proeven van Thomson en Wiechert over de deeltjes der kathodestralen gaven voor dezelfde verhouding de waarde 1.78×10^7 . De beide uitkomsten stemmen wat de orde van grootte betreft overeen en het kleine verschil tusschen de getallen kan ongedwongen op rekening van de optische proef geschreven worden, die uit den aard der zaak slechts een ruwe benadering mogelijk maakte. Latere zeer nauwkeurige proeven gaven trouwens bij een aantal lijnen geheel dezelfde uitkomst als de proeven met kathodestralen.

Men mocht dus de uiterst verreikende gevolgtrekking maken, dat men in beide zoo geheel verschillende gevallen met dezelfde deeltjes te maken had, deeltjes die spoedig daarop algemeen den naam van *electronen* verkregen. Uit de verschijnselen der electrolyse vindt men, dat voor waterstof-ionen de verhouding e/m 9654 bedraagt, in dezelfde eenheid uitgedrukt; volgens een hypothese van Thomson, die thans op allerlei wijzen bevestiging verkregen heeft en algemeen aanvaard is, is de lading bij de ionen even groot als bij electronen, dus is een positief waterstof-ion een waterstof-atoom, waaraan één electron onttrokken is. Dat zoo zijnde, moet de massa van het electron $1.78 \times 10^7 : 9654 = 1840$ malen kleiner zijn dan de massa van het waterstof-atoom.

Hoe zal men zich op grond daarvan den physischen aard van het electron denken? Twee mogelijkheden doen zich hier dadelijk voor: de electriciteit zou een materie kunnen zijn evenals iedere andere, met een atoomgewicht veel kleiner zelfs dan van het lichtste ons bekende atoom, dat van waterstof. Men kan de electriciteit zich echter ook als niet-materieel denken. Een lading op zichzelf genomen moet n.l. volgens de theorie zekere traagheid vertoonen, wat niet anders wil zeggen, dan dat ze zich gedraagt, alsof ze massa bezit: men spreekt dan van „schijnbare” massa. Een geleider, waarin een stroom loopt, is toch ook met traagheid behept: er is een kracht noodig om een dergelijken geleider een beweging toe te

kennen, onafhankelijk van de eigenlijke massa van den geleider zelf. Deze traagheid — zelf-inductie is de wetenschappelijke naam er voor — zetelt niet in den geleider zelf en dus ook niet in de deeltjes, die in den geleider rondloopen, maar in het magnetische veld, dat den stroomgeleider omgeeft.

Zoo is het dus ook met een op zichzelf staande, voortgaande lading: ze draagt, dank zij haar beweging, een magnetisch veld met zich en zal dus ook zelf-inductie of traagheid bezitten. Haar schijnbare massa is des te grooter, naarmate zij grooter is en een grootere snelheid bezit, immers in beide gevallen vertegenwoordigt zij een sterkeren stroom. De schijnbare massa van een bewegende lading is dus geen standvastige grootheid, zooals men dat voor een materieel deeltje in de mechanica pleegt aan te nemen, maar is afhankelijk van de snelheid. Volgens Einstein en Lorentz hangt de massa op de volgende wijze van haar snelheid af: $m = m_0 (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$, waar v de snelheid en c die van het licht voorstellen; m_0 is blijkbaar de schijnbare massa van de lading voor $v = 0$, of juister uitgedrukt: de grens, waartoe de massa nadert, als de snelheid kleiner en kleiner wordt. Men meene niet, dat m_0 nul zou moeten zijn, omdat de lading in rust geen stroom voorstelt en dus ook geen traagheid zou hebben: zoodra men haar beproeft te bewegen, om de aanwezigheid van traagheid op de proef te stellen, verkrijgt ze ook zekere beweging en op hetzelfde oogenblik neemt ze dus ook massa aan. Dat de snelheid van het licht in deze betrekking voorkomt, hangt natuurlijk met het electro-magnetisch karakter van het licht samen.

De vraag, of de massa van het electron standvastig is, dan wel op de een of andere wijze van zijn snelheid afhangt, kan slechts proefondervindelijk worden uitgemaakt. Indien de bovenstaande formule wordt bewaarheid, zou men moeten besluiten, dat het electron uitsluitend schijnbare massa bezit en dus niet aan ware materiele massa gebonden is. Daartoe zijn proeven noodig met zeer snelle electronen, opdat v eenigszins vergelijkbaar worde met de snelheid van het licht c , anders zal de invloed van v toch onmerkbaar klein zijn. Men is daarom op proeven met snelle kathode-stralen of nog beter β -stralen van radioactieve stoffen, die eveneens niet anders zijn dan zeer snelle stroomen van electronen, aangewezen (zie verder op). Dergelijke proeven hebben later de formule met groote nauwkeurigheid bevestigd en daaruit zou dus mogen worden geconcludeerd, dat de electronen niet stoffelijk van aard zijn. Er moet hierbij evenwel worden aangeteekend, dat volgens de relativiteits-theorie van Einstein ook de massa van materiele deeltjes op volkomen dezelfde wijze met hun snelheid moet toenemen: in de gewone mechanische verschijnselen bemerkt men daar niets van, omdat de voorkomende snelheden te klein zijn in vergelijking met de lichtsnelheid, zelfs bij de bewegingen der snelste hemellichamen. Aanvaardt men die theorie, zoo verdwijnt het verschil in dit opzicht tusschen

schijnbare en ware massa, en wordt de vraag, of het electron al dan niet met materiele massa geassocieerd is, voor beantwoording onvatbaar.

Tot de bovenstaande theorie over bewegende electronen heeft ook J. D. van der Waals Jr. bijdragen geleverd.

Omgekeerd Zeeman-effect.

De in de atomen bewegende electronen worden niet alleen voor de straling van de stof verantwoordelijk gesteld, maar, zooals wij reeds meermalen zagen, ook voor de absorptie, dank zij het verschijnsel van het meetrillen met de doorvallende trillingen. Daar nu door een magneetveld de trillingen der electronen in doubletten en tripletten gesplitst worden, zoo zal dit ook op het meetrillen van invloed zijn en dus op de plaats en het karakter der absorptie-lijnen. De trillende deeltjes absorbeeren dat gedeelte van het doorvallende licht, dat, zoowel wat de frequentie als den trillingsvorm aangaat, met hun eigen trillingen overeenstemt. De absorptie-lijnen ondergaan derhalve dergelijke splittingsen als de emissie-lijnen. Men noemt dit het omgekeerde Zeeman-effect.

De proeven worden genomen door het licht van een booglamp te doen vallen door een vlam, waarin het een of ander metaalzout vervluchtigd wordt en die weder in een sterk magnetisch veld is opgesteld, en het uittredende licht met een spectroscop te ontleden. Het veld kan weer, evenals bij de stralingsproeven, evenwijdig aan de richting van het licht zijn (longitudinale waarneming) of loodrecht daarop (transversale waarneming). Indien het doorvallend licht niet gepolariseerd is en dus alle trillingsrichtingen bevat, zoo zullen door een rechthoekig trillend deeltje in de vlam (dus bijv. door een der deeltjes, die het triplet vormen in de richting loodrecht op het veld) alleen die componenten der doorvallende trillingen geabsorbeerd worden, die in de richting der trillingen van het deeltje vallen, en de absorptie is dan hoogstens de helft van het doorvallend licht, natuurlijk op die plaats in het spectrum, welke aan de bepaalde frequentie beantwoordt. Maakt men de doorvallende stralen vooraf rechthoekig, dus polariseert men ze met een nicol, dan kunnen door een damp, die dicht genoeg is, de trillingen geheel geabsorbeerd worden, indien haar richting met de trillingsrichting van het deeltje samenvalt. Vandaar dat de absorptie-lijnen nu scherper zijn dan bij ongepolariseerd licht. Iets dergelijks geldt voor de circulaire trillingen, die in de richting van het veld ontstaan; de lijnen van het doublet worden duidelijker, indien men het licht vooraf circulair polariseert met behulp van een nicol en kwart λ plaatje.

Verdere waarnemingen.

Bij natuurkundige onderzoekingen over een nieuw verschijnsel komt het dikwijls voor, dat de eerste waarnemingen de theorie volkomen

schijnen te bevestigen, terwijl een voortgezet onderzoek afwijkingen aan het licht brengt. Verschillende omstandigheden kunnen tot dit verschijnsel bijdragen. Het kan natuurlijk zijn, dat de eerste metingen te onnauwkeurig zijn om de verschillen aan den dag te brengen. Ook kunnen afwijkingen werkelijk worden opgemerkt, maar de betrekkelijke onbekendheid met het nieuwe verschijnsel geeft het recht ze aan onnauwkeurigheid toe te schrijven of aan niet opgemerkte bronnen van fouten. Zelfs een zeer objectieve waarnemer zal geneigd zijn aan die uitkomsten, welke de theorie schijnen te steunen, een grootere beteekenis toe te kennen en deze op den voorgrond te brengen. Gelukkig ook, want het zijn niet de twijfelaars, die de wereld of de wetenschap vooruit brengen. Soms is ook eenvoudig een gelukkig toeval in het spel. Hoe dit zij, het Zeeman-effect is bij het verdere onderzoek, waar ook onder de inspiratie van Zeeman en Lorentz een aantal Nederlanders aan hebben deelgenomen, gebleken veel minder eenvoudig te zijn, dan de gegeven theorie en de eerste waarnemingen deden verwachten.

In enkele gevallen, bijvoorbeeld bij verschillende lijnen van het helium, is de splitsing naar aard en grootte volkomen met de theorie in overeenstemming. Gewoonlijk echter niet. Soms wordt nog wel bij transversale waarneming een triplet en dus longitudinaal een doublet gevonden, maar de grootte van de splitsing is dan anders, gewoonlijk grooter. Zeeman vond, dat het teken van de splitsing altijd juist was: de circulaire component aan de violette zijde roteert in dezelfde richting als de stroom, die het veld teweegbrengt, waaruit volgt, dat het negatieve deeltjes zijn, wier trillingen het licht voortbrengen, casu quo de absorptie bewerkstelligen.

In een aantal andere gevallen is de splitsing ingewikkelder: in plaats van tripletten ontstaan bij het transversale effect quadrupletten, sextupletten, enz. Verder is de splitsing veelal asymmetrisch, zoowel wat de plaats der componenten betreft als hun intensiteit. Daarbij kan de middelste lijn ook verschuiven. Van de vele reeksen van onderzoekingen op dit gebied noemen wij de metingen van mevrouw H. B. van Bilderbeek-van Meurs (1909) over de spectraallijnen van ijzer en van mejuffrouw J. M. Graftdijk (1911) over ijzer, nikkel en kobalt. Opmerking verdient, dat er ook lijnen voorkomen, die niet gesplitst worden; tot deze soort behooren ook de talloze lijnen van de zoogenaamde „banden-spectra”, die bij allerlei stoffen worden gevonden.

Te midden van deze groote verscheidenheid is toch weder regelmaat ontdekt. Zoo heeft men gevonden, dat de verschuivingen bij de meer ingewikkelde splitsingen in eenvoudige getalverhoudingen staan tot elkaar en tot de verschuiving in het normale geval, bijv. als $\frac{2}{3}$, $\frac{4}{3}$ of $\frac{1}{3}$, $\frac{3}{3}$, $\frac{5}{3}$. Daaruit mag geconcludeerd worden, dat, al is het mechanisme, dat deze

splitsingen voortbrengt, niet duidelijk, het gewone electron er toch een hoofdrol bij speelt.

Dan geldt de volgende regel (Preston): bij alle lijnen van één zelfstandigheid, die tot een „spectraalserie” behooren, is de aard van de splitsing dezelfde en dit geldt ook voor analoge seriën bij verschillende zelfstandigheden.

Een enkel woord tot toelichting hiervan. Gassen en dampen geven gewoonlijk niet een enkele spectraallijn, maar een groot aantal lijnen. Vele van deze lijnen heeft men in bepaalde reeksen leeren samenvatten, die men in dezelfde volgorde bij verwante stoffen terugvindt. Ook is men er in geslaagd formules op te stellen, met behulp waarvan de golflengten of frequenties der strepen van een serie kunnen worden weergegeven. Wij noemen de betrekkingen, waartoe E. E. Mogendorff (1906) en T. van Lohuyzen (1912), beiden leerlingen van Zeeman, gekomen zijn. De ontdekking nu, dat lijnen van één reeks in het magnetische veld op analoge wijze gesplitst worden, bevestigt de meening, dat zij bij elkaar behooren en dat ze ook wat hun ontstaan betreft met elkaar in verband staan, en geeft omgekeerd een nieuw middel aan de hand om nog niet herkende serieën op te sporen.

Behalve bij gassen en dampen komen scherpe absorptie-lijnen, die voor het magnetische onderzoek geschikt zijn, ook voor bij eenige kristallen, die zeldzame aard-metalen bevatten. Ook deze zijn gebleken dergelijke ingewikkelde splitsingen te ondergaan als de lijnen der gassen. Deze zelfstandigheden bieden bovendien de gelegenheid aan om den invloed van de temperatuur, in het bijzonder van lage temperaturen, na te vorschen. Niets is natuurlijker dan dat het trillingsmechanisme in de atomen bij ver uiteenlopende temperaturen veranderingen ondergaat, daar men mag verwachten, dat een verandering in de intensiteit der moleculaire beweging een wijziging van de bewegingen in de atomen met zich zal brengen. H. E. J. G. du Bois en G. J. Elias hebben in het door den eersten te Berlijn gestichte Bosscha-laboratorium, dat later naar Utrecht is overgebracht, een aantal onderzoekingen omtrent de absorptie-lijnen van dergelijke stoffen en hun magnetisch gedrag ten uitvoer gebracht. In het cryogeen-laboratorium te Leiden konden J. Becquerel en H. Kamerlingh Onnes dergelijke onderzoekingen tot aan de temperatuur van vloeibare en vaste waterstof uitstreken.

De invloed van een verandering van de temperatuur is bij deze proeven aanmerkelijk; daarentegen veranderen de absorptie-lijnen, wat hun magnetisch gedrag aangaat, bij dampen betrekkelijk weinig. Slechts door met de grootste zorgvuldigheid te werk te gaan konden H. R. Woltjer en Zeeman bij natriumdamp tusschen 350° en 2400° kleine wijzigingen in het verschijnsel constateeren.

Bij de bespreking der elementaire theorie van het Zeeman-effect hebben wij ons tot de longitudinale en transversale effecten beperkt, zooals trouwens met de aanvankelijke geschiedenis der waarnemingen in overeenstemming is. Later heeft men zich afgevraagd, wat in tusschengelegene richtingen met de splitsing zal geschieden. Één ding is onmiddellijk duidelijk, n.l., dat voor de circulaire polarisatie der beide buitenste componenten elliptische polarisatie in de plaats zal komen, want de cirkelvormige trillingen, die bij de longitudinale waarnemingen als cirkels gezien worden en bij het transversale effect rechte lijnen werden, zullen den waarnemer in een andere richting een elliptischen vorm bieden. De waarneming bevestigt dit vermoeden. Ingewikkeld wordt de zaak, zoo de splitsing niet voldoende is om de lijnen werkelijk te scheiden: dit zal niet het geval zijn, zoo de lijnen betrekkelijk breed zijn en het veld zwak. Lorentz heeft de theorie voor dit geval ontwikkeld en zijn conclusies werden door Zeeman en Winawer en door Elias getoetst en in hoofdzaak bewaarheid gevonden. Met deze mededeeling moeten wij ons in dit geval tevreden stellen. Een en ander vindt een belangrijke toepassing bij de studie van de magnetisch gesplitste lijnen in het zonnenspectrum, waarover wij vroeger iets hebben medegedeeld (blz. 159).

Theorieën omtrent elektrische mechanismen in de atomen, waardoor de zeer ingewikkelde splitsingen zouden worden verklaard, zijn v.n. door Voigt en Lorentz opgesteld; tot op zekere hoogte vinden deze haar bevestiging in de proeven, maar een bespreking zou ons te ver voeren.

Draaiing van het polarisatie-vlak.

Behalve de besproken splitsingen vertoonen absorbeerende dampen in het magneetveld nog twee andere eigenschappen, die nauw met de splitsing samenhangen: (1) in de richting van het magneetveld wordt het polarisatievlak van doervallend licht gedraaid en (2) in een richting loodrecht op het veld vertoont de damp dubbele breking.

Een draaiing van het polarisatievlak bestaat, zooals de naam aangeeft, daarin, dat, terwijl het licht zich voortplant, de trillingen haar richting niet blijven behouden, maar geleidelijk omdraaien over hoeken, die evenredig zijn met den afgelegden afstand; ze blijven daarbij rechtlijnig en transversaal, dus loodrecht op de voortplantingsrichting. Voor de waarneming dienen twee nicols, een om het licht te polariseeren en de tweede om het na uittreding uit de stof te analyseeren. Voordat de stof tusschen de nicols gebracht wordt, kruist men ze door den analysator te draaien, totdat het gezichtsveld geheel verduisterd is. Wordt nu de stof, die het polarisatievlak draait, tusschen de nicols geplaatst, dan komt het licht weder te voorschijn, doordat het vlak der trillingen over zekeren hoek naar rechts of links gedraaid is, en de analysator zal over dienzelfden hoek gedraaid

moeten worden om het licht weder uit te dooven; die hoek wordt gemeten en levert de gezochte draaiing op.

De draaiing van het polarisatievlak berust steeds daarop, dat tegengesteld circulair gepolariseerde stralen in de stof een verschillende voortplantingssnelheid bezitten. Dit kan gemakkelijk worden ingezien. Een recht-rechtlignige trilling kan, zooals wij vroeger zagen, altijd worden ontbonden in twee tegengestelde cirkelvormige bewegingen met omloopstijden gelijk aan den trillingstijd van de lineaire trilling. Indien deze circulaire trillingen zich met een verschillende snelheid door de stof voortbewegen, verkrijgen zij een steeds aangroeiend phaseverschil. Gaan wij ze nu bij het uittreden uit de stof weer samenstellen, zoo levert dat weer een rechtlignige trilling op, maar tengevolge van het verschil in phase heeft zij een anderen stand gekregen. De hoek, waarover de lijn gedraaid is, is evenredig met het phaseverschil en dus met den afgelegden afstand en met het verschil der twee voortplantingssnelheden.

Bij de „natuurlijke” draaiing van het polarisatievlak, zooals wij die bij kwarts aantreffen en bij een aantal scheikundige verbindingen, om slechts oplossingen van suiker te noemen, is het verschil in de beide voortplantingssnelheden der circulaire stralen het gevolg van een bijzonderen bouw van het kristal, respectievelijk van het molecuul.

In het voorbijgaan merken we op, dat deze laatste asymmetrie door J. H. van 't Hoff (1852—1911) teruggebracht is tot de aanwezigheid in het molecuul van één of meer „asymmetrische” koolstof-atomen, door welke geniale gedachte een geheel nieuwe richting van uitbreiding aan de structuurchemie gewezen werd.

Aan de ontwikkeling van de theorie der „optische activiteit”, vooral met het oog op de studie van de symmetrie van kristallen, werkt in ons land in het bijzonder F. M. Jaeger mede. Zooals we zien zullen, heeft men in de bestraling met Röntgen-stralen een machtig hulpmiddel voor deze studie leeren kennen, waarvan ook door Jaeger in samenwerking met Haga met vrucht gebruik gemaakt is.

Bij de „magnetische” draaiing hangt het verschijnsel met de absorptie van het licht samen. Ter verklaring hiervan kunnen wij voortbouwen op wat wij vroeger mededeelden over het verband tusschen absorptie en voortplantingssnelheid, waarbij dan tevens acht geslagen zal moeten worden op de boven gegeven theoretische verklaring van het Zeeman-effect. Met de absorptie gaat, zooals wij zagen, steeds een verandering van de voortplantingssnelheid samen, die in de onmiddellijke buurt van de absorptielijn het besproken anomale karakter draagt, maar zich tot op grooten afstand kan doen gevoelen, getuige de normale dispersie, die met absorptie in het verre ultraviolet samenhangt. Door de aanwezigheid van het magnetieveld hebben de twee cirkelvormige bewegingen der deeltjes in de atomen

een eenigszins verschillenden omloopstijd of frequentie en de absorptie, die deze deeltjes teweegbrengen, neemt dus ook in het spectrum voor de twee bewegingen niet eenzelfde plaats in: de absorptielijn werd in twee tegengesteld roteerende lijnen gesplitst.

Beschouwen wij nu een plaats in het spectrum op eenigen afstand van de beide absorptielijnen. De voortplantingssnelheid van de circulaire trillingen is daar ter plaatse door de aanwezigheid van de absorptielijnen gewijzigd, maar omdat de absorptielijnen voor de twee tegengestelde bewegingen niet samenvallen, zal haar invloed ter aangenomer plaatse niet geheel dezelfde zijn, zoodat de wijziging in de voortplantingssnelheid voor de beide cirkelbewegingen een andere is en deze dus ook onderling in voortplantingssnelheid moeten verschillen. Dit verschil brengt dan de draaiing van het polarisatievlak teweeg.

Daar alle stoffen althans in het ultraviolet een gebied van absorptie bezitten, zooals uit de dispersie blijkt, vertoonen ook alle stoffen een magnetische draaiing, de een sterker en de andere minder sterk, die zich ook in het zichtbare spectrum doet gevoelen. De nauwe samenhang met de dispersie maakt zonder meer begrijpelijk, dat de draaiing bij stoffen met sterke dispersie, zooals zwavelkoolstof en flintglas, ook relatief groot is.

Hiermede is het zoogenaamde Faraday-effect kwalitatief verklaard.

Wij zullen dadelijk het een en ander over de meting van het verschijnsel mededeelen, maar eerst willen wij ons afvragen, hoe het zich in de onmiddellijke nabijheid van een absorptielijn zal voordoen, waar het bij het Zeeman-effect om te doen is. Wij weten, hoe het daar met de voortplantingssnelheden gesteld is: van den rooden kant komende neemt zij bij nadering tot een absorptielijn in sterke mate af, bereikt een kleinste waarde, stijgt dan snel tot een abnormaal groote waarde en gaat dan weer meer geleidelijk afnemen. Om nu de draaiing van het polarisatievlak te vinden, moet de anomale kromme lijn, die deze veranderingen voorstelt, voor beide naburige absorptielijnen worden geteekend en moet eindelijk in ieder punt het verschil dezer krommen, d. w. z. het verschil der beide snelheden worden opgemaakt. Men vindt dan dadelijk, dat tengevolge van het over elkaar vallen van de beide anomale kromme lijnen, die, welke behoort bij den component aan de violette zijde, zoowel links als rechts van het midden, boven de andere overweegt, zoodat het polarisatievlak aldaar in dezelfde richting zal moeten draaien als het deeltje van dien component rondloopt, dus in de richting van den stroom, die het veld veroorzaakt, d. w. z. naar links tegen de beweging van de wijzers van een uurwerk in, indien het veld naar den waarnemer toeloopt. In het midden is het juist andersom: daar is de voortplantingssnelheid van den component aan den rooden kant het grootst, de draaiing zal daar dus de tegengestelde richting

hebben en, dank zij den eigenaardigen vorm van de kromme, zeer aanmerkelijke waarden kunnen bereiken.

Van de onderzoekers, die deze theoretische voorspellingen buiten de absorptielijnen hebben getoetst, noemen wij J. J. Hallo, een leerling van Zeeman (proefschrift Amst. 1902) en Elias (proefschrift Utrecht 1909). De negatieve draaiing tusschen de beide absorptielijnen van het doublet werd het eerst door Zeeman zelf aangetoond. Opmerkelijk is de enorme grootte der draaiing, die de proefneming bij natriumdamp heeft opgeleverd en die tot zeven volledige omwentelingen kan klimmen.

Metingen; natuurlijke draaiing.

Voor de metingen zijn behalve de meest voor de hand liggende, die boven genoemd werd, bijzondere waarnemingsmethoden uitgedacht, die wij niet zullen bespreken. Onder de Nederlandsche waarnemers op dit gebied neemt A. C. Oudemans een voorname plaats in. Zijn waarnemingen hadden in het bijzonder betrekking op zekere alkaloiden. Hij ontdekte daarbij de wet, dat bij toevoeging van zuren de soortelijke draaiing (d. w. z. de draaiing per gewichtseenheid alkaloïd in een bepaald volume) onafhankelijk is van den aard van het zuur. Deze wet vindt haar verklaring in de later aan het licht gekomen omstandigheid, dat de verbinding in de oplossing grootendeels gesplitst is (electrolytische dissociatie, waarover later meer): het alkaloid-ion, dat de draaiing veroorzaakt, oefent daardoor zijn werking uit onafhankelijk daarvan, welke zuur-ionen er zich bovendien nog in de oplossing bevinden.

Verder mogen we noemen de onderzoekingen van G. J. W. Bremer (1847—1909), die zich aansluiten aan de genoemde theorie van Van 't Hoff, evenals die van F. M. Jaeger, en een bepaling van Siertsema over den invloed van hooge drukking op de draaiing van rietsuiker. Een invloed bleek te bestaan, al kwam hij niet overeen met wat theoretisch afgeleid was.

Magnetische draaiing.

Het magnetische veld wordt teweeggebracht door een draadklos, waarbinnen de te onderzoeken zelfstandigheid geplaatst wordt. Wanneer de draad door een stroom wordt doorlopen, ontstaat daarbinnen een magnetisch veld, waarvan de krachtlijnen evenwijdig loopen met de lengte-as van den klos. In diezelfde richting stuurt men den lichtbundel door de ruimte binnen den klos. Voor de waarneming dienen weer twee nicols, één voor en één achter den klos, die gekruist worden, voordat de stroom gesloten is. Wordt nu het veld aangezet, dan komt het licht weder te voorschijn, en men meet den hoek, waarover de analysator gedraaid moet worden om het licht opnieuw te doen verdwijnen.

Bij de gewone magnetische draaiing, die gelijk wij zagen het gevolg

is van een verafgelegen absorptielijn, is de hoek evenredig met de sterkte van het veld en natuurlijk altijd ook met den afstand door het licht in de stof doorloopen. Bovendien is de hoek van de kleur van het licht afhankelijk en neemt naar het violet, dus in de richting naar het absorptiegebied, regelmatig toe. Om deze „magnetische dispersie” te bepalen moet de proef dus met een aantal verschillende soorten van licht worden genomen, of wel men bezigt wit licht en ontleedt het uittredende licht spectroscopisch, als wanneer in het spectrum een zwarte band gezien zal worden, die aangeeft, welke kleur bij iederen stand van den analysator uitgedoofd wordt. Op licht te begrijpen wijze laat zich met behulp van deze inrichting de draaiing voor verschillende kleuren van het spectrum achtereenvolgens bepalen.

Eenige fundamenteele wetten der magnetische draaiing werden door Goossens¹⁾ geverifieerd.

Van Schaik deed nauwkeurige metingen over de magnetische draaiing in een bepaalde soort van glas en in water. In het laboratorium te Leiden heeft Siertsema een aantal onderzoeken over de draaiing van het polarisatievlak ten uitvoer gebracht. Zijn eerste onderzoek betrof het verschijnsel in gassen. De geringe dichtheid van gassen brengt mede, dat de draaiing hier zeer zwak is. Om het met eenige nauwkeurigheid te kunnen meten is het noodig de gassen onder hoogen druk te brengen: ze moeten dus in een gesloten toestel onderzocht worden, waartoe men een door dikke glasplaten gesloten buis bezigt. Daar deze platen den polarisatietoestand van het licht zouden kunnen wijzigen, moeten polarisator en analysator binnen in de buis worden bevestigd: door aan het uiteinde van de buis, waarin zich de analysator bevindt, een wringing te geven, konden de vereischte draaiingen van den analysator worden verkregen, daar deze nimmer meer dan enkele graden bedroegen, niettegenstaande de drukkingen tot honderd atmosfeer werden opgevoerd en de buis niet minder dan 2, 3 meter lang was.

Van de uitkomsten verdient vermelding, dat de grootte der dispersie bij alle gassen vrij wel gelijk bleek te zijn, behalve bij zuurstof, waar zij aanmerkelijk kleiner is. Waarschijnlijk staat dit daarmede in verband, dat dit gas in tegenstelling met andere gassen sterk magnetisch is, ofschoon men niet in staat is den aard van het verband nader aan te geven.

Naar aanleiding van deze proeven heeft Siertsema de boven besproken theorie van het verschijnsel quantitatief getoetst. Daar de onderstelde absorptie in het ultra-violet eenerzijds de mate der gewone dispersie bepaalt en anderzijds de grootte van de magnetische draaiing, zoo moeten de twee verschijnselen nauw samenhangen, in welchen samenhang, evenals bij het verschijnsel van Zeeman, de verhouding e/m voor de in de stof aanwezige,

¹⁾ B. J. Goossens (1850—1914).

meetrillende deeltjes een hoofdfactor is. Door combinatie van metingen over de dispersie en over de magnetische draaiing kan dus de verhouding e/m worden berekend. Zoo vond Siertsema achtereenvolgens voor lucht 1.06×10^7 , voor koolzuur 0.89×10^7 , voor waterstof 1.77×10^7 , voor water 1.25×10^7 , voor zwavelkoolstof 0.745×10^7 en voor kwarts 1.25×10^7 . Zooals men ziet, stemmen deze getallen naar orde van grootte overeen met die, welke uit het verschijnsel van Zeeman en uit het gedrag van kathodestralen zijn afgeleid (zie blz. 166). Daaruit mag weder besloten worden, dat de trillende deeltjes, die voor de magnetische draaiing van de dispersie verantwoordelijk zijn, van denzelfden aard zijn als die, welke zich in de beide andere gevallen openbaren. J. F. Sirks heeft de metingen in het ultra-violet voortgezet (Proefschrift Leiden 1912).

Van groot belang, maar tegelijkertijd uit een experimenteel oogpunt zeer bezwaarlijk, is de meting van de magnetische draaiing in vloeibaar gemaakte gassen bij lage temperatuur onder atmosferische drukking. Om den toevoer van warmte en daardoor veroorzaakte stroomingen in de vloeibare gassen, die aan de optische waarneming zouden schaden, te matigen, moest de waarnemingsbuis door een mantel omgeven worden, waarin een hoeveelheid van hetzelfde gas gebracht werd. De sluitplaten van de buis moesten bovendien door driedubbele mantels tegen het neerslaan van waterdamp uit de lucht beschermd worden. Ook het voorkomen van lekken in den toestel, die aan zoo groote verandering van temperatuur was blootgesteld, leverde veel moeite op. De waarnemingen hadden betrekking op vloeibare chloormethyl (kookpunt -23°) en stikstof-oxydule (kookpunt -90°).

Eindelijk vermelden wij nog een zeer nauwkeurig onderzoek over de draaiing bij water en een over rood bloedloogzout. In het laatste geval was het er om te doen de theorie te toetsen in de buurt van het gebied in het blauw en violet, waar deze stof een scherp begrensde opslorping van licht vertoont. De te verwachten groote draaiing in de nabijheid van den absorptieband werd ook hier aangetroffen. Van meer recenten datum is een meting in titanium-tetrachloride, dat een draaiing vertoont tegengesteld aan de te verwachten richting: de verklaring bleek een combinatie van meerdere absorptie-lijnen te vereischen.

Magnetische dubbele breking.

Wij keeren ons nu tot een korte bespreking van het boven (blz. 174) reeds aangekondigde verschijnsel der dubbele breking van den absorbeerenden damp in het magneetveld bij transversale waarneming. Van het triplet, dat in die richting gezien wordt, trillen de twee buitenste componenten loodrecht op het veld en de centrale lijn evenwijdig daaraan. Ze zijn dus loodrecht op elkaar gepolariseerd. De centrale lijn absorbeert trillingen

evenwijdig aan het veld, de beide andere lijnen doen hetzelfde met trillingen loodrecht op het veld. Ieder dezer lijnen veroorzaakt weder bepaalde veranderingen in de voortplantingssnelheden van naburige trillingen, zoodat voor een bepaalde plaats in het spectrum de voortplantingssnelheden voor de beide onderling loodrechte trillingen niet geheel overeenstemmen, en dat is niet anders, dan wat wij als de oorzaak van dubbele breking hebben leeren kennen (blz. 134).

Over dit verschijnsel bestaat een onderzoek van Zeeman en J. Geest (dissertatie 1904), waarover wij niet in bijzonderheden willen treden; zij onderzochten meer speciaal het nauwe gebied tusschen de absorptielijnen en vonden het verschijnsel ook daar bevestigd.

Behalve de bovenstaande verklaring, die van Voigt afkomstig is, bestaat er een theorie, waarin wordt aangenomen, dat de moleculen met hunne wentelende electronen, die zich dus als kleine magneetjes zullen gedragen, door het uitwendige magnetische veld worden gericht. Deze theorie vindt v.n. een toepassing bij de verklaring van de magnetische dubbele breking van vloeistoffen, die veel grooter is dan uit de theorie van Voigt zou voortvloeien en bovendien bij verhooging van de temperatuur snel kleiner wordt, terwijl omgekeerd het boven besproken verschijnsel bij absorbeerende dampen geen merkbaren invloed van de temperatuur ondervindt.

Electro-optisch effect van Kerr.

Er zijn twee verschijnselen, die ontdekt zijn door en den naam dragen van Kerr, maar die niet met elkander moeten worden verward. Het eerste is een electro-optisch verschijnsel, analoog met het laatst besproken magneto-optisch effect. Het bestaat daarin, dat een stof optisch anisotroop wordt en dus dubbelbrekend, wanneer het in een sterk electricch veld gebracht wordt. Het vertoont zich, evenals het analoge magnetische verschijnsel, in een richting loodrecht op de richting van het veld. Men kan het verschijnsel gemakkelijk demonstreeren door in een weinig of niet geleidende vloeistof, zooals zwavelkoolstof, twee geleidende platen aan te brengen, waartusschen een hoog potentiaal-verschil kan worden opgewekt door ze met de beide polen van een electriseermachine te verbinden. Dit toestel is opgesteld tusschen twee nicols, zoodanig dat het licht door de nicols en tusschen de twee platen doorgaat in een richting loodrecht op de krachtlijnen. Worden de nicols dan eerst zonder veld gekruist, zoodat het licht uitgedoofd is, dan ziet men het terugkeeren, zoodra het veld wordt aangezet.

H. Brongersma voegde een aantal interessante bijzonderheden omtrent het verschijnsel aan de waarnemingen van Kerr toe. Wat de metingen betreft, verdient opmerking, dat het effect evenredig bleek te zijn met de tweede macht der veldsterkte; dit was daarom te verwachten, dat de

electrische spanningen, die Faraday in het veld aannam, in de theorie van Maxwell bevonden werden eveneens met het kwadraat van de electrische kracht evenredig te zijn, en het is te begrijpen, dat de anisotropie met die spanningen samenhangt.

Ook dampen vertoonen electrische dubbele breking: het verschijnsel is door Zeeman en C. M. Hoogeboom (diss. 1916) bij dampen van chloor-ammonium met alle uitvoerigheid onderzocht.

Zeeman heeft verder bewezen, dat het effect ook in vloeibare lucht plaats vindt.

Over de theorie moeten wij kort zijn: ze berust, evenals de laatstgenoemde theorie van de magnetische dubbele breking, op de onderstelling van het richten van moleculen door de electrische krachten. Ze is behandeld in het onder Debije te Utrecht bewerkte proefschrift van J. H. Tummers (1914).

Magneto-optisch effect van Kerr.

Van geheel anderen aard is het Kerr-effect, dat nu aan de beurt van behandeling is. Het is naast de besproken Faraday- en Zeeman-effecten het derde belangrijke magneto-optisch effect en staat er in zekeren zin ook mede in verband. Het doet zich voor bij de terugkaatsing van licht op een gepolijst eindvlak van een ijzeren staaf, wanneer die gemagnetiseerd wordt; of men kan, als tweede geval, een gepolijst zijvlak van de staaf nemen. Om het verschijnsel te kunnen begrijpen is het noodig vooraf na te gaan, welke eigenaardigheden men in het teruggekaatste licht opmerkt, als het ijzer nog niet gemagnetiseerd is, en meer in het algemeen wat er met het licht gebeurt bij de terugkaatsing op metalen. Wij zullen daarmede dus een aanvang maken.

Nog eens doorschijnende stoffen.

De metaal-reflectie vertoont andere eigenschappen dan die bij doorschijnende stoffen. Over de laatste hebben wij het een en ander medegedeeld, dat nu nog eenigszins zal moeten worden aangevuld. We bespraken, wat er met het licht gebeurt, zoo dit oorspronkelijk ongepolariseerd is; het wordt dan bij de terugkaatsing in het algemeen gedeeltelijk gepolariseerd met trillingen loodrecht op het invalsvlak; volledig gepolariseerd wordt het slechts, wanneer de hoek van inval de aangegeven bepaalde waarde heeft.

Men kan ook het invallende licht vooraf door een nicol laten gaan, zoodat het rechtlijnig gepolariseerd is. Staan de trillingen loodrecht op het invalsvlak, dan is dit in het gereflecteerde licht eveneens het geval, en licht, dat in het invalsvlak trilt, doet dit na de terugkaatsing ook. Dit volgt dadelijk uit een symmetrie-beschouwing. De hoeveelheid, die in verhouding tot het invallende licht bij verschillende hoeken van inval terruggekaast

wordt, vindt men met bekende formules van Fresnel. Hetzelfde geldt trouwens voor het gebroken licht, maar daarmee behoeven wij ons in dit geval niet in te laten. Die formules bevestigen o. a., dat bij den polarisatiehoek met trillingen in het invalsvlak geen licht van het vlak terugkomt.

Heeft men met trillingen te doen, die noch in het invalsvlak liggen noch ook loodrecht daarop zijn, dan kan men ze langs de beide symmetrische richtingen ontbinden, vervolgens op iedere der beide projecties een der formules van Fresnel toepassen en dan de verkregen componenten weder samenstellen. Daar de phase bij de terugkaatsing niet verandert, zal deze samenstelling weder een lineaire trilling geven, die evenwel niet de richting heeft van die, waarvan uitgegaan werd, daar de twee componenten bij de reflectie niet in dezelfde verhouding verkleind worden. Maar nog eens: een rechtlijnige trilling blijft rechtlijnig, al wordt haar richting gedraaid.

Metaal-reflectie.

Bij metalen is het verschijnsel ingewikkelder, doordat bij de terugkaatsing tusschen de beide componenten in het algemeen een phase-verschil voor den dag komt; het teruggekaatste licht is dan niet meer rechtlijnig, maar elliptisch gepolariseerd. Alleen wanneer de invallende trillingen in het invalsvlak liggen of loodrecht er op, blijft haar richting behouden, zooals onmiddellijk uit de symmetrie ingezien zal worden.

De ellipticiteit der teruggekaatste trillingen wordt gewoonlijk onderzocht voor het geval, dat de invallende trillingen een hoek van 45° maken met het invalsvlak, zoodat de amplituden der beide ontbondenen even groot zijn. Het bleek ons reeds, hoe dit onderzoek kan geschieden (blz. 138). Een compensator van Babinet wordt loodrecht op den teruggekaatsten bundel en verder zoo opgesteld, dat zijn eene hoofdrichting in het invalsvlak ligt en de andere evenwijdig aan het terugkaatsende vlak; in dien stand zoekt men door verschuiving van de verplaatsbare wig te bewerkstelligen, dat het veld in het midden door draaiing van den analysator kan worden verduisterd. Deze verschuiving leert het phase-verschil tusschen de genoemde componenten kennen, terwijl de vereischte draaiing van den nicol den stand van de groote as der ellips aangeeft; deze as heeft de richting van de diagonaal van den rechthoek, die de componenten tot zijden heeft, en levert dus de verhouding dezer componenten. De nicol staat eerst zoo, dat trillingen loodrecht op het invalsvlak worden uitgedoofd en de hoek, waarover hij moet gedraaid worden om den genoemden stand te bereiken, heet het „azimuth der herstelde polarisatie”.

De onderzoekingen hebben geleerd, dat er een bepaalde invalshoek is, waarbij het genoemde phase-verschil $\frac{1}{4}$ bedraagt. Men noemt daarom dien hoek den „hoofd-invalshoek” en dienovereenkomstig in dat geval

den hoek tusschen de groote as van de ellips en een lijn loodrecht op het invalsvlak het „hoofd-azimuth”. De theorie der terugkaatsing door metalen, die het eerst door Cauchy ontwikkeld is, doet zien, dat uit deze beide grootheden, hoofd-invalshoek en hoofd-azimuth, het phase-verschil en het azimuth bij alle mogelijke andere invalshoeken door berekening kunnen worden afgeleid.

Een zeer zorgvuldige toetsing van deze formules werd door R. Sissingh in het Leidsche laboratorium ondernomen: deze gaf een zeer bevredigende bevestiging, in het bijzonder ook voor het geval, dat de metaalspiegel in een vloeistof gedompeld was. De theorie geeft aan, hoe door de aanwezigheid van de vloeistof de beide genoemde hoeken gewijzigd worden, een wijziging, die zuiver en alleen van den brekingsindex der vloeistof afhangt. Bij een zilverspiegel met water als vloeistof werd een voldoende overeenkomst met de theorie aangetroffen.

Wat de theorie der metallische reflectie aangaat, kunnen wij in het algemeen zeggen, dat het afwijkend gedrag der metalen is gelegen in de absorptie, die het licht in het metaal ondergaat. Men zal zich afvragen, hoe de absorptie, een werking, die in het metaal plaats vindt ten opzichte van het licht, dat er in is doorgedrongen, ook op het teruggekaatste licht een invloed kan uitoefenen. Het verband moet natuurlijk aan het oppervlak gezocht worden. De drie bundels, invallende, terugkaatsende en binnentredende, moeten aldaar aan de vroeger (blz. 145) genoemde grensvoorwaarden voldoen. Vandaar, dat de absorptie, die den aard van den laatstgenoemden wijzigt, ook indirect op den teruggekaatsten bundel inwerkt. Zij is dus ook voor het phase-verschil tusschen de meermalen genoemde componenten verantwoordelijk.

In het voorbijgaan willen wij nog een verder merkwaardig verband tusschen de absorptie en de reflectie aanstippen; bij zeer sterke absorptie, zooals die der metalen, worden de golflengten, die het sterkst opgeslorpt worden, ook in versterkte mate in het teruggekaatste licht teruggevonden. Goud, dat vooral het rood-oranje opslorpt en dus bij zeer geringe dikte groen doorschijnend is, vertoont een metaalglans van diezelfde tint. Hetzelfde geldt ook voor de sterk absorbeerende aniline-kleurstoffen: fuchsine, dat in oplossing rood ziet, omdat het het groen sterk absorbeert, vertoont in vasten toestand een groene oppervlakte-kleur.

Bij de reflectie aan doorschijnende lichamen kan alles met behulp van één grootheid, den brekingsindex, of anders gezegd van de voortplantingssnelheid in de stof, berekend worden, zoowel de richting van den gebroken straal als de intensiteit en polarisatie-toestand der beide ontstaande stralen. Bij metalen zijn er twee constanten, die hun gedrag ten opzichte van het licht bepalen, n.l., behalve de voortplantingssnelheid, ook de absorptie-coëfficiënt. Zonder gebruik te maken van moeilijke mathematische hulp-

middelen kan de theorie niet nader worden toegelicht en wij bepalen ons dus tot bovenstaande aanduidingen.

Doorschijnende lichamen.

Nauwkeurige waarnemingen omtrent de polarisatie bij doorschijnende lichamen hadden afwijkingen opgeleverd van de theorie van Fresnel. Uit rechtlijnig gepolariseerd licht zou door terugkaatsing in dat geval, zooals wij zagen, steeds rechtlijnig licht moeten ontstaan, omdat er geen phase-verschil tusschen de twee loodrechte componenten zou zijn. De waarneming leerde evenwel, dat het licht toch, zij het zeer zwak, elliptisch was: de trillingslijn was een zeer smalle ellips, die dus iets van een rechte lijn verschilde. Sissingh deed hierover bij glas met het voor de metalen tot stand gebrachte instrumentarium nauwkeurige waarnemingen en bevond, dat een door Cauchy ter verklaring opgestelde gewijzigde theorie niet uitkwam. Een nieuwe verklaring moest dus worden beproefd. Het lag voor de hand de reden van het phase-verschil daarin te zoeken, dat het oppervlak van het glas niet, zooals was aangenomen, scherp van de lucht gescheiden is, maar dat er een geleidelijke overgang tusschen de beide middenstoffen bestaat, bij voorbeeld door de vorming van een grenslaag van verdicht gas. Het bleek, dat deze laatste opvatting niet vol te houden was, want een behandeling van het oppervlak met uitgegloeid koolpoeder, dat gassen gretig opsorpt, verminderde de ellipticiteit van het licht niet. Daarentegen was het zoo goed als geheel verdwenen, nadat het glas nog eens opnieuw geslepen en gepolijst was. Blijkbaar was de oorzaak van het phase-verschil aan een bijzonderen toestand van het oppervlak van het glas toe te schrijven.

Nog op andere wijze toonde Sissingh aan, dat het gas de oorzaak niet zijn kon; spiegels van platina of palladium, metalen, die waterstof gretig absorbeeren, ondergingen bij aanwending van dit gas geen verandering in hun optische gesteldheid.

Een eerste theoretische behandeling van den invloed van oppervlaktelagen op de optische eigenschappen op grond van de electro-magnetische theorie werd gegeven door A. C. van Rijn van Alkemade (Leidsche dissertatie van 1882).

Terugkaatsing op ijzer.

Volgens de electro-magnetische theorie van het licht was het eenigszins te verwachten, dat een ijzerspiegel zich anders zou moeten gedragen dan een spiegel van zilver of ander metaal, wegens zijn sterke magnetiseerbaarheid. Immers het ijzer zou op de magnetische krachten in een lichtbundel anders kunnen reageeren dan een niet-magnetisch metaal. Sissingh vond evenwel, dat het ijzer zich analoog met de andere metalen gedroeg, zoodat zijn magnetische eigenschappen op de lichttrillingen geen invloed hebben.

Deze uitkomst is in overeenstemming met wat later voor de veel langzamere elektrische trillingen gevonden is: ook daarbij is van het magnetisme van het ijzer niets te bespeuren. Men heeft ook leeren inzien, waaraan dit moet liggen. De magnetisatie is een proces, dat zekeren tijd, zij het ook een zeer korten tijd vordert; bij de snelle magnetische wisselingen der elektrische trillingen en dus nog des te meer bij de lichttrillingen kan het mechanisme in de atomen van het ijzer, dat bij de magnetisatie in het spel is, de werkende krachten niet volgen. De wisselstroom met een frequentie van 50 perioden in de secunde, zooals die in onze stadsnetten voorkomen, zijn langzaam genoeg om het ijzer in de beide tegengestelde richtingen tot het volle bedrag te magnetiseeren, maar bij de oneindig veel hoogere frequenties van elektrische trillingen en van het licht is dit blijkbaar niet het geval: het gedraagt zich dan als niet te magnetiseeren.

Invloed van de temperatuur.

Een verdere vraag in het onderzoek van Sissingh betrof den invloed van de temperatuur op de terugkaatsing door metalen. Het geleidingsvermogen, hetwelk de oorzaak is van de absorptie van het licht, neemt af bij verhooging van de temperatuur en men zou dus een invloed op de absorptie en op de optische constanten, die immers door de absorptie mede worden bepaald, kunnen verwachten. Intusschen kon door Sissingh bij verwarming van zijn spiegel tot 125° geen verandering in die constanten worden opgemerkt en hetzelfde geldt van latere pogingen van Zeeman met een spiegel van platina, waarbij volgens Kundt een duidelijke temperatuurinvloed te verwachten was.

Uit wat wij omtrent deze zaak vroeger mededeelden volgt de verklaring van deze negatieve uitkomst; het geleidingsvermogen, dat bij de snelle trillingen te pas komt, is geheel of gedeeltelijk van anderen aard, dan wat wij als zoodanig bij stationnaire stroomen leeren kennen. Hoe langzamer de trillingen zijn, des te grooter wordt de kans, dat het normale geleidingsproces de hoofdfactor worden zal, en inderdaad heeft men later gevonden, dat de absorptie en reflectie der metalen ten opzichte van infra-roode stralen van groote golflengte, ook wat den invloed van de temperatuur aangaat, reeds geheel aan het normale geleidingsvermogen beantwoorden (zie blz. 143).

Magneto-optisch verschijnsel van Kerr.

Wij zijn nu ver genoeg in het optische gedrag der metalen doorgedrongen, om met vrucht onze aandacht te kunnen vestigen op het Kerr-effect. Het bestaat in een invloed, dien het door een ijzerspiegel teruggeworpen licht van een opzettelijke magnetisatie van het ijzer ondervindt. Men denke zich een ijzeren staaf binnen in een draadklos, waardoor een stroom kan worden gevoerd; het uiteinde van de staaf is door polijsting

tot een spiegel gemaakt en daarop laat men gepolariseerd licht terugkaatsen. Het spiegelend oppervlak is dus hier loodrecht op het vlak gemagnetiseerd. Bij andere proeven spiegelde het licht op een zijvlak van de staaf, waarbij derhalve de magnetisatie evenwijdig aan het spiegelend vlak is. De beide gevallen worden als *polaire* en *equatoriale* terugkaatsing onderscheiden. In het laatste geval kan het invalsvlak nog twee verschillende symmetrische standen hebben, n.l. evenwijdig aan de magnetisatie of loodrecht erop.

Beschouwen wij het geval, dat het invallende licht loodrecht op het invalsvlak trilt; indien het ijzer niet gemagnetiseerd is, worden de trillingen zonder verandering, dan alleen van de intensiteit, teruggekaatst, evenals trouwens met trillingen in het invalsvlak het geval is. Wordt nu het ijzer loodrecht op het spiegelend vlak gemagnetiseerd (*polaire reflectie*), dan vindt men het teruggekaatste licht elliptisch gepolariseerd m. a. w. er is een trilling bij gekomen, die loodrecht staat op de invallende trilling en daarmede een phase-verschil heeft. Door het magnetiseeren wordt dus de symmetrie verstoord. Men noemt de bijkomstige trilling den magnetischen component, in tegenstelling met den hoofdcomponent, dien men zonder magnetisatie heeft. De metingen zijn nu op de intensiteitsverhouding van den magnetischen tot den hoofdcomponent en op hun phase-verschil gericht.

De magnetische component is steeds, zelfs bij de sterkste magnetisatie, uiterst zwak, hoogstens eenige duizendste deelen van den hoofdcomponent: de elliptische baan der deeltjes is dus zeer smal, veel smaller dan bij de elliptische polarisatie der metalen bij de besproken waarnemingen met trillingen, die een halven rechten hoek met het invalsvlak maken. Onder die omstandigheden is de compensator van Babinet onbruikbaar en moet men zijn doel door een andere methode van waarneming trachten te bereiken.

Men gaat als volgt te werk: als het magnetisch veld nog niet is aangezet, wordt de analyseerende nicol zoo geplaatst, dat het licht uitgedoofd is, dus alleen trillingen evenwijdig aan het vlak van inval doorgaan. Door de werking van het magnetisme komen er trillingen in het invalsvlak bij en het gezichtsveld wordt verlicht. Zonder phaseverschil zou het mogelijk zijn door draaiing van den nicol het licht opnieuw uit te dooven; nu echter het licht elliptisch trilt, is dit niet mogelijk en kan men alleen de lichtsterkte tot een minimum maken; de trillingen, die de nicol doorlaat, hebben dan dus de richting van de korte as van de ellips. Evenzoo kan men den analysator in zijn stand latende door een kleine draaiing van den polarisator de lichtsterkte zoo klein mogelijk maken; de component in het invalsvlak, die er daardoor bijkomt, wijzigt den stand van de ellips en kan dus de kleine as doen draaijen, totdat zij loodrecht op het invalsvlak staat en dus door den analysator wordt doorgelaten.

Men noemt de aldus gemeten hoeken de *minimum-draaiingen* van analysator en polarisator; in verband met de vooraf bepaalde optische

constanten van het ongemagnetiseerde ijzer, dus van diens hoofdinvalshoek en hoofdazimuth, kunnen uit de minimum-draaiingen de stand en breedte van de trillingsellips, dus ook de verhouding van den magnetischen tot den hoofd-component en hun phase-verschil worden afgeleid.

Eindelijk is het ook mogelijk, zooals door van der Waals werd aangewezen, door draaiing van polarisator en analysator beide een stand te vinden, waarbij het licht werkelijk geheel verdwijnt; deze draaiingen heeten de nul-draaiingen. Dan is blijkbaar het teruggekaatste licht weer rechtlijnig, wat daardoor bereikt wordt, dat het phase-verschil tusschen de twee componenten bij de niet-magnetische reflectie juist wordt opgeheven door het magnetische phase-verschil. Ook uit de nul-draaiingen kunnen bij volledige bekendheid met de constanten van het metaal de gezochte magnetische constanten worden berekend. Volgens deze methode nam het eerst in het laboratorium te Amsterdam P. C. Kaz waar (diss. 1884); ook werd zij door Sissingh, Zeeman en Wind ¹⁾ herhaaldelijk toegepast.

Een moeilijkheid bij de proeven is daarin gelegen, dat het ijzer, als het eenmaal gemagnetiseerd is, zijn magnetisme ook na het afzetten van het veld gedeeltelijk behoudt en slechts door een omslachtig proces daarvan kan worden bevrijd. De uitdoovingsstand bij het ongemagnetiseerde ijzer kan dus niet, zooals toch wenschelijk is, telkens worden gecontroleerd. Om die reden wordt van dezen stand geen gebruik gemaakt, maar worden de minimum- en nul-standen beurtelings met tegengestelde stroomrichting, dus tegengestelde magnetisatie waargenomen. Het verschil tusschen de corresponderende aflezingen geeft het dubbele van de draaiing uit den oorspronkelijken uitdoovingsstand.

Dergelijke verschijnselen worden gevonden bij de equatoriale reflectie, als het invalsvlak evenwijdig is aan de magnetisatie.

Verband met Hall-effect.

De uitvoerige metingen konden met een door Lorentz opgestelde en door W. van Loghem (proefschrift 1883) uitgewerkte theorie van het verschijnsel worden vergeleken. Deze theorie gaat uit van het gronddenkbeeld der electronen-theorie, volgens hetwelk de wetten der terugkaatsing, breking en absorptie alle berusten op het meetrillen van electronen met de invallende trillingen. Nu zullen de bewegingen der electronen ook een invloed ondergaan van de krachten, die uit het magnetisme voortvloeien. Zulk een invloed openbaart zich bijv. ook in het verschijnsel van Hall, waarover wij straks zullen spreken en dat daarin bestaat, dat een geleidingsstroom door een dun metaalplaatje een wijziging ondergaat, wanneer loodrecht op het plaatje een magnetisch veld wordt aangebracht.

¹⁾ C. H. Wind (1867—1911).

De „vrije” electronen in het metaal, die bij hun beweging den stroom vormen, ondergaan van het veld krachten loodrecht op hun beweging en volgen daardoor gewijzigde banen.

Het lag dus voor de hand de theorie van het Kerr-effect bij die van het Hall-effect aan te sluiten, d. w. z., van dezelfde vergelijkingen gebruik te maken, waarbij dus ook de voorloopige onderstelling werd gemaakt, dat bij het Kerr-effect alleen de invloed van het magnetisme op de „vrije” electronen, die de electriche stroomen mogelijk maken, te pas kwam.

Phase-verschil van Sissingh.

Bij de vergelijking van zijn metingen over de equatoriale terugkaatsing met de theorie werd door Sissingh wat de amplitude van den magnetischen component aangaat een goede overeenstemming verkregen, maar de phase stemde in het geheel niet met de theoretische waarde overeen. Er vertoonde zich tusschen beide een verschil, dat bij alle hoeken van inval even groot was. Het onderzoek werd later door Zeeman voor de polaire reflectie herhaald en ook daar kwam hetzelfde phase-verschil tusschen theorie en waarneming aan den dag. Zooals verder bij onderzoek met verschillende lichtsoorten bleek, is het „phase-verschil van Sissingh”, zooals men het sedert genoemd heeft, met de golflengte veranderlijk. Ook bestaat het bij de beide andere ferro-magnetische metalen, nikkel en kobalt, waar het bedrag evenwel telkens anders is. De talrijke metingen van Zeeman en Wind omtrent een en ander zullen wij niet in detail mededeelen.

De proeven leerden dus, dat de theorie een uitbreiding behoefde: de hypothese der vrije geleidingselectronen was niet toereikend. Indien men aanneemt, dat ook nog „gebonden” electronen hun invloed doen gelden, dus electronen, die deel uitmaken van de atomen en daarin trillingen of wentelingen kunnen uitvoeren om bepaalde evenwichtsstanden, dan komt in de vergelijkingen nog een nieuwe constante te staan, die de verklaring van het waargenomen verschil kan leveren. Een dergelijke theorie is o. a. door Wind ontwikkeld. Wind mocht daarbij de voldoening smaken van uit zijn uitkomsten een nog niet opgemerkt verschijnsel te voorspellen, dat met het Kerr-effect in nauw verband staat. We zullen het met enkele woorden aangeven.

Het verschijnsel betreft het geval, dat het magnetische veld loodrecht staat op het invalsvlak, wat alleen bij equatoriale reflectie kan voorkomen. Zijn nu de trillingen hetzij in het invalsvlak, hetzij loodrecht er op, dan zullen zij dit, zooals zich laat bewijzen, ook na de terugkaatsing nog moeten zijn; een eigenlijk Kerr-effect bestaat in dien stand dus niet. Nu leert evenwel de theorie, dat het licht, wanneer het in het invalsvlak trilt, toch een verandering ondergaan heeft in amplitude en in phase beide. Men kan dit constateeren door nu gebruik te maken van trillingen, die

een hoek van 45° met het invalsvlak maken: deze worden n.l. in de componenten loodrecht op en evenwijdig aan het genoemde vlak ontbonden en de verandering, die de laatste ondergaat, doet weder, als altijd, een elliptische trilling ontstaan, die volgens een der besproken methoden kan worden geconstateerd. Het gelukte aan Zeeman deze theoretische gevolgtrekking van Wind bij de equatoriale reflectie op ijzer proefondervindelijk te bevestigen.

Het verband met het verschijnsel van Hall zou doen onderstellen, dat bij metalen, die het laatste in sterke mate vertoonen, ook een Kerr-effect zou zijn waar te nemen. Toch bleek het o. a. uit waarnemingen van Zeeman, dat metalen als tellurium, bismuth, zilver, palladium en platina, bij welke het Hall-effect zeer duidelijk is, bij magnetisatie geen bijzonderen invloed op het licht uitoefenen. Dit bevestigde de vroegere uitkomst, dat een verklaring, die op het Hall-effect gegrondvest is, niet voldoende kan zijn.

Dit feit staat in verband met de reeds meermalen opgemerkte omstandigheid, dat de stof zich ten opzichte van snelle elektrische trillingen anders kan gedragen dan bij standvastige elektrische of magnetische krachten. De gebonden electronen kunnen bij het Hall-effect geen invloed hebben, omdat ze niet blijvend kunnen voortbewegen; bij een trilling, zooals het licht er een is, kan een blijvende, heen en weergaande, bewegingstoestand dezer deeltjes natuurlijk wel ontstaan.

Beginsel van de spiegelbeelden.

We hebben er ons in het bovenstaande toe bepaald zonder nadere toelichting mede te deelen, hoe de magnetische component in bijzondere gevallen gericht was, maar men kan de vraag stellen: welke zijn de regels, die daaromtrent gelden? Een antwoord op die vraag kan worden gegeven door gebruik te maken van het in het opschrift genoemde beginsel, waar Lorentz zich in allerlei problemen der physica met voorliefde van bediend heeft.

Wij denken ons een stelsel van materiele punten, die bepaalde bewegingen uitvoeren en krachten op elkaar uitoefenen; van dat stelsel kunnen we ons een spiegelbeeld in een willekeurig plat vlak gevormd denken, waarbij alle bewegingen, krachten en andere grootheden, die een bepaalde richting hebben (zoogenaamde vectoren) mede gespiegeld worden. In het nieuwe stelsel zullen dan dezelfde natuurkundige wetten moeten heerschen als in het stelsel, waarvan werd uitgegaan.

Wanneer men dit beginsel gaat toepassen op magnetische grootheden, zoo doet zich iets bijzonders voor; denken wij ons bijv. een cirkelstroom, dan staat de magnetische kracht in het middelpunt van dien cirkel loodrecht op diens vlak, zoodanig, dat een waarnemer, in de richting van die kracht kijkende, den stroom rechtsom ziet loopen. Spiegelt men nu dezen stroom in een vlak, dat er mede evenwijdig is, zoo blijft de stroom zijn richting

behouden en de vector, die de magnetische kracht voorstelt, zou de tegengestelde richting verkrijgen, zoodat het correcte verband tusschen stroomrichting en magnetische kracht verloren zou gaan. Om dus toch ook bij magnetische werkingen het beginsel te kunnen toepassen, moet men de richting van de magnetische kracht niet medespiegelen, maar bepaalt in het spiegelbeeld den magnetischen vector achterna volgens den gewonen regel, die het verband tusschen de richtingen van stroom en veld bepaalt.

Met dit beginsel gewapend kan men a priori afleiden, hoe de magnetische lichtcomponent, indien hij er is, gericht moet zijn.

1. Bij de polaire terugkaatsing met de trillingen in het invalsvlak kan geen magnetische component ontstaan evenwijdig aan dat vlak, want spiegelen wij het stelsel in het invalsvlak, zoo blijft de vector van het invallende licht onveranderd, en een magnetische component evenwijdig aan dat vlak zou eveneens hetzelfde blijven, terwijl de magnetiseerende stroom omkeert, wat blijkbaar onmogelijk is.

Zijn de trillingen loodrecht op het invalsvlak, zoo kan de magnetische component niet ook loodrecht op dat vlak staan; immers bij spiegeling in het invalsvlak keeren dan de richtingen van beide trillingen om; in het spiegelbeeld zou dus uit een trilling van dezelfde richting als in het oorspronkelijke stelsel ook een magnetische trilling van die richting ontstaan, terwijl toch de stroom omgekeerd is, wat weder niet kan.

2. Bij de equatoriale terugkaatsing met het veld evenwijdig aan het invalsvlak komt men tot dezelfde gevolgtrekkingen door nu het spiegelbeeld te nemen in een vlak loodrecht op het spiegelend vlak, maar loodrecht op het invalsvlak. De lezer kan dit desgewenscht zelf gemakkelijk controleeren.

3. Bij de equatoriale reflectie eindelijk met het veld loodrecht op het invalsvlak gebruike men weer het invalsvlak als spiegel, zoodat de magnetiseerende stroom en daarmede de magnetisatie hun richtingen behouden. Het blijkt dan, dat uit een trilling in het invalsvlak geen loodrechte magnetische trilling kan ontstaan, want de eerste verandert niet, de tweede wel, wat niet mogelijk is, daar de magnetisatie dezelfde richting heeft als tevoren. Om dezelfde reden kan ook uit een trilling loodrecht op het invalsvlak geen magnetische component evenwijdig aan dit vlak geboren worden.

Beginsel van de wederkeerigheid.

Helmholtz heeft dit beginsel aldus geformuleerd: indien van een punt A trillingen uitgaan, waarvan de ontbondene in een bepaalde richting a genomen een zekere grootte I_a heeft, en deze stralen komen na een aantal terugkaatsingen en brekingen in een punt B aan met een amplitude, wier ontbondene in een richting b I_b bedraagt, dan zal omgekeerd, zoo stralen van B uitgaan met een amplitude I_a langs b en den tegengestelden weg doorloopen, hun amplitude langs a I_b zijn.

Ook dit beginsel kan volgens Lorentz op de verschijnselen van Kerr worden toegepast, mits ook hier de richting van de magnetische krachten wordt omgekeerd, evenals trouwens bij de toepassing op de gewone magnetische draaiing van het polarisatie-vlak. Om dit laatste in het voorbijgaan toe te lichten denke men zich een lichaam in een magnetisch veld geplaatst zoodanig, dat het polarisatie-vlak bijv. 45° draait. De analysator worde zoo geplaatst, dat het veld donker is. Keert men nu de richting van het licht om en laat het dus door den analysator binnentreden, zoo draait het polarisatie-vlak weder 45° , en wel naar denzelfden kant als in het eerste geval (eerst bijv. naar rechts en nu naar links, omdat het ten opzichte van het veld andersom loopt, maar dat is in de ruimte dezelfde richting). Het licht zal dus nu door den nicol, die eerst polarisator was, vol doorgelaten worden; het beginsel wordt derhalve geschonden, tenzij men bij de omkeering van het licht ook de richting van het veld omkeert.

De toepassing op het verschijnsel van Kerr leert onmiddellijk, dat de verhouding van den magnetischen component tot het invallende licht even groot is bij trillingen in het invalsvlak als bij trillingen loodrecht er op. Immers in de gevallen (1) en (2) ontstonden uit trillingen van de eene soort uitsluitend die van de andere. Neemt men nu de eerste in de richting a (zie boven) en de tweede langs b en past het theorema toe, dan volgt de conclusie zonder meer.

Ook omtrent de phase der ontstaande trilling kunnen wij een gevolgtrekking maken. Bij de omkeering van de lichtbeweging moet volgens boven het veld omgekeerd worden; brengen wij in geval (1), dus bij de polaire reflectie, het veld weer tot zijn vroegere richting terug, dan moet een der beide lichtvectoren omgekeerd worden, waaruit volgt, dat de phase van den magnetischen vector bij de twee soorten van trillingen $\frac{1}{2}$ verschilt. Bij de equatoriale reflectie (geval 2) zal het veld na de omkeering ten opzichte van het in omgekeerden zin loopende licht dezelfde richting hebben als op den heenweg: hier behoeft het veld dus niet tot den oorspronkelijken stand te worden teruggebracht en de phase van den magnetischen vector zal voor de beide soorten van trillingen dezelfde zijn. Deze door Lorentz aangegeven regels werden steeds bevestigd gevonden.

Invloed van de veldsterkte.

Over de betrekking tusschen de sterkte van het magnetische veld en het Kerr-effect hebben wij ons nog niet uitgelaten. Du Bois heeft door metingen aangetoond, dat een evenredigheid bestaat tusschen het Kerr-effect en de grootte van de magnetisatie, dus niet van de magnetiseerende kracht, die bij ferromagnetische lichamen geenszins parallel verlopen. Bij deze proeven was het noodzakelijk de magnetisatie van het terugkaatsende metaal nauwkeurig te bepalen. Om dit te kunnen doen

werd het metaal genomen in den vorm van een langgerekte omwentelings-ellipsoïde, omdat een dergelijk lichaam in een homogeen magnetisch veld geplaatst zelf homogeen gemagnetiseerd wordt, d. w. z. de magnetisatie is dan overal even groot: ieder even groot stukje van het metaal wordt een even sterk magneetje van dezelfde richting. Wanneer men dus de magnetische eigenschappen van het metaal kent, zal men uit de grootte van den magnetiseerenden stroom, dus uit de magnetische kracht, de sterkte van de magnetisatie van de ellipsoïde kunnen berekenen. Aan het eene uiteinde van de lange as der ellipsoïde werd het spiegelen vlakje geslepen. De proeven werden genomen bij ongeveer loodrechten inval van het licht en de stand van de groote as der teruggekaatste elliptische trilling werd met een polarimeter bepaald. Daar het phase-verschil onafhankelijk van de veldsterkte is, leert de stand van de ellips de amplitude van den magnetischen component, waar het om te doen is, kennen.

Eindelijk vermelden wij nog, dat volgens de waarnemingen der verschillende Nederlandsche onderzoekers de temperatuur geen noemenswaarden invloed op het verschijnsel van Kerr heeft. Maar het effect hangt van de kleur, dus van de golflengte van het gebezigde licht af en wel in dien zin, dat de grootte er van afneemt, als de golflengte kleiner wordt, terwijl ook de phase anders wordt.

Verschijsel van Hall.

Dit verschijnsel, hetwelk wij boven gelegenheid hadden te noemen, betreft een invloed van een magnetisch veld op de beweging van electriciteit in geleiders. Men had de vraag opgeworpen, of de krachten, welke stroomdragende geleiders in een magneetveld ondervinden, moesten worden opgevat als te werken op de electriciteit zelve, zoodat de geleiders a. h. w. indirect door de electriciteit werden meegetrokken, of dat ze primair op de materie der geleiders aangrepen. Maxwell was de laatste zienswijze toegedaan, Hall's proef bewees, dat de eerstgenoemde de juiste was.

Loodrecht op de richting van een magnetisch veld wordt een dun blad metaal — in de oorspronkelijke proef van goud — geplaatst; het blad is rechthoekig en wordt in de richting van een zijde doorlopen door een stroom; wij noemen dien stroom den hoofdstroom. Twee punten op de tegenoverstaande zijden evenwijdig aan den stroom zijn door een galvanometer met elkaar verbonden. Deze contacten worden zoolang verschoven, totdat bij afwezigheid van het veld door den galvanometer geen stroom wordt aangewezen, waaruit volgt, dat de punten denzelfden elektrischen potentiaal hebben. Bij het aanzetten van het veld ziet men dan een stroom door den galvanometer voor den dag komen: deze kan de secundaire of Hall-stroom genoemd worden.

Het is duidelijk, wat er geschiedt: de electronen, die zich in den

hoofdstroom door het metaal voortbewegen, ondervinden van het veld een kracht, die, zooals wij reeds meermalen gezien hebben, loodrecht staat op veld en stroom beide en dus in het vlak van het blaadje ligt, loodrecht op de stroomrichting. Door deze transversale kracht op de longitudinaal voortschrijdende electronen wordt de symmetrie der beweging verstoord; bij de electromotorische kracht in de stroomrichting komen kleine electromotorische krachten in loodrechte richting. De E. M. K. ondervindt dus een kleine draaiing en de punten, die tevoren gelijken potentiaal hadden, zullen nu op lijnen van verschillenden potentiaal komen te liggen, zoodat de galvanometer een stroom moet aanwijzen.

Volgens deze verklaring moet het ontstaande potentiaalverschil tusschen de contacten evenredig zijn met de sterkte van het veld; vervolgens met de stroomsterkte, omdat bij een tweemaal zoo sterke beweging de electronen ook de dubbele kracht ondervinden. Het teeken van het effect keert dus om, als men hetzij het veld hetzij den hoofdstroom omkeert. Het zal voorts bij gegeven stroomsterkte omgekeerd evenredig zijn met de dikte van het plaatje, want hoe kleiner deze is, des te grooter is de stroomdichtheid en dus de snelheid der electronen; vandaar, dat het plaatje liefst dun genomen moet worden. De breedte van het plaatje heeft geen invloed, immers maakt men het smaller, dan wordt wel bij eenzelfde stroomsterkte de snelheid der electronen vergroot, maar tot het potentiaalverschil aan de randen werkt nu ook slechts een geringere breedte mede.

Dit alles wordt door de waarnemingen bevestigd, en toch mag de verklaring niet als een volledige worden aangemerkt, want zelfs de richting van het effect stemt bij verschillende metalen niet overeen met wat de theorie zou doen verwachten. Terwijl goud, koper, zilver en bismuth het effect in de goede richting vertoonen, is deze bij ijzer, zink, antimonium en kobalt juist tegenovergesteld. Om dit te verklaren heeft men het eenvoudige middel om vrij bewegelijke positieve, in plaats van negatieve deeltjes aan te nemen, wat evenwel met de electronentheorie der metallieke geleiding op andere punten niet zou strooken. Lorentz heeft op de groote moeilijkheden gewezen, welke ontstaan, als men zoowel positieve als negatieve electronen gaat aannemen (blz. 196).

Op grond daarvan is het wenschelijk naar een andere verklaring om te zien. Lorentz is van oordeel, dat hiertoe misschien de invloed kan dienst doen, dien de gebonden electronen uitoefenen: ook hun bewegingen zullen door het magnetische veld gewijzigd worden en deze wijziging kan de beweging der vrije electronen op haar beurt zoodanig veranderen, dat hierdoor het omgekeerde effect te voorschijn geroepen wordt. Men zal hier het verband met de theorie van het Kerr-effect weder opmerken.

Uitvoerige onderzoekingen uit het laboratorium te Leiden over het Hall-effect bij bismuth, waar het bijzonder sterk op den voorgrond treedt,

heeft men aan A. Lebret en E. van Everdingen te danken. Verschillende omstandigheden bemoeilijken het verkrijgen van nauwkeurige uitkomsten; vooreerst de omstandigheid, dat de elektrische weerstand van metalen en weder in het bijzonder van bismuth onder den invloed van het magnetische veld een verandering ondergaat: dit door Kelvin ontdekte verschijnsel hangt trouwens nauw met dat van Hall samen. Vervolgens noemen wij het verschijnsel (Von Ettingshausen), dat zich tusschen de secundaire elektroden onder den invloed van het veld een temperatuurverschil ontwikkelt, waarvan het teeken weder met het veld of de richting van den hoofdstroom omkeert, een verschijnsel, dat eveneens met dat van Hall verband houdt. Dit temperatuurverschil schaadt de nauwkeurigheid van de metingen, omdat het op zichzelf thermo-electrisch kan werken, d.w.z. een stroom in het leven roepen. Andere effecten voor het onderwerp van minder belang laten wij buiten beschouwing.

De door de genoemde onderzoekers genomen proeven waren nu zoo ingericht, dat de stroomen slechts een enkel oogenblik gesloten behoeften te worden en dat dus geen merkbare temperatuurveranderingen konden optreden. Daartoe werd de Hall-stroom gevoerd door den eenen klos van een differentiaal-galvanometer, terwijl de andere doorloopen werd door een van den hoofdstroom afgetakten zwakken stroom. Door regeling van den weerstand worden deze beide stroomen gelijk gemaakt, zoodat hunne werkingen in den galvanometer elkaar compenseeren; of deze compensatie verkregen is, wordt gecontroleerd door den hoofdstroom voor een oogenblik te sluiten: alle warmte-effecten en de storingen, die daarvan het gevolg zijn, worden aldus tot een zeer klein bedrag verminderd.

De metingen leidden tot de ontdekking en later de verklaring van een nieuw verschijnsel. Wanneer de richting van het magneetveld wordt omgekeerd, zal men een omkeering van den Hall-stroom verwachten zonder verandering van zijn sterkte en dus een compensatie door een even grooten takstroom van omgekeerd teeken. Deze symmetrie bleek evenwel in het geheel niet te bestaan. Een analoge dissymmetrie vertoonde zich bovendien bij omkeering van het plaatje en bij draaiing over een hoek van 90° , wat op hetzelfde neerkomt als een verwisseling van primaire en secundaire elektroden. Ook bleek de dissymmetrie toe te nemen, als de veldsterkte grooter genomen werd, en in het algemeen een beloop te hebben, dat analoog was met de wijze, waarop de weerstand van bismuth onder den invloed van toenemende velden vermindert. Met dien weerstand moest het verschijnsel dus samenhangen. Het gelukte nu in een plaatje een bepaalde richting te vinden, waarvoor de symmetrie wel bestond, zoodat, wanneer de stroom die richting had of de richting loodrecht daarop, bij wisseling van de veldrichting de Hall-stroom enkel van teeken veranderde zonder verandering van grootte. Voor dit doel was een

cirkelvormig plaatje vervaardigd, waaraan de vier electroden met behulp van klemschroefjes op willekeurige plaatsen konden worden bevestigd. Blijkbaar hing het verschijnsel met een kristallijne structuur van het gegoten plaatje samen.

Verdere overweging leerde, dat de waargenomen bijzonderheden konden worden beschreven met behulp van de onderstelling, dat de weerstand niet in alle richtingen even groot was, maar in een bepaalde hoofdrichting een grootste en loodrecht daarop een kleinste waarde bezat en daartusschen geleidelijk veranderde. Het is gemakkelijk in te zien, dat een dergelijke verdeling van den weerstand een dissymmetrie van het effect kan veroorzaken. Door de omkeering van het veld zullen de banen, die de electronen in het plaatje volgen, andere worden en langs die banen is volgens de onderstelling de weerstand gewoonlijk een andere: vandaar de verandering in den Hall-stroom. Omkeering van den hoofdstroom daarentegen kan geen invloed hebben, want de electronen doorloopen dan onder den invloed van een zelfde veld ook dezelfde banen in omgekeerde richting en ondervinden dus een zelfden weerstand.

Deze theorie werd nader ontwikkeld en bij voortzetting van het onderzoek langzamerhand in allen deele bevestigd. Zonder magnetisch veld kan het geleidingsvermogen van een bismuth-kristal in verschillende richtingen door de punten van een omwentelingsellipsoïde graphisch worden weergegeven met de omwentelings-as evenwijdig aan de hoofd-as van het kristal; in een magneetveld, waarvan de richting met die as samenvalt, blijft deze ellipsoïde haar vorm behouden met eenigszins gewijzigde assenverhouding. Als het veld loodrecht op de as staat, ondergaat zij een meer ingrijpende verandering van vorm en verkrijgt drie assen van verschillende lengte. In die onderstelling vindt de waargenomen dissymmetrie een volledige en natuurlijke verklaring.

Een niet-kristallijn bismuth-plaatje, zooals men dit verkrijgt door het metaal electrolytisch neer te slaan, bleek, zooals nu te verwachten was, in alle richtingen dezelfde eigenschappen te bezitten, omdat daarin de elementaire kristalletjes zonder regelmaat in alle richtingen dooreen liggen; de dissymmetrie bij de omkeering van het veld of van de beide electrodenparen bleef uit.

Van de verdere uitkomsten van Van Everdingen deelen wij nog mede, dat het Hall-effect sterk toeneemt, als de temperatuur lager wordt. In vloeibare zuurstof (-182°) is de transversale E. M. K. door een veld van bepaalde sterkte opgewekt 4 à 5 maal zoo groot als bij de gewone temperatuur. Ook de invloed van het veld op den weerstand van bismuth is bij die lage temperatuur veel grooter dan bij de normale temperatuur; zoo neemt de weerstand in een veld van 6000 Gauss 16 % toe bij gewone temperatuur, en in vloeibare zuurstof is de vermeerdering ruim 10 maal zoo

groot. In latere jaren heeft Kamerlingh Onnes met B. Beckman en met K. Kof de onderzoekingen over het Hall-effect en de weerstandsverandering in het magnetisch veld tot nog lagere temperaturen, in vloeibare waterstof en vloeibaar helium, uitgebreid.

Potentiaalverschil bij contact.

We willen nog eenige bijzondere moeilijkheden aanduiden, die bij de onderstelling van positieve electronen opdoemen, omdat we daarbij een welkome gelegenheid vinden om over enkele andere verschijnselen te spreken, waaraan in Nederland belangrijke onderzoekingen zijn gewijd; wij doelen op de verschijnselen der contact-electriciteit en wat daarmede samenhangt: thermostroom, Peltier-effect en Thomson-effect.

Volgens de electronentheorie ontstaat het P. V. tusschen twee metalen daardoor, dat de dichtheid der vrije electronen in verschillende metalen ongelijk is. Door het grensvlak van twee metalen moeten daardoor van het metaal met grootere electronen-dichtheid, dank zij hun warmte-beweging, meer electronen naar het andere metaal overgaan dan omgekeerd en deze eenzijdige electronen-stroom houdt eerst op, wanneer door de overmaat van electronen, die het tweede metaal verkrijgt, een P. V. ontstaan is, dat een verdere vermeerdering der electronen-dichtheid verhindert.

Indien nu twee soorten van electronen, positieve en negatieve, aan dit proces deelnamen, zoo zou geen bepaalde eindtoestand bereikt worden: want het is niet aan te nemen, dat een zelfde P. V. nu juist de diffusie van de beide soorten tot staan zou brengen. Er zou dus een toestand komen, waarbij evenveel positieve als negatieve electronen in dezelfde richting overdiffundeeren, m. a. w. het aantal electronen van beiderlei teeken neemt in het eene metaal voortdurend toe, in het andere af. Hier komt dus op een eigenaardige wijze de moeilijkheid voor den dag, die aan de dualistische electriciteits-theorie eigen is en waarop wij vroeger (blz. 120) de aandacht vestigden: de neutrale toestand is daarin geen volledig bepaalde toestand, omdat de hoeveelheden van de beide teekens willekeurig kunnen worden vermeerderd of verminderd, zonder dat men in de verschijnselen daarvan iets zou bemerken. In het onderhavige geval voert de hypothese tot de conclusie, dat zich in het eene metaal bij voortduur neutrale electriciteit door verbinding van + en - zou vormen, waar toch warmte-ontwikkeling mee gepaard zou moeten gaan, en daaraan zou een voortdurende splitsing van den neutralen toestand in + en - in het tweede metaal beantwoorden met een overeenkomstige warmte-absorptie. Van deze warmte-effecten wordt evenwel niets bemerkt en zij zou ook met de warmteleer in strijd zijn, die leert, dat warmte niet zoo maar, als er geen temperatuurverschil bestaat, van het eene naar het andere lichaam kan overgaan.

Tot dergelijke onaannemelijke voorstellingen komt men bij de beschouwing van het thermo-electrisch effect; een en ander maakt het dan ook zeer onwaarschijnlijk, dat er vrije deeltjes van beide teekens in de geleiders aanwezig zouden zijn.

Thermo-electriciteit. Peltier-effect. Thomson-effect.

Het bovengenoemde P. V. tusschen twee metalen zal in het algemeen van de temperatuur afhangen, omdat de electronen-dichtheden zulks doen. De thermo-electrische kracht in een uit twee of meer metalen samengestelden stroomkring met contactplaatsen op verschillende temperatuur is daarvan het onmiddellijk gevolg. Ook het Peltier-effect, d. w. z. de ontwikkeling of absorptie van warmte bij een overgang van electriciteit door het aanrakingsvlak van twee stoffen, is in de gegeven voorstelling gemakkelijk te verklaren. In de grenslaag moet een geleidelijke overgang van de electronen-dichtheid worden aangenomen en, wanneer de electriciteit deze laag doorloopt, zal positieve of negatieve arbeid worden verricht, die zich in de warmte-effecten openbaart. Men kan het ook eenvoudig zoo uitdrukken, dat tegen het P. V. tusschen de metalen door den stroom bij den overgang arbeid wordt verricht of opgenomen.

Iets dergelijks geldt voor de warmte-effecten bij een electronenbeweging door een metaal, dat ongelijk verwarmd is en waarin dus de electronen-dichtheid van punt tot punt verandert (Thomson-effect).

Thermodynamische wetten.

Veel algemeener dan de wetten der thermo-electrische verschijnselen volgens de electronentheorie zijn die, welke men zonder op het mechanisme in te gaan door thermodynamische beschouwingen heeft verkregen. Lorentz, die bij meer dan een gelegenheid de theorie der thermo-verschijnselen heeft behandeld, bewees ten slotte, dat de electronentheorie der metalen in een zoo min mogelijk gespecialiseerden vorm tot dezelfde betrekkingen voert als uit de warmteleer waren afgeleid. Met de experimenteele toetsing dezer wetten hebben Haga en een aantal zijner leerlingen zich bezig gehouden. H. Haga en C. Schoute (1905) bepaalden het Thomson-effect in kwik, A. Aalderink (1910) in ijzer en S. B. Elings (1918) in nikkel; het Peltier-effect tusschen ijzer en kwik werd gemeten door E. Oosterhuis (1911), dat tusschen koper en kwik, en tusschen nikkel en kwik door P. Terpstra (1917). De grootheden, waar het om te doen is, hangen in sterke mate af van den graad van zuiverheid der gebruikte materialen, en de bedoeling van deze systematische reeks van onderzoekingen was de constanten te bepalen voor volkomen zuivere stoffen, zooals kwik, of althans bij de metingen der verschillende constanten telkens dezelfde stof te bezigen. De theorie levert eenerzijds een verband tusschen thermo-electrische kracht

en Peltier-effect, anderzijds tusschen dezelfde grootheid en het Thomson-effect. Wat het eerste aangaat, hebben de proeven een alleszins bevredigende bevestiging der theoretische formule geleverd. Met het Thomson-effect is dit, ondanks de uiterste zorg aan de metingen besteed, nog niet mogen gelukken. De nauwkeurige bepaling van het Thomson-effect gaat met de grootste experimenteele moeilijkheden gepaard tengevolge van halsstarrige bronnen van fouten; toch schijnt het niet mogelijk de overblijvende afwijking van de theorie aan den experimenteelen kant te zoeken.

Laten wij de zaak eens van de experimenteele zijde bezien. Zooals men weet, wordt een geleider, waar een electriche stroom door gaat, warmer. Deze warmteontwikkeling hangt af van de sterkte van den stroom en van den electriche weerstand van den geleider: ze is samengesteld evenredig met de eerste macht van den weerstand en de tweede macht van den stroom (Wet van Joule) en dus ook altijd positief en onafhankelijk van de richting van den stroom. Als men den stroom omkeert, blijft zij even groot.

Nu denken wij ons twee verschillende metalen, bijv. een koperdraad en een ijzerdraad, met één uiteinde aan elkaar verbonden (gesoldeerd of geklonken), en laten een stroom dezen dubbelen geleider doorloopen. In de metalen afzonderlijk wordt dan volgens boven warmte ontwikkeld: bovendien heeft nu evenwel een bijzonder warmte-effect aan het contact der metalen plaats en dit effect kan positief of negatief zijn, het kan een ontwikkeling of een verdwijning van warmte, dus afkoeling zijn. Keert men den stroom om, wat op de warmteontwikkeling in de metalen zelve geen invloed heeft, zoo keert het teeken van het effect aan het contact, het Peltier-effect, om; was er eerst een klein ontstaan van warmte, dan vindt men nu een even sterk verdwijnen.

Men kan nu ook i. h. a. begrijpen, hoe men de aanwezigheid van een dergelijk „omkeerbaar” effect kan constateeren en meten: juist door den stroom om te keeren. Immers daarbij neemt men in het eerste geval de som der beide effecten waar en na de omkeering het verschil: het verschil der beide uitkomsten moet een maat zijn voor het dubbele van het Peltier-effect.

Het Thomson-effect is nog moeilijker te meten. Het bestaat in een door den stroom teweeggebracht warmte-effect, weder met de stroomrichting omkeerend, bij het doorloopen van een metaal, dat niet overal op gelijke temperatuur is. Dit effect moet natuurlijk weder bij de steeds aanwezige warmte-voortbrenging volgens de wet van Joule opgeteld, resp. daarvan afgetrokken worden. We kunnen het dus ook anders uitdrukken: ten gevolge van het Thomson-effect is de warmte-ontwikkeling door een electriche stroom in een ongelijk verhit metaal iets grooter, wanneer het in de eene richting, bijv. van koud naar warm, dan wanneer het in

de tegengestelde richting, van warm naar koud doorloopen wordt. Men begrijpt, hoe men in dit geval de twee effecten van elkaar a. h. w. kan afzonderen. Een geleider wordt aan het eene uiteinde door een waterbad of anderszins verwarmd, aan het andere koel gehouden. Men laat nu eerst in de eene richting een stroom den draad doorloopen en meet de temperatuur ergens in het midden; vervolgens keert men den stroom om. De temperatuur zal nu ter plaatse anders worden, omdat, terwijl het Joule-effect hetzelfde blijft, het Thomson-effect van teeken wisselt: de verandering van de waargenomen temperatuur beantwoordt blijkbaar aan het dubbele van het gezochte effect en de gemiddelde temperatuurstijging door den stroom aan het Joule-effect. Het laatste kan echter uit de afmetingen van den geleider nauwkeurig berekend worden en daaruit wordt door onderlinge vergelijking van de temperatuursverandering uit beiden hoofde het Thomson-effect bekend. Men kan de waarneming nog dubbel zoo nauwkeurig maken door twee achter elkaar geschakelde stukken metaal te nemen, waarvan het eerste van koud naar warm en het tweede van warm naar koud doorloopen wordt, de effecten in beide te vergelijken en dan den stroom te commuteeren.

Men zal bij de proeven de voorzorg nemen de Thomson-warmte, die uiterst gering is, zooveel mogelijk op den voorgrond te doen treden door de Joule-warmte te verkleinen; dit geschiedt door voor de geleiders dikke staven te kiezen, die dus zeer geringen weerstand hebben en tot een relatief geringe warmte-ontwikkeling door den stroom aanleiding geven, bedenkende, dat het Thomson-effect door die keuze niet verkleind wordt, daar dit uitsluitend afhangt van de reeks van temperaturen, die de stroom passeert.

Bij de laatste onderzoekingen in het laboratorium te Groningen is nog gebleken, dat de tot dien tijd verrichte bepalingen van het Thomson-effect weinig vertrouwen verdienen. De dikke staven, die voor het onderzoek gebruikt worden, geleiden de warmte uiterst snel weg of voeren haar gemakkelijk toe. Wat dus in het meettoestel als ontwikkelde of verdwenen warmte wordt gemeten en als Thomson-warmte werd geboekt, kan van buiten afkomstig zijn of daarheen afgevoerd, tenzij men de uiterste zorg aan het vermijden van deze bron van fouten besteedt. Het is gebleken, dat hierbij de Peltier-warmte aan de verbindingsplaatsen der experimenterstaven met de toeleidingsdraden een vèrdragenden invloed kan hebben, veel grooter dan men oppervlakkig zou verwachten, en waarschijnlijk zijn de meeste oudere metingen met die fout behept.

Zelfs de allerlaatste metingen, waarbij deze fout onschadelijk gemaakt was, vertoonen niet de gewenschte overeenstemming met de thermodynamische formule. Misschien zal de theorie herzien moeten worden met het oog op een onlangs door Benedicks waargenomen verschijnsel, waarmede in de theorie geen rekening gehouden was.

Warmtegeleiding en electriciteitsgeleiding in metalen.

De electronentheorie geeft een ongedwongen verklaring van het nauwe verband tusschen deze beide verschijnselen. De goede geleiders van den stroom zijn ook de beste warmtegeleiders; zilver en koper staan in beide opzichten vooraan en de volgorde der overige metalen, wat hun geleidingsvermogen betreft, is in beide gevallen dezelfde. De overeenstemming gaat zelfs zoo ver, dat de verhouding van de beide geleidingsvermogens voor alle metalen vrijwel even groot is (wet van Wiedemann en Franz). Deze wet doet vermoeden, dat bij de twee processen dezelfde dragers de hoofdrol spelen, en als zoodanig doen zich natuurlijk dadelijk de electronen aan de hand; deze toch worden voor den electricischen stroom verantwoordelijk gesteld en de vraag is dus, of ze ook warmte kunnen vervoeren.

Dit laatste is inderdaad het geval, als men zich voorstelt, dat de electronen aan de warmtebeweging der materieele atomen deelnemen. Volgens de kinetische theorie, die hier toegepast moet worden, bestaat er tusschen de bewegingen van verschillende door elkaar gemengde deeltjes in den stationnairen toestand een zeer eenvoudig verband: alle deeltjes, of ze groot of klein, zwaar of wel licht zijn, hebben bij bepaalde temperatuur gemiddeld een even groote bewegingsenergie; deze energie is recht evenredig met de absolute temperatuur, d. i. de temperatuur geteld van het absolute nulpunt -273° C. Dit verband tusschen de energie van verschillende deeltjes is het gevolg van de wisselwerking tusschen hen, die v. n. bij de botsingen plaats heeft. Deze hebben n. l. de neiging om aan de deeltjes met grootere energie een deel daarvan te onttrekken, hetwelk dan op de deeltjes met kleinere energie overgaat. Deze wet wordt niet alleen bewezen wat de vrij rondvliegende moleculen in een gas of gasmengsel aangaat, maar bijv. ook voor vaste lichamen; in dat geval is het de energie van de trillingen der atomen, die gemiddeld een zelfde door de temperatuur volledig bepaalde waarde aanneemt.

Men neemt nu dit verband ook voor de electronen te midden der atomen aan: deze toch zullen zoowel onder elkander als met de atomen botsen en dientengevolge in den stationnairen toestand gemiddeld dezelfde kinetische energie verkrijgen als de moleculen van een gas bij dezelfde temperatuur. Daar de massa der electronen 1840 maal kleiner is dan die van een waterstof-atoom en dus 3680 maal kleiner dan die van een waterstof-molecuul, zullen hun snelheden gemiddeld meer dan 60 maal ($=\sqrt{3680}$) grooter zijn dan die van de waterstof-moleculen bij dezelfde temperatuur; ze bewegen zich dus bij de gewone temperatuur met snelheden van meer dan 100 K.M. per secunde. Door het groot aantal botsingen met de atomen wordt echter hun voortgang in sterke mate beperkt, evenals met de moleculen in een gas het geval is: telkens worden zij op hun weg teruggeworpen.

Heeft nu het metaal aan het eene uiteinde een hoogere temperatuur dan verder op, zoo zullen de atomen aldaar een meer intensieve trillings-energie bezitten en de electronen zullen daar met grootere snelheden heen en weer vliegen. Er is dan geen evenwicht met de naburige lagen van het metaal, want de electronen zullen met hun grootere snelheden telkens in lagen van lagere temperatuur terecht komen en dus aan de aldaar aanwezige atomen energie afstaan. Op deze wijze dragen de electronen energie van hoogere naar lagere temperatuur over en diffundeert allengs de warmte van laag tot laag.

Evenals bij de warmtegeleiding in gassen, waar het de moleculen zelve zijn, die voor het transport der warmte zorg dragen, hangt de snelheid van het transport o. a. daarvan af, hoe ver een electron gemiddeld doorvliegt, voordat het met een volgend atoom in botsing komt, dus van de zoogenaamde „gemiddelde weglengte”. Hoe grooter die is, des te spoediger zal de warmte zich door de stof voortbewegen. Eveneens is de geleiding grooter, naarmate de snelheid der electronen grooter is, al weder omdat dan de overdracht van energie in korter tijd plaats vindt.

Gemakkelijk is het nu in te zien, dat ook bij de electriche geleiding de warmtebeweging en de weglengte een rol spelen. Voordat het potentiaalverschil wordt aangelegd, waardoor de electronen hun eenzijdige beweging verkrijgen, bewegen zij zich volkomen „ongeordend”, zooals de kunstterm in de kinetische theorie luidt. Door de electriche kracht ondervinden zij een drang in de eene richting; dus op de ongeorderde warmtebeweging wordt een stroomende beweging gesuperponeerd. Gedurende den tijd, dat het electron zijn vrijen weg tusschen twee opeenvolgende botsingen aflegt, kan de electriche kracht haar werking er op doen gelden en verkrijgt het derhalve een zekere snelheid in de richting, waarin de kracht drijft. Die snelheid is des te grooter, naarmate de vrije weglengte langer is, en des te kleiner, naarmate het electron sneller vliegt, immers dan wordt de vrije weg in korter tijd afgelegd en is dus de tijd, gedurende welken de electriche kracht er op werkt, eveneens korter. Bij de botsing met een atoom gaat de verkregen stroomsnelheid bijna geheel verloren, doordat het atoom zooveel zwaarder is dan het electron, en dan begint de werking van de kracht van nieuws af aan. Gemiddeld genomen is dus de stroomsnelheid de helft van die, welke zij gedurende hun vrijen loop erlangen. Het is verder een quaestie van berekening om dat alles in een formule uit te drukken.

Alles samengenomen is de warmtegeleiding dus evenredig met het aantal aanwezige electronen, met hun vrije weglengte en met hun snelheid; de stroomgeleiding eveneens met het aantal en de weglengte, daarentegen omgekeerd evenredig met de moleculaire snelheid. Wanneer men dus de verhouding van de twee grootheden opmaakt, verdwijnen de beide eerstgenoemde factoren, d. w. z. de verhouding blijkt onafhankelijk te zijn juist

van die twee grootheden, welke in verschillende metalen anders zullen zijn, de dichtheid van den electronenzwerm en hun weglengte, wat niet anders is dan de wet van Wiedemann en Franz. De moleculaire snelheid daarentegen valt bij de deeling niet weg, maar komt in den teller van de uitkomst in het kwadraat te staan, wat niet anders zeggen wil, dan dat de verhouding recht evenredig is met de absolute temperatuur; ook deze uitkomst wordt door de waarnemingen vrij nauwkeurig bevestigd. Tusschen 18° en 100° zou de vermeerdering volgens de theorie door den factor $(273 + 100) : (273 + 18) = 1.28$ uit te drukken zijn, terwijl de proeven getallen hebben opgeleverd, die met een enkele uitzondering voor de verschillende metalen tusschen 1.26 en 1.35 wisselen. Men kan de verhouding der beide geleidingsvermogens volgens de bovenstaande door Drude gegeven theorie in getalwaarde uitrekenen en vindt dan bijv. voor zilver een bijna volledige overeenstemming: theoretisch zou de verhouding bij 18° (in bepaalde hier niet nader te specificeren eenheden) 66 moeten bedragen, terwijl experimenteel 68 gevonden is.

Lorentz heeft deze theorie nauwkeuriger uitgewerkt, door bijvoorbeeld ook acht te slaan op het feit, dat niet alle electronen een even groote snelheid bezitten; het gaat met deze als met de moleculen in een gas: sommige hebben grootere snelheden dan het door de temperatuur vastgelegde gemiddelde, andere kleinere. Zelfs als men eens aannam, dat de deeltjes aanvankelijk alle een even groote snelheid bezaten, zou deze overeenstemming spoedig verloren gaan: iedere botsing doet de snelheden der botsende deeltjes in tegengestelden zin een verandering ondergaan. Dezelfde wet der „snelheids-verdeeling” over de deeltjes, die Maxwell voor gasmoleculen afleidde, zal ook voor de electronen-atmosfeer in het binnenste van een metaal moeten gelden. Verder is de weglengte nu eens grooter en dan weer kleiner en ook die omstandigheid bracht Lorentz in rekening. Helaas: toen dat alles in de theorie zijn rechtmatige plaats werd toegewezen, ging de mooie overeenstemming met de waarneming verloren: de genoemde verhouding zou slechts het $\frac{2}{3}$ moeten bedragen van wat Drude vond, dus bijv. voor zilver 44 in plaats van 68, zooals de proefneming gaf. Tot nu toe is deze tegenspraak niet opgehelderd. Wellicht dat de wederzijdsche botsingen of werkingen der electronen een invloed uitoefenen; deze werden in de theorie verwaarloosd, omdat men daarover zonder meer weinig zeggen kan en ze van ondergeschikt belang mochten worden geacht.

Warmte-straling en -absorptie volgens de electronen-theorie.

Over de absorptie van licht- en warmtestralen door metalen spraken wij reeds vroeger (zie blz. 143) bij de toetsing van de electro-magnetische theorie. Daar bleek ons, dat als men in de theoretische formule voor den

absorptie-coëfficiënt de experimenteele waarde van het geleidingsvermogen substitueert, een te groote uitkomst wordt verkregen, en de oorzaak hiervan werd ook opgehelderd. Men kan nu aansluiting met de electronentheorie verkrijgen door in de formule van Maxwell niet de gemeten waarde te gebruiken, maar de zoeven besproken waarde, die deze theorie oplevert. Zodoende wordt een uitdrukking voor den absorptie-coëfficiënt verkregen, die geheel op theoretische voorstellingen berust.

In nauwen samenhang met het absorptievermogen staat het emissievermogen eener stof; volgens de beroemde wet van Kirchhoff, die op thermodynamische grondslagen gevestigd is, moet de verhouding van beide vermogens voor alle stoffen even groot zijn, dus een „universeele” functie van temperatuur en golflengte. Lorentz kwam nu op de gedachte om voor een metaal ook het emissievermogen uit de electronentheorie af te leiden.

De grondgedachte dezer theorie is, dat de uitgestraalde warmte-energie van de electronen afkomstig is. Zooals wij vroeger zagen, zetelt de bewegingsenergie van de electronen in het magnetisch veld, waardoor zij, dank zij hun beweging, omgeven zijn. Nu leert verder de theorie daaromtrent, dat zoolang het electron met standvastige snelheid voortgaat, dit veld zonder verandering met het electron medeloopt, zoodat ook de energie onveranderd blijft. Zoodra echter om welke reden ook het electron een snelheidsverandering ondergaat, zal het gedurende die verandering energie verliezen, doordat er een electro-magnetische golfbeweging van uit gaat: het electron straalt dus dan naar buiten. Zulk een verandering van snelheid, zal nu bij iedere botsing van een electron met een metaalatom plaats vinden, want ook een richtingsverandering is mechanisch gesproken een snelheidsverandering, en Lorentz slaagde er in de straling, die daaruit voortvloeit, in een formule uit te drukken, althans voor niet te kleine golven, dus voor niet te hooge temperatuur van het metaal. Het bleek, dat de grootheden, die karakteristiek zijn voor het metaal, op zoodanige wijze in de uitkomst voorkomen, dat zij bij deeling op de formule voor het absorptievermogen wegvallen. In de verhouding blijven dus alleen de temperatuur en de golflengte over, benevens universeele constanten, wat dus met de wet van Kirchhoff strookt. Dezelfde uitdrukking werd vroeger op andere wijze door Rayleigh verkregen; ze stemt voor groote golflengten, voor welke ze is afgeleid, overeen met de stralingsformule van Planck, die het beloop van de straling in het algemeen juist weergeeft. Tot nu toe is het niet gelukt de straling van metalen voor kleinere golflengten, dus b.v. voor het zichtbare licht, uit de beginselen van de electronentheorie af te leiden. Later delen we nog iets meer over de stralingstheorie mede.

Verdere bijdragen.

Zoowel op zuiver electricch gebied als op dat van het licht is nog

heel wat materiaal, dat wij niet gebruikt hebben, deels theoretisch, gedeeltelijk ook proefondervindelijk. Wij zien ons gedwongen ons met een droge opsomming te vergenoegen. De proefschriften van J. Kors over de potentiaal-functie (Groningen 1879), van A. van Thijn over elektrische stroomen in platen (Amst. 1893), van P. van Mourik over den Vector-potentiaal (Utrecht 1896), van H. van der Kamp over de ponderomotorische krachten (Leiden 1897), van J. A. Vollgraff over electro-magnetische draaiingen en unipolaire inductie (Leiden 1903) en van F. L. Bergansius over de berekening van zelfinductie (Utrecht 1912) verdienen genoemd te worden. Voorts die van C. L. van den Broek over vonkwarmte bij elektrische trillingen (Amst. 1898), van J. H. Meerburg over polarisatie bij de electrolyse (Utrecht 1894) en wat betreft het aardmagnetisme die van mejuffrouw A. J. M. van Vleuten over de dagelijksche variaties (Utrecht 1917).

Over quaesties, die bij de interferentie van het licht te pas komen, handelen de dissertaties van D. P. Moll (Utrecht 1900), D. P. A. Verrijp (Leiden 1902) en L. F. Wenniger (Groningen 1908). W. C. Mandersloot deed een onderzoek over de breedte van spectraallijnen (Utrecht 1914). Zoowel deze als talrijke kleinere mededeelingen van anderen, als daar zijn van V. A. Julius (over de interferentie bij kwartsdraden), P. Zeeman (over den phasesprong bij het passeeren van een brandpunt), H. Haga (over een bijzondere opstelling van een buigingstralie), H. B. A. Bockwinkel (over lichtbeweging in twee-assige kristallen) en W. J. de Haas (over de verklaring van de dradige structuur van buigingsfiguren) moeten wij onbesproken laten.

Hetzelfde geldt van den elektrischen en optischen arbeid onzer physiologen, dat buiten ons kader valt. Toch kunnen wij niet nalaten den naam te noemen van A. Cramer (1822—1855), van wien de verklaring van het accommodatie-vermogen van het oog afkomstig is.

Absolute elektrische metingen.

Ook op dit terrein hebben landgenooten zich niet onbetuigd gelaten. We zullen een en ander hier de revue laten passeeren. Vooreerst enkele metingen in het laboratorium te Groningen verricht, die hebben bijgedragen tot de kennis van de internationaal vastgestelde elektrische eenheden. G. van Dijk en J. Kunst stelden een onderzoek in omtrent de bronnen van fouten in den zilver-voltameter, het instrument, waarmede stroomen in absolute maat kunnen worden gemeten door middel van de hoeveelheid neergeslagen zilver. Haga en J. Boerema bepaalden de electromotorische kracht van het Weston-element, d. i. het galvanisch element, dat als standaard voor E. M. K. is aangenomen en waaraan ook onder leiding van E. Cohen te Utrecht uit een scheikundig oogpunt uitvoerige onderzoekingen zijn gewijd (P. J. H. van Ginniken 1910, W. D. Helderma 1915, C. I. Kruisheer 1916, R. T. A. Mees 1916).

C. H. Wind deed te Groningen een bepaling van de intensiteit van het aardmagnetisme volgens een methode van Kohlrausch, welke daarom van bijzonder belang was, dat bij den bouw van het laboratorium het gebruik van ijzer vermeden was. De kleine oneffenheden in het magnetisch veld, die bleken te bestaan, konden aan het ijzergehalte van den baksteen worden toegeschreven. Later volgden metingen van J. Kunst.

Instrumenten.

Uit hetzelfde laboratorium zijn in den loop van den tijd verschillende praecisie-instrumenten en andere voortgekomen, waarvan we enkele nog niet genoemd hebben. Een dubbel-bifilair electrometer van A. H. Borgesius (proefschrift 1892), waarmede een hooge E. M. K. gemeten kan worden; een absolute electrometer met spiegelaflezing, eveneens van Borgesius; een vijf-vleugelige quadrant-electrometer en een projectie-electrometer van een gewijzigd type-Braun, in gevoeligheid inliggende tusschen den gewonen electrometer van Braun en den goudblad-electroscoop, beide van Haga.

Van elders noemen we den electro-dynamometer van J. W. Giltay, uit de bekende werkplaats van Kipp en Zonen te Delft, die trouwens op allerlei gebied oorspronkelijke instrumenten aan de wetenschap heeft geschonken, naar eigen ontwerp of volgens aanwijzing van andere natuurkundigen.

HOOFDSTUK IV.

ABERRATIE. STRALINGEN. MAGNETISME.

Optische en electriche verschijnselen in lichamen, die zich bewegen.

Indien men in aanmerking neemt, dat de electriche werkingen en het licht zich met de enorme snelheid van 300000 kilometer per secunde voortplanten, kan men dadelijk inzien, dat een invloed van de beweging der lichamen, die het licht uitzenden of opvangen, op de verschijnselen alleen dan te verwachten is, wanneer ook die beweging met groote snelheid plaats vindt. Voor het onderzoek naar een dergelijken invloed komen dus ook in de eerste en voornaamste plaats de hemellichamen, met inbegrip van de aarde zelve, in aanmerking.

Over een bepaalden invloed werd reeds vroeger gesproken: door de beweging van een lichtbron ten opzichte van den waarnemer of omgekeerd ontstaat een schijnbare verandering van den trillingstijd en dus van de golflengte; dit is het beginsel van Doppler, waarop wij hier niet zullen terugkomen.

Aberratie van het licht.

Van geheel anderen aard is het verschijnsel, dat reeds in 1726 door Bradley ontdekt werd, de aberratie van het licht der vaste sterren, hetwelk in de beweging van de aarde in haar loop om de zon zijn verklaring vindt. Men kan de aberratie gemakkelijk verklaren, als men het licht, zooals Newton in zijn emissie-theorie deed, opvat als een stroom van deeltjes. Evenals loodrecht naar beneden vallende regendruppels van een bewegenden trein uit gezien schuin schijnen te vallen, omdat niet hun werkelijke beweging ten opzichte van de aarde, maar hun beweging ten opzichte van den trein wordt waargenomen, zoo moet ook het licht, dat van een hemellichaam afkomstig is, door de beweging van de aarde met

inbegrip van de waarnemers en de kijkers, waarmee men waarneemt, een andere richting schijnen te hebben dan die, waarin de ster zich werkelijk

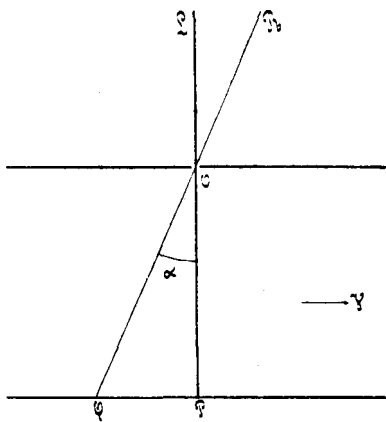


Fig. 7.

bevindt. Het loodrecht invallende licht, de opening O (fig. 7) passerende, zal niet het punt P treffen, maar een punt Q, omdat, terwijl het licht het onderste vlak nadert, dit laatste naar rechts vooruitgaat. Het oog in Q geplaatst zal het licht door O zien aankomen en dus niet in de werkelijke richting L, maar langs R. De afstand QP wordt door den waarnemer in denzelfden tijd afgelegd als OP door het licht. De hoek van afwijking α , d. i. de aberratie, is dus des

te grooter, naarmate de snelheid van den waarnemer v grooter is ten opzichte van de lichtsnelheid c (goniometrisch uitgedrukt heeft men $\tan \alpha = v/c$).

De verklaring is minder gemakkelijk, wanneer men zich op het standpunt der undulatie-theorie plaatst. Men wordt dan onmiddellijk voor de vraag gesteld, hoe het met de beweging van de middenstof, den wereld-aether, gesteld is. Is de aether in rust en vliegt de aarde door den aether heen zonder die rust te verstoren, of sleept zij den aether volledig of gedeeltelijk met zich mede? De wijze, waarop de lichtgolven zich voortplanten, zal anders wezen, indien de aether niet aan de beweging van de aarde deelneemt, dan indien dit wel het geval is. De eerstgenoemde hypothese is die, welke Lorentz aan al zijn theorieën ten grondslag heeft gelegd; over de tegengestelde zienswijze zullen wij later gelegenheid hebben een enkel woord te zeggen.

De hypothese van den stilstaanden aether werd gesteld door Fresnel; zooals hij het eerst aantoonde, is in die onderstelling de verklaring van de aberratie bij de door de figuur weergegeven eenvoudige proef gemakkelijk. De lichtgolfjes, die zich van de door het licht getroffen opening naar beneden uitbreiden in een aether, die aan de beweging van de twee vlakken geen deel neemt, zullen door hun samenwerking een bundel opleveren, die loodrecht naar beneden gericht is en dus weder niet P maar Q zal treffen, zoodat de uitkomst niet anders is dan zooeven. Bij deze redeneering wordt de opening ondersteld niet zoo klein te zijn, dat de buiging van het licht in aanmerking behoeft te worden genomen.

Moelijker wordt het vraagstuk in het geval van een kijker, die naar de ster gericht is, waarbij dus de golven o. a. het glas van het objectief moeten doorloopen. De voortplanting is in het glas langzamer dan in de lucht of het vacuum, in een verhouding, die door den brekingsindex wordt aangegeven. Welken invloed heeft de aanwezigheid van deze dichtere middenstof op het verschijnsel? Men kan de zaak vereenvoudigen door

zich niet een kijker te denken, maar dezelfde eenvoudige opstelling als zooeven, waarbij men nu evenwel de geheele ruimte tusschen de vlakken met een doorschijnende stof — glas of water — gevuld denkt, die aan de beweging naar rechts deelneemt. Inderdaad heeft men wel eens een proef genomen, die in beginsel met deze denkbeeldige proef in overeenstemming was, n.l. waarbij de kijker geheel met water gevuld werd; men bevond dan, dat de aberratie-hoek geheel dezelfde waarde bleef behouden als zonder het water. Aan de theorie moet de eisch gesteld worden, dat zij dit verschijnsel kan verklaren. Bij onze denkbeeldige proef komt dit daarop neer, dat de stralen, zooals men ze in het bewegende stelsel waarneemt, bij de breking aan de gewone wet van Snellius gehoorzaamt, die ook geldt als het stelsel stilstaat.

De emissie-theorie slaagt hierin zonder bijkomstige hypothese (fig. 8). Daarbij bedenke men, dat volgens haar de snelheid van het licht in de

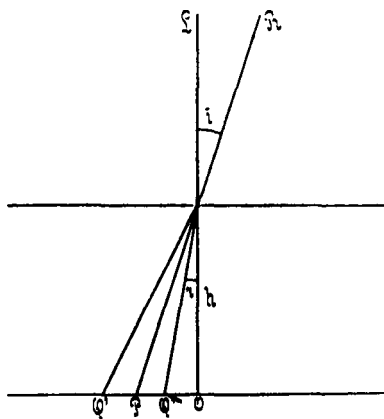


Fig. 8.

middenstof, die wij c' zullen noemen, niet kleiner maar grooter is dan in den aether, zoodat men heeft voor den brekingsindex $n = \sin i / \sin r = c'/c$, en niet als in de undulatie-theorie c/c' . In de formules mogen de sinus en tangens door den hoek zelf vervangen worden, omdat de voorkomende hoeken uiterst klein zijn. Valt het licht weder loodrecht in, dan zal het zonder het water in de richting R gezien worden, zoodanig dat $\tan i = i = v/c$. Het licht gaat nu in de middenstof in de loodrechte richting verder, maar treft niet P, zooals zonder de middenstof, maar Q,

rechts van P, zoo gelegen dat $\tan r = r = v/c'$. Uit de twee vergelijkingen volgt $i/r = c'/c$, wat met de waargenomen brekingswet klopt.

Men ziet nu ook dadelijk, dat het met de undulatie-theorie zonder meer niet zal gelukken de beoogde overeenstemming met de waarneming te verkrijgen. Volgens haar toch is de voortplantingssnelheid in de middenstof n malen kleiner dan in den aether, het licht doet dus langer over den af te leggen afstand h en in dien langeren tijd is de verplaatsing van het systeem naar rechts grooter, zoodat niet het punt Q maar een punt Q' links van P getroffen zou worden, terwijl toch, zooals wij juist zagen, de waarneming leert, dat Q getroffen wordt.

Een nieuwe onderstelling was derhalve noodig: deze bestaat daarin, dat het licht (let wel: het licht, niet de aether) door de zich voortbewegende middenstof wordt medegesleept tot een zoodanig bedrag, dat inderdaad Q door het licht geraakt wordt. Met het oog op de figuur kan men gemakkelijk uitrekenen, hoe groot deze meesleepingssnelheid zal moeten wezen. Het licht doet over den verticalen afstand h een tijd h/c' , en deze

tijd vermenigvuldigd met de gezochte snelheid v' moet gelijk zijn aan $Q Q'$, dus $Q Q' = v' h/c'$. Verder is $Q' O$ de afstand, dien het systeem in dien zelfden tijd aflegt, dus gelijk aan $v \times h/c'$; voor $Q O$ vindt men dadelijk PO/n en dus volgens de beteekenis van $PO = hv/c$, $QO = vh/nc$, zoodat $QQ' = Q'O - QO = vh/c' - vh/nc = vh/c' (1 - 1/n^2)$ en eindelijk $v' = v (1 - 1/n^2)$. De meesleepingssnelheid is dus, zooals te verwachten was, kleiner dan de snelheid van voortbeweging van de middenstof; de verhouding van beide snelheden $(1 - 1/n^2)$ heet de meesleepingscoëfficiënt van Fresnel.

Proef van Fizeau.

Wij komen op de aberratie-verschijnselen straks terug, maar inmiddels willen wij de beroemde, vernuftige proef bespreken, met behulp waarvan Fizeau de hypothese van Fresnel op de proef stelde en bevestigd vond. Fizeau splitste een lichtbundel in twee deelen, liet deze deelen twee evenwijdige, met water gevulde buizen doorloopen, liet ze daarna terugkaatsen en nu, na verwisseling van hun ligging, denzelfden weg in tegengestelden zin door de beide buizen afleggen. Na uittreding worden de bundels samengebracht en vormen een interferentiebeeld. De twee bundels doorloopen dus alle twee de beide buizen: daardoor wordt de invloed van alle kleine plaatselijke en tijdelijke veranderingen in de optische dichtheid van de vloeistof op den looptijd der beide bundels gecompenseerd en het interferentiebeeld ondervindt daarvan dus evenmin een invloed.

Nu wordt het water in strooming gebracht, zoodanig, dat het de twee buizen in tegengestelde richtingen doorstroomt. De eene lichtbundel loopt dus in beide buizen met den stroom mede, de andere tegen den stroom in. Volgens de hypothese van Fresnel wordt daardoor de eerste meegesleept en de andere iets tegengehouden, zoodat de eerste iets vroeger, de andere iets later op het vereenigingsvlak aankomt en het interferentiebeeld een kleine verschuiving ondergaan moet. Keert men de richting van den waterstroom om, dan zal een verschuiving in de andere richting daarvan het gevolg moeten zijn. Het te verwachten effect is zeer gering: immers het hangt af van de verhouding tusschen de meevoeringssnelheid, die nog kleiner is dan die van het water, en de lichtsnelheid in het water. De laatste is $\frac{3}{4} \times 3 \times 10^8$ meter per seconde; bij een snelheid van het water van b.v. 5 meter per seconde (aan het gebruik van grootere snelheden zijn practische bezwaren verbonden) moet dus het effect gemeten worden van een verandering van een 50-miljoenste in de lichtsnelheid. Gelukkig, dat men in de interferentie-methode een instrument van voldoende gevoeligheid bezit om een dergelijk miniem verschil te onderkennen.

Hoe langer de buizen, des te grooter is de verschuiving, die te verwachten is, immers des te meer geraken de beide bundels bij elkaar ten achter. Bij Fresnel waren de buizen 1.5 meter lang en was dus de in het

water afgelegde weg 3 meter; in de proeven van Michelson en Morley, die het onderzoek herhaalden, was de weg 6 meter.

Ook de laatste proeven leverden binnen de grenzen der nauwkeurigheid een bevestiging van de door Fresnel gemaakte onderstelling. Maar er bestond aanleiding, om ze nog eens voor licht van verschillende kleur te herhalen. Lorentz, die aan de theorie van de aberratie en daarmee ook aan de meesleeping van het licht door een bewegende doorschijnende stof uitvoerige studiën had gewijd, vond voor den coëfficiënt een waarde, die nog een correctie bevatte, nl. $1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda}$ waar λ de golflengte en $\frac{dn}{d\lambda}$ de verandering van den brekingsindex met de golflengte voorstellen. De nieuwe term ontstaat door in aanmerking te nemen, dat de frequentie van de lichtrillingen ten opzichte van het bewegend medium een andere is, dan de werkelijke frequentie ten opzichte van den stilstaanden aether, m. a. w. door toepassing van het beginsel van Doppler, waarvan in het voorgaande reeds eenige malen sprake was. Voor de snelheid in het medium moet nu die genomen worden, welke betrekking heeft op de volgens dat beginsel gewijzigde frequentie, of anders gezegd gewijzigde golflengte. De toevoeging kan alleen worden getoetst door nieuwe proeven, waarin in plaats van wit licht homogeen licht van verschillende golflengten wordt gebruikt; deze toetsing was nog daarom gewenscht, dat twijfel geopperd was aan de juistheid van de formule van Lorentz.

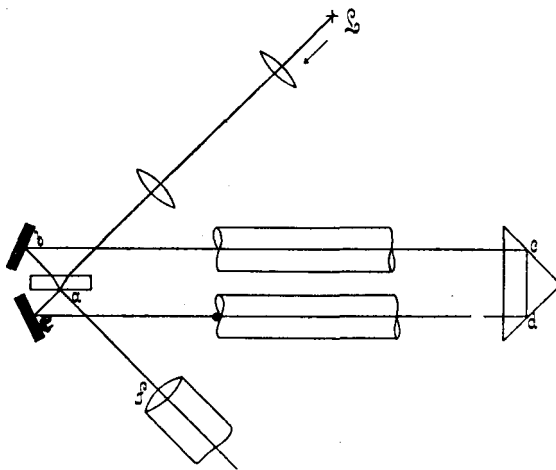


Fig. 9.

Deze taak is door Zeeman op zich genomen en de uitkomst was een volkomen bevestiging van de theoretische formule. In figuur 9 ziet men den toestel, dien Zeeman voor deze proef deed construeeren, schematisch afgebeeld. De inrichting was principieel dezelfde als bij Michelson, alleen in details verschillend. De invallende bundel L a ontmoet een halfverzilverde plaat in a. Hier wordt de bundel in een teruggekaatsten en een doorgelaten ontbonden. De teruggekaatste volgt den weg a b c

de a f, de doorgelaten den weg a e d c b a f. De twee bundels, die in f aankomen, hebben identieke wegen afgelegd. In het brandvlak van f wordt het stelsel van interferentiestrepen gevormd, waarvan bij de proef de verschuiving moet worden waargenomen. De twee evenwijdige buizen, in de figuur afgebroken weergegeven, waren 3 meter lang. De snelheid van het water langs de as der buizen, waar de lichtbundels liepen, was ongeveer 5.5 meter per secunde. Onder die omstandigheden bedroeg de

verschuiving van de interferentie-strepen voor het violette licht, dat gebruikt werd, 0.8 en voor het roode licht 0.5 van den afstand der strepen. Het volgende tabelletje geeft voor de verschillende golflengten de waarde van den coëfficiënt van Fresnel ten eerste zonder de correctie, vervolgens met de correctie van Lorentz en eindelijk volgens de metingen. De overeenkomst der beide laatste kolommen laat niets te wenschen over.

λ (in millioenste deelen van een millimeter)	ϵ_F	ϵ_L	$\epsilon_{\text{exp.}}$
450	0.443	0.464	0.465
458	0.442	0.463	0.463
546	0.439	0.454	0.451
687	0.435	0.447	0.445

Strooming door buizen.

Op een onderdeel van de metingen willen wij iets nader ingaan. De waterstroom werd aan de stadsleiding ontleend. Men kan de hoeveelheid water, die per secunde doorstroomt, met behulp van een watermeter bepalen of door het water, dat in een gemeten tijd doorstroomt, op te vangen en te meten. Deze hoeveelheid zal afhangen van de toevallige drukking, die in de leiding heerscht, maar het bleek, dat er een eenvoudig verband bestond tusschen drukking en stroom, zoodat het mogelijk was, ook wanneer de drukking van de normale naar boven of beneden afweek, de sterkte van den stroom te vinden. Gedurende elke afzonderlijke proef moest de drukking standvastig blijven, anders werd de uitkomst dezer proef niet in rekening gebracht.

Uit de doorstroomende hoeveelheid vindt men de gemiddelde lineaire snelheid van het water door het per secunde verplaatste volume door het oppervlak van de doorsnede te deelen. Maar daarmee is het gestelde doel, de kennis van de snelheid op de as van de buis, nog niet bereikt. Deze laatste is grooter dan de gevonden gemiddelde snelheid, want aan den wand wordt het water door de wrijving tegengehouden; de buitenste cilindervormige laag, die door den wand wordt vastgehouden, remt op haar beurt de tegen haar aan liggende, meer naar binnen gelegen laag en zoo vervolgens. Iedere laag ondervindt van binnen een voortdrijvende wrijvingskracht en aan de buitenzijde een remmende wrijving en in den stationnair stroomtoestand maken deze evenwicht met den druk. Het is dus duidelijk, dat de snelheid op de as grooter zal zijn dan elders in de buis en dus ook grooter dan de gemeten gemiddelde snelheid. Maar hoeveel grooter? Men kan het antwoord hierop vooreerst langs theoretischen weg zoeken door het boven geschetste wrijvingsproces aan berekening te onderwerpen en vindt dan, dat de snelheid in het midden der buis juist tweemaal zoo groot is als de gemiddelde.

Aan deze uitkomst heeft men echter in het onderhavige geval niets,

want die theorie geldt alleen voor betrekkelijk kleine snelheden; wanneer een bepaalde „kritische” snelheid wordt overschreden, afhankelijk van de wijidte van de buis en ook van den aard der vloeistof, wordt de beweging geheel anders dan in de gegeven beschrijving en in de genoemde theorie aangenomen is (Osborne Reynolds): door het groote verschil in de snelheid der naburige lagen ontstaat wervelbeweging, waardoor ze veel sterker op elkaar inwerken; de asbeweging wordt dan door de omliggende lagen aanmerkelijk sterker vertraagd en het resultaat is, dat de gemiddelde snelheid veel grooter is dan de helft van de maximale snelheid. Theoretisch kan het vraagstuk der turbulente strooming niet volledig worden opgelost ¹⁾.

Men moet dus proefondervindelijk te werk gaan: uitvoerige proeven van Amerikaansche ingenieurs hadden geleerd, dat de gemiddelde snelheid 0.84 malen de assnelheid bedraagt. Zeeman heeft zich daarmee niet tevreden gesteld, maar ten overvloede de zaak zelf onderzocht. Te dien einde werd een toestel gebouwd van denzelfden aard als die, welke voor de herhaling van de proef van Fizeau diende, maar met een glazen buis, zoodat het stroomende water kon worden waargenomen. Voordat het water den toestel binnentreedt, wordt het met een groot aantal gas-belletjes beladen door er een electrischen stroom door te sturen, die het water in zuurstof en waterstof ontleedt. Bij sterke verlichting ziet men in een kijker, die op de buis gericht is, de banen dezer gasbelletjes scherp afgeteekend. Om nu de gezochte snelheid der deeltjes, in het bijzonder langs de as, te leeren kennen, worden de banen niet onmiddellijk door den kijker gezien, maar richt men den kijker op het beeld dezer lichtlijnen in een vlakken spiegel, die met standvastige snelheid om een as, evenwijdig aan de as van de buis, ronddraait. Door de samenstelling van de beweging der deeltjes met de schijnbare beweging loodrecht daarop, die het gevolg is van de wenteling van den spiegel, ziet men de banen nu schuin en de meting van den hoek hunner richting met de as van de buis geeft in verband met de bekende wentelingssnelheid van den spiegel de gevraagde snelheid der belletjes. Voor de verhouding van gemiddelde snelheid tot maximale snelheid werd zodoende 0.843 gevonden, wat dus de uitkomst der vroegere waarnemers volledig bevestigt.

Het verdient nog opmerking, dat bij de turbulente beweging de snelheid in de buurt van de as naar de peripherie langzamer afneemt dan bij de beweging met kleinere snelheid: dit komt zoowel aan de nauwkeurigheid van de juist genoemde meting als aan die van de eigenlijke proef van Fizeau ten goede, daar een niet volkomen samenvallen van den lichtstraal met de as dan weinig hindert.

¹⁾ Over de turbulente strooming heeft Lorentz een verhandeling geschreven.

Meesleeping van het licht volgens de theorie.

In de proeven van Zeeman vindt de hypothese van Fresnel in haar door Lorentz aangevulden vorm een schitterende bevestiging. Er kan nu aan worden toegevoegd, dat het aan Lorentz gelukt is ook te doen zien, dat de meesleeping van het licht in de mate als door den coëfficiënt van Fresnel wordt aangegeven uit de electromagnetische theorie voortvloeit en ook uit de electronen-theorie vanzelf voor den dag komt. Het is jammer, dat het niet mogelijk is dit volledig te doen zien zonder een mathematische ontwikkeling, die buiten het bestek van dit boek zou vallen. Wij moeten ons dus met een kwalitatieve uiteenzetting tevreden stellen.

De invloed, dien de beweging van het lichaam door den aether heeft, is het gevolg daarvan, dat de electriche ladingen, die door het licht in trilling worden gebracht, aan het lichaam vastzitten en derhalve door het lichaam in zijn beweging worden medegevoerd. Het meetrillen van die ladingen heeft een invloed op de voortplantingssnelheid, immers daarop berust de omstandigheid, dat zij in het lichaam een andere is dan in den vrijen aether (blz. 146), en het is te begrijpen, dat deze invloed iets anders uitvalt, wanneer deze ladingen zich ten opzichte van den aether bewegen. Men behoeft slechts te bedenken, dat de beweging van een lading met een stroom gelijk staat en dat dus in het wisselende magnetische veld van de lichtbeweging op de ladingen wisselende krachten zullen werken, die er niet zijn, indien het lichaam stilstaat. Uit de algemeene wetten der electriciteitsleer volgt, dat deze nieuwe kracht, zoo de beweging met die van het licht meegaat, tegengesteld gericht is aan de reeds bestaande, welke van het wisselende electriche veld afhankelijk is. De ladingen zullen dus minder uitwijken dan anders het geval is. Nu bestaat de invloed van het meetrillen in een vermindering van de voortplantingssnelheid; wordt dus dit meetrillen minder intensief, dan valt de snelheid iets grooter uit, wat op hetzelfde neerkomt als te zeggen, dat het licht eenigszins wordt medegesleept. Het omgekeerde geldt, zoo de beweging van het lichaam tegen de lichtbeweging in is: de snelheid wordt dan nog meer verkleind dan bij stilstand, wat weder als een meesleepen van het licht mag worden opgevat.

Aberratie: vervolg.

Vatten wij nu weder den draad op, dien wij op bladzijde 209 lieten vallen. Het bleek ons, dat de hypothese van Fresnel noodig was om te kunnen verklaren, dat de waargenomen aberratie even groot is, als men in een andere middenstof dan lucht waarneemt: daartoe werd de ruimte tusschen de vlakken (fig. 8 blz. 208) bijv. met water gevuld gedacht. Maar nu geldt volkomen hetzelfde als men de methode van waarneming anders kiest, b.v. als men het verschijnsel door een kijker waarneemt, dus door een aantal lenzen: de aanwezigheid van het glas der lenzen zal op de

richting, waarin het licht van een ster tengevolge van de aardbeweging gezien wordt, geen invloed uitoefenen en evenmin verandert de richting, indien men den geheelen kijker met water vult, zooals eens door Airy in een vermaarde proef geschiedde.

Aberratie bij aardsche lichtbron.

Stellen wij ons nu de vraag, hoe het met de aberratie staat, wanneer de lichtbron zich op aarde bevindt en dus met den waarnemer medebeweegt.

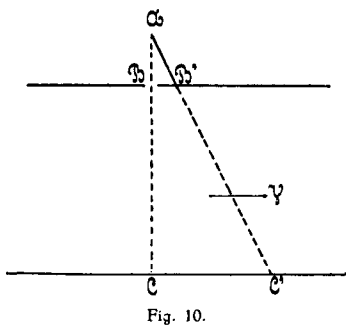


Fig. 10.

Een lichtstraal, die van A (fig. 10) uitgaande door B de waarnemingsplaats C treft, zal, om dit te kunnen doen, indien het stelsel zich door den aether beweegt, eenigszins schuin moeten loopen, omdat in den tijd, dien de lichtbeweging behoeft voor den afstand AB, het stelsel zich verplaatst: de opening wordt bijv. in den stand B' bereikt en de waarnemer in den stand C'.

Deze zal de opening B en dus ook de lichtbron A in loodrechte richting zien, derhalve niet in de werkelijke richting van het licht; maar in dit geval bedriegt hij zich niet, want A en B zijn immers beide meegelopen en bevinden zich inderdaad steeds op den verticaal. Ten opzichte van het bewegende stelsel loopt de straal verticaal. In het geval van de buitenaardsche lichtbron is de schijnbare richting van het licht niet de richting, waarin de bron zich bevindt, omdat deze niet meeloopt.

Ook bij de aardsche lichtbron ware een invloed van de beweging te verwachten, indien de ruimte tusschen de vlakken met een andere brekende stof gevuld werd, maar deze valt ook nu weg, zoo de stof het licht met zich mede voert in de mate, als door den coëfficiënt van Fresnel wordt aangegeven, en hetzelfde geldt ook weder, als men met een kijker observeert. Proefondervindelijk heeft indertijd M. Hoek te Utrecht de zaak onderzocht. Tegen de verwachting, maar in overeenstemming met de theorie van Fresnel, bleek het voor den schijnbaren stand van een op de gezichtsas van een kijker bevestigd voorwerp geen verschil te maken, of de stand van den kijker zoo gekozen was, dat de aardbeweging naar de eene zijde dan wel naar de tegenovergestelde zijde gericht was. Ook het opvullen van den kijker met water, als in de proef van Airy, bracht hierin geen verandering. Trouwens als men eenmaal weet, dat de onderstelling van Fresnel in het meest eenvoudige geval van figuur 8 allen invloed van de middenstof doet verdwijnen, kan men door redeneering doen zien, dat hetzelfde in meer ingewikkelde gevallen ook zoo zijn moet. Zoo moest b.v. de beroemde proef van Arago, die voor den kijker een prisma aanbracht en nu meende, dat de afwijking van het beeld eener ster, hierdoor veroorzaakt, anders zou uitvallen, wanneer de richting van waarneming met de

beweging van de aarde samenviel dan wanneer ze er tegen in was, wel een negatief resultaat opleveren. En evenzoo kan de overeenkomstige negatieve uitkomst van een aantal andere proeven, die een invloed van de aardbeweging zouden moeten verraden, van te voren worden ingezien; wij vermelden, dat Hoek dit ten opzichte van een bepaald interferentie-verschijnsel door een proef onderzocht en de afwezigheid van den gewaanden invloed bevestigd heeft.

Proef van Klinkerfues.

Op allerlei wijzen heeft men een mogelijken invloed van de beweging der aarde op lichtverschijnselen trachten te ontdekken en steeds zonder gevolg. Eén proef, die een positief resultaat zou hebben opgeleverd, zullen wij hier vermelden. Klinkerfues meende in 1870 een invloed van de jaarlijksche beweging op de absorptie van broomdamp te hebben waargenomen. Om hieromtrent uitsluitsel te verkrijgen werd de proef door Haga met de uiterste zorg herhaald. De door dezen gebezigde opstelling is in figuur 11

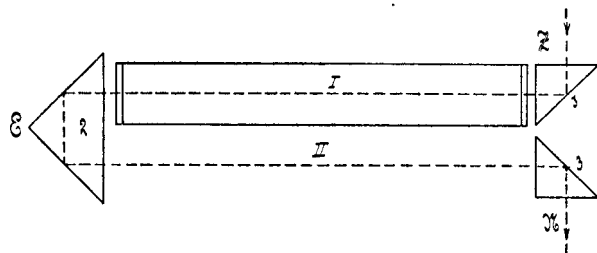


Fig. 11.

in hoofdzaak te zien. Het licht van een booglamp doorloopt de drie totaal reflecteerende prisma's 1, 2 en 3 en wordt bij N in een spectroscop opgevangen. Op den weg tusschen 1 en 2 (stand I) of tusschen 2 en 3 (stand II) is een buis met broomdamp opgesteld.

Daar de booglamp ten zuiden van den spectroscop staat en prisma 1 het licht in oostelijke richting werpt, zal in stand I om 12 uur 's middags de richting der stralen in den damp tegengesteld zijn aan de beweging der aarde om de zon, in stand II daarentegen met die beweging samenvallen. Om 12 uur 's nachts is de verhouding omgekeerd. Volgens Klinkerfues zou de stand der absorptie-lijnen in het spectrum van den damp in de twee gevallen een afwijking vertoonen. Dit kan op de proef gesteld worden door de kolen van de booglamp met natrium te bestrijken, waardoor urenlang in het spectrum de twee gele natrium-lijnen (D-lijnen) te zien zijn, en den afstand der absorptie-lijnen tot deze laatste uit te meten. Er bevinden zich 18 absorptie-lijnen tusschen de twee D-lijnen: hiervan koos Haga drie lijnen a, b en c uit. Voor de afstanden daarvan tot het midden der D-lijnen werden door hem de volgende getallen gevonden, uitgedrukt in schaal-deelen van het meetinstrument.

	middag		middernacht.	
stand I	II	I	II	
a	117.3	117.7	117.2	117.4
b	7.3	7.6	7.3	7.3
c	82.5	82.3	82.6	82.6

De afstand der D-lijnen zelve bedroeg 390 in dezelfde eenheid uitgedrukt. Volgens de waarnemingen van Klinkerfues zou tusschen I en II een verschil van 30 in de twee standen I en II gevonden moeten zijn; zooals men ziet, is daarvan geen sprake: er is geen verschil tusschen de getallenreeksen te ontdekken, de onderstelde invloed van de beweging der aarde bestaat niet. De gevolgtrekking, die men uit het verschijnsel zou kunnen maken, als zou de aether door de aarde meegesleept worden, vervalt daarmede tevens.

Theorie van Stokes.

Tegen het gronddenkbeeld van de theorie van Fresnel, dat de aether door de beweging der lichamen niet zelf in beweging gebracht wordt en dus ook door vloeistoffen en vaste lichamen zonder eenigen weerstand heen kan gaan, konden licht bezwaren rijzen bij hen, die de verschijnselen zooveel mogelijk mechanisch willen opvatten. Zwaar kunnen deze niet wegen: een middenstof als drager van de lichtverschijnselen moet nu eenmaal gepostuleerd worden. Wanneer men het kwik in een barometer door dezen te doen hellen de geheele ruimte boven het kwik doet vullen, dan moet men wel aannemen, dat deze middenstof, de aether, óf door het glas óf wel door het kwik zonder weerstand is heengedrongen, want met een zonder drukking tot niets samendrukbaaren aether als grondslag valt niet te werken. Toch is het niet te verwonderen, dat men beproefd heeft de aberratie-verschijnselen op andere wijze te verklaren. Beroemd is te dezen opzichte de theorie van Stokes, waaraan later door Lorentz uitvoerige studiën zijn gewijd. Wij zullen hierover maar niet in bijzonderheden treden: slechts dit, dat volgens haar de aether als een vloeistof door de aarde in haar beweging medegenomen zou worden en aan het oppervlak dezelfde beweging zou bezitten als de aarde. Ook dan verkrijgt men voor de aberratie de juiste waarde, maar Lorentz toonde aan, dat de laatste onderstelling in strijd is met het karakter der vloeistofbeweging, zooals Stokes zich die moest denken om de juiste uitkomst te verkrijgen; de theorie is dus met zich zelve in tegenspraak en kan op dien grond onmogelijk worden aanvaard. Bovendien voert ze ook niet tot den meesleepingscoëfficiënt van Fresnel en, daar deze door directe waarneming volledig bevestigd is, moet ook uit dien hoofde aan de theorie, die van een vaststaanden aether uitgaat, de voorkeur gegeven worden.

Proef van Michelson.

Wij hebben opgemerkt, dat volgens de theorie de beweging van de aarde op geen enkel verschijnsel bij proeven op de aarde een invloed kan doen gelden. Deze uitspraak is echter alleen juist, voor zoover men dezen invloed slechts in eerste benadering in rekening brengt. Het komt bij de

verschijnselen steeds aan op de verhouding van de aardsnelheid tot de lichtsnelheid, wat een kleine grootheid is; wanneer men nu niet nauwkeuriger berekent dan tot de eerste orde, d. w. z. dat men het kwadraat van die verhouding ten opzichte van de verhouding zelf als een nog veel kleinere grootheid verwaarloost, dan blijken alle verschijnselen op de bewegende aarde zich juist zoo af te spelen, als wanneer zij in den aether stilstond. Bij de proef van Michelson, die wij nu moeten bespreken, gaat het om een effect van de tweede orde: volgens de theorie zou er een dusdanig effect te verwachten zijn, terwijl de proef daarvan niets te zien gaf.

Indien de aether stilstaat, dan moet hij voor ons, die met de aarde meevliegen, als in beweging worden waargenomen: er moet een „aetherwind” bestaan en de genoemde proef was er op ingericht om het bestaan van dien wind te constateeren. Zooals reeds Maxwell had opgemerkt, moet de tijd, dien een lichtstraal noodig heeft om tusschen twee punten op aarde heen en weer te loopen, veranderen, indien deze punten een gemeenschappelijke beweging ten opzichte van den aether bezitten. Noemen wij de snelheden van het licht en van de aarde respectievelijk c en v , dan is de tijd, die vereischt wordt om den afstand d af te leggen, $d/(c-v)$, zoo het licht met de aarde meeloopt, en $d/(c+v)$, zoo de beweging omgekeerd is. De som van deze twee tijden is $2cd/(c^2-v^2)$, terwijl bij stilstand van de punten deze dubbele tijd natuurlijk $2d/c$ zijn zou: de eerste is iets langer dan de tweede. Michelson richtte nu een proef zoo in, dat deze tijd gemeten kon worden door hem te vergelijken met den tijd voor den dubbelen afstand vereischt in een richting loodrecht op de beweging der aarde. Ook deze laatste is niet, zooals Michelson had aangenomen, gelijk aan $2d/c$, maar wordt door de beweging eveneens iets langer, n.l. $2d/\sqrt{c^2-v^2}$, waar Lorentz het eerst op wees. De beide tijden zijn dus langer dan bij stilstand van de aarde; die bij de eerste opstelling is het meest verlengd;

het verschil tusschen beide tijden, dat in de proef gemeten werd, bedraagt bij benadering $d/c \times v^2/c^2$, en is dus, zooals wij boven zeiden, afhankelijk van de tweede macht der verhouding v/c .

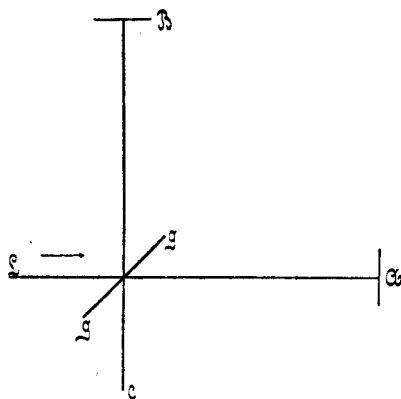


Fig. 12.

Figuur 12 doet zien, hoe de proef van boven gezien was ingericht: het licht, van L komende, splitst zich op het achtervlak van de geteekende glasplaat g in twee bundels, waarvan de eene door terugkaatsing naar den spiegel B loopt, de andere naar den spiegel A. Beide

bundels worden teruggekaatst en komen ten slotte in C samen, waar zij door interferentie een stel van strepen te voorschijn roepen. De toestel kon in zijn geheel om een verticale as 90° gewenteld worden, zoodat nu

de lichtstraal, die in de richting der aardbeweging liep, loodrecht daarop kwam te loopen en omgekeerd. De omwisseling van de beide tijden zou dan een verschuiving der interferentie-strepen moeten ten gevolge hebben.

Tot groote verbazing der natuurkundigen viel deze proef alweer negatief uit: de interferentie-strepen bleken bij draaiing van den toestel niet de minste verplaatsing te ondergaan en daaruit volgt, dat de tijden, die het licht behoefde om in beide richtingen denzelfden afstand af te leggen, volkomen aan elkaar gelijk waren, dus zooals het geval moest zijn, indien de aether de beweging van de aarde medemaakte: van een aether-wind was niets te bespeuren.

Aan een terugkeer tot de onderstelling van een meegevoerden aether viel evenwel niet te denken. Een nieuwe hypothese was noodig om de uitkomst der proef met de theorie van den stilstaanden aether te doen rijmen. Het gelukte aan Lorentz door een stoute onderstelling, die ook onafhankelijk van hem door Fitz-Gerald geuit was, de moeilijkheid, waarop men hier gestuit was, uit den weg te ruimen. Dat het licht op den heen- en teruggang naar den tegenoverstaanden spiegel in de richting van de aardbeweging door den aether op hetzelfde oogenblik terugkeert als langs den weg, die loodrecht daarop gericht is, dus te vroeg terugkeert, kan worden verklaard, door aan te nemen, dat de afgelegde afstand kleiner is dan men meent, m. a. w. dat de staaf, aan welker uiteinde de spiegel bevestigd is, onbemerkt iets korter geworden is.

Daar de uitkomst der proef onafhankelijk is van het materiaal, waaruit de toestel vervaardigd is, en van de gekozen afmetingen, volgt noodzakelijkerwijze deze meer algemeene hypothese: van een lichaam, dat zich door den aether voortbeweegt, nemen de afmetingen in de richting der beweging met een bepaald breukdeel af, waarvan het bedrag afhankelijk is van de verhouding van de snelheid tot de lichtsnelheid. Uit de straks gegeven redeneering kan worden afgeleid, een hoe groote verkorting moet worden aangenomen om de negatieve uitkomst der proeven te verklaren. Noemen wij de verhouding, waarin de afstand d door de beweging verkort wordt, k , dan volgt uit de gelijkheid der tijden langs de twee richtingen de vergelijking $2cd/k(c^2-v^2) = 2d/\sqrt{c^2-v^2}$, zoodat $k = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$.

Door directe meting, dat wil zeggen: door vergelijking met een meetstaaf kan die inkorting nooit geconstateerd worden, immers de meetstaaf, die men ter vergelijking aanlegt en die dus met den toestel of in het algemeen met het lichaam medebeweegt, deelt zelve in die verkorting. Een persoon daarentegen, die buiten de aarde ten opzichte van den aether in rust verkeert en dus de aarde met den toestel voorbij ziet vliegen, zou bijv. met behulp van moment-photographie of met behulp van een eveneens stilstaanden meet-toestel de inkorting principieel wel kunnen bemerken.

De proef van Michelson is later door andere experimenteele onder-

zoekingen gevolgd, waarbij het telkens er om te doen was een eventueelen invloed van de beweging der aarde door den aether te constateeren, maar steeds vielen de proeven negatief uit: de met de aarde medebewegende waarnemer blijkt door electriche of optische proeven van die beweging niets te kunnen bemerken. Het zou nu kunnen schijnen, zooals door Poincaré werd opgemerkt, alsof men ter verklaring van deze negatieve uitkomsten telkens een nieuwe hypothese ad hoc zou moeten invoeren. Lorentz bewees echter door verdere ontwikkeling van de theorie, dat de contractie-hypothese, mits reeds van het begin af in de grondslagen der theorie opgenomen, in staat is om al die resultaten zonder nieuwe onderstellingen te verklaren. De bouwstenen der theorie zijn de electronen: voor het electron zelf wordt dus een dergelijke deformatie door de beweging gepostuleerd als ter verklaring van de proef van Michelson was ingevoerd. Bovendien wordt aangenomen, dat de krachten tusschen de ongeladen deeltjes onderling en tusschen deze en de electronen bij beweging dezelfde verandering ondergaan, als die tusschen de electronen onderling. Uit de op deze grondslagen opgebouwde theorie bleek de aangenomen contractie van materieele lichamen vanzelf voort te vloeien, terwijl ze ook de algemeene uitkomst opleverde, dat de translatie-beweging van een systeem door den aether van geen invloed is op de waar te nemen natuurverschijnselen.

Het denkbeeld, dat een lichaam — zonder dat er samendrukkende krachten van buiten op inwerken — eenvoudig bij een beweging door den aether in de richting dier beweging iets inkort, zal bij eerste kennismaking vreemd aandoen. Aannemelijker wordt het door de overweging, welke ook bij de opstelling der theorie heeft voorgezeten, dat de inwendige krachten tusschen de moleculen, welke deze bijeenhouden en dus de vastheid van een lichaam veroorzaken, waarschijnlijk van electriche aard zijn: daar nu de electriche werkingen door de beweging fundamenteele veranderingen ondergaan, zoo laat het zich ook wel hooren, dat de afmetingen der materie aan daarmede samenhangende wijzigingen onderhevig zijn.

Het verdient verder vermelding, dat de grond-hypothese omtrent de vormverandering van de electronen een toetsing door het experiment toelaat. Onder verschillende omstandigheden — bij ontladingen en bij de straling der radio-actieve stoffen — verkrijgen de electronen snelheden, die tot dicht aan de lichtsnelheid kunnen stijgen. Ons moeten zij dus in de richting der beweging afgeplat toeschijnen: wel kunnen wij ze niet zien en deze afplatting dus ook niet direct observeeren, maar de schijnbare massa, die ze vertoonen (blz. 169) en die den graad, waarin ze onder den invloed van uitwendige krachten van hun banen afwijken, bepaalt, hangt met die afplatting samen, zoodat het mogelijk is indirect uit het gedrag dier electronen-stroomingen af te leiden, of de afplatting tot het bepaalde bedrag inderdaad aanwezig is. Binnen de grenzen der

waarnemings-onzekerheden is de theorie van Lorentz door dergelijke metingen volkomen bevestigd geworden.

Indien wij op den hier ingeslagen weg voortgingen, zouden wij op het gebied van de door Einstein opgestelde relativiteits-theoriën belanden, waar wij behalve Lorentz ook andere Nederlanders vruchtbaren arbeid zouden zien verrichten: wij noemen J. Droste, de Sitter, W. J. A. Schouten en A. D. Fokker. Een ommegang door dit grensgebied der physica zou ons te veel tijd kosten: wij doen beter den belangstellenden lezer naar andere gidsen in deze streken te verwijzen ¹⁾ en tot huiselijker hoofdstukken der physica terug te keeren, die wij anders ongezien zouden moeten laten.

Gewicht, massa, energie.

Einstein heeft in zijn gravitatie-theorie, d. i. de relativiteitstheorie in haar meest recenten vorm, nog eens de aandacht gevestigd op de merkwaardige omstandigheid, dat het gewicht van een lichaam, m. a. w. de werking van de gravitatie, nauwkeurig evenredig is met zijn massa, dus met de grootte, die zijn traagheid en zijn bewegings-energie bepaalt. Deze evenredigheid is reeds door Newton afgeleid uit het feit, dat de slingertijd van een aan een draad bevestigd lichaam, alleen van de lengte van den draad afhangt en niet van de massa van het lichaam. Eötvös toetste haar door na te gaan, of de centrifugale kracht door de aardbeweging, die natuurlijk evenredig is met de massa, ook evenredig is met het gewicht. Ware dit niet het geval, zoo zou de resulterende kracht op een lichaam in de buurt van de aarde opgehangen een eenigszins andere richting moeten hebben, al naarmate van zijn gewicht.

Zeeman heeft de toetsing in enkele bijzondere gevallen toegepast; hij bewees (1) door gewone weging, dat het gewicht van een kristal niet afhangt van de richting, waarin de kristallographische as gesteld is ten opzichte van de zwaartekracht (2) volgens de methode van Eötvös, dat de orientatie van het kristal op de verhouding van gewicht en massa in elk geval geen grooteren invloed heeft dan 1 op de 50 miljoen (3) dat ook voor radio-actieve stoffen de verhouding de normale waarde heeft. Men zal zich allicht herinneren, hoe ons vroeger bleek, dat de (schijnbare) massa van een electron afhankelijk is van zijn snelheid. Volgens de relativiteitstheorie zou dit voor alle lichamen het geval zijn; ja zelfs nog algemeener: met energie ϵ , van welken oorsprong ook, zou massa m geassocieerd zijn ten bedrage van $m = \epsilon : c^2$, waar c de lichtsnelheid voorstelt. Daar nu een radio-actieve stof voortdurend bezig is groote hoeveelheden energie te verliezen, moet ook haar massa afnemen en

1) Zie o. a. Gids van Maart en April 1917.

misschien zou het gewicht niet in dezelfde mate verminderen. De proef wees echter uit, dat dit laatste niet het geval is; dus, in de taal van Einstein: energie heeft niet alleen massa, maar evenzeer gewicht.

Voortplanting van de zwaartekracht.

Meermalen heeft men zich de vraag gesteld, of de zwaartekracht tijd behoeft om zich op een afstand te doen gevoelen. De onderstelling, dat de zwaartekracht een electricisch verschijnsel is, zou meebrengen, dat haar voortplanting met dezelfde snelheid geschiedt als die van electricische werkingen en van het licht. Lorentz heeft eens doen zien, dat men de zwaartekracht zou kunnen verklaren door aan te nemen, dat de electricische en magnetische velden door positieve en door negatieve electriciteit voortgebracht van elkaar eenigszins zouden verschillen, op zoodanige wijze, dat ten slotte een neutraal lichaam, dat dus evenveel positieve als negatieve lading bevat, van een ander neutraal lichaam een bepaalde aantrekkende kracht ondervindt, en dat zou de zwaartekracht volgens de wet van Newton zijn. In dit geval zou de zwaartekracht zich met lichtsnelheid moeten voortplanten.

Afziende van de oorzaak der zwaartekracht heeft H. K. de Haas uiteengezet, dat bij een eindige voortplantingssnelheid de zwaartekracht „aberratie” vertoonen moet, wat hierop neerkomt, dat bij beweging van een lichaam ten opzichte van een ander een kleine kracht moet werken in de richting der beweging. Iets dergelijks zou moeten gelden voor de krachten tusschen de moleculen van een lichaam. Men mag dan verwachten, dat die storende kracht bij een zware stof als platina een grootere waarde zal hebben dan bij een lichte stof als paraffine. Met behulp van een zeer gevoelig ingerichte torsie-balans werd het bestaan van een dergelijk verschil bij bollen van platina en paraffine op de proef gesteld: de uitkomst was evenwel volkomen negatief. Deze proef geeft dus geen steun aan de onderstelling, dat de zwaartekracht zich met lichtsnelheid voortplant.

Een uiteenzetting van de interessante beschouwingen, door De Haas aan deze proefneming vastgeknoopt, zou ons te lang bezighouden en moet dus achterwege blijven.

Röntgen-stralen.

In 1895 ontdekte Röntgen de stralen, die hij X-stralen noemde, maar die tegenwoordig gewoonlijk naar hem zelf heeten. Het zou moeilijk zijn een voorbeeld te noemen van een ontdekking, die meer onverwacht kwam; de physica verkeerde toen in een periode van betrekkelijke rust. Men was allengs in de meening gekomen, dat de natuurkundige verschijnselen in het algemeen bekend waren, en wat de voorstelling van het wezen der dingen

betreft, waren er velen, die in een vrij dor atomisme den grondslag voor een volledige natuur-verklaring meenden te mogen zien. Men was zich voldoende bewust, dat de natuurkunde nog een belangrijke en langdurige taak te vervullen zou hebben, dat alles nader moest worden uitgewerkt en uitgeplozen, ook dat er onvoldoende doorgronde verschijnselen waren, vooral op electricisch gebied, en dat b.v. het verband tusschen electriciteit en materie onbegrepen was, maar vrij algemeen was tevens de overtuiging, dat men het geheel der physische verschijnselen toch in hoofdzaak beheerschte. De opwinding door de ontdekkingen op het gebied der oplossingen, waaraan o. a. de naam van J. H. van 't Hoff verbonden is, was gezakt. De laatste sensatie op zuiver physisch terrein waren de proeven van Hertz geweest over electriche golven, maar, hoe belangrijk ook, voor de ingewijden deden zij toch niet anders dan bevestigen, wat uit de reeds lang bekende theorie van Maxwell onmiddellijk voortvloeide.

Daar kwam de mare, dat een nog geheel onbekende soort van stralen ontdekt waren, die door een electriche ontladingsbuis werden uitgezonden, en bijna onmiddellijk daarop de nog geheimzinniger ontdekking van Becquerel van de stralingen van het metaal Uranium, die nu aan zogenoemde radio-activiteit worden toegeschreven. Een nuttige les voor de mannen der wetenschap en een heilzaam tegengif tegen wetenschappelijk dogmatisme.

Aanvankelijk wist men met de Röntgen-stralen geen weg; zooals men weet, ontstaan zij op de plaatsen, waar de kathode-stralen, d. w. z. de stralen, die in een ontladingsbuis bij lage drukking van het negatieve uiteinde, de kathode, uitgaan, een vast lichaam, casu quo den wand der buis treffen. Ze bleken zich te onderscheiden door een groot doordringingsvermogen, niet alleen ten opzichte van betrekkelijk doorzichtige stoffen als het dierlijk weefsel en hout, maar ook van metalen, die voor electriche en optische werking bijna volkomen ondoordringbaar zijn. Voorts bleken zij geen merkbare breking te ondergaan, wat dus zeggen wil, dat ze zich in verschillende stoffen met even groote snelheid voortplanten. Hoe dit alles te verklaren? Misschien was het geen straling in den zin, waarin wij het woord op geluid of licht toepassen, dus geen golfbeweging, maar bestonden zij, evenals de kathode-stralen, die ze voortbrengen, uit een stroom van deeltjes? Daar de poging om de Röntgen-stralen door een magneetveld te doen devieeren mislukte, moesten de deeltjes dan electriche neutraal zijn en zou men dus in die straling een verschijnsel gevonden hebben overeenkomende met wat vroeger volgens de emissie-theorie van Newton voor het licht ondersteld was.

De tegenovergestelde meening, dat de stralen een golf-beweging waren van dergelijken aard als het licht, stuitte op het zoo afwijkend gedrag wat betreft breking en absorptie: waren de trillingen der stralen wellicht

„longitudinaal”, dus evenals die van het geluid in de lucht of onder water in de richting van de voortplanting en dus niet transversaal, zooals bij het licht en de golven van Hertz? Misschien had men in de Röntgen-stralen de longitudinale trillingen gevonden, welke volgens sommige oudere „elastische” theorieën in den aether mogelijk zouden zijn.

Aan het experiment om over die verschillende mogelijkheden te beslissen. Een meting van de voortplantingssnelheid, indien die weder de waarde 3×10^{10} cM. per secunde opleverde, zou pleiten voor de opvatting, dat de stralen van denzelfden aard waren als licht, dus transversale electromagnetische golven, maar dan misschien van veel korter golflengte zelfs dan het uiterste ultra-violet. Langs dien weg werd een beslissing evenwel niet verkregen, daar een methode om die snelheid te meten eerst later gevonden werd, een methode, die bovendien ook thans door sommigen als niet afdoende wordt beschouwd.

Van verschillende zijden werden pogingen in het werk gesteld om een buiging van de nieuwe stralen vast te stellen, een verschijnsel, waaraan iedere golfbeweging onderhevig is. Het bestaat daarin, dat de stralen, waar ze beletsels op hun weg ontmoeten, geen scherpe schaduwen werpen, maar in zekere mate de projectie van de beletsels, dus de schaduwen binnendringen. Men weet, hoe men de buiging bij het geluid met het oor kan constateeren in het feit, dat het ook achter een muur, hoewel verzwakt, kan worden waargenomen, of objectief bij watergolven, die den rand van een vasten wand voorbijgaande niet langs een rechte lijn scherp worden afgesneden, maar zich achter den wand cirkelvormig voortzetten.

Talrijk zijn de wijzen, waarop men de buiging bij het licht kan waarnemen en bestudeeren; dat het hier gewoonlijk minder sterk opvalt en dat men dus voor vele doeleinden het licht als zich langs rechte lijnen voortplantende kan beschouwen, ligt aan de geringe lengte van de lichtgolven: hoe kleiner deze zijn, des te minder sterk treedt de buiging op den voorgrond, wat ook bij het geluid kan worden opgemerkt in de omstandigheid, dat de hooge tonen, die korte golven geven, veel minder duidelijk de ruimte achter beletsels binnendringen en dus scherper schaduwen geven dan de lagere tonen.

Wat de Röntgen-stralen betreft, bleek het aldra, dat de buiging, indien zij bestond, uiterst gering was. Onder de proeven daarover uit de eerste jaren na de ontdekking der stralen zijn die van Haga en Wind de merkwaardigste, omdat zij een positief resultaat hebben opgeleverd, dat wel door anderen betwijfeld is, maar door onderzoekingen van de laatste jaren langs geheel anderen weg bevestigd geworden is. Het ligt voor de hand de stralen allereerst tot een zeer fijnen bundel te maken door ze op een zeer nauwe spleet te doen vallen en vervolgens een tweede daarmee evenwijdige spleet te doen treffen, die als buigende opening moet dienst

doen. Op eenigen afstand achter deze spleet werd door de onderzoekers een photographische plaat opgesteld. Bij afwezigheid van buiging zal de breedte van het fotografische beeld eenvoudig de meetkundige projectie van de tweede spleet op de plaat voorstellen. Is er buiging, dan wordt het beeld verbreed, des te meer naarmate de buigende spleet nauwer is en de golflengte grooter.

Voordat het onderzoek door de Nederlandsche onderzoekers werd ter hand genomen, was door Fomm langs den aangegeven weg een verschijnsel waargenomen, dat op buiging scheen te wijzen, maar door P. G. Tiddens werd in het laboratorium te Groningen aangetoond, dat dit verschijnsel op een gezichtsbedrog berustte en omtrent het al of niet bestaan van buiging niets kon leeren. Om tot een beslissing te geraken, maakten nu Haga en Wind gebruik van een wigvormig toeloopende spleet. Deze methode heeft het voordeel, dat men in het ééne fotografische beeld zal kunnen moeten zien, welken invloed het nauwer worden van de spleet heeft, omdat de spleet een regelmatig afnemende wijdte heeft; men zal dus moeten kunnen uitmaken, of inderdaad het beeld de te verwachten toenemende verbredening vertoont, waar de spleet nauwer wordt. Het einddoel moet natuurlijk zijn een schatting te verkrijgen omtrent de golflengte, die aan de stralen moet worden toegeschreven om de waargenomen verbredening te verklaren.

De wijdte van de eerste lichtspleet, tusschen de randen van twee zorgvuldig bewerkte plaatjes van platina, bedroeg 15μ , d. w. z. 0.015 mM . De buigende spleet, eveneens tusschen twee platina plaatjes, was aan het eene uiteinde 27μ breed en de wijdte liep naar het andere einde tot 3μ af. Het beeld op de plaat werd micrometrisch uitgemeten; het bleek van het wijde uiteinde af aanvankelijk regelmatig met de wijdte van de spleet af te nemen, maar wanneer de buigende spleet beneden 8μ kwam, werd het beeld weer duidelijk breder en beneden 4μ zelfs ongeveer even breed als het aan het andere uiteinde was. Uit de metingen van drie fotografiën, die met verschillende Röntgen-buizen verkregen waren, werd als golflengte resp. $0.16\mu\mu$, $0.05\mu\mu$ en $0.12\mu\mu$ afgeleid ($\mu\mu = 10^{-6}\text{ mM}$.); in cM. uitgedrukt wordt de golflengte dus van de orde 10^{-8} , terwijl de golflengte van het midden van het zichtbare spectrum van het licht $0.5\mu = 5 \times 10^{-5}$ bedraagt en van het uiterste ultra-violet 6×10^{-6} .

De Röntgen-buis, waarmede de middelste proef genomen werd, was een „harde buis”, d. w. z. een buis met hoog vacuum, zoodat een hoog potentiaal-verschil vereischt wordt om de ontlading er door heen te doen gaan. Het gevolg daarvan is, dat de kathode-deeltjes aan de kathode een groote snelheid verkrijgen en dus met groote vaart tegen het oppervlak, waar de Röntgen-stralen hun oorsprong nemen, aanbotsen. Het was, ook toen reeds, zeer aannemelijk, dat de golflengte van de stralen onder

overigens gelijke omstandigheden afhankelijk zou zijn van de kracht dezer botsingen; uit de proeven zou dus volgen, dat de golflengte kleiner is in de hardere buis. Inderdaad heeft zich dit bij later onderzoek bevestigd en de door Haga en Wind gevonden waarden komen ook met de latere metingen volgens een andere nauwkeurige methode naar orde van grootte overeen.

Polarisatie.

Het zou nog ettelijke jaren duren, voordat het middel werd gevonden om de golflengte der Röntgen-stralen met groote praecisie te meten en dus het bewijs te leveren, dat onze onderzoekers zich niet hadden bedrogen. Ondertusschen kwam een ander feit de onderstelling, dat de stralen transversale evenwichtsverstoringen zijn, nog versterken. Dit feit is de mogelijkheid om Röntgen-stralen te polariseeren (zie over polarisatie van licht blz. 130). Wanneer men vindt, dat een bundel van stralen niet dezelfde eigenschappen vertoont ten opzichte van de verschillende richtingen loodrecht op den bundel, dan kan men besluiten, dat de bundel bestaat uit een golfbeweging met trillingen loodrecht op de richting van voortplanting. Aan Barkla gelukte het het eerst de polarisatie van Röntgen-stralen te doen zien; Haga heeft dit, wat de secundaire stralen aangaat, met een photographische methode kunnen bevestigen: secundaire stralen zijn die, welke door een oppervlak worden teruggekaatst; Haga bezigde daarvoor een oppervlak van kool.

Golflengte.

Met dat al bleef een meer rechtstreeksch bewijs van het golfkarakter der stralen zeer bepaald een desideratum. Laue kwam op de geniale gedachte om voor dit doel van kristallen gebruik te maken. Om de betekenis hiervan te doen zien, moeten wij eerst nagaan, hoe de zaak staat, wat het licht betreft. Een van de meest gebruikelijke toestellen om de golflengte van het licht te meten is het tralie. Het bestaat uit een aantal even wijde spleten op gelijken afstand van elkander geplaatst (fig. 14). Daarop laat men een bundel evenwijdig licht vallen, bijvoorbeeld van een verlichte spleet, evenwijdig aan de spleten van het tralie. In het brandvlak van een daarachter geplaatsten kijker neemt men dan, behalve een centraal beeld van de spleet, nog beiderzijds een aantal symmetrisch geplaatste beelden waar. Deze beelden wijken des te meer van het centrale beeld af, naarmate de golflengte grooter is en naarmate de spleten van het tralie dichter bijeen staan. Niets zal ons verhinderen om de Röntgen-stralen op een dergelijk tralie te doen vallen en de aanwezigheid van de zijdelingsche maxima in het doorgelaten licht te onderzoeken. Maar hier staat ons weder de kleinheid van de golflengte dezer stralen in den weg: zelfs bij de fijnste tralies staan de spleten toch nog zoo ver uiteen, dat de afwijking tusschen

de gebogen stralen en den invallenden bundel te gering zou zijn om een waarnemen mogelijk te maken: omdat de golflengte der Röntgen-stralen meer dan 1000 malen kleiner is dan die van het uiterste ultra-violet, zal ook de afwijkingshoek in diezelfde verhouding gereduceerd zijn. De fijnste tralies, die ons ter beschikking staan en afkomstig zijn van Rowland, hebben 17000 spleten per centimeter: daarmee zou het eerste buigingsbeeld voor Röntgen-stralen ongeveer $\frac{1}{2}$ minuut van het centrale beeld afstaan, wat te gering is om met eenige zekerheid te worden waargenomen.

Om een meetbare afwijking te verkrijgen is dus een veel fijner rooster noodig. Nu kwam de gedachte bij Laue op daarvoor het „ruimtelijk net” of „rooster” te doen dienen, waarin volgens de kristallografen de deeltjes, waaruit kristallen zijn opgebouwd, zijn gerangschikt. Hij stelde dit denkbeeld op de proef door door een kristal een bundel Röntgen-stralen te doen vallen en deze op een photographische plaat te doen inwerken. Als voorbeeld van een op die wijze vervaardigde Röntgen-photo geven wij

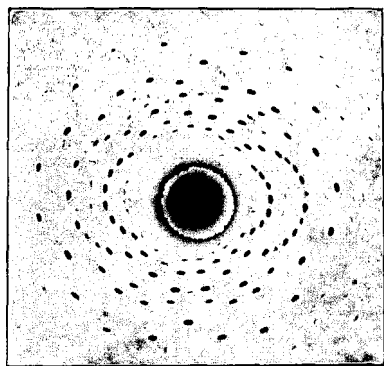


Fig. 13.

figuur 13 door Haga en Jaeger verkregen met een plaatje van Scheeliet. Dit is een der talrijke photo's dezer beide waarnemers ten behoeve van een onderzoek, waarin het gebruik der Röntgen-opnamen wordt dienstbaar gemaakt aan de opheldering van een aantal nog open vragen betreffende de bijzondere structuur van bepaalde kristallen.

Wij zullen trachten het ontstaan van dergelijke symmetrische figuren in het algemeen begrijpelijk te maken. Daarbij moeten wij gebruik maken van een fundamenteele grondstelling der golftheorie, die reeds door Huygens werd opgesteld en toegepast. Deze stelling drukt uit, dat wij, een bepaalde stand van een golf gegeven zijnde, een lateren stand kunnen construeeren door ieder punt van de golf te beschouwen als een middelpunt van trilling, dienovereenkomstig de elementaire golfjes, welke tegelijkertijd van die punten uitgaan, op een bepaald later oogenblik te teekenen of getrokken te denken en dan eindelijk het oppervlak te trekken, dat al die elementaire golfjes aanraakt — „omhult” is de kunstterm —; dit oppervlak geeft dan een nieuwen stand van de golf.

Met behulp van dit beginsel van Huygens kan men vooreerst de vrije uitbreiding van bolvormige en platte golven weergeven, ook voor het geval, dat de golfbeweging een tweede medium treft, waar de voortplantings-snelheid een andere is: daarbij komen vanzelf de wetten der terugkaatsing en die van Snellius voor de breking voor den dag. Ook de wetten der dubbele breking in niet-isotrope media, waar o.a. de kristallen toe behooren, werden door Huygens met behulp van dit beginsel afgeleid.

Wanneer men zich nu het geval denkt, dat de golf zijdelings begrensd wordt, dan volgt uit het beginsel onmiddellijk, dat de golfbeweging gedeeltelijk in de schaduw van het beletsel binnendringt. Immers de elementaire golven, die van de punten in de buurt van het scherm uitgaan, zullen gedeeltelijk zijdelings de bedoelde ruimte binnengaan. De verschijnselen kunnen evenwel met het beginsel alleen genomen niet volledig worden afgeleid: het moet nog, zooals Fresnel het eerst aantoonde, met het beginsel van de interferentie van trillingen worden aangevuld. Ja, men heeft dit laatste beginsel bij de verklaring van de vrije voortplanting ook reeds noodig om te doen zien, dat inderdaad de beweging tot het omhullende oppervlak der elementaire golfjes beperkt is.

Om, gegeven een golffront, den bewegingstoestand in een bepaald punt P teweeggebracht te vinden, moet men nagaan, wat alle punten van het golffront daar ter plaatse door hun elementaire golfjes opleveren en die individueele bewegingen volgens de gewone regels van de samenstelling van trillingen samenstellen, waarbij natuurlijk hun phase-verschillen te pas komen. Bij de vrije voortplanting blijkt dan, dat in P ten slotte niet anders verkregen wordt dan wat van het dichtstbij gelegen punt van de golf afkomstig is: al het andere heft elkaar volledig op, de voortplanting is zuiver rechtlijnig. Anders wordt het bij buiging: juist omdat het golffront door het scherm gedeeltelijk wordt tegengehouden, houdt de genoemde compensatie op te gelden en verkrijgt men dus andere meer ingewikkelde verschijnselen met maxima en minima der intensiteit, dus interferentie-strepen.

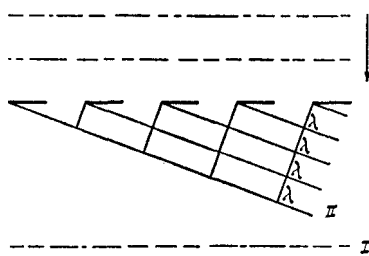


Fig. 14.

Wij zullen ons hier tot het geval van een tralie beperken (fig. 14). Wij nemen aan, dat een bundel evenwijdige stralen, dus met vlakke golven, loodrecht op het tralie valt: alleen door de tusschenruimten kan de beweging zich voortplanten. Van die plaatsen gaan dus in alle richtingen elementaire golven uit; het blijkt nu spoedig, dat er bepaalde richtingen zijn, waarin de van de afzonderlijke

openingen uitgaande trillingen elkaar alle versterken, zoodat in die richtingen, en ook alleen daar, merkbare lichtbeweging zal worden waargenomen. Het zijn n.l. die richtingen, waarin het phaseverschil tusschen stralen uit naast elkaar gelegen openingen juist $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda$, enz. bedraagt. Het phaseverschil 0 behoort bij de vlakke golf I, die zonder verandering van richting van het tralie komt en dus tot het centrale beeld aanleiding geeft. Het phaseverschil van $1, 2$, of meer golflengten geldt voor schuin loopende bundels: in de figuur is als voorbeeld de bundel II aangegeven, waarvoor het phaseverschil één golflengte bedraagt. Men ziet dadelijk, dat de afwijking van den bundel met de golflengte toeneemt. Ieder dezer bundels geeft in het beeldvlak een buigingsmaximum.

Bij terugkaatsing op een tralie wordt iets dergelijks waargenomen: de schermen, die door de lichtbeweging getroffen worden, gaan daarbij als middelpunten van trilling dienst doen, evenals de openingen bij het doorgaande licht. Deze trillingen loopen terug en de voorwaarde voor maxima zal dezelfde zijn als in het eerste geval.

Iets dergelijks gebeurt nu, als een kristal door een golf wordt getroffen: voor het doorgaande licht zullen de tusschenruimten tusschen de regelmatig gerangschikte atomen als bronnen van afzonderlijke trilling gaan fungeeren en juist omdat ze zoo volkomen regelmatig verdeeld zijn, is het mogelijk, dat voor bepaalde golflengte in bepaalde richtingen maxima ontstaan. Omgekeerd, als de teruggekaatste bundel wordt gefotografeerd: van de atomen zelve gaan dan de elementaire golfjes uit, die weder om dezelfde reden in bepaalde richtingen maxima van golf-intensiteit voortbrengen.

Wij hebben geen gelegenheid dit alles hier nader uit te werken, maar men kan zich misschien nu eenigszins voorstellen, hoe de zwarte stippen, die in de negatieven de punten van sterkste inwerking op de plaat aangeven, tot stand komen. Het groote aantal beantwoordt aan het groote aantal kristallographische vlakken in het kristal, d. w. z. de vlakken, die regelmatig met atomen belegd zijn en dus als tralie kunnen optreden.

Het ontstaan dezer buigingsbeelden met Röntgen-stralen bewijst vooreerst afdoende, dat zij tot de golfbewegingen gerekend moeten worden en dus tot het geslacht van het licht behooren. Vervolgens leeren zij, dat de golflengte dezer stralen zeer klein moet zijn, daar zij de kristalroosters, welke van zoo uiterste fijnheid zijn, behoeven om buigingsbeelden op te leveren. Maar bij een zoo vage bepaling is het niet gebleven. Zooals Bragg heeft doen zien, leeren de buigingsverschijnselen de structuur van allerlei kristallen tot in bijzonderheden doorgronden. Men vond, hoe men de atomen in het ruimte-net der kristallen gerangschikt moet denken om met de uitkomsten der metingen in overeenstemming te komen, en toen dit eenmaal was geschied en men dus ook precies wist aan te geven, hoever de atomen van elkaar verwijderd waren, kon uit de wijde van het ruimtelijke tralie en den buigingshoek der bundels de grootte van de golflengte nauwkeurig berekend worden. Zooals wij reeds mededeelden, bleek deze in orde van grootte met de schattingen van Haga en Wind overeen te stemmen.

Met voorbijgaan van de door Bragg gebezigde waarnemingsmethode en meesterlijke analyse der resultaten, noemen wij nog de methode van Debye, die eveneens volkomen regelmatige photographische buigingsfiguren verkreeg door een bundel Röntgen-stralen te doen vallen op een staafje, dat door samenpersing uit kristalletjes gevormd was en waarin dus honderden kristalletjes volkomen onregelmatig verdeeld in alle mogelijke richtingen naast elkaar lagen. Het beeld werd vastgelegd op een cilindrischen film,

in welks as het staafje was opgesteld, terwijl de stralen er loodrecht op de lengte-richting op invielen. De talrijke kristallen kunnen verdeeld gedacht worden in verschillende groepen van kristallen, die ten naastenbij overeenkomstige standen hebben t. o. v. de richting der invallende stralen, en die groepen, wier standen zoo zijn, dat bij de gebezigde golflengte een maximum kan ontstaan, zullen tot het tot stand komen van het buigingsbeeld samenwerken. De maxima vormen kromme lijnen, die de doorsneden zijn van het cilindervlak met bepaalde kegels, die den invallenden bundel tot as hebben.

Met behulp van deze methode hebben J. Olie en A. J. Bijl aangetoond, dat allotrope modificaties (koolstof als graphiet en als diamant) verschillende kristalstructuur bezitten; Bijl en N. H. Kolkmeijer bewezen hetzelfde voor wit en grauw tin.

Karakteristieke Röntgen-stralen.

De stralen, die door Röntgen-buizen worden voortgebracht, zijn niet alle van eenzelfde aard: harde buizen, d. i. buizen, waarin een relatief hoog vacuum aanwezig is, geven meer doordringende stralen dan zachte buizen. Het vermoeden, dat de golflengte in het eerste geval kleiner is, werd door de buigingsmetingen bevestigd. Maar ook in een ander opzicht bevestigde dit onderzoek uitkomsten, die reeds vroeger door Barkla uit het doordringingsvermogen der stralen waren afgeleid. Terwijl het Röntgenlicht in sommige gevallen een mengsel is van stralen van allerlei golflengten, te vergelijken met het licht, dat bij uiteenspreiding een doorlopend spectrum vormt, komen in andere gevallen „homogene” stralen voor, die dus analoog zijn met het homogene, eenkleurige licht, door gloeiende gassen en dampen voortgebracht. De golflengte van deze stralen hangt af van den aard van het metaal, waarvan zij afkomstig zijn; men noemt ze daarom gewoonlijk „karakteristieke” stralen. Ze ontstaan óf rechtstreeks uit een metaal, wanneer het aan het bombardement van de kathode-deeltjes is blootgesteld, óf ook als secundaire stralen, wanneer primaire Röntgenstralen hetzelfde metaal treffen. In het laatste geval alleen, indien de primaire stralen harder zijn, dus kleinere golflengte hebben dan de voor het metaal karakteristieke stralen: in dit opzicht gelijken ze op het door „fluorescentie” ontstaande licht, dat voor zijn vorming eveneens een invallend licht van kleinere golflengte nodig heeft.

Wanneer men nu achtereenvolgens metalen beproeft, waarvan het atoomgewicht telkens grooter is, dan bevindt men, dat het doordringingsvermogen der ontstaande homogene stralen regelmatig toeneemt en dus de golflengte regelmatig afneemt. De stralen vormen dus een reeks, waarin een nauw verband gevonden wordt tusschen atoomgewicht en golflengte. Een drietal of viertal van dergelijke reeksen, van elkander onafhankelijk, zijn reeds gevonden.

Atoomnummer.

Het genoemde verband vertoont zich in een bijzonder eenvoudige gedaante, als men in plaats van het atoomgewicht der metalen hun „atoomnummer” bezigt. Onze landgenoot A. van den Broek heeft er op gewezen, dat men de natuurlijke rangschikking der elementen in het periodiek systeem eenvoudiger kan maken door aan de elementen hun ranggetal in de opklimmende reeks hunner atoomgewichten toe te kennen, in plaats van het atoomgewicht zelf. Dit ranggetal blijkt ongeveer de helft te bedragen van het atoomgewicht, behalve bij waterstof, waar de twee getallen overeenstemmen, n.l. beide 1 zijn. Wanneer men nu ten behoeve van een graphische voorstelling van het verband, waarover wij spreken, langs één as het atoomnummer van het element uitzet en langs de andere as de wortel uit de frequentie der homogene stralen (de frequentie is omgekeerd evenredig met de golflengte en kan dus deze vervangen om het verband aan te geven), dan verkrijgt men als graphische voorstelling een zuiver rechte lijn. Dit geldt voor ieder der reeksen afzonderlijk.

De meest in het oog vallende merkwaardigheid van deze eigenschap der elementen is nu juist deze, dat ze bij toeneming van het atoomgewicht doorlopend in dezelfde richting gewijzigd wordt, terwijl men bij andere eigenschappen vindt, dat ze periodiek met het atoomgewicht veranderen, zooals ook de benaming „het periodiek systeem der elementen” tot uitdrukking brengt. Hierin ligt een aanwijzing, dat de trillingstijd der karakteristieke stralen door een ander gedeelte van het atoom (n.l. de kern, zie hieronder) bepaald wordt, dan b. v. de scheikundige eigenschappen (n.l. deze door de electronenringen). In ieder geval wijst het gevonden verband er op, dat er een groote analogie moet bestaan tusschen de structuur der atomen van verschillende elementen. Inderdaad heeft men in de laatste jaren een voorstelling verkregen van de atoom-structuur, die deze analogie onmiddellijk doet uitkomen en waarin het atoomnummer een essentieele rol speelt. Uit de eigenschappen, welke men aan dit atoommodel toekent, vloeit o. a. de bovenstaande betrekking tusschen atoomnummer en golflengte der karakteristieke stralen op natuurlijke wijze voort.

Atoommodel van Rutherford-Bohr.

Wij willen deze voorstelling nog in enkele woorden aangeven. Het atoommodel van Rutherford en Bohr bestaat uit een positief geladen kern, waaromheen negatief geladen electronen onder den invloed der aantrekkingskracht, welke zij van de tegengesteld geladen kern ondervinden, banen beschrijven. De grootte van de positieve lading der kern wordt nu juist door het atoomnummer van het element aangegeven, waarbij de lading van het electron als de eenheid van lading genomen is. Daar het atoom

in zijn geheel electrisch neutraal is, moet het aantal om de kern circuleerende electronen eveneens gelijk zijn aan het atoomnummer.

Om een paar voorbeelden te noemen: het atoom van waterstof, het lichtste, dat wij kennen, met het atoomnummer 1, bestaat uit een positieve kern met de lading 1 en één electron; het heliumatoom (atoomnummer 2) heeft een positieve kern met de lading 2 en daaromheen twee electronen, enz. Van het calciumatoom (atoomgewicht 40 en atoomnummer 20) heeft de kern een positieve lading 20, terwijl daarom weder 20 electronen als planeten rondbewegen. De electronen zijn in een of meer ringen om de kern verdeeld, wier aantal in het algemeen toeneemt, naarmate het aantal der electronen en dus ook het atoomgewicht grooter is.

Dergelijke atomen zijn dan veelal tot meer samengestelde moleculen vereenigd. Zoo heeft Debye de samenstelling van het uit twee atomen samengestelde waterstof-molecuul nauwkeurig kunnen aangeven; daarover heeft ook mejuffrouw H. J. van Leeuwen een theoretische bijdrage geleverd.

Wij zullen hier niet ingaan op de gronden, waarop deze voorstelling allengs ontstaan is, of de velerlei verschijnselen opsommen, die met behulp ervan kunnen worden begrepen. Het medegedeelde is voldoende om de groote beteekenis van het door Van den Broek ingevoerde atoomnummer te doen zien. Tot de theorie van het atoommodel, waarin een ruim gebruik gemaakt wordt van de methoden der quanten-theorie (zie later hoofdstuk), hebben o. a. P. Debye en, op het voetspoor van Ehrenfest, J. M. Burgers belangrijke bijdragen geleverd.

Op een theoretische moeilijkheid aan het model verbonden willen wij de aandacht vestigen. Zooals wij vroeger zagen, toen wij over de eigenschappen der electronen handelden, moet volgens de electro-magnetische theorie een electron, wanneer het aan versnelling onderhevig is, een deel van zijn energie naar buiten uitstralen. Daaruit zou men afleiden, dat een electron, hetwelk een kromme baan beschrijft, zijn energie allengs zou moeten verliezen. Immers een kromlijnige beweging beteekent een voortdurende verandering van bewegingsrichting en volgens de gewone mechanica kan een snelheid alleen daardoor van richting veranderen, dat er nieuwe snelheden aan worden toegevoegd, m. a. w. het electron ondergaat voortdurende (centripetale) versnelling en zou dus aldoor moeten stralen. Daarmede zou echter het atoom niet onveranderd kunnen blijven voortbestaan, terwijl dit toch wel het geval is. In verband hiermede willen wij er op wijzen, dat een dergelijke moeilijkheid ook in de theorie van het magnetisme voorkomt. Volgens Ampère is het magnetisme de uiting van elementaire cirkelvormige electrische stroompjes in de atomen der magnetische stof. De electronen-theorie vat die stroomen als wentelende bewegingen van electronen op: om de zoeven genoemde reden zou men dus moeten verwachten, dat die bewegingen door straling werden uitgeput, terwijl toch

een magnetische toestand volkomen onveranderd kan voortduren. Tot nu toe tevergeefs hebben de theoretici met Lorentz aan het hoofd getracht de grondslagen der electronen-theorie een zoodanige wijziging te doen ondergaan, dat daardoor deze innerlijke tegenspraak wordt opgeheven. Over een experimenteel bewijs van de aanwezigheid der wentelende electronen in gemagnetiseerde stoffen komen wij straks te spreken.

Radio-activiteit.

Omtrent de verschijnselen, die onder dit hoofd worden samengebracht, kunnen wij in dit overzicht met een enkele mededeeling volstaan, omdat onze landgenooten zich op dit gebied weinig of niet hebben bewogen.

Wij zien enkele Nederlandsche scheikundigen onderzoekingen instellen omtrent de scheikundige werkingen door de radium-stralen uitgeoefend. W. P. Jorissen en W. E. Ringer vonden een klein, maar positief effect op de snelheid, waarmede chloor en waterstof, buiten den invloed van direct zonlicht geplaatst, zich met elkander tot zoutzuurgas vereenigen. Bij gewoon knalgas, zuurstof en waterstof, werd geen verandering door de straling waargenomen. Bij deze proeven was het radium buiten de gasbuis geplaatst, zoodat van de drie soorten van stralen, die van het radium uitgaan, de sterk absorbeerbare α -stralen niet konden medewerken. Onder die omstandigheden zijn het v. n. de β -stralen, wat niet anders zijn dan zeer snelle kathode-stralen, die voor de werking verantwoordelijk moeten worden gesteld.

Een ander onderzoek van Jorissen met H. W. Woudstra betrof den invloed der stralen op colloïden: volgens de proeven wordt colloïdaal ijzeroxydule door de bestraling gevoeliger voor den praecipiteerenden invloed van electrolyten. Een sterke werking werd eveneens bij colloïdaal chromoxyd aangetroffen.

Een verdere reeks van onderzoekingen had ten doel een van verschillende zijden waargenomen vergrooting van de radio-activiteit door bestraling met kathode-stralen nader te onderzoeken. Een positieve invloed door Jorissen en Ringer gevonden bij het uraanoxyduloxyd scheen bevestigd door proeven van A. P. H. Trivelli¹⁾, maar werd door J. Olie Jr. niet teruggevonden en in twijfel getrokken. Een latere poging van Jorissen en J. A. Vollgraff stelde den laatstgenoemde in het gelijk. Uit dit laatste onderzoek stippen wij aan de reductie van U_3O_7 tot UO_2 door de inwerking der kathode-stralen.

Van geheel anderen aard waren de onderzoekingen van F. H. Büchner: ze betroffen de radio-activiteit van mineralen en gesteenten. Het onderwerp is van groot belang in verband met de vraag naar de verdeling van radium

¹⁾ Trivelli's naam is met dien van P. H. Eykman verbonden aan een bepaalde theorie over den aard der photographische werking bij zilverzouten. Een geheel andere theorie is daartegenover door W. Reinders verdedigd.

over de aarde en binnen in de aarde en naar den ouderdom der gesteenten en dus van de aarde zelve ¹⁾). Over de groote experimenteele moeilijkheden aan het onderwerp eigen zullen wij niet spreken: ze blijken voldoende uit de verschillen, die soms in de uitkomsten van verschillende onderzoekers zijn op te merken. Het komt er op aan de uiterst kleine hoeveelheden radium, welke de mineralen en aardsoorten bevatten, uit hunne radio-actieve werking te leeren kennen. De resultaten van Büchner hieromtrent gelden voor zeer nauwkeurig. Zijn onderzoek bevestigde het grootere gehalte van eruptieve, vergeleken met sedimentaire gesteenten, in het bijzonder wat betreft granieten, kwartsporphyr en syenieten. Hij meent verder gevonden te hebben, dat de gesteenten van Middel-Europa over het algemeen het sterkst radio-actief zijn en dat verschillen tusschen gesteenten van denzelfden petrographischen aard op de hoeveelheid van ingesloten zirkoon-kristallen berust.

Büchner's vondst van aanmerkelijke hoeveelheden radium in den modder van het meertje van Rockanje is later door het onderzoek van mejuffrouw H. J. Folmer in het laboratorium van Haga gebleken onjuist te zijn. Mejuffrouw Folmer bezigde voor haar onderzoek een electrometer van eigen constructie, die in meer dan een opzicht voordeelen aanbiedt.

Onvermeld mag ook niet blijven, dat Madame Curie bij haar onderzoekingen de hulpmiddelen van het Nederlandsche cryogeen laboratorium is komen inroepen, in verband met de vraag, of de straling, die van radium uitgaat, afhankelijk zou blijken te zijn van de temperatuur. De temperatuur beschouwt de natuurkundige als een maat voor de intensiteit der moleculaire bewegingen; de meeste natuurkundige processen en eigenschappen der stof zijn dan ook in zekere mate, soms sterk dan weer minder sterk, met de temperatuur veranderlijk. Uit de proeven van Madame Curie en Kamerlingh Onnes bleek, dat de sterkte van de γ -straling van het radium zelfs bij 20° abs. d. i. 253° C. onder nul nog volkomen onveranderd is; van een invloed der temperatuur is bij de radio-activiteit niets te bemerken. Dit proces vormt derhalve een merkwaardige uitzondering op den algemeenen regel. Het proces, waardoor de geladen helium-atomen, waaruit de α -stralen der radio-actieve stoffen bestaan, uit het atoomverband losraken en met ontzagelijke snelheid naar buiten schieten (dit mag als het essentieele deel van de ingewikkelde werking beschouwd worden), ligt in het duister, maar de genoemde uitkomst beteekent, dat het proces door verandering van de intensiteit der moleculaire beweging geen verandering ondergaat en dus ook met die moleculaire beweging niet in samenhang staat. Voorloopig moet men aannemen, dat de helium-deeltjes bij toevallige gunstige inwendige verhoudingen uit de positieve kern van het atoom vrij komen, en deze

¹⁾ Zie Gids, Juli 1918.

verhoudingen blijken dus met de sterkte der warmtebeweging van de atomen en moleculen in het geheel niets te maken te hebben.

Kalium en rubidium.

Van de grondstoffen, die vóór de ontdekking van de radio-activiteit reeds bekend waren, zijn alleen uranium en thorium betrekkelijk sterk radio-actief. Maar ook bij kalium en rubidium heeft men een zeer zwakke straling kunnen constateeren. Met rubidium-verbindingen heeft Büchner proeven genomen. Evenals kalium zendt rubidium alleen β -stralen uit (d. w. z. kathode-stralen) en sommigen meenen daarom, dat er in dit geval een ander proces aan de straling ten grondslag moet liggen dan de atoom-afbraak, die bij de zware elementen de oorzaak der straling is.

Een indirect bewijs voor de radio-activiteit van kalium vond Zwaardemaker in zijn proeven over den invloed van kaliumzouten in het bloed op de hartklopping, een invloed, die door straling van buiten met een radium-praeparaat kon worden vervangen.

Gas-geleiding.

Bij de meeste meet-methoden omtrent radio-activiteit en evenzeer omtrent Röntgen-stralen wordt de sterkte der straling beoordeeld naar de ioniseerende werking op gassen. Deze werking, welke bij het publiek allicht minder bekend is dan de inwerking op de photographische plaat en die op het lichtscherm, is voor de natuurkunde van het allergrootste belang. Ze bestaat daarin, dat een gas, waar de stralen doorheen strijken, een zoodanige verandering ondergaat, dat het een geleider wordt voor den electricischen stroom; deze verandering berust daarop, dat de neutrale moleculen electricisch geladen worden en wel doordat uit sommige moleculen een electron wordt losgemaakt, waardoor deze positief geladen worden, terwijl dit electron door zich aan een ander molecuul te hechten dit negatief laadt. Bevat het gas eenmaal dergelijke positieve en negatieve deeltjes, ionen, dan zullen deze onder den invloed van electricische krachten in tegengestelde bewegingen geraken en daarmee ontstaat in het gas een electricische stroom, waardoor b.v. een in het gas geplaatste geladen geleider zijn lading allengs verliest. De snelheid, waarmee dit geschiedt, hangt o. a. van het aantal der ionen af en dus van de sterkte der straling, die voor de ionisatie verantwoordelijk is.

Dit verschijnsel, hetwelk spoedig na de ontdekking der Röntgen-stralen bekend werd, is het uitgangspunt geworden voor talrijke onderzoekingen in verschillende richtingen. Men verkreeg daardoor allengs een beter inzicht in den aard der geleiding van electriciteit door gassen ook in andere gevallen; vele verschijnselen, die zich bij de verschillende vormen van electricische ontlading voordoen, werden in verband daarmee nader

onderzocht en hun aard werd vastgesteld, terwijl op talrijke andere elektrische verschijnsels licht geworpen werd.

Ook op dit gebied, de physica der gas-geleiding door electronen en gas-ionen, hebben Nederlanders zich niet geheel onbetuigd gelaten. Wij noemen proefschriften van H. W. C. E. Bückman (Amst. 1881), van D. F. Tollenaar (Amst. 1897) over kathodestralen en van H. G. Cannegieter (Utrecht 1911) over de ionisatie van gassen door het licht van Geislersche buizen, en uit meer recenten tijd de onderzoekingen, die in het fysisch laboratorium van de Philips-fabrieken zijn ingesteld door G. Holst, L. Hamburger en medewerkers over de eigenschappen der ontlading in verschillende gassen, ook in verband met de gas-straling.

Van onmiddellijk practisch belang voor de wetenschap in ons vaderland is de omstandigheid, dat door de bemoeiingen van Holst en zijn medewerkers thans in de genoemde fabriek Röntgen-buizen worden vervaardigd, alsmede andere toestellen van verwanten aard, die vroeger slechts uit het buitenland te verkrijgen waren, zooals de veel besproken versterker van de seinen der draadlooze telegraphie, het audion. Met een en ander, waarbij wij nog onderzoekingen over de wetten der straling kunnen voegen, maakt zich dit laboratorium zoowel uit een practisch oogpunt als van zuiver wetenschappelijk standpunt voor ons land zeer verdienstelijk.

Magnetisme.

De stoffen worden naar hun magnetisch gedrag in drie afzonderlijke groepen verdeeld: ze zijn diamagnetisch, paramagnetisch of ferromagnetisch.

Wanneer men een staafje bismuth in zijn lengterichting aan den invloed van een magnetisch veld onderwerpt, dan wordt het magnetisch en wel zoodanig, dat de richting van zijn magnetisme tegengesteld is aan de richting van de uitwendige kracht. Werkt dus b.v. de kracht zoo, dat een noordpool langs het staafje van links naar rechts gedreven zou worden, zoo wordt het staafje rechts juist zuid-magnetisch en aan het ander uiteinde noord-magnetisch. Zoo zal dus, als men een magneet doet naderen tot een bewegelijk opgehangen staafje van bismuth, een afstooting worden waargenomen en het staafje zal zich loodrecht trachten te plaatsen op de richting van de kracht. Stoffen, welke zich aldus gedragen, heeten *diamagnetisch*: het verschijnsel werd het eerst door A. Brugmans waargenomen (boven blz. 18).

Paramagnetisch noemt men de stof, indien het opgewekte magnetisme in richting met de magnetiseerende werking overeenstemt. Een verschil tusschen het diamagnetisme en het paramagnetisme wordt gevonden ten opzichte van den invloed van de temperatuur op het verschijnsel; in het laatste geval n.l. is het magnetisch moment, dat door een bepaald veld wordt opgewekt, omgekeerd evenredig met de absolute temperatuur

van het lichaam (wet van Curie), een wet, die niet geldt voor het diamagnetisme. Dit laatste verandert met de temperatuur veelal weinig of niet.

Diamagnetische en paramagnetische stoffen stemmen daarin met elkaar overeen, dat ze geen spoor van magnetisme behouden, nadat de magnetische kracht heeft opgehouden te werken. Ze vertoonen dus nooit eenig „remanent” magnetisme. Evenmin kan men deze lichamen „verzadigen”: het magnetisme blijft tot de sterkste velden toe evenredig met de magnetische kracht (zie echter verder op), terwijl men onder verzadiging verstaat het verschijnsel, dat bij toenemende magnetische kracht het opgewekte magnetisme daarmee geen gelijken tred houdt, maar allengs een bepaalde grens nadert, waarboven het niet wil stijgen.

De ferro-magnetische stoffen (ijzer, nikkel, kobalt) — de benaming is van onzen landgenoot H. E. J. G. du Bois afkomstig — zijn paramagnetisch, in zooverre als het opgewekte magnetisme in richting met de kracht samenvalt, maar bovendien vertoonen zij de reeds genoemde verschijnselen van verzadiging en van remanent magnetisme. Dit laatste is slechts een bijzonder geval van een meer algemeene eigenschap, die men hysteresis noemt, daarin bestaande, dat de magnetische toestand van de stof niet door de oogenblikkelijk werkende kracht alleen bepaald is, maar gedeeltelijk van haar voorgeschiedenis afhangt, zoodanig, dat de toestand om het zoo uit te drukken bij de werking van buiten achterblijft, doordat de stof een neiging vertoont om den bestaanden toestand te behouden en slechts schoorvoetend de uitwendige krachten volgt.

Arbeid van Du Bois (1863—1918).

Ten opzichte van de studie der magnetische verschijnselen heeft zich Du Bois bijzonder verdienstelijk gemaakt. Indien men iets wil te weten komen over de constructie van electro-magneten, over den gunstigsten vorm van de poolstukken, over de eigenaardigheden der magnetische schermwerking of over magnetische metingen, zoo kan men niet beter doen dan het werk van Du Bois „Magnetische Kreise” ter hand te nemen en te raadplegen. Ook talrijke eigen waarnemingen zijn daarin verwerkt. Op grond van zijn theoretische onderzoekingen heeft hij een electro-magneet ontworpen, die tot de meest werkzame behoort en meestal gebruikt wordt door wien het er om te doen is een zoo sterk mogelijk veld voort te brengen. Met het grootste model van zijn „half-ring” electro-magneet kan een veld van 40000 gauss worden verkregen in een ruimte, die voor velerlei waarnemingen groot genoeg is, wat dus 240000 maal zoo sterk is als de horizontale component van het aardmagnetisme, onder den invloed waarvan onze boussoles zich richten.

Onder de metingen van Du Bois komen voor nauwkeurige bepalingen van de magnetiseerings-constante (susceptibiliteit) van gasvormige zuurstof

en van water bij verschillende temperatuur: de eerste stof is, voor een gas, sterk magnetisch en wel paramagnetisch, het water is diamagnetisch. Deze metingen werden ondernomen ten behoeve van het verkrijgen van een magnetischen standaard in den vorm van stoffen, wier magnetiseerbaarheid nauwkeurig bekend is en waarmede dan andere stoffen vergeleken kunnen worden.

Wat het water betreft is deze arbeid later in het Bosscha-laboratorium, dat Du Bois te Berlijn gesticht heeft en dat nu sedert kort naar Utrecht is overgebracht, door W. J. de Haas voortgezet. Volgens een oorspronkelijke methode, die wij niet kunnen bespreken, werd een waarde voor de constante van water verkregen, die goed met de nauwkeurigste nieuwere metingen van anderen overeenstemt en als een van de meest betrouwbare mag gelden.

Van de kennis van de constante van water is door Du Bois gebruik gemaakt ten einde de constante van paramagnetische zouten te meten: de methode bestaat daarin, dat het paramagnetische zout in zoodanige hoeveelheid aan het water wordt toegevoegd, dat een magnetisch neutrale oplossing verkregen wordt; hoe sterker het magnetisme van het zout, des te minder zout zal voldoende zijn om den neutralen toestand te bereiken, en die hoeveelheid is dus in de methode de maat voor de susceptibiliteit van de stof.

Hoe de sterkte van magnetische velden gemeten wordt, kan men in het werk van Du Bois nalezen. Een van de methoden berust op de opzuiging van een paramagnetische vloeistof in een nauw buisje, dat in het veld is opgesteld en het eene been vormt van een U-buis met het wijde been buiten bereik van het veld. Voor dit doel heeft Du Bois een bepaalde oplossing van een nikkel-zout aanbevolen, dat niet zooals ijierzouten aan ontleding onderhevig is.

De schrijver heeft verder een toestel ontworpen voor het langs eenvoudigen weg bepalen van de magnetische constanten van ijersoorten, een quaestie, die voor de electro-technische praktijk van groot belang is. In dezen toestel, de magnetische balans, die thans veel gebruikt wordt, wordt het proefstuk binnen een horizontale magnetiseerende klos geplaatst tusschen twee weekijzeren poolstukken, die dus met het ijzer gemagnetiseerd worden. Boven deze poolstukken bevinden zich de uiteinden van een verticaal halfcirkelvormig juk, dat om een horizontale, asymmetrisch aangebrachte as kan draaien. Door de aantrekking der poolstukken zal het juk naar den kant van den langsten arm draaien en door een loopgewicht kan deze draaiing worden opgeheven. De stand van dit gewicht is een maat voor de sterkte der aantrekking en daarmede voor de intensiteit van de magnetisatie, die in de proefstaaf opgewekt is, en daarom is het bij de meting te doen.

Meer van theoretisch belang is de door Du Bois geconstrueerde magnetische tol, die dienen moet tot toelichting van verschillende eigenaardigheden, welke zich bij het magnetisme voordoen.

Een andere meetmethode berust op de vroeger door ons genoemde vermindering van den electricchen weerstand van bismuth in een magnetisch veld in een richting loodrecht op het veld. Men bezigt voor dit doel een platte spiraal van bismuth, die in het veld geplaatst wordt en daarbuiten aan een meetinrichting voor weerstand verbonden is. Bij gewone temperatuur neemt de weerstand in een veld van 37500 gauss in de verhouding 1 : 4 af, maar deze vermindering wordt volgens proeven van Du Bois nog veel sprekender bij lage temperatuur, zoodat zij bij de temperatuur van vloeibare lucht zelfs 1 : 230 bedraagt (zie blz. 195).

Ten slotte vermelden wij den door Du Bois te zamen met Rubens geconstrueerden „pantser”-galvanometer, die zich onderscheidt door een aantal verbeteringen, welke den galvanometer tot een der meest gevoelige maken. De bedoeling van het ijzeren pantser, waarmede het instrument omgeven is, is hem zoo goed mogelijk tegen magnetische invloeden van buiten te beschermen. Zooals men weet, kan men met behulp van een metallisch scherm een toestel volkomen beschutten tegen electricche invloeden: bij magnetische krachten gelukt dit slechts onvolledig. Het kwam er dus op aan de afmetingen en den vorm van het pantser zoo te kiezen, dat het doel zoo goed mogelijk verwezenlijkt werd, en daarbij kon Du Bois van de uitkomsten zijner theoretische onderzoekingen partij trekken. Een bezwaar van deze inrichting wordt gevonden in het remanente magnetisme, dat zich licht in het pantser verzamelt en dat op den magneet van den galvanometer een storende werking kan uitoefenen.

Ophang-methode van Julius.

Nu wij hier gelegenheid vonden over de storingen bij galvanometers te spreken, willen wij in het voorbijgaan de aandacht vestigen op een methode, door W. H. Julius uitgewerkt om een galvanometer ook tegen mechanische stoornissen zoo goed mogelijk te vrijwaren. Het blad, waarop de galvanometer is opgesteld, wordt door middel van drie dunne en lange draden aan de zoldering opgehangen: de massa van den geheelen toestel moet zoo verdeeld zijn, dat het massa-middelpunt in het vlak valt door de aanhechtingspunten van de draden gebracht; in dat geval is, zooals Julius aantoonde, de stoornis door trillingen en schokken het geringst. Tegen zijdelingsche bewegingen kan men den toestel door een van onderen aangebrachte oliedemping beschermen. Deze „ophang-inrichting van Julius” bewijst tegenwoordig ook bij andere toestellen dan juist galvanometers uitstekende diensten.

Snaar-galvanometer van Einthoven.

Nu we over galvanometers spreken, kunnen we den snaar-galvanometer niet onvermeld laten. Deze heeft zijn ontstaan te danken aan de behoefte aan een instrument, waarmede de wisselende electriche uitingen van de werking der hart-spiere tot in de kleinste details kunnen worden opgeteekend. Voorheen bezigde men daartoe den capillair-electrometer, welks aanwijzingen berusten op de verandering van de capillaire constante van een kwik-zwavelzuur oppervlak bij het aanleggen van een potentiaal-verschil. De verschuivingen van een dergelijk oppervlak in een zeer nauw buisje, welke met die verandering samengaan, konden photographisch worden opgenomen. Deze methode was mede door de werkzaamheid van Einthoven zooveel mogelijk ontwikkeld, maar bleef met bezwaarlijkheden behept: het onklaar-geraken van het scheidingsvlak door kleine onreinheden was zeer hinderlijk en bovendien: de betrekkelijke traagheid van de bewegingen maakte, dat men de gezochte potentiaalveranderingen niet onmiddellijk kon registreeren, maar door een langdradig en onzeker proces van berekening uit de aanwijzingen moest afleiden.

In den snaar-galvanometer worden de gezochte aanwijzingen geleverd door een uiterst fijnen, geleidend gemaakten kwartsdraad, die tusschen de polen van een sterken magneet is uitgespannen en door de te meten stroompjes doorloopen wordt. De hierbij optredende heen en weer gaande bewegingen van het midden van den draad worden op een bewegende photographische plaat geprojecteerd en aldus opgenomen. Deze galvanometer paart aan een zeer groote gevoeligheid de eigenschap van uiterst snelle aanwijzing en sterke demping, waardoor de kleinste en snelste veranderingen in den stroom onmiddellijke daaraan beantwoordende verplaatsingen met zich brengen. Het instrument heeft voor het genoemde doel den capillair-electrometer geheel verdrongen, zooals b. v. ook de onderzoekingen van J. K. A. Wertheim Salomonson doen zien. Het kan ook voor talrijke andere doeleinden gebezigd worden: noemen we slechts het opnemen van de seinen bij draadlooze telegraphie. In één woord het is een belangrijke aanwinst voor de experimenteele wetenschap.

De galvanometer van Moll werd vroeger reeds genoemd. Tenslotte mag nog melding worden gemaakt van de zeer effectieve door Kamerlingh Onnes aangegeven schaalverlichting bij spiegelaflezing van galvanometers of andere instrumenten met behulp van een kijker, die b. v. in het laboratorium te Leiden in gebruik is.

Theorie van het magnetisme.

Het magnetisme biedt aan de theoretische verklaring groote moeilijkheden, die nog op lange na niet zijn opgelost. Spoedig nadat door de ontdekking van de magnetische werking van stroomen het lang gezochte

verband tusschen magnetisme en electriciteit gevonden was, deed Ampère zien, hoe het mogelijk was in het algemeen de beide groepen van verschijnselen tot één geheel te vereenigen, door de onderstelling, dat de magnetisatie van een zelfstandigheid toe te schrijven was aan kleine gesloten stroompjes, die om de atomen zouden rondloopen. Een dergelijk stroompje heeft n. l. dezelfde werking naar buiten als een klein magneetje, welks as loodrecht op het vlak van den stroom geplaatst zou zijn. In een stuk niet gemagnetiseerd ijzer zouden de atomen in alle mogelijke richtingen zonder regelmaat dooreen liggen, zoodat hun werkingen buiten het metaal elkander zouden opheffen en dus van de moleculaire stroompjes niets te bemerken zou zijn. Het magnetiseeren bestaat daarin, dat deze elementaire stroomdragende atomen in meerdere of mindere mate gericht worden, d. w. z. evenwijdig aan elkaar komen te liggen, met de stroomen alle in dezelfde richting, als wanneer ze een merkbaar effect zullen teweegbrengen. Deze voorstelling heeft zich in den loop der tijden weten te handhaven: een moeilijkheid, die men gevoelde, was daarin gelegen, dat men zich de moleculaire stroombanen als geheel vrij van electricischen weerstand denken moet: anders zouden de stroomen warmte moeten ontwikkelen, waar niets van bemerkt wordt, en dan ook op den duur in intensiteit verminderen, wat evenmin het geval is.

Aan dit bezwaar moet geen te groot gewicht gehecht worden: de warmte-ontwikkeling van een stroom wordt b. v. in de electronen-theorie aan de niet-elastische botsingen der electronen met de atomen toegeschreven en dit proces is bij het onderstelde stroompje in een atoom niet te verwachten. Bovendien is enkele jaren geleden door Kamerlingh Onnes een geval ontdekt van een gewonen electricischen stroom, die in het geheel geen weerstand schijnt te ondervinden en dus zonder merkbare verzwakking blijft voortduren.

Supra-geleiders van Kamerlingh Onnes.

Verschillende metalen, kwik, tin, thallium en lood, nemen bij de zeer lage temperaturen, die met vloeibaar helium zijn te bereiken, dezen z. g. supra-geleidenden toestand aan. Om dit verschijnsel waar te nemen, moet de geheele stroomkring uit de supra-geleidende stof bestaan en in zijn geheel op de lage temperatuur afgekoeld zijn: anders zal de electricische arbeidsverrichting in het niet supra-geleidende gedeelte van den kring den eenmaal opgewekten stroom onmiddellijk doen uitsterven. Het ligt dus voor de hand den stroom in een afgekoelden geleider door inductie op te wekken, d. w. z. door plotseling een magnetisch veld te doen ontstaan. Maar om aan te toonen, dat de geleider nu een blijvenden stroom draagt, moet diens magnetische werking worden geconstateerd en daartegen verzet zich het magnetische veld, dat men heeft aangebracht om den stroom op

te wekken. Neemt men dit veld weg, dan ontstaat door inductie een tegengestelde stroom in den geleider, die den eerst te voorschijn geroepen stroom volkomen neutraliseert, en de waarneming wordt dus toch onmogelijk gemaakt.

De proeven moeten derhalve anders worden ingericht: voordat het draadklosje afgekoeld wordt en terwijl het dus nog gewonen weerstand bezit, brengt men het veld aan, zoodat de ontstaande stroom onmiddellijk weder verdwijnt. Nu eerst heeft de afkoeling plaats, die de stof supra-geleidend maakt; deze heeft geen magnetisch effect. Men heeft dus nu den toestand verkregen van een stroomvrij klosje bij de lage temperatuur in het veld. Wordt thans het veld opgeheven, dan ontstaat de inductie-stroom, welks aanwezigheid ditmaal door zijn werking op een buiten den afkoelingstoestel geplaatsten magneet kan worden onderzocht.

Onnes heeft de proef nog op een andere wijze genomen, door het afgekoelde klosje met een buiten opgesteld galvanisch element te verbinden en dan met behulp van een ingenieus aangebracht contact het klosje, terwijl de stroom loopt, kort te sluiten. Het element kan dan worden verwijderd en het voortbestaan van den stroom kan evenals straks worden onderzocht.

Het verschijnsel heeft bij ieder der genoemde vier metalen beneden een bepaalde telkens andere grens van temperatuur plaats, welke zooals gezegd alleen met vloeibaar helium is te verkrijgen. Daar het ondanks herhaalde pogingen nog nergens anders dan te Leiden gelukt is helium vloeibaar te maken, laat staan vloeibaar helium tot het doen van proeven dienstbaar te maken, is het verschijnsel der supra-geleiding ook nog slechts daar kunnen worden waargenomen. De genoemde temperatuurgrenzen zijn voor kwik 4.2° , voor tin 3.8° en voor lood 4.3° , alle drie gerekend boven het absolute nulpunt (-273° C.). Wanneer men de temperatuur boven de door die getallen aangegeven drempelwaarde doet stijgen, treedt onmiddellijk de gewone geleidende toestand weder in en verdwijnt de stroom in een oogwenk.

Merkwaardig is verder, dat wanneer de stroom in het supra-geleidende metaal een zekere intensiteit te boven gaat, de supra-geleidende toestand plotseling wordt opgeheven en de weerstand terugkeert. Hetzelfde geschiedt, wat niet minder merkwaardig is, door een sterk van buiten aangelegd magneetveld.

Opmerkelijk is voorts, dat volgens voorloopige proeven van K. Onnes en G. Holst het warmtegeleidingsvermogen van kwik, hetwelk in helium is afgekoeld, volstrekt niet buitengewoon groot wordt, terwijl toch, zooals we vroeger zagen, onder normale omstandigheden de beide geleidingsvermogens een parallel beloop hebben.

Een eenigszins aannemelijke verklaring van het verschijnsel op den

grondslag der electronen-theorie is nog niet gegeven en wij zullen daarbij niet stilstaan. Of er verband bestaat tusschen dezen supra-geleidenden toestand met een weerstand nul en de onderstelde weerstandslooze geleiding in de moleculaire banen van Ampère, blijft voorloopig ook onzeker; toch zou voor menigeen door de ontdekking van Onnes het bezwaar tegen de theorie van Ampère kunnen worden opgeheven. Trouwens, indien men de theorie van Ampère in het moderne gewaad der electronen-theorie gaat kleeden, wordt de zaak eenigszins anders. Men zal dan het kringstroompje in het atoom vervangen door een electron, om het atoom rondlopend. Aanvankelijk kan het dan schijnen, alsof daarmede het genoemde bezwaar zou zijn opgeheven, want waarom zou het electron niet zonder vermindering van snelheid voortdurend om de atoom-kern blijven circuleeren, evenals een planeet om de zon? Toch duikt het bezwaar nu in een anderen vorm ook hier weder op, zooals wij straks reeds zagen: een electron, dat een kromme baan beschrijft, is aan centripetale versnelling onderhevig, moet dus stralen en snelheid verliezen. Dit is natuurlijk een bezwaar, dat voor den niet theoretisch geschoolden belangstellende minder groot is dan voor den theoreticus, die weet, dat hij met de onderstelling van deze met standvastige snelheid circuleerende electronen in tegenspraak is met de theorie, die hij overigens als bindend behandelt. Maar ook in de wetenschap gewent men aan veel en bij het werken met het atoom-model (blz. 231) maken de theoretici zich tegenwoordig zonder blozen aan dezelfde inconsequentie schuldig.

Proef van Einstein en W. J. de Haas.

Zou men de aanwezigheid van die circuleerende electronen in een gemagnetiseerd stuk ijzer misschien door een proef kunnen aantoonen? Deze vraag, die Maxwell zich reeds stelde, is kort geleden door de Haas in samenwerking met Einstein aan een onderzoek onderworpen, dat een bevestigend antwoord heeft opgeleverd.

We stellen ons voor een ijzeren staafje, binnen een draadklos langs de as opgehangen: voordat de stroom door den klos gaat, liggen de atomen onregelmatig gerangschikt door elkander en hebben de electronen-banen dus ook geen bepaalde voorkeur-richting; wanneer de stroom gesloten wordt, richten ze zich zoodanig, dat de electronen om lijnen evenwijdig aan de as in dezelfde richting circuleeren, des te meer volkomen, naarmate het ijzer meer verzadigd is. Voor onze voorstelling is het gemakkelijker om ons te denken, dat de electronen aanvankelijk in rust zijn en de atomen stil blijven staan, maar dat bij het opwekken van het magnetisme de electronen plotseling alle in dezelfde richting gaan rondloopen; men zal wel willen aannemen, dat dit voor het te bespreken verschijnsel op hetzelfde neerkomt als het richten van de atomen.

De electronen hebben zekere (schijnbare) massa en dus ook een

bewegingsmoment om de as van wenteling. Nu leert een der wetten der mechanica, dat indien in een lichaam door de een of andere oorzaak hoeveelheid van beweging om een as ontstaat, de rest van het lichaam een even groote hoeveelheid van beweging in tegengestelden zin moet vertoonen. Dit is niet anders dan het beginsel van gelijke werking en tegenwerking, hier toegepast op de wenteling. Een zeer duidelijke illustratie van het beginsel verkrijgt men met behulp van een trechter met schroefsgewijze gewonden afvoerbuis, die zoo is opgehangen, dat hij om zijn as kan draaien. Giet men in dezen trechter water, zoo ziet men op het oogenblik, dat het water de buis inloopt, den trechter een draaiing verkrijgen tegengesteld aan de richting, waarin de buis gewonden is en dus het water wentelt.

Volkomen hetzelfde mag men van ons ijzeren staafje verwachten: op het oogenblik, dat de wenteling der electronen inzet, moet het staafje een wenteling in tegengestelde richting vertoonen. Ten einde het effect, dat zeer gering is, te versterken, maakten de onderzoekers van een wisselstroom gebruik, zoodat het staafje beurtelings in den eenen en in den anderen zin gemagnetiseerd werd en dus de electronen beurtelings rechts en links om gingen loopen. Het staafje moest dan een wisselende reeks stooten onder vinden, die tot een merkbare heen en wedergaande wenteling aanleiding kan geven, vooral indien de natuurlijke slingertijd van het staafje om zijn as met de periode van den wisselstroom overeenkomt. De laatste bedroeg als gewoonlijk $\frac{1}{50}$ ste secunde en door het staafje aan een stijf glasdraadje op te hangen, waarvan de lengte geregeld kon worden, kon de slingertijd aan den periodieken tijd van den stroom gelijk gemaakt worden.

Niettegenstaande de talrijke storende omstandigheden, die door de schrijvers uitvoerig besproken en zoo volledig mogelijk geëlimineerd werden, kon het effect ten slotte worden waargenomen, zoodat voor twijfel geen ruimte over was. De grootte van het effect stemde ook ten nauwste overeen met wat volgens de theorie te verwachten was in de onderstelling, dat de electronen, die bij de magnetisatie te pas komen, door dezelfde verhouding van lading en massa e/m gekarakteriseerd zijn als bij andere verschijnselen, waarin ze hun aanwezigheid openbaren.

Verdere theorie.

Met dat al blijft het een moeilijke taak uit de theorie de verschillende typen van magnetisatie af te leiden. Voor diamagnetische lichamen moet worden aangenomen, dat de electronen, aan wier beweging het magnetisme wordt toegeschreven, in den ongemagnetiseerden toestand nog niet rondloopen: wordt dan het uitwendig veld aangezet, b.v. door een magneet naderbij te doen komen, zoo worden electronen door inductie in hun weerstandslooze banen in beweging gebracht en uit de wetten der inductie volgt, dat het opgewekte magnetisme tegengesteld zal zijn aan de

magnetische kracht, zooals bij het diamagnetische het geval is. De gelijkenis met de proef van Onnes (blz. 240) zal den lezer wel niet ontgaan.

Voor paramagnetische lichamen moet een andere onderstelling gemaakt worden: de moleculen dezer stoffen moeten van te voren reeds vrij sterk magnetisch zijn en door het magnetisch veld worden ze gericht op de wijze, die besproken werd. Het diamagnetisch inductie-effect moet ook bij deze stoffen aanwezig zijn, maar de aan de magnetische werking tegen- gestelde electronen-bewegingen vallen bij de reeds in de moleculen aanwezige in het niet, zoodat alleen het paramagnetische effect te zien komt.

De moleculen nemen niet alle volledig den stand in, die bij de richting van het veld behoort: immers in dat geval zou het lichaam reeds met de kleinste magnetische kracht verzadigd raken en het tegendeel is waar: de magnetisatie blijkt vrij wel evenredig te zijn met de aangebrachte kracht. Langevin heeft dit verklaard uit de warmte-beweging der moleculen: terwijl de magnetische kracht ze den bepaalden gerichtten stand tracht te doen innemen, zullen ze dank zij de moleculaire warmte-beweging om dien stand schommelingen uitvoeren. Hoe sterker het veld, des te minder zullen de

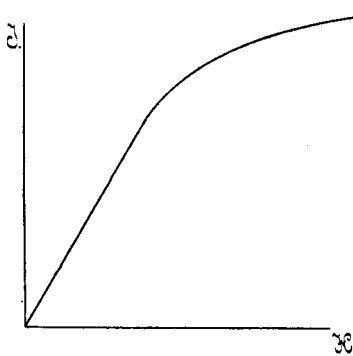


Fig. 15.

afwijkingen uit den bedoelden stand gemiddeld bedragen en des te sterker is dus de magnetisatie van de stof en deze moet tot een grenswaarde naderen (fig. 15), overeenkomende met de volkomen evenwijdige rangschikking van de moleculen. Paramagnetische stoffen zouden dus magnetisch verzadigd moeten kunnen worden. Dat dit tot nog toe bij de gewone temperatuur niet is waargenomen en gemeenlijk het magnetisme evenredig met het veld stijgt, bewijst, dat men met de magnetische velden, die bij de

proeven te verkrijgen waren, slechts een klein gedeelte van het proces heeft kunnen verwezenlijken, nog verre van het gebied verwijderd, waar men de verzadiging begint te naderen.

Daar de warmte-beweging des te zwakker is, naarmate de temperatuur daalt, moet het richten der moleculen door een magnetisch veld bij afkoeling toenemen, met andere woorden de susceptibiliteit moet stijgen; en inderdaad volgt uit de theorie de reeds genoemde wet van Curie, volgens welke deze grootheid omgekeerd evenredig is met de absolute temperatuur.

Voor den experimentator doen zich nu vragen voor als de volgende: hoe wordt het gedrag der paramagnetische stoffen bij steeds lager temperatuur? Blijft de wet van Curie gelden? Is het misschien mogelijk bij lage temperatuur een aanwijzing te vinden van een afwijking van de evenredigheid tusschen kracht en magnetisatie en daarmee van een begin van verzadiging bij sterke velden? Met deze en verwante vragen heeft men

zich onder de leiding van Kamerlingh Onnes in het cryogeen-laboratorium te Leiden bezig gehouden. Het is daarbij gebleken, dat voor sommige stoffen de wet van Curie nog tot de laagste onderzochte temperaturen doorgaat, maar bij de groote meerderheid vertoonen zich vroeger of later aanmerkelijke afwijkingen. Onafhankelijk waren ook Du Bois en Honda bij een aantal paramagnetische elementen op afwijkingen van de wet gestuit.

Het onderzoek van Onnes, eensdeels met Perrier en anderdeels met E. Oosterhuis, betrof vooral zuurstof in den vloeibaren en in den vasten toestand en mengsels van zuurstof met stikstof en voorts een aantal stoffen, als gadolinium-sulfaat, ferro-sulfaat, dysprosium-oxyde, ferrisulfaat, mangaan-sulfaat, palladium, platina enz. De volstrekt niet afdoende verklaringen van deze afwijkingen van de wet van Curie laten wij hier rusten.

Een merkwaardig resultaat werd door Onnes verkregen met gadolinium-sulfaat in een onderzoek dezer stof tot aan helium-temperaturen. Deze stof blijft de wet van Curie volgen tot aan 1.9° abs. temp. en levert dus een voorbeeld van een zuiver paramagnetische zelfstandigheid; wanneer men nu bij 4.25° het veld allengs doet toenemen, blijkt de magnetisatie niet evenredig daarmede te stijgen: de lijn, die het verband tusschen kracht en magnetisatie voorstelt, vertoont dus de uit de theorie af te leiden kromming en deze treedt met nog grooter duidelijkheid bij de lagere temperaturen, b. v. 1.9° op. Daarmede is een eerste voorbeeld gevonden van duidelijke nadering tot verzadiging bij een paramagnetische stof en dus tevens in dit opzicht een bevestiging van de theorie van Langevin. Van belang voor de theorie van het para- en dia-magnetisme is het proefschrift van mejuffrouw H. J. van Leeuwen (Leiden 1919), waarin op enkele van de neteligste vragen door een strenge mathematische behandeling een nieuw licht wordt geworpen. Theoretische bijdragen, waarin de quanten-theorie te hulp geroepen wordt, zijn geleverd door W. H. Keesom en door Oosterhuis.

De theorie van het ferromagnetisme is verreweg het moeilijkst; in het algemeen zal het karakter van de magnetisatie in dit geval in verband moeten staan met een sterke onderlinge wisselwerking tusschen de magnetische moleculen en deze nieuwe factor moet dus in de theorie van Langevin worden ingevoerd. Ook over ferromagnetische stoffen heeft Onnes, ditmaal met Weiss en met Perrier, onderzoekingen bij lage temperatuur uitgevoerd. Ook mogen waarnemingen van Weiss met mejuffrouw C. A. Frankamp en met mejuffrouw E. D. Bruins genoemd worden, het proefschrift van laatstgenoemde (Leiden 1918) en dat van N. G. van Huffel (Utrecht 1898) over het verloop van den magnetischen toestand met den tijd in ijzer. Om de beteekenis dezer proeven te doen uitkomen zou het noodig zijn in te gaan op de wijziging, die Weiss in de theorie heeft aangebracht om haar dienstbaar te maken aan de verklaring van het ferro-magnetisme. Dit zou ons evenwel te ver voeren en wij moeten het dus hierbij laten.

HOOFDSTUK V.

WARMTELEER EN PHYSISCHE CHEMIE.

Inleiding.

De warmteleer kan in twee wetten worden samengevat. De eerste is de wet van het behoud van arbeidsvermogen, met dien verstande, dat alle vormen, waarin de energie zich in de natuur voordoet, en dus ook de warmte, worden medegerekend. Misschien mogen wij van de mannen, die reeds vroeg de enorme beteekenis van deze wet wisten te doorzien, onzen landgenoot Buys Ballot noemen, al heeft de verhandeling, waarop wij het oog hebben, weinig aandacht getrokken en heeft de schrijver zich later met de warmte-theorie niet opzettelijk bezig gehouden.

De tweede wet heeft een geheel ander karakter ¹⁾: terwijl de eerste wet ons in staat stelt om bij ieder natuurlijk gebeuren de balans van winst en verlies van arbeidsvermogen op te maken in de volstrekte zekerheid, dat beide elkaar volkomen zullen dekken, heeft de tweede wet betrekking op de richting, waarin natuurprocessen, aan zich zelve overgelaten, plegen te verlopen. De wet kan op verschillende wijzen met grooter of kleiner algemeenheid worden uitgedrukt; de formuleering, die zich het nauwst aansluit bij den inhoud van de eerste wet, is wel deze: terwijl arbeid geheel in warmte kan worden omgezet en in de natuur deze omzetting voortdurend plaats vindt, gelukt de omgekeerde omzetting van warmte in arbeid niet, tenzij tegelijkertijd een ander proces, b. v. een overgang van warmte van hooger naar lager temperatuur, plaats heeft. Van dit laatste feit getuigen al onze warmte-machines: met de omzetting van warmte in arbeid gaat daarin onvermijdelijk warmte-overgang naar lagere temperatuur gepaard.

¹⁾ Proefschriften van H. A. J. Valkema Blouw (Groningen 1879) en J. M. Smit (Amst. 1881).

Er zijn in de natuur allerlei processen, die „van zelf” verlopen, terwijl de omgekeerde veranderingen blijkbaar op zich zelve onmogelijk zijn: behalve de omzetting van arbeid in warmte, die wij zooeven noemden, b. v. de overgang van warmte van een lichaam van hooger naar een van lager temperatuur: het omgekeerde, dat een warmer lichaam nog meer warmte aan een kouder onttrekt, ziet men nooit geschieden, tenzij er weder tegelijkertijd een andere energie-omzetting plaats vindt, die wel tot de automatische behoort. Als men een lichaam of een stelsel van lichamen warmer ziet worden, kan men er van verzekerd zijn, dat dit met een ander proces verbonden is; als voorbeeld denke men aan de warmte-ontwikkeling bij scheikundige werking, waar juist deze werking het andere voorstelt, waaraan de warmte-ontwikkeling gebonden is. Met behulp van een koelmachine kan aan een koud lichaam nog meer warmte worden onttrokken, maar voor het drijven van de machine wordt arbeid vereischt, die in warmte overgaat.

Nog andere processen kunnen wij noemen, die van geheel anderen aard schijnen dan de thermische van zooeven, maar die toch blijken in den grond hetzelfde karakter te dragen. Zoo b. v. de strooming van een gas van een plaats van hooger naar een plaats van lager druk. Dit proces kan weder niet worden omgekeerd, tenzij met behulp van een pomp, waarin tevens arbeid in warmte overgaat.

Een ander voorbeeld is het diffusie-proces. Als twee ruimten, die verschillende gassen bevatten, door het openen van een kraan of het wegnemen van een tusschenschot, met elkaar in verband gebracht worden, gaan de gassen zich allengs vermengen. Dit is weder een proces, dat niet vanzelf in omgekeerde richting kan verlopen: wel kan men somtijds gemengde gassen uit elkaar halen, maar alleen langs een omweg ten koste van andere bewerkingen, die tot van zelf beloopende veranderingen aanleiding geven of daarmee equivalent zijn. Dezelfde opmerking is van toepassing op de diffusie van vloeistoffen in elkaar en van stoffen in oplossing van verschillende sterkte.

Bij al dergelijke, niet-omkeerbare, vanzelf aflopende processen, waarvan wij de hoofdtypen hebben aangegeven, doorloopen de stelsels toestanden, waarin ze niet in evenwicht verkeerden, anders zou het proces immers dadelijk ophouden.

Tegenover de niet-omkeerbare processen staan natuurlijk de omkeerbare. Een voorbeeld is de samendrukking of expansie van een gas onder een zuiger, die langzaam in- of uitgeschoven wordt. De drukking op den zuiger moet daarbij gedacht worden voortdurend gelijk te zijn aan de drukking van het gas aan de andere zijde; want bij een eindig drukverschil beiderzijds krijgt het proces dadelijk een niet omkeerbaar karakter. Daaruit ziet men, dat aan de voorwaarde van omkeerbaarheid eigenlijk niet streng voldaan

kan worden: immers als de drukken gelijk zijn, blijft er geen kracht over om de beweging te doen ontstaan. Iets dergelijks geldt voor den overgang van warmte tusschen twee lichamen: volkomen omkeerbaar is die slechts, zoo de temperaturen van de twee lichamen gelijk zijn, maar in dat geval houdt de overgang van warmte ook juist op. Een omkeerbaar proces bestaat eigenlijk uit een opeenvolgende reeks van evenwichtstoestanden en juist, omdat het evenwichtstoestanden zijn, is er ook geen reden, waarom het proces in een der twee richtingen plaats zou hebben, en het blijft dan ook uit.

Op die wijze ziet men, dat een omkeerbaar proces in de praktijk niet streng te verwezenlijken is: de omkeerbaarheid is een grensvoorwaarde, waartoe men een werking kan doen naderen zoo ver als men wil, door in het eerste geval de drukkingen en in het tweede de temperaturen zoo weinig mogelijk te doen verschillen. Men ziet hoe dit samenhangt met de omstandigheid, dat wat werkelijk in de wereld geschiedt altijd niet volledig omkeerbaar is: anders zou het niet gebeuren. Bij theoretische beschouwingen spelen de omkeerbare processen een voorname rol.

Entropie.

De thermodynamica leert al die vanzelf gaande veranderingen in een enkele formuleering omvatten. Zij maakt daarbij gebruik van een grootheid, die den naam draagt van entropie en die door den toestand, waar een systeem zich in bevindt, volledig bepaald wordt. Men denke zich het systeem, het mag zijn wat men wil, in een bepaalden, eens voor al gekozen uitgangstoestand en brenge het nu langs omkeerbaren weg in den toestand, dien we willen beschouwen. Bij dien overgang zal het stelsel in het algemeen warmte opnemen of afgeven. Deel nu elke hoeveelheid positieve of negatieve toegevoerde warmte dQ door de absolute temperatuur T op het oogenblik, dat de overgang van warmte plaats vindt, dan is de entropie van het systeem de som van al deze „gereduceerde” warmtehoeveelheden, dus $\eta = \sum \frac{dQ}{T}$.

Men mag den weg, waarlangs men het stelsel uit den standaardtoestand in den anderen overgebracht denkt, geheel willekeurig kiezen: de uitkomst zal altijd even groot zijn; de entropie hangt alleen af van begin- en eindtoestand, niet van den gekozen weg. Dat dit zoo is, wordt bewezen met behulp van een der genoemde uit de verschijnselen afgeleide grondstellingen, b.v. door een redeneering als de volgende: indien aan die gelijkheid niet voldaan was, zou men met behulp van het stelsel warmte geheel in arbeid kunnen omzetten of warmte zonder meer van lage naar hooge temperatuur brengen. Aan die onafhankelijkheid ontleent de entropie juist haar beteekenis; door van die stelling gebruik te maken kunnen omtrent de meest verschillende natuurkundige grootheden nieuwe wetten worden afgeleid, die zonder de thermodynamica niet te bewijzen zijn.

In bepaalde gevallen kan men de entropie van een stelsel berekenen: zoo kan men voor een gas gebruik makende van de gaswetten aangeven, hoe groot in een bepaalden toestand de entropie is; evenzoo voor een mengsel van gassen, voor verdunde oplossingen, enz. In andere gevallen moet men zich de entropie gegeven denken en met het begrip theoretisch opereeren.

De genoemde samenvatting is nu deze: in een stelsel, hetwelk van alle invloeden van buiten afgesloten is en dat door inwendige processen veranderingen ondergaat, neemt de entropie noodzakelijk toe. Wanneer de stationnaire eindtoestand bereikt is, heeft de entropie van het stelsel de grootste waarde aangenomen, die ze verkrijgen kan. Door toepassing van deze wet kunnen allerlei eigenschappen over evenwichten worden afgeleid. Later komen wij deze wet nog wel in een van de vele andere vormen, welke zij kan aannemen, tegen.

Een betrekkelijk elementaire behandeling van de thermodynamica treft men aan in het Leerboek van Bosscha in het deel, dat handelt over de warmte, door J. P. Kuenen. Verder in het door Ph. Kohnstamm geschreven boekje over de warmteleer in de Wereldbibliotheek. Voorts zij gewezen op het Leerboek van J. D. van der Waals en Ph. Kohnstamm en op een uitvoerige verhandeling over de grondslagen der thermodynamica van H. A. Lorentz.

Theorema van Nernst.

Voor de volledigheid vermelden wij een warmte-theorema, dat in later jaren door Nernst als derde wet aan de beide grondwetten is toegevoegd; dit theorema komt hierop neer, dat de entropie van een vast of vloeibaar stelsel bij het absolute nulpunt onafhankelijk is van den toestand, waarin het verkeert. Er volgt o. a. uit, dat de soortelijke warmte van dergelijke „gecondenseerde” stelsels bij $T = 0$ verdwijnen moet en dus bij verlaging van temperatuur tot de grens nul moet dalen. Dit is reeds in verschillende gevallen door proefneming gestaafd. Er hangt mede samen, dat de uitzettingscoëfficiënt eveneens bij lage temperatuur tot nul nadert. Door de wet toe te passen op het evenwicht tusschen vloeistof of vast lichaam met den damp leert ze ons dus ook iets omtrent den laatsten, met name omtrent de dampdrukking. Deze en andere gevolgtrekkingen, die gemaakt kunnen worden, gaan we voorbij. Vermelden we slechts, dat Kohnstamm en Ornstein bezwaren tegen het theorema hebben ontwikkeld, die daarop door Nernst zijn weerlegd. Het is trouwens later gebleken, dat het nauw samenhangt met de langs geheel anderen weg ontstane quanten-theorie.

Toepassingen.

Wij zullen nu enkele gevolgtrekkingen, die langs de aangewezen wegen

uit de warmteleer gemaakt zijn, nader bespreken en kiezen daartoe in het bijzonder dezulke, die ons gelegenheid geven het werk van Nederlanders op den voorgrond te brengen,

Warmte-effect bij uitrekking van een draad.

De eerste toepassing, die wij bespreken, betreft de warmte-absorptie in een metaaldraad, die door een gewicht wordt uitgerekt. Uit de theorie volgt, dat dit effect evenredig is met de aangebrachte kracht en per eenheid daarvan aequivalent moet zijn met het product van de absolute temperatuur en de lengte-vermeerdering per graad temperatuur-verhooving. Deze vergelijking werd het eerst door Haga met goed gevolg quantitatief getoetst en volkomen bevestigd gevonden. De proeven werden genomen met een draad van nieuw-zilver: de warmte-absorptie werd uit de afkoeling van den draad bij de uitrekking afgeleid, welke afkoeling door een thermo-electrische methode gemeten werd.

Terwijl volgens de bekende bepalingen van Joule en anderen één warmte-eenheid (gram-calorie) aequivalent is met 42700 arbeidseenheden (gram-centimeters), gaven de proeven voor diezelfde verhouding het getal 42810, wat er niet merkbaar van afwijkt. Het verdient opmerking, dat alle bij de toetsing gebezigde constanten aan het materiaal zelf werden gemeten, wat een eerste voorwaarde is voor het verkrijgen van een toetsing, die iets beteekent. De nauwkeurige overeenstemming van proefneming en theorie doet zien, dat de mechanische warmte-theorie de temperatuur-veranderingen bij het spannen van draden volkomen juist weergeeft.

Wet van Clapeyron.

Deze wet legt een verband tusschen eenerzijds de warmte, die noodig is om een stof uit den eenen aggregatie-toestand in den anderen om te zetten, dus de z. g. latente warmte l en anderzijds de volumes der beide toestanden v_1 en v_2 en den evenwichtsdruk p . Deze uiterst belangrijke betrekking heeft den vorm:

$$l = (v_2 - v_1) T \frac{dp}{dT}.$$

De breuk $\frac{dp}{dT}$ beteekent de stijging van de evenwichtsdrukking per graad temperatuur-verhooving, en omgekeerd $\frac{dT}{dp}$ de verhooving van de evenwichts-temperatuur per eenheid drukvermeerdering.

De verificatie van deze formule is eenvoudiger voor het smeltproces dan voor de verdamping, omdat het volumen van den verzadigden damp veel minder gemakkelijk met de gewenschte nauwkeurigheid te meten is dan de volumina van vloeibare en vaste stoffen. B. J. Goossens verifieerde door directe waarneming de smeltpunts-verlaging van ijs door druk, zooals die uit de bovenstaande formule voortvloeit. Hij vond experimenteel 0.0066° per atmosfeer in plaats van 0.0074° C.

Een der proeven, waarmede de smeltpunts-verlaging door druk wordt aangetoond, de proef van Bottomley, bestaat daarin, dat een aan beide einden met gewichten bezwaarde staaldraad over een blok ijs wordt geslagen en dit allengs doorsnijdt. Ornstein heeft de snelheid, waarmede dit geschiedt, door berekening trachten te bepalen en zijn uitkomst is door J. H. Meerburg proefondervindelijk getoetst. G. J. Elias behandelde de meer algemeene vraag, hoe het smeltpunt door een of andere elastische kracht — buiging, torsie enz. — gewijzigd wordt.

L. E. O. de Visser heeft de wet voor vast en vloeibaar azijnzuur op de proef gesteld, voor welk doel de stof vooraf met de grootste zorg gezuiverd moest worden. De volume-vermeerdering bij het smelten, waar het in de formule om te doen is, werd bepaald met een gewichtsthermometer. De smeltwarmte l werd verkregen als het verschil tusschen de oploswarmten van vloeibaar en van vast azijnzuur. Bovendien werd de verhouding van de beide grootheden volgens een afzonderlijke methode gemeten door de constructie van een azijnzuur-calorimeter, die in beginsel met den bekenden ijs-calorimeter van Bunsen overeenstemde. De uitkomsten langs beide wegen verkregen stemden binnen de grenzen der waarnemingsfouten met elkander overeen. Eindelijk moest de breuk $\frac{dT}{dp}$ worden gevonden, dus de verandering van het smeltpunt met de drukking. Ook hiervoor werd een afzonderlijk apparaat samengesteld, waaraan de naam *manocryometer* gegeven werd. De drukken worden daarin door de uitzetting van de stof zelve bij het verwarmen teweeggebracht en gemeten op een aan den toestel verbonden gesloten luchtmanometer. De lucht en het azijnzuur zijn daarbij door een kwikzuil van elkaar gescheiden. Het resultaat kan zoo worden samengevat, dat de smeltwarmte door de meting op 46.3 bepaald werd, terwijl uit de berekening met de formule 46.1 voortvloeide, wat een uitstekende overeenstemming genoemd mag worden.

Wet van Braun.

Deze wet is door E. Cohen in samenwerking met verschillende leerlingen, C. I. Kruisheer, L. R. Sinnige, C. Eeuwen en A. L. Th. Moesveld (1918) met groot succes op de proef gesteld. Dit succes was ook bij dit onderzoek weder daaraan te danken, dat alle grootheden, die door de wet met elkaar verbonden worden, door de waarnemers zelve met de grootste te bereiken nauwkeurigheid werden gemeten. In dit geval betreft het het evenwicht tusschen een verzadigde oplossing en de zelfstandigheid, die zich in oplossing bevindt. In mathematischen vorm luidt de betrekking aldus:

$$\frac{\delta x}{\delta T_p} : \frac{\delta x}{\delta p_T} = \frac{Q}{TV}.$$

De eerste breuk beteekent de vermeerdering van de sterkte der oplossing, wanneer men bij standvastige drukking de temperatuur een graad doet stijgen; de tweede breuk is dezelfde verandering door de eenheid van

drukvermeerdering bij standvastige temperatuur; Q is de warmte-hoeveelheid, die gebonden wordt, wanneer een gram stof in de verzadigde oplossing wordt opgenomen, en V de volume-vermeerdering, die met deze oplossing gepaard gaat.

Voor de verificatie viel de keuze op de oplossing van meta-dinitrobenzol in aethylacetaat, omdat deze combinatie in alle opzichten het bereiken van een hoge nauwkeurigheid mogelijk beloofde te maken. Terwijl in dit geval de sterkte der oplossing door verhooging van de temperatuur toeneemt en dus de eerste breuk positief is, neemt de concentratie door drukverhoging af: de tweede breuk is dus negatief. De grootheid V bleek in dit geval positief te zijn, d. w. z. de oplossing had een grooter volume dan de vloeistof en de vaste stof te zamen vóór de oplossing. Ten slotte wordt dus ook Q negatief, derhalve bij de oplossing komt warmte vrij.

De berekening van Q uit de andere grootheden gaf 21.07 gram-calorieën per gram opgeloste stof, terwijl de rechtstreeksche meting 21.02 opleverde, een overeenstemming, die niet beter kon verwacht worden. Het is opmerkelijk, dat van de niet zeer talrijke nauwkeurigheidsmetingen ter toetsing van thermodynamische betrekkingen drie van de beste uit ons land afkomstig zijn.

Als bijzonderheid van het laatst besproken onderzoek wijzen wij op de in dit geval bestaande noodzakelijkheid om onder hoge drukking oplosbaarheidsbepalingen te verrichten; voor dit doel moesten geheel nieuwe methoden van onderzoek worden uitgewerkt (Proefschriften van L. A. Sinnige 1909, C. Eeuwen 1910, W. Schut 1912, A. R. de Boer 1913, H. F. G. Kaiser en M. Valeton 1914). Op die wijze werd het onderzoek onder hoge drukken een specialiteit van het Utrechtsche Van 't Hoff laboratorium, terwijl we de hoge temperaturen in het laboratorium van F. M. Jaeger te Groningen moeten zoeken.

Voordat wij van de toetsing van dergelijke thermodynamische betrekkingen afstappen, verdient nog vermelding een onderzoek van P. C. F. Frowein (Diss. Leiden 1887), hetwelk betrekking had op het verband tusschen de dampdrukking boven een kristalwater-houdend zout en de bindingswarmte tusschen het zout en het kristalwater. De thermodynamische formule was vroeger niet bevestigd gevonden, wat het gevolg scheen te zijn van onnauwkeurigheid in de bepalingen van de dampdrukking boven het zout. Een door Frowein geconstrueerde differentiaal-tensimeter stelde hem in staat om betrouwbare uitkomsten te verkrijgen en de tegenspraak met de theorie te doen verdwijnen.

Oorspronkelijke bijdragen tot de theorie van met de bovenstaande verwante verschijnselen heeft men aan Van der Waals en Van 't Hoff te danken; ook de samenvattende werken van Bakhuis Roozeboom en van Van Laar bevatten veel belangrijk materiaal.

Verdunde oplossingen. Osmotische drukking.

Deze vormen een afzonderlijk gebied van onderzoek. Door Van 't Hoff is het eerst de tweede wet der thermodynamica op dit gebied toegepast. Daarbij ging hij uit van de beschouwing der „osmotische drukking” van een oplossing. Wanneer een oplossing gescheiden is van een ruimte, waarin zich het oplosmiddel afzonderlijk bevindt, door een wand, die alleen het laatste en niet de moleculen van de opgeloste stof doorlaat — men noemt zulk een wand half-doordringbaar of semi-permeabel — dan ontstaat vanzelf aan den kant van de oplossing een hoogere drukking, die de osmotische druk heet, naar het doordringingsproces zelf, hetwelk osmose genoemd wordt. Ook zonder in te gaan op het mechanisme, waaraan de wand deze eigenschap te danken heeft, of ons te bekommeren over de oorzaak van dit verschil in drukking, kan men de wetten der osmotische drukking gaan opsporen. Gedeeltelijk kan men ze aan het experiment ontleenen, verder kan men ze thermodynamisch met elkaar in verband brengen en er op voortbouwen.

Bij de ontwikkeling van de theorie hebben de onderzoekingen van H. de Vries over de osmotische verschijnselen bij plantencellen, de plasmolyse, een rol gespeeld, daar ze een eenvoudig middel aan de hand doen om oplossingen van verschillende stoffen te vinden, welke een even groote osmotische drukking bezitten of, zooals het heet, isotonisch zijn. Daarnaast moeten de proeven van H. J. Hamburger over de osmose bij de roode bloedlichaampjes worden vermeld.

De uitkomst van de aangegeven onderzoekingen is geweest, dat voor de osmotische drukking van verdunde oplossingen dezelfde wetten gelden als voor gassen, zoodat de drukking evenredig is met de dichtheid, d. i. hier met de dichtheid van de opgeloste stof, dus met de concentratie van de oplossing, en evenzeer met de absolute temperatuur. Voorts geldt de wet van Avogadro, dat de drukking evenredig is met het aantal in een bepaald volume aanwezige moleculen, onafhankelijk van hun massa of scheikundigen aard, waarbij wat de oplossingen betreft alleen de opgeloste moleculen mede te rekenen zijn. Eindelijk, wat het merkwaardigste van alles is, de osmotische drukking is volkomen gelijk aan de gasdrukking, die de opgeloste stof zou uitoefenen, indien ze als gas met dezelfde moleculaire gesteldheid in een even groote ruimte ware verspreid als nu door de oplossing wordt ingenomen.

Het werd reeds opgemerkt en het verdient te worden onderstreept, dat deze uitkomst, volgens welke alle gaswetten voor de osmotische drukking doorgaan, geheel onafhankelijk is van de vraag, aan welke inrichting de wand de eigenschap te danken heeft van alleen de eene soort van moleculen door te laten. Indien dit niet het geval ware, zou men tot tegenspraak met de tweede wet der thermodynamica komen.

E. Cohen en J. W. Commelin hebben waarnemingen gedaan over de osmotische drukking van suikeroplossingen in pyridine met caoutchouc membranen als half-doordringbaar vlies en daarbij de door Kahlenberg in dit geval gevonden tegenspraak met de bovenstaande wetten uit den weg kunnen ruimen. Bovendien gaven ze een nuttig overzicht van de vóór hen verrichte directe waarnemingen van de osmotische drukking.

Een andere vraag is nu, of de thermodynamisch afgeleide wetten ook verklaard kunnen worden met behulp van de kinetische hypothese, die met zooveel succes op gassen en vloeistoffen is toegepast. In verband met de gevonden wetten lag de onderstelling voor de hand, dat de drukking door de moleculen der opgeloste stof, die zich te midden van het oplosmiddel rondbewegen, wordt uitgeoefend, evenals de drukking van een gas wordt verklaard uit de botsingen der rondvliegende gasmoleculen. Het oplosmiddel draagt tot deze drukking in het geheel niet bij, omdat de wand daarvoor doordringbaar is, en het komt op het drukverschil aan weerszijden van den wand aan. Deze zeer verleidelijke verklaring van de osmotische drukking is door de meeste onderzoekers op dit gebied aanvaard en het is niet te ontkennen, dat zij een zeer overzichtelijk beeld geeft van een aantal eigenschappen van oplossingen en tot de ontdekking van vele nieuwe wetten heeft geleid. Met dat al levert de theorie van het kinetisch gedrag der opgeloste moleculen moeilijkheden op, die bij de behandeling der gasdrukking niet te voorschijn komen. Boltzmann, Lorentz en Ehrenfest, om slechts de voornaamsten te noemen, hebben hunne krachten aan de oplossing van dit probleem gewijd. Wij kunnen er hier niet langer bij stilstaan.

Verband met andere verschijnselen.

Vooraf belangrijk werden de onderzoekingen van Van 't Hoff door het verband, hetwelk bleek te bestaan met andere voor de waarneming veel beter toegankelijke eigenschappen van oplossingen, met name met de verlaging van het vriespunt van het oplosmiddel door de opgeloste stof en met de verhooging van het kookpunt of, anders gezegd, verlaging van de dampdrukking. De betrekkingen, welke in ieder dier gevallen dit verband uitdrukken, werden door hem met behulp van thermodynamische bewijsmethoden afgeleid: ze bleken deels met reeds gevonden empirische wetten overeen te stemmen en ook overigens, voor zoover ze tot nieuw onderzoek voerden, werden ze glansrijk bevestigd.

Een belangrijk resultaat, waartoe de onderzoekingen van Van 't Hoff het hunne bijdroegen, mag hier niet onvermeld blijven. Oplossingen van zouten en in het algemeen oplossingen, die den electrischen stroom geleiden, de zoogenaamde electrolyten, bleken een grooteren osmotischen druk te hebben dan met het aantal der opgeloste moleculen overeenkwam. Deze omstandigheid voerde in verband met andere verschijnselen tot de hypothese

van Arrhenius, dat de moleculen dezer zelfstandigheden in hun waterige oplossing voor een gedeelte gesplitst zijn in electrisch geladen atomen of atoomgroepen, de zoogenaamde ionen, waarover wij in het voorgaande meer dan eens gelegenheid hadden te spreken. Deze onderstelling is gebleken de verschijnselen in allen deele juist weer te geven. Men moet dus aannemen, dat de ionen, wat de osmotische drukking aangaat en de daarmede onmiddellijk verwante verschijnselen, zich eenvoudig als afzonderlijke moleculen gedragen.

Uit deze theorie volgt o. a., dat de warmte, die ontstaat bij de neutralisatie van een zuur door een base, voor verdunde oplossingen, die hetzelfde aantal moleculen bevatten, onafhankelijk zal moeten zijn van den scheikundigen aard der gekozen stoffen. Immers de base is gesplitst in het metaal-ion en de groep OH, het zuur in het H-ion en de zuurrest en bij de neutralisatie ontstaat het zout, dat op zijn beurt gesplitst is in het metaal-ion en de zuurrest, zoodat het eenige wat bij de inwerking geschiedt dit is, dat uit de OH groep en het H-ion een watermolecuul gevormd wordt, onverschillig met welke stoffen men overigens te doen heeft: de neutralisatie-warmte is dus niet anders dan de vormingswarmte van water. Experimenteel werd deze gevolgtrekking o. a. door de proeven van Ch. M. van Deventer en L. Th. Reicher nader gestaafd. Zij bevestigden langs dezen weg het bestaan van electrolytische dissociatie in alcoholische oplossing¹⁾.

In nauw verband met de theorie der electrolytische dissociatie staan de uitkomsten van A. C. Oudemans betreffende de draaiing van het polarisatievlak bij alkaloïden met zuren, waarvan vroeger gewag gemaakt werd (blz. 177).

Tal van andere Nederlanders hebben in de studie der genoemde en verwante verschijnselen hun aandeel genomen. Laten wij er nog een enkelen noemen. Onder de vroegste bepalingen van dampdrukkingen van zoutoplossingen bij gewone en matig hoge temperatuur behooren die van G. J. W. Bremer met zijn differentiaal-tensimeter. J. F. Eykman maakte zich verdienstelijk ten opzichte van de experimenteele methode der vriespuntsbepaling door het aanwijzen van middelen ter vermindering van verschillende bronnen van fouten. Zijn uitkomsten behooren onder de nauwkeurigste. Vermelding verdient ook een zeer handige, door M. C. Dekhuyzen ontworpen toestel voor de bepaling van het vriespunt (kryoskoop). Waarnemingen op kryoscopisch gebied deed ook A. v. Bijlert (1891). A. Smits gaf een apparaat aan voor de bepaling van de kookpuntsverhooging. Dezelfde onderzoeker deed een aantal metingen van dampdrukkingen van verdunde oplossingen met een micro-manometer van zeer groote gevoeligheid.

¹⁾ Zie ook dissertatie van S. Tijmstra (Amst. 1903).

Twee vloeistoffen (water en aniline) van slechts zeer weinig verschillend soortelijk gewicht vullen een U-buis. Een drukverschil in de beide beenen van de U-buis heeft dan een relatief groote verplaatsing van het gemeenschappelijk oppervlak der vloeistoffen ten gevolge. In samenwerking met Van 't Hoff bepaalde Reicher den graad der dissociatie bij tal van oplossingen en verkreeg bevestiging van de theorie, waar die tot nog toe ontbrak.

Theoretische bijdragen gaven J. J. van Laar en G. Hondius Boldingh. Toepassingen op physiologisch gebied heeft men te danken aan Hamburger, C. Eykman, G. Grijns, J. D. van der Plaats en vele anderen. Over de moderne theorieën betreffende electrolyten, waaraan in het bijzonder de naam van Nernst verbonden is, kan men de dissertatie van A. Winter (Leiden 1906) raadplegen en voorts die van C. Blomberg (Amsterdam 1918).

Een van de merkwaardigste successen van de moderne theorie der oplossingen was de berekening door Nernst van den diffusie-coëfficiënt van electrolyten met behulp van de daarvan geheel onafhankelijke verschijnselen, die bij de electrolyse worden waargenomen: de uitkomsten bleken volkomen met de waargenomen grootte overeen te stemmen. Onder de waarnemers over de diffusie in vloeistoffen neemt J. D. R. Scheffer een eerste plaats in. P. H. Dojes (Diss. Groningen 1887) behandelde de theorie der gangbare experimenteele methoden ter bepaling van den diffusie-coëfficiënt en stelde een tweetal nieuwe methoden voor.

Wet van de massa-werking.

Aan deze wet, die van Guldberg en Waage afkomstig is, gaf Van 't Hoff¹⁾ in dezelfde beroemde verhandelingen, waaruit wij tot nu toe geput hebben, een belangrijke uitbreiding; ook leverde hij een thermodynamisch bewijs, waar vroeger een kinetische beschouwing den grondslag vormde. Daarbij vond hij den regel, volgens welchen de reactie-snelheid met de temperatuur verandert. Onder de waarnemers hieromtrent kunnen Cohen genoemd worden en C. A. Lobry de Bruyn (1857–1904)²⁾.

De wet zegt, dat de snelheid van een scheikundige omzetting samengesteld evenredig is met de concentraties der moleculen, die met elkaar reageeren. Hoe grooter de aantallen der moleculen, die elkaar moeten ontmoeten om andere moleculen te kunnen vormen, in een bepaalde ruimte is, des te grooter de kans, dat de ontmoeting zal plaats hebben en dus

¹⁾ Van 't Hoff deelt ergens mede, dat zijn aandacht het eerst door zijn vriend Bremer op de dissociatieverschijnselen gevestigd werd. Bremer, die later zoo nauw met het Bataafsch Genootschap verbonden werd en er gedurende jaren als secretaris de ziel van was, leverde, zooals ook deze bladzijden doen zien, in verschillende richtingen verdienstelijk werk ten opzichte van de nieuwere scheikunde. Gedurende jaren was hij met W. A. van Dorp, A. P. N. Franchimont, S. Hoogewerf en anderen redacteur van het *Recueil des Travaux chimiques des Pays-Bas et de la Belgique*. Zie kort levensbericht van de hand van S. Birnie in het *Chemisch Weekblad* 7. p. 28. 1910.

²⁾ Proefschriften van R. U. Reinders (1897), A. M. A. H. Steger (1898), P. K. Lulofs (1901), A. W. Visser (1904).

des te sneller de omzetting. De wet kan getoetst worden, waar de reactie langzaam genoeg voortschrijdt.

Verder vindt de wet een toepassing bij omzettingen, die niet afloopen, maar halverwege blijven staan. Dit verschijnsel is het gevolg daarvan, dat de reactie ook in omgekeerden zin kan gaan: naarmate de eerste reactie verder gevorderd is en dus de producten der omzetting toenemen, wordt de kans op de omgekeerde reactie grooter, dat wil dus zeggen, deze neemt in intensiteit toe. Er komt eindelijk een evenwichtstoestand, waarin de snelheden der reacties in beide richtingen even groot zijn. Stelt men deze snelheden, als door de wet der massa-werking bepaald, aan elkander gelijk, zoo vindt men de voorwaarde, die voor den evenwichtstoestand moet gelden. Buys Ballot schijnt de eerste natuurkundige geweest te zijn, die den aard van een dusdanig „bewegelijk evenwicht” en de beteekenis er van voor dissociatie-verschijnselen heeft gevoeld.

Langs den aangegeven weg vindt men onder meer de wetten der dissociatie van gassen. Dezelfde beschouwing mag op het beloop van de electrolytische dissociatie worden toegepast. We laten een en ander onbesproken, slechts vermeldende, dat Van 't Hoff, gelijk vele anderen, tevergeefs getracht heeft een verklaring te vinden van de opvallende afwijkingen, welke sterke zuren ten opzichte van de dissociatie-wet vertoonen. Bevestiging in andere gevallen leverden o. a. proeven van Van 't Hoff en Reicher. In het voorbijgaan stippen we aan de ontdekking door Lobry de Bruyn met Cohen van het sterk ioniseerend vermogen van het door hem het eerst afgezonderde hydrazine. Bij dit onderzoek sluiten zich aan de Bruyn's waarnemingen over het oplossend vermogen van aethyl- en methyl-alkohol en van hydroxylamine.

Door katalysatoren kan de snelheid, waarmede een reactie beloopt, vergroot worden — somtijds zeer sterk — maar de eindtoestand wordt daardoor niet veranderd; hierover bestaan o. a. proeven van N. Schoorl.

De graad van dissociatie van het zuivere water werd gemeten door J. J. A. Wijs door vergelijking van de snelheden, waarmede een vet door water en door een base verzeep wordt.

Phasenleer.

Zooals tevoren reeds werd vermeld, heeft de thermodynamica de algemeene wetten leeren afleiden omtrent de evenwichten, welke in een mengsel van stoffen mogelijk zijn; deze werden het eerst door Gibbs in den vorm van den „phasen-regel” uitgesproken. Onder phase verstaat men n.l. in het algemeen een afzonderlijk optredenden toestand der stof, een damp, een vloeistof of een vaste stof. Gegeven een aantal n met elkaar gemengde stoffen, dan is het aantal r der phasen, dat met elkaar in evenwicht kan bestaan, gebonden aan de voorwaarde, dat $n - r + 2$ gelijk aan of

grooter dan nul moet zijn. Het grootste aantal is dus $r = n + 2$, bijv. bij een enkelvoudige stof ($n = 1$) is $r = 1, 2$ of 3 , bij een mengsel van twee stoffen ($n = 2$) kan r zijn $1, 2, 3$ of 4 , enz. Verder leert de theorie, hoe een systeem zich in elk der gevallen ten opzichte van veranderingen van druk, volume en temperatuur gedragen moet. Eenvoudige bewijzen van dezen phasenregel zijn o. a. door Kuenen en door Wind gegeven.

De uitkomsten van Gibbs bleven langen tijd onvruchtbaar, doordat zijn verhandeling niet in een algemeen verspreid tijdschrift verschenen was. Eerst de experimenteele onderzoekingen van H. W. Bakhuis Roozeboom (1854—1907), waarover Van der Waals geraadpleegd werd, vormden voor dezen de aanleiding de wetten van Gibbs te gaan toepassen, waarbij hij zelf nieuwe betrekkingen aan de reeds gevondene toevoegde en de uitkomsten van Roozeboom met de theorie in overeenstemming vond. Deze onderzoekingen hebben het uitgangspunt gevormd voor het ontstaan van een geheel nieuw gebied der fysische scheikunde.

Behalve Roozeboom heeft vooral F. A. H. Schreinemakers zich daarop naam verworven. Talrijke leerlingen van beide mannen, W. Stortenbeker (1862—1916) als een der eersten en voornaamsten, hebben hen bij den arbeid bijgestaan ¹⁾. De theorie van de meer ingewikkelde gevallen en van de graphische voorstellingen, die op dit gebied geheel onontbeerlijk zijn, hebben Lorentz en D. J. Korteweg helpen ontwikkelen. Verder heeft Van Rijn van Alkemade tot de theoretische kennis der phase-evenwichten bijgedragen.

Laten wij de zaak met de twee eenvoudigste gevallen toelichten: het evenwicht bij enkelvoudige stoffen ($n = 1$) en bij mengsels van twee stoffen ($n = 2$). Wij behouden ons voor op die gevallen nader terug te komen na de bespreking van de toestandsvergelijking, die voor het inzicht wenschelijk is.

Bij één stof kan men $1, 2$ of 3 phasen hebben. Indien er slechts één phase is, kan men twee der bepalende grootheden, p , v en T , willekeurig kiezen; de derde wordt daardoor van zelf bepaald. Een bepaalde hoeveelheid waterdamp in een gegeven volumen gebracht zal bij gegeven temperatuur een bepaalde drukking uitoefenen, die dus niet ook nog gekozen kan worden. Zijn er twee phasen, bijv. damp en vloeistof, dan kan slechts één grootheid, bijv. de temperatuur, gekozen worden: de drukking en de beide dichtheden of specifieke volumes der phasen zijn dan vanzelf bepaald. Met drie phasen (damp, water en ijs) heeft men een zoogenaamd tripelpunt:

¹⁾ Zonder naar volledigheid te streven zullen we hier een aantal namen opsommen: te Leiden B. R. de Bruyn (1899), G. M. Rutten (1900), P. A. Meerburg (1900), C. H. Ketner (1901), W. Middelberg (1902), W. P. A. Jonker (1908), A. J. C. de Waal (1910), D. H. Cocheret (1911), G. J. van Meurs (1913), A. Massink (1913), J. Millikan Azn. (1914), D. F. du Toit (1914), J. W. J. Jacobs (1914), J. C. Thonus Jr. (1918), Meijuffrouw W. C. de Baat.

Te Amsterdam onder Van 't Hoff: J. G. C. Vriens (1890), E. J. Cohen (1893), en later: W. E. Ringer (1901), P. C. E. Meerum Terwogt (1904), C. van Rossum (1905), N. H. Hogervorst (1906), G. H. Leopold (1906), B. M. van Dalfsen (1906), B. G. Eggink (1907), J. P. Wuite (1909), S. Postma (1914), P. J. Nieuwkamp (1915), A. L. W. de Gee (1916) en anderen, die elders vermeld zullen worden.

dit evenwicht is slechts bij één bepaalde temperatuur mogelijk, waarbij tevens evenwichtsdruk en dichtheden vaststaan: een keuze is nu buitengesloten.

Bij twee stoffen (aether en water) heeft men behalve t , p en v nog de mengverhouding als vierde bepalende grootte. Hiervan zijn er bij één fase drie willekeurig, bijv. mengverhouding, temperatuur en druk, waardoor de dichtheid vanzelf vastgesteld is. Bij twee fasen, bijv. vloeibaar mengsel en damp, zijn er twee willekeurige grootheden, bijv. het gehalte en de temperatuur; bij drie fasen nog één (voorbeeld: dampmengsel en twee vloeistoffen; de temperatuur is willekeurig, maar dan volgt de druk vanzelf en ook de volumina zijn dan niet meer te kiezen). Als er vier fasen zijn, bijv. nog ijs er bij, heeft men een quadrupelpunt, dat weder slechts bij één bepaalde temperatuur mogelijk is, terwijl de druk en de dichtheden eveneens vaststaan. De lezer kan volgens hetzelfde schema gemakkelijk zelf de gevallen van $n = 3$ of meer construeeren: wij laten dat derhalve verder rusten.

Dat de evenwichten niet altijd uitsluitend door den fasenregel bepaald worden, blijkt b.v. bij het evenwicht tusschen een vaste stof en haar verzadigde oplossing. De oplosbaarheid is tot op zekere hoogte afhankelijk van de grootte der vaste deeltjes: daaromtrent hebben o. a. Cohen en ook Koster en Stork proeven genomen. Trouwens ook de dampdrukking hangt af van de grootte der aanwezige vloeistofdruppels, dus van de kromming van het oppervlak. In al dergelijke gevallen, waar de moleculaire oppervlakte-krachten een rol spelen, zijn de wetten van het evenwicht minder eenvoudig.

Waarom groeien kristallen in bepaalde richtingen sneller dan in andere? Volgens J. J. P. Valetton (Diss. Amst. 1915) kan dit verschijnsel niet aan een ongelijke oplosbaarheid in die richtingen worden toegeschreven, zoals gewoonlijk geschiedt. De juiste verklaring is dus nog te geven. Over een verwant onderwerp loopt het proefschrift van H. C. Burger (Utrecht 1918).

Ter bepaling van oplosbaarheden bezigde Van Deventer een bijzonder door hem ontworpen apparaat.

De leer van het evenwicht van fasen heeft ook groote beteekenis in verband met zekere praktisch-technische vraagstukken. Wij wijzen op het evenwicht tusschen ijzer en koolstof, dat bij de staalfabrikage te pas komt en dat o. a. door Roozeboom behandeld is, en op het evenwicht tusschen zouten in de minerale zout-afzettingen, waaraan door Van 't Hoff in Berlijn gedurende zijn laatste levensjaren gearbeid is.

Vaste oplossingen.

Wanneer een vaste fase zich uit een oplossing afzet of uit een

mengsel van meerdere stoffen, dan kunnen zich verschillende gevallen voordoen: de stoffen zetten zich afzonderlijk af en, zoo ze naast elkaar voorkomen, doen ze dit zonder op elkaar invloed uit te oefenen, of wel er vormt zich een mengsel van twee of meer stoffen, waarin blijkens zijn gedrag de bestanddeelen in een innig verband met elkander getreden zijn. Voor zulke vaste mengsels heeft Van 't Hoff het begrip „vaste oplossing” ingevoerd, dat zeer tot verheldering van het inzicht in tal van verschijnselen heeft bijgedragen.

Onder de vaste oplossingen behooren de mengkristallen, welke in het bijzonder isomorphe kristallen kunnen vormen. De kennis der isomorphie heeft veel te danken aan de onderzoekingen van onzen landgenoot J. W. Retgers (1856—1896)¹⁾. Tot de ontwikkeling van de leer omtrent de mengkristallen heeft daarna Stortenbeker het zijne bijgedragen.

Wij maken van deze gelegenheid gebruik om het werk op kristallografisch gebied te gedenken van J. L. C. Schroeder van der Kolk (1865—1905). Bekend is zijn methode ter bepaling van den brekingsindex van mineraalkorrels met behulp van een reeks van vloeistoffen van verschillend brekend vermogen onder het microscoop; voorts zijn onderzoekingen over de kleur van mineralen, over het te zamen voorkomen van verschillende metalen in mineralen en over het verband tusschen hardheid en splijtbaarheid.

Over de bijzondere oplossingswetten, welke voor mengkristallen gelden, handelen een aantal v.n. onder Roozeboom bewerkte proefschriften: C. van Eyk (1898), W. Reinders (1899), D. J. Hissink (1899), A. J. Boks (1902), A. C. de Kock (1903), H. E. Boeke (1906), Mejuffrouw A. Prins (1908). Voorts mogen als met de genoemde verwant genoemd worden: H. P. Barendrecht over de dimorphie van het ijs (1896), J. N. Adriani over optische antipoden (1900), E. A. F. Schoevers over tautomerie (1907), A. L. W. E. van der Veen over de symmetrie van diamant (Delft 1911), J. P. Treub over vloeierende kristallen (1914).

Gassen kunnen, evenals in vloeistoffen, in vaste stoffen „oplossen”: a priori bestaat hierbij de mogelijkheid, dat het gas aan het oppervlak der vaste deeltjes verdicht wordt, wat men „adsorptie” noemt — dan gelden afzonderlijke wetten — of dat een scheikundige binding plaats heeft. Hoitsema onderzocht het evenwicht tusschen palladium en waterstof en verkreeg daarbij een absorptie-wet, die er op wijst, dat de waterstofmoleculen niet als zoodanig worden opgenomen, maar zich atoomsgewijze met het palladium verbinden.

Men kan zich van de leer der evenwichten volledig op de hoogte

¹⁾ Een van diens kortere mededeelingen had betrekking op het feit, dat in het algemeen het kristalstelsel, waarin een stof kristalliseert, des te minder symmetrisch is, naarmate de stof scheikundig meer samengesteld is. Volgens Retgers behoort deze wet den naam te dragen van Buys Ballot, die er het eerst de aandacht op gevestigd had, zooals trouwens ook op enkele andere regelmatigheden van dergelijken aard.

stellen door het standaardwerk van Roozeboom te raadplegen, dat na zijn dood door Schreinemakers is voortgezet.

Metastabiele toestanden; metastabiele metalen.

Metastabiel noemt men een toestand, die kan blijven voortbestaan zonder eenige neiging te vertoonen tot overgang in een anderen toestand en dus inderdaad stabiel is, maar toch minder stabiel dan een tweede toestand, die ook mogelijk is en dan ook dadelijk begint zich uit den eersten te ontwikkelen, als een gunstige aanleiding gegeven wordt. Een metastabiele toestand kan ontstaan, doordat bij verandering van temperatuur of drukking een omzettingpunt bereikt wordt, waar uit den eersten een tweede toestand zou moeten te voorschijn komen, omdat deze van daar af de meer stabiele wordt, maar waar deze overgang uitblijft, doordat de gunstige aanleiding afwezig is. Zoo kan het gebeuren, dat bij het verwarmen van een vloeistof het kookpunt overschreden wordt, omdat de kernen ontbreken, waaraan de dampbellen zich kunnen vormen: de vloeistof verkeert dan in een metastabielen toestand. Op een zeker oogenblik ontstaat nu een dampbelletje: plotseling gaat de toestand veranderen; er ontstaat een groote hoeveelheid damp en de temperatuur daalt tot het normale kookpunt. Zoo verklaart zich het koken met stooten, dat vloeistoffen veelal vertoonen.

Dergelijke metastabiele toestanden komen ook bij metalen voor, die in verschillende allotrope modificaties kunnen voorkomen. Cohen heeft in samenwerking met verschillende leerlingen (C. van Eyck en anderen) meerdere voorbeelden van metastabiliteit bij metalen gevonden en deze in allerlei richtingen onderzocht. Dikwijls vertoonen de twee allotrope vormen aanmerkelijke verschillen in hun physische eigenschappen. Het bekendste voorbeeld levert het tin: het gewone witte tin is eigenlijk bij de normale temperatuur metastabiel; begint nu door een bepaalde oorzaak, b. v. door enting, de grauwe variëteit te ontstaan, zoo zal deze omzetting van zelf voortschrijden en het metaal ondergaat een proces van verweering, waarbij het allengs geheel in de meer stabiele modificatie overgaat. Volgens een onderzoek van A. J. Bijl en N. H. Kolkmeijer, met bijstand van W. H. Keesom, met behulp van Röntgenstralen (zie blz. 229) hebben de twee soorten van tin ook verschillenden kristalvorm.

Kolloïden.

De leer der kolloïden vormt een afzonderlijken tak der natuurkundige scheikunde. Door Graham, die de kennis van den kolloïdalen toestand grondvestte, werden de kolloïden gesteld tegenover de kristalloïden, met als hoofdkenmerk de niet-diffundeerbaarheid door dierlijke vliezen. ¹⁾ Tegen-

¹⁾ Over deze zoogenaamde „dialyse“ leverde R. P. van Calcar belangrijke bijdragen.

woordig geldt deze indeeling niet meer met dezelfde scherpthe, daar ze niet afdoende gebleken is.

De kolloïden zelve worden gesplitst in „suspensie”-kolloïden en „hydrophiele” kolloïden. Tot de eerste behooren de fijn verdeelde suspensies van metalen: deze hebben een oppervlakte-spanning en inwendige wrijving, die weinig afwijken van dezelfde grootheden voor het water of in het algemeen voor het oplosmiddel. Ze zijn zeer gevoelig voor kleine hoeveelheden van electrolyten, waardoor ze onmiddellijk neerslaan. Dit neerslaan is niet-omkeerbaar, d. w. z. bij het verwijderen van den electrolyt gaat de stof niet weer in den kolloïdalen toestand terug.

De hydrophiele kolloïden bezitten een kleine oppervlaktenspanning, daarentegen zijn ze zeer viskeus en minder gevoelig voor electrolyten dan de eerstgenoemde soort. Bovendien is het neerslaan hier reversibel. Men noemt ze hydrophiel, omdat men zich voorstelt, dat de gesuspendeerde deeltjes in dit geval innig met waterdeeltjes verbonden zijn. Ze vormen dus a. h. w. „emulsies” van vloeistof in vloeistof en heeten om die reden ook wel „emulsie-kolloïden”. Naarmate de oplossing sterker wordt, gaat ze over in een geleachtige massa, een zoogenaamden gel; de andere noemt men sols. Merkwaardig is het, dat de diffusie van een opgelost zout of anderszins door een gel met dezelfde snelheid plaats vindt als door zuiver water (Graham, Hugo de Vries)¹⁾.

Niet alleen de kolloïden zijn fijn verdeelde suspensies van de deeltjes van het kolloïd, maar hetzelfde geldt ook van de eigenlijke oplossingen. Vele sols kunnen als suspensies worden herkend, d. w. z. discrete deeltjes kunnen er in worden geconstateerd bij microscopische of ultra-microscopische beschouwing. Worden de deeltjes nog kleiner, dan verraadt zich hun aanwezigheid nog door een troebeling, het Tyndall-verschijnsel: de baan van een lichtstraal, dien men door de vloeistof doet gaan, kan van terzijde in blauwachtige tint gezien worden, tengevolge van zijdelingsche diffusie van het licht. De oplossing is dan niet „optisch leeg”. Door C. A. Lobry de Bruyn en L. K. Wolff werd aangetoond, dat ook de ware oplossingen van stoffen met groote moleculen, zooals rietsuiker en raffinose, hoe angstvallig ook van vreemde bestanddeelen gezuiverd, niet optisch leeg te maken zijn, terwijl dit met mierenzuur, methyl- en aethyl-alkohol wel gelukt. Arisz onderzocht het Tyndall-verschijnsel bij sols en gels van gelatine.

Indien er geen essentieel verschil bestaat tusschen een oplossing en een suspensie, zoo moet het mogelijk zijn met oplossingen bij het centrifugeeren dergelijke werkingen te verkrijgen als met suspensies. Inderdaad gelukte het aan Lobry de Bruyn met R. P. van Calcar te doen zien, dat de buitenste lagen van een gecentrifugeerde oplossing een grootere con-

¹⁾ M. W. Beyerink beschreef een proef ter demonstratie van dit verschijnsel.

concentratie verkrijgen en dat men uit een verzadigde oplossing door dit hulpmiddel de opgeloste stof kan doen uitkristalliseeren.

De kolloïde sols vormen zodoende, wat de grootte der deeltjes betreft, een overgang tusschen de grove suspensies en de oplossingen. Overigens gelijken de hydrophiele suspensies in haar eigenschappen meer op geconcentreerde oplossingen van kristalloïden dan de suspensie-kolloïden, zooals o. a. door J. R. Katz in het licht gesteld is. Zoo constateerde A. Smits een verlaging van de dampdrukking voor zwakke zeep-oplossingen.

Na Graham was J. M. van Bemmelen (1830—1910) de eerste, die het onderzoek der gels met ernst ter hand nam en zodoende een stoot gaf tot de ontwikkeling der scheikunde der kolloïden. Door een autoriteit op dit gebied, Arthur Müller, werd een boekwerk over het onderwerp in 1907 aan hem als „dem Altmeister der Kolloïdforschung” opgedragen. Van Bemmelen speurde de veranderingen na, die een gel ondergaat, wanneer hij beurtelings water opneemt en ontwaterd wordt; in het bijzonder werd daarbij de aandacht gegeven aan de wisselingen in de drukking van den damp, die met den gel in evenwicht verkeert. Het bleek, dat een gel bij afwisselende vermeerdering en vermindering van het watergehalte niet dezelfde reeksen van toestanden doorloopt: de toestand hangt bij een gegeven gehalte nog af van wat voorafgegaan is. Laat men den gel aan zich zelf over, dan blijft hij langzaam veranderen. Hij vertoont dus, wat men op ander gebied ook zoo noemt, hysteresis, evenals een stuk ijzer, dat beurtelings gemagnetiseerd en ontmagnetiseerd wordt, en n a w e r k i n g, als een vast lichaam, wanneer het aan een elastischen dwang onderworpen wordt en dan ontspannen¹⁾. Op grond van zijn ervaringen ontwikkelde Van Bemmelen een bepaalde voorstelling omtrent de wijze, waarop de grondstof (kieselzuur b. v. of wat het zijn moge) en het water aan elkaar gebonden zijn. Men kan verder de reeds genoemde studie van Katz hierop nazien.

Metaal-sols kunnen op verschillende wijzen worden verkregen, o. a. door „verstuiwing” van de grondstof: hierover heeft b. v. L. de Bruyn gewerkt. H. W. Woudstra deed een uitvoerig onderzoek over de viscositeit van metaalsol; ook E. H. Büchner deed proeven op dit gebied. Reinders was een der scheikundigen, die met Bredig samenwerkten bij het onderzoek van de metaalsolen als „anorganische fermenten”.

H. R. Kruyt onderzocht kolloïdalen zwavel en houdt zich nog altijd met de studie der kolloïden bezig.

Van groot belang is het feit, dat de gesuspendeerde deeltjes in een kolloïd in het algemeen electrisch geladen blijken te zijn, wat aan ongelijke absorptie van de ionen van verschillend teeken uit de omgevende vloeistof

¹⁾ Hierover bijvoorbeeld een Groningsch proefschrift van E. Bouwman.

wordt toegeschreven. Dit verschijnsel houdt nauw verband met andere op het gebied der electriciteit: in het algemeen vindt men, dat aan het gemeenschappelijk oppervlak tusschen vaste lichamen en water ladingen ontstaan, die zoogenaamde dubbellagen vormen. Deze openbaren zich bij het voeren van een electrischen stroom door een nauwe met vloeistof gevulde buis of, wat op hetzelfde neerkomt, door een poreuzen wand, als wanneer de vloeistof al naarmate van haar oppervlakte-lading met den stroom wordt medegevoerd of in tegengestelden zin gaat vloeien (kataphorese of electrische endosmose), waarover E. van der Ven talrijke proeven gedaan heeft. Omgekeerd ontstaan potentiaal-verschillen en stroomen als men de vloeistof mechanisch door de buis of den poreuzen wand heendrijft. Ook de invloed van potentiaalverschillen op de capillariteit, die in den capillair-electrometer wordt toegepast, hangt met het bestaan van een dergelijke dubbellaag samen. Het neerslaan van kolloïden door electrolyten nu berust volgens de gangbare opvatting op het neutraliseeren van de electrische laag aan het oppervlak der deeltjes: wanneer deze neutraal worden, verliezen ze hun vermogen om te blijven zweven en vlokken uit. Onderzoekers op deze gebieden zijn H. W. Woudstra (Diss. Leiden 1905), W. Reinders, W. P. A. Jonker, H. R. Kruyt en J. van der Spek (Diss. Utrecht 1918).

HOOFDSTUK VI.

KINETISCHE THEORIE.

Kinetische drukking.

De kinetische theorie is ontstaan uit het atomisme der klassieke oudheid; in de middeleeuwen onder den invloed van de denkbeelden van Aristoteles op den achtergrond geraakt, werd het met de renaissance door Gassendi en anderen verlevendigd. Een eigenlijke natuurkundige theorie werd de atoom-theorie eerst, toen men ging beproeven met behulp van moleculaire voorstellingen de eigenschappen der lichamen te verklaren. In de eerste plaats gold het de gassen of elastische vloeistoffen, zooals men ze noemde; voor deze ontdekten Boyle en Mariotte, dat bij standvastige temperatuur de drukking evenredig is met de dichtheid of anders gezegd omgekeerd evenredig met het volume, terwijl later gevonden werd, dat bij temperatuurverhooging onder standvastige drukking het volume en omgekeerd bij standvastig volume de drukking met gelijkmatige bedragen toenemen, die bij verschillende gassen ten naastenbij even groot zijn (wet van Gay-Lussac). Het gelukte aan een reeks van natuurkundigen deze wetten, welke in de formule $p v = RT$ kunnen worden samengevat, uit de kinetische hypothese af te leiden in de onderstelling n.l., dat de moleculen met bepaalde snelheden voortvliegen en dat de botsingen tegen de wanden en evenzoo de onderlinge botsingen volkomen elastisch zijn (T beteekent hier de absolute gastemperatuur, d. w. z. de temperatuur op de schaal van Celsius onder toevoeging van het constante getal 273). Men vindt dan n.l. de betrekking $p v = \frac{1}{3} n m u^2$, waar n het aantal moleculen voorstelt, m de massa van elk molecuul en u hun snelheid. Indien de snelheden voor de verschillende moleculen ongelijk zijn, moet voor u^2 een gemiddelde waarde genomen worden. Men behoefde nu nog slechts de bijkomstige onderstelling, dat de absolute temperatuur evenredig is met u^2 , om overeenstemming met de experimenteele wet te verkrijgen.

Ook de wet van Avogadro, die uitspreekt, dat bij gelijke temperatuur en drukking gelijke volumina voor alle gassen evenveel moleculen bevatten, volgt uit deze theorie, zoo men voor verschillende gassen T evenredig neemt met μ^2 , dus met de gemiddelde kinetische energie $\frac{1}{2} \mu^2$ van het molecuul.

Een eenvoudige berekening leert nu onmiddellijk, hoe groot de snelheden zijn, welke aan de moleculen moeten worden toegeschreven om de juiste waarde van de drukking te verkrijgen. Zoo bleek het molecuul van zuurstof bij 0°C zich gemiddeld met een snelheid van 461 meter per seconde voort te bewegen, het waterstof-molecuul, dat 16 maal lichter is, met een $4 \sqrt{16}$ maal grootere snelheid — immers μ^2 moet voor beide even groot zijn — en zoo verder.

Weglengte.

Toen onze landgenoot Buys Ballot van deze berekening kennis nam, opperde hij het bezwaar, dat men bij dergelijke groote snelheden een veel snellere diffusie van twee gassen door elkaar zou moeten verwachten, dan met de waarneming strookt. Indien men in een vat b.v. koolzuurgas heeft en daarboven b.v. lucht, dan duurt het een geruimen tijd, voordat de gassen zich gelijkmatig gemengd hebben: hoe was dit met de groote snelheden van honderden meters per seconde te rijmen? Daartegen merkte Clausius op, dat de moleculen slechts over zeer kleine afstanden ongestoord kunnen voortvliegen, omdat ze talrijke botsingen uitvoeren, waardoor ze telkens gedeeltelijk worden teruggeworpen, een verklaring, die ook reeds jaren vroeger door Prévost gegeven was. Clausius vond hierin een aanleiding om te gaan berekenen, hoeveel keeren een molecuul van bepaalde grootte met andere omringende moleculen in botsing komt en hoe groot de weg is, dien het gemiddeld tusschen twee opeenvolgende botsingen aflegt. Zijn uitkomst met een later door Maxwell aangebrachte verbetering, voortvloeiende uit de ongelijke snelheden der moleculen, luidde, dat de gemiddelde tusschen twee botsingen afgelegde weg l voldeed aan de betrekking $l = \frac{1}{\sqrt{2}} \pi n_1 s^2$, waar s de middellijn van het molecuul voorstelt en n_1 het aantal moleculen in de volume-eenheid. Hoe meer moleculen er zijn en hoe grooter hun afmeting, des te kleiner is de gemiddelde weglengte, zooals wel te verwachten was.

De schattingen nu, die men over n_1 en s kan maken, bewezen, dat in een gas van normale dichtheid l inderdaad uiterst klein is, en daarmee was de betrekkelijke traagheid van het diffusie-proces voldoende verklaard.

Transport-verschijnselen.

Spoedig daarop gelukte het aan Maxwell door gebruik te maken van deze grootheid l betrekkingen af te leiden voor verschillende eigenschappen

van gassen. Vooreerst voor de inwendige wrijving, d.i. het verschijnsel, dat een gaslaag, die zich voortbeweegt, van een aangrenzende laag, die een andere snelheid heeft, een wrijvingskracht ondervindt, die het gevolg daarvan is, dat de lagen voortdurend moleculen uitwisselen en dus door de botsingen stroomsnelheid op elkaar overdragen. Deze uitwisseling zal des te werkzamer zijn, naarmate de moleculen verder in de naburige laag doordringen en dus hun gemiddelde weglengte grooter is: daarmede is het verband met de laatste grootheid voor ons doel voldoende opgehelderd.

Vervolgens werd op analoge wijze de warmte-geleiding verklaard tusschen gaslagen van verschillende temperatuur, d. w. z. van verschillende gemiddelde moleculaire snelheid (zie boven); bij dit verschijnsel komt het aan op de overdracht van energie. In beide gevallen werd de verrassende uitkomst verkregen, dat het verschijnsel onafhankelijk zou moeten zijn van de drukking en dus van de dichtheid van het gas, en inderdaad werd deze gevolgtrekking door proeven spoedig bevestigd: daarin heeft men steeds terecht een groote triomf van de kinetische theorie gezien en een bewijs, dat ze in hoofdzaak juist moet zijn. Men kan zich de zaak ongeveer aldus verklaren: wanneer het gas verdund wordt, zou men een geringere wrijving verwachten, daar er nu minder moleculen zijn om de snelheidsverschillen te vereffenen, maar daar staat tegenover, dat ze, dank zij de kleinere dichtheid, verder in de naburige lagen doordringen, voor ze botsen en hun snelheden uitwisselen, en dus met moleculen in aanraking komen, die meer in snelheid verschillen dan in het dichtere gas. Daardoor wordt de uitwisseling weer intensiever en dit blijkt de verkleining door de eerste oorzaak juist te compenseeren. Beneden een zekere zeer geringe drukking gaan de wrijving en warmtegeleiding eindelijk afnemen en naderen tot nul, wanneer er geen gas meer over is.

Lorentz heeft later een zeer algemeen bewijs gegeven van de stelling, dat de wrijving van een gas binnen zekere grenzen onafhankelijk is van den graad van verdichting. Dit bewijs komt voor in een uitvoerige verhandeling over de algemeene bewegingsvergelijkingen van een gas, dat uit volkomen elastische moleculen is opgebouwd. Ze bevat o. a. de afleiding van de geluidssnelheid in een gas uit de kinetische theorie, waar vroeger (blz. 99) met een woord melding van gemaakt is.

Aantal en afmetingen der moleculen.

Uit de experimenteel gemeten viscositeit of warmtegeleiding verkrijgt men de waarde van de weglengte en dus, zooals de formule voor deze grootheid doet zien, tevens het product $n_1 s^2$. Om n_1 , het aantal moleculen in de volume-eenheid, en s , den diameter van een molecuul, afzonderlijk te kunnen berekenen, is nog een tweede betrekking tusschen n_1 en s noodig. Deze wordt gevonden uit het gezamenlijk volume der moleculen $1/6 \pi n_1 s^3$;

hiervan kan n.l. althans een benaderde waarde verkregen worden door gebruik te maken van het volume van het tot vloeistof verdichte gas bij zeer lage temperatuur. Het ligt toch zeer voor de hand om aan te nemen, dat de moleculen in vloeistoffen zoo goed als vast op elkaar gepakt liggen, en uit het volume van de vloeistof kan dus dat van de moleculen, als bollen beschouwd, worden opgemaakt. Door de twee uitkomsten te combineeren vindt men voor n_1 een getal tusschen 2 en 3×10^{19} per cM^3 en voor s bij verschillende stoffen waarden van de orde 10^{-8} cM. Deze schattingen worden bevestigd door latere nauwkeurige uitkomsten, die op geheel andere wijze zijn afgeleid.

In plaats van gebruik te maken van het volume der vloeistof nam Van der Waals het volume der moleculen, hetwelk door toepassing van zijn toestandsvergelijking op verschillende zelfstandigheden wordt geleverd (zie later hoofdstuk).

Diffusie.

Maxwell had ook reeds getracht uit zijn beschouwingen de waarde van de diffusie-snelheid te verkrijgen; deze theorie werd nader door O. E. Meyer uitgewerkt. In dit geval bleken de waarnemingen met de theorie niet in overeenstemming. Volgens de laatste zou de coëfficiënt, die de snelheid der diffusie meet, zeer sterk moeten veranderen met de verhouding, waarin de diffundeerende stoffen in een mengsel voorkomen: door bijna zuiver koolzuurgas bijv. zou waterstof veel sneller moeten diffundeeren dan omgekeerd koolzuur door bijna zuivere waterstof, terwijl de waarneming uitwees, dat de diffusie-snelheid vrij wel onafhankelijk is van de verhouding der beide bestanddeelen.

Maxwell heeft later een geheel andere methode toegepast, waarvan ook Lorentz zich bij zijn studie bediend heeft, en deze leverde het juiste resultaat op: er moest dus in Meyer's theorie een fout schuilen. Zooals door Kuenen werd aangewezen, bleek deze fout daarin te liggen, dat geen rekening was gehouden met de zoogenaamde persistentie der bewegingen bij de botsing van moleculen. Het zware koolzuur-molecuul zal door een botsing met een waterstof-molecuul veel minder op zijn weg worden tegengehouden dan omgekeerd: men denke slechts aan wat er gebeuren zal, wanneer een knikker tegen een biljartbal geschoten wordt; de knikker zal bijna geheel teruggeworpen worden en de bal zal zich aan den knikker weinig storen. Brengt men deze omstandigheid behoorlijk in rekening, zoo verdwijnt de krasse tegenspraak tusschen theorie en waarneming bijkans geheel. Met behulp van hetzelfde beginsel werd tegelijkertijd de verklaring gevonden van het feit, dat in sommige gevallen de wrijving in een mengsel van gassen grooter kan worden dan voor de afzonderlijke gassen.

Thermodiffusie enz.

Uit de kinetische theorie kan men voorspellen, dat in twee ruimten, door een nauw kanaal of een poreuze stof van elkaar gescheiden, een verschillende drukking zal heerschen, indien de temperaturen van de ruimten verschillend zijn. Deze voorspelling (C. Neumann) werd door Feddersen bevestigd. J. S. G. Gleuns behandelde het verschijnsel in een proefschrift (Groningen 1878, Promotor R. A. Mees). Men moet er o. a. mede rekening houden bij het bepalen van zeer lage temperaturen met behulp van een gasthermometer: de bol van den thermometer bevindt zich n.l. in het koude bad en de manometer, die de drukking in den bol doet kennen, is op de gewone temperatuur; de twee ruimten zijn door een vrij nauwe buis verbonden. Hoe de vereischte correctie moet worden aangebracht, kan men in de verhandelingen van Kamerlingh Onnes aangegeven vinden.

Bij de bespreking van de onderzoekingen van Onnes zullen wij een tweetal manometers tegenkomen, waarvan het meetbeginsel aan de kinetische theorie ontleend is. De verklaring van den radiometer van Crookes berust eveneens geheel op de werking van de botsende gasmoleculen: tot deze verklaring heeft Mees een bijdrage geleverd.

Snelheidsverdeeling.

Behalve het reeds vermelde heeft men aan Maxwell op het gebied der kinetische theorie vooreerst nog de wet te danken, volgens welke de snelheden over de moleculen verdeeld zijn. Zelfs indien de moleculen in een gas aanvankelijk alle gelijke snelheden bezaten, zou deze regelmaat door de wederzijdsche botsingen spoedig een einde nemen. In den stationnairen toestand, die zich vanzelf instelt, zullen sommige moleculen kleinere, andere grootere snelheden hebben, die voortdurend tusschen hen worden uitgewisseld, en alle waarden tusschen nul en oneindig groot zullen ten slotte vertegenwoordigd zijn: de totale kinetische energie van alle moleculen te zamen zal de oorspronkelijke, eindige waarde blijven behouden, omdat bij elastische botsingen geen energie gewonnen of verloren wordt. In welke mate de verschillende snelheden aanwezig zijn, leert ons de wet van Maxwell.

Aequipartitie.

In de tweede plaats bewees Maxwell de wet, straks reeds genoemd, dat bij gegeven temperatuur de kinetische energie van de moleculen van verschillende gassen gelijk zullen zijn. In een mengsel van gassen verdeelt de energie zich dus gelijkmatig over de moleculen van verschillende massa: hoe zwaarder het molecuul, des te geringer is gemiddeld zijn snelheid. Lorentz heeft aan dit bewijs een zeer sprekenden vorm gegeven.

Op deze uitkomst bouwen de latere onderzoekingen van Boltzmann voort, die ten slotte geleid hebben tot het beginsel der „aequipartitie” van

de energie. De progressieve beweging is niet de eenige, waartoe een molecuul in staat is: het kan ook wentelen en de atomen, waaruit het bestaat, kunnen ten opzichte van elkander trillen. Wanneer de temperatuur toeneemt en de moleculen dus sneller gaan vliegen, zal dit door middel van de botsingen ook de overige bewegingen meer intensief maken en er bestaat dus een verband tusschen de energieën der verschillende mogelijke bewegingen. Dit verband is de wet der aequipartitie. Om het uit te drukken bezigt men het begrip van „graad van vrijheid”. Wat de voortgaande beweging betreft, heeft het molecuul reeds drie graden van vrijheid, in aantal overeenstemmende met het drietal afmetingen van de ruimte. Ook de wenteling van het molecuul, die om drie van elkander onafhankelijke assen kan geschieden, vertegenwoordigt een tweede drietal graden van vrijheid. De trilling van twee atomen ten opzichte van elkander sluit weer een anderen graad van vrijheid in, enz. Het theorema van Boltzmann beweert nu, dat in den stationnairen toestand aan alle graden van vrijheid gemiddeld een even groote energie-hoeveelheid toebehoort.

De geldigheid van deze stelling is volstrekt niet tot gassen beperkt: ze geldt geheel algemeen, ook voor vaste stoffen en vloeistoffen. Er volgt b.v. uit, dat de gemiddelde kinetische energie van een vloeistof-molecuul even groot is als die van een gas- of dampmolecuul bij dezelfde temperatuur; de warmte, die verdwijnt bij het verdampen van een vloeistof zonder verhooging van temperatuur, dient derhalve uitsluitend voor uitwendigen arbeid — het op zij zetten van de uitwendige drukking bij de volume-vergrooting, die de verdamping in zich sluit — en voor het overwinnen van de cohesie der vloeistof, niet voor vergrooting van snelheden der moleculen.

Soortelijke warmte.

Van dit theorema kan gebruik gemaakt worden ter verklaring van de zeer verschillende soortelijke warmte van gassen; s. w. is de hoeveelheid warmte, die per graad en per gram verbruikt wordt bij het verhoogen van de temperatuur. Deze warmte wordt in den vorm van energie in het gas opgenomen: gedeeltelijk dient ze dus om de voortgaande beweging van de moleculen te vergrooten, gedeeltelijk voor de vermeerdering van de zoeven genoemde inwendige bewegingen.

Neemt men alleen de eerste in aanmerking, dan wordt voor de soortelijke warmte juist de waarde gevonden, die door proeven bij de eenatomige gassen verkregen is. Men moet derhalve aannemen, dat deze atomen slechts drie graden van vrijheid bezitten en dat ze dus door de botsingen niet merkbaar in wenteling worden gebracht.

De twee- en meeratomige gassen hebben per molecuul een grootere soortelijke warmte, zooals het theorema zou doen verwachten: blijkbaar spelen hier dus de verdere graden van vrijheid een rol. Hoe men zich de

constitutie der moleculen kan denken, om in ieder afzonderlijk geval met de waarneming overeenstemming te verkrijgen, zullen wij onbesproken laten. Alleen merken we op, dat de resultaten van dit onderzoek ons dwingen om aan te nemen, dat ook hier verschillende graden van vrijheid, welke zonder twijfel aanwezig zijn, blijkbaar onwerkzaam zijn: de soortelijke warmte is n. l. steeds kleiner dan het aantal graden van vrijheid zou doen verwachten.

Hierin ligt een tegenspraak met het theorema der aequipartitie en dus met de klassieke mechanica, voorzover die daarvoor verantwoordelijk gesteld mag worden, en deze tegenspraak wordt steeds sterker, bij hoe lager temperatuur men de stoffen onderzoekt. Zoo daalt bijv. de soortelijke warmte van waterstof bij verlaging van de temperatuur allengs tot de waarde, welke bij een een-atomig gas zonder rotatie van het molecuul te verwachten is.

Iets dergelijks geldt voor de soortelijke warmte van vaste en vloeibare stoffen: ook daarop is de gegeven theorie mutatis mutandis van toepassing en ook hier doen zich afwijkingen voor, die naar lage temperatuur toe in grootte toenemen. De soortelijke warmte van gecondenseerde stelsels neemt naar nul toe af, als de temperatuur het absolute nulpunt nadert ¹⁾).

Quanten-theorie.

Er blijft den theoretici niet anders over dan het besluit te trekken, dat de wetten der mechanica bij de moleculaire verschijnselen inderdaad geschonden worden. De wijze waarop en de voorwaarden waaronder de energie zich aan moleculaire systemen mededeelt, moeten blijkbaar geheel anders zijn dan bij de macroscopische mechanische verschijnselen. Tot deze conclusie had langs geheel onafhankelijken weg de theorie der straling reeds gevoerd. De voorstellingen, welke men zich omtrent een en ander in de laatste jaren gevormd heeft, worden samengevat in de theorie der „quanten”, tot wier opbouw onze theoretici, om slechts Lorentz, Ehrenfest, Debye en Burgers te noemen, met vrucht medewerken. Bij de bespreking van het atoom-model van Rutherford-Bohr hadden wij reeds gelegenheid om deze theorie te vermelden: ons bestek laat geen uitvoerige bespreking van deze voorloopig nog zeer onzekere en uiterst vreemde theorie toe; we zullen alleen trachten het ten grondslag liggende denkbeeld aan te geven.

Denken we ons een lichaam bij het absolute nulpunt: alle moleculen en atomen staan nog stil. Nu gaan we de temperatuur verhoogen en vragen, hoeveel warmte-energie moet daartoe worden toegevoerd. Volgens de klassieke theorie gaan alle mogelijke bewegingen onmiddellijk aan den gang, en wel zoodanig, dat alle graden van vrijheid eenzelfde

¹⁾ Waarnemingen omtrent soortelijke warmten en verdampingswarmten bij zeer lage temperatuur zijn te Leiden door W. H. Keesom verricht.

hoeveelheid energie opnemen. De soortelijke warmte heeft dus dadelijk een eindige waarde, die van dezelfde orde is als bij hogere temperatuur.

Volgens de quanten-theorie zijn de energie-hoeveelheden, die de graden van vrijheid tot zich trekken, niet willekeurig klein, maar bedragen geheele veelvoud van een bepaalde kleine, maar eindige eenheid, een quant. Bij de verhooging van T boven nul is er dus niet onmiddellijk genoeg energie beschikbaar om alle bewegingen te doen aanvangen. In het begin ontvangen slechts zeer enkele van de mogelijke bewegingen een quant en kunnen dus beginnen, de andere blijven voorloopig uit. Kansrekening moet omtrent de verdeling beslissen. De opgenomen warmte is dus eerst eveneens zeer klein, de soortelijke warmte begint met nul te zijn en stijgt eerst allengs tot de grootere waarden, die aan de aequipartitie beantwoorden: aanvankelijk is de energie niet gelijkmatig over de graden van vrijheid verdeeld. De grootte van een quant hangt bovendien af van den aard der elementaire beweging. De meeste dezer bewegingen zijn trillingen (de voortgaande beweging laten we hier onbesproken), ieder met haar eigen frequentie ν , en de quanten-theorie leert, dat een quant evenredig is met ν , dus $h \times \nu$, waar h een universeele constante is, die in de quanten-theorie a. h. w. de grond-eenheid vormt. De hoge frequenties komen dus later aan de beurt dan de lage frequenties. Dat de s. w. van waterstof b.v. aanvankelijk even laag is als bij een-atomige gassen, ligt dus daaraan, dat de inwendige trillingen eerst bij hooger temperatuur genoeg energie krijgen om merkbaar mede te gaan doen.

De schrijver hoopt hiermede den lezer er een indruk van te hebben gegeven, door welke grond-onderstelling men er in slaagt met de uitkomsten der waarnemingen in overeenstemming te komen, maar in de theorie ontbreekt tot nog toe geheel de voorstelling van een mechanisme, dat aan de grondstelling beantwoordt.

Nog een enkel woord over de toepassing op het atoom-model. Volgens de mechanica zouden de electronen banen van alle mogelijke wijdden om de positieve kern kunnen beschrijven. De nieuwe theorie echter beperkt de mogelijke banen tot diegene, waarin de energie een geheel aantal quanten bedraagt, waarbij de aan te nemen frequentie ν nauw met het aantal omwentelingen per secunde samenhangt. Bij het overspringen van een electron uit zijn baan naar een andere van geringere energie wordt de energie, die daardoor beschikbaar komt, als licht van bepaalde golflengte uitgestraald: daardoor verklaart men het bestaan der serieën van spectraallijnen, waar vroeger (blz. 173) over werd gesproken (zie Lorentz, Gids Mei 1919).

H - T h e o r e m a van Boltzmann. Door het aequipartitie-theorema wordt de stationnaire toestand van een systeem van moleculen volledig bepaald. Indien het stelsel aanvankelijk daarvan afwijkt, zal het, dank zij de wisselwerkingen tusschen de moleculen door aantrekking en botsing, vanzelf tot

dien eindtoestand naderen. Over deze nadering tot den stationnairen toestand heeft Boltzmann een beroemd theorema ontwikkeld. Men denke zich de moleculen naar hun snelheden in een zeer groot aantal groepen verdeeld; het gelukte hem nu een uitdrukking op te stellen, waarin die snelheden voorkomen, over al die groepen gesommeerd, en die de eigenschap vertoont, dat ze door alle soorten van botsingen, welke kunnen voorkomen, kleiner wordt; de eindtoestand wordt dan daardoor gekenmerkt, dat deze grootheid H niet verder kan afnemen. Uit de gedaante van H blijkt, dat in dien toestand tusschen de snelheden der moleculen juist dat verband bestaat, hetwelk in het eenvoudigste geval door de wet der snelheidsverdeling van Maxwell wordt uitgedrukt, zoodat het theorema zich daarbij mooi aansluit. Daarmede was meteen bewezen, dat deze eindtoestand de eenig mogelijke was. Het is gedeeltelijk door toedoen van Lorentz, dat dit theorema zijn laatsten strengen vorm verkreeg. Door O. Postma zijn onderzoekingen over het onderwerp gepubliceerd: ook mag een bijdrage van A. Pannekoek vermeld worden.

Laten wij ten slotte vermelden — meer kunnen wij niet doen — dat dit theorema bij nader onderzoek gebleken is niet anders te zijn dan het thermodynamische theorema, van de toeneming der entropie (zie vorig hoofdstuk) in kinetische inkleeding. In het eenvoudigste geval, dat van een verdund gas, waarvoor men de entropie kan aangeven, stemmen H en η geheel met elkaar overeen, behoudens het teeken, zoodat een vermindering van H op hetzelfde neerkomt als een vergrooting van de entropie. Men kan dus ook zeggen, dat door het H -theorema een kinetisch bewijs van de entropie-stelling geleverd is, zij het dan ook, dat het niet als volkomen algemeen mag gelden.

Statistische mechanica.

Wij hebben van de kinetische theorie gesproken als van een toepassing der mechanica; dit is ook volkomen juist, alleen gevoelt men, dat het hierbij om een zeer ingewikkelde toepassing gaat. De gewone methoden kunnen dan ook niet volstaan. Zuiver mechanisch zou het vraagstuk aldus luiden: gegeven een aantal moleculen in bepaalde standen met gegeven snelheden en aan bepaalde onderlinge krachten onderhevig, hoe zal de toestand dan in den loop van den tijd van oogenblik tot oogenblik worden? Het zal wel zonder meer duidelijk zijn, dat een strenge behandeling van dit vraagstuk volkomen onmogelijk zou wezen; daartoe is de toestand veel te ingewikkeld. Met twee moleculen zou het gaan, met drie zouden zich reeds onoverkomelijke moeilijkheden voordoen. Men zal van den aanvang af met gemiddelde waarden moeten werken en de moleculen, zooals straks reeds, naar hun snelheden enz. in groepen verdeeld moeten denken. De beschouwing zal een mechanisch-statistische moeten zijn.

Daarbij is nu niet aan de voortgaande beweging alleen, maar ook aan de overige bewegingen, die bij de verschillende graden van vrijheid van het molecuul behooren, te denken. Het vraagstuk is dan om uit te maken, hoe die verdeling in den stationnairen toestand zijn zal, en een verklaring te vinden van de omstandigheid, dat een systeem uit een willekeurigen toestand tot den stationnairen toestand moet naderen. Het antwoord op de eerste vraag is het theorema van de aequipartitie. Bij het tweede vraagstuk speelt een groote rol de ontdekking van Boltzmann, die met Maxwell en Gibbs tot de grondleggers der statistische mechanica behoort, dat een nauw verband bestaat met waarschijnlijkheidsbeschouwingen. De nadering tot den eindtoestand, waarbij de entropie, zooals wij zagen, allengs grooter wordt, is niet anders dan een voortdurende overgang van het stelsel naar meer en meer waarschijnlijke toestanden. De eindtoestand is dus de meest waarschijnlijke. Volgens die opvatting is het niet onmogelijk, dat een stelsel zich eens merkbaar van den evenwichtstoestand zou verwijderen, dat dus b.v. in een gas vanzelf drukverschillen zouden ontstaan of temperatuurverschillen, of dat een mengsel van gassen zich een eindweegs spontaan in zijn bestanddeelen zou gaan splitsen: niet onmogelijk, maar zeer onwaarschijnlijk en wel des te onwaarschijnlijker, naarmate de verwijdering van den stationnairen toestand grooter wordt.

Ook het analoge theorema uit de thermodynamica, dat de entropie alleen kan toenemen, zou dus niet absoluut geldig zijn, maar op waarschijnlijkheidsgronden berusten. Bij een toevallig gunstig moleculair gesternte zou de entropie wel eens een oogenblik kunnen dalen: de ondervinding leert evenwel, dat deze afwijkingen nooit meer dan de kleinste afmetingen aannemen: haar waarschijnlijkheid is steeds buitengewoon gering.

Toch zijn deze afwijkingen niet geheel onmerkbaar: wanneer het stelsel in stationnair evenwicht verkeert, zullen de individueele botsingen en bewegingen zonder twijfel niet zoo kunnen zijn, dat de entropie haar eindwaarde voortdurend onveranderd blijft behouden. Kleine schommelingen om den stationnairen toestand zijn te verwachten en er zijn verschillende verschijnselen, waarin men een uiting van die uiterst kleine schommelingen mag zien. Bij de behandeling van de kritische verschijnselen zullen wij een dergelijk geval tegenkomen.

Een uitvoerige bespreking van de hier aangeduide theorieën zal men in het populaire boek van Kohnstamm over de warmte-leer vinden: daarin o. a. een bespreking van een zeer suggestieve beschouwing van Van der Waals Jr., die bij de theorie aansluit. Behalve Lorentz heeft diens leerling L. S. Ornstein vele bijdragen op het gebied der statistische mechanica geleverd. Evenzoo O. Postma en J. D. van der Waals Jr. Zij is ook veelvuldig op vaste lichamen aangewend (Lorentz, Ornstein en Zernike, Debye en dissertatie van M. I. M. van Everdingen, Utrecht 1914).

Vermelding verdient eindelijk nog de toepassing der kinetische theorie op de electronen, die vroeger besproken is.

Beweging van Brown.

Hieronder verstaat men de het eerst door R. Brown in 1828 opgemerkte en bestudeerde trillende en zigzagsgewijze voortgaande bewegingen van kleine in een vloeistof of gas gesuspendeerde deeltjes. Reeds meermalen had men het vermoeden geuit, dat deze beweging een gevolg was van de warmte-beweging der moleculen, die tegen deze deeltjes aanbotsen. Eerst in de laatste jaren is deze opvatting door theoretische onderzoeken van Von Smoluchowski en anderen en door vindingrijke proeven van Perrin tot zekerheid geworden. Men is tot het inzicht gekomen, dat er tusschen een oplossing en een suspensie alleen een quantitatief verschil bestaat: de deeltjes van een suspensie gedragen zich eenvoudig als enorm groote en zware moleculen; hun kinetische energie is dus ook gemiddeld even groot als die van de moleculen, waartusschen ze zweven. De eigenaardige banen, welke ze beschrijven, zijn juist het gevolg van het groote verschil tusschen hun massa en die van de moleculen. Hierbij speelt het beginsel der persistentie, dat zware moleculen zich aan de botsingen met kleinere betrekkelijk weinig laten gelegen liggen, waarvan wij bij de bespreking van de diffusie gewaagden, een hoofdrol. In de theoretische beschouwingen van Van der Waals Jr. en van mejuffrouw A. Snethlage over de Brown-beweging komt dit bijzonder duidelijk uit. Theoretische beschouwingen werden verder geleverd door H. C. Burger en P. Ehrenfest.

Een zeer volledige samenvatting van wat over het verschijnsel bekend is en ermede in verband staat kan men vinden in de bevattelijk geschreven dissertatie van G. L. de Haas-Lorentz (1912).

Theorie van de straling.

We komen hier nog eens op de straling terug, omdat de theorie zoowel met de thermodynamica als met de kinetische theorie aanknoopings-punten heeft.

Alle lichamen zijn voortdurend bezig warmte-stralen uit te zenden; hoe hooger de temperatuur, des te sterker de straling. Maar niet alleen, dat de intensiteit der straling voor iedere golflengte bij verwarming toeneemt, ook de aard der straling verandert. Terwijl zij bij lagere temperatuur tot het onzichtbare infra-roode gedeelte van het spectrum beperkt is, dus tot relatief lange golven, komen er bij temperatuur-verhooging steeds kortere golven bij; bij omstreeks 500° C. beginnen de zichtbare stralen aan den rooden kant van het spectrum merkbaar te worden, het lichaam wordt rood-gloeiend, en hoe grooter het deel van het spectrum, dat door de straling omvat wordt, des te meer nadert de kleur tot wit.

Eenerzijds kan nu met behulp van de vroeger genoemde meetwerktuigen in ieder geval de samenstelling van het licht worden bepaald, dus de energie, die aan elk klein gebied van golflengte eigen is, anderzijds kan men beproeven theoretisch de wetten der straling op te sporen en die met de proeven te vergelijken. Vooreerst zij opgemerkt, dat de aard der straling grootendeels door de temperatuur bepaald wordt, maar toch niet volledig. Bij dezelfde temperatuur zal een stuk platina anders stralen dan een stuk kool. De straling is het grootst voor „zwarte” lichamen, d. w. z. lichamen, die de stralen, welke van buiten op het oppervlak vallen, volledig opnemen en dus niets doorlaten of terugwerpen. Immers volgens de wet van Kirchhoff (blz. 203) zijn absorptie- en emissie-vermogen met elkaar evenredig, en waar dus het een zoo groot mogelijk is, moet hetzelfde voor de emissie of straling gelden.

Omtrent de straling van zwarte lichamen, de zogenaamde zwarte of „volle” straling, kan men uit de thermodynamica een tweetal algemeene wetten afleiden. Daartoe beschouwt men een gesloten ruimte — waarin de straling vanzelf zwart zal zijn — en gaat het evenwicht na tusschen deze straling en de wanden der ruimte. De eerste op die wijze gevonden wet zegt, dat de geheele straling evenredig is met de vierde macht van de absolute temperatuur (Stefan—Boltzmann); de tweede leert, hoe bij temperatuur-verandering de energie der afzonderlijke gebieden van golflengte gewijzigd wordt (Wien). Blijft het vraagstuk, hoe de straling bij een willekeurige temperatuur over de verschillende golflengten verdeeld is.

We zagen, op welke wijze Lorentz een antwoord op die vraag zocht, steunende op de electronen-theorie, en hoe zijn uitkomst voor de grootere golflengten, maar ook alleen daarvoor, door de waarneming bevestigd wordt (blz. 203). Langs geheel anderen weg vonden Rayleigh en later Jeans dezelfde formule. De afleiding van Jeans is daarom belangrijk, dat ze geheel op het beginsel der aequipartitie gebaseerd is. Daar de formule voor de kleinere golflengten niet met de waarneming klopt, is hier weder — evenals bij de theorie der soortelijke warmte (blz. 270) — een aanwijzing in te zien, dat dit beginsel niet algemeen geldig is.

Planck heeft het eerst een stralingsformule verkregen, die met de proeven harmonieert, maar daartoe moest hij dan ook een berekeningswijze volgen, die van de klassieke mechanica afwijkt. Deze berekeningswijze heeft zich daarna allengs tot de boven besproken algemeene theorie — de quanten-theorie — ontwikkeld. Er moest worden aangenomen, dat de uitwisseling van energie tusschen de straling en de wanden van de ruimte quant-gewijze plaats vindt, dus in porties van 1, 2, 3 enz. quanten, waarbij voor iedere frequentie ν een quant daarmede evenredig moest worden aangenomen, dus $= h \times \nu$. Door de formule aan de waarnemingen omtrent

de zwarte straling aan te sluiten, kon h gevonden worden en diezelfde waarde is later gebleken ook bij andere toepassingen geldig te zijn.

Van de Nederlanders, die studies aan de stralings-theorie gewijd hebben, noemen we J. D. van der Waals Jr. (Diss. 1900), O. Postma (Diss. 1895), H. B. A. Bockwinkel (Diss. 1907), A. D. Fokker (Diss. 1913), Mejjuffrouw J. Reudler (Diss. 1912) en P. H. Dojes.

HOOFDSTUK VII.

GASSEN EN VLOEISTOFFEN.

Condensatie van gassen.

Over een tusschenruimte van 120 jaren reiken Martinus van Marum en Heike Kamerlingh Onnes elkander de hand, de man, die het eerst een gas, ammoniak-gas, bij samendrukking in vloeistof zag overgaan, en hij, wien het na jarenlangen stelselmatigen arbeid gelukte om het laatste nog onverdichte gas, helium, den vloeistofoestand te doen aannemen.

Tusschen 1787 en 1908 een aantal figuren, te vele om hier de rij te laten passeeren: wij noemen slechts de grootste. Eerst een bijkans ledige periode en dan Michael Faraday met zijn proeven van 1823 en 1845, die er in slaagde alle bekende gassen met uitzondering van een zestal — waterstof, stikstof, zuurstof, kooloxyde, stikstofoxyde en methaan — te bedwingen. Later volgen Cailletet, Pictet, Olszewski, Wroblewski, voor wier aanvallen de overige en tevens het inmiddels ontdekte argon, met uitzondering van waterstof, zwichten, dan in 1896 Dewar met waterstof en in 1908 Onnes met helium. De overige nieuwe een-atomige gassen waren door den ontdekker zelf, Ramsay, reeds als vloeistof verkregen.

De moeilijkheid van het vraagstuk ligt niet in de drukking, maar in de temperatuur; indien de laatste niet laag genoeg is, kan geen drukking, hoe groot ook, de stof doen condenseeren. De temperatuur-grens, die men noodzakelijk naar beneden toe moet overschrijden en die voor iedere stof een andere is, heet de kritische temperatuur: is deze overschreden, dan zal de drukking, die vereischt wordt, des te kleiner zijn, naarmate de temperatuur lager is. De hoogste drukking, die dus ooit noodig zal wezen, is de condensatie-drukking bij de kritische temperatuur, de kritische drukking. Wat deze aangaat, zijn de moeilijk condenseerbare stoffen volstrekt niet

bijzonder: voor de allerhalsstarrigste, waterstof en helium, is de drukgrens zelfs relatief laag, voor waterstof 13 en voor helium slechts 3 atmosferen.

Het komt er dus maar op aan om de temperatuur laag genoeg te maken. Hoe worden de vereischte lage temperaturen verkregen? Het eerst zal men denken aan de koud-makende mengsels, die reeds in de 18^{de} eeuw ook door landgenooten ijverig bestudeerd werden, in het bijzonder aan sneeuw of gestampt ijs met verschillende zouten. Het koudmakend beginsel dezer menging ligt in het smelten van het ijs, door het zout teweeggebracht, waarbij warmte verdwijnt of, als men wil, kou wordt voortgebracht. Maar de grootste kou langs dien weg te verkrijgen met chloorcalcium is een vijftigtal graden onder nul, meer dan toereikend om kwik te bevriezen of b.v. ammoniak tot zijn kookpunt af te koelen, maar bij lange na niet voldoende voor de condensatie der refractaire gassen.

Cascade-methode.

Een veel krachtiger middel dan het smelten levert de verdamping, die aanmerkelijk meer warmte vereischt en dus meer kou teweegbrengt. Een bekend voorbeeld is de verdamping van vloeibaar koolzuur bij het uitlaten uit de in den handel voorkomende ijzeren bussen, waarmede onmiddellijk een temperatuur van -78° C. kan worden voortgebracht: het koolzuur wordt door de afkoeling bij de snelle verdamping vast; door den damp boven het vaste koolzuur, bij voorkeur gemengd met alcohol of aether, weg te pompen kan de temperatuur tot beneden -100° verlaagd worden. Van dit koelmiddel maakten Faraday en anderen een ruim gebruik. Eerst Pictet leerde in 1875, na onvolledige pogingen van Perkins en van Harrison, hoe men van de verdamping van een vloeibaar gas het volle profijt kan trekken door de stof met behulp van een zuig-perspomp een kringloop te doen doormaken, waarin ze eenerzijds door drukking tot vloeistof wordt verdicht, terwijl deze anderzijds door zuiging weder tot krachtige verdamping wordt gedwongen. De vloeistof in den verdamper wordt door den compressor voortdurend aangevuld, terwijl de zuigpomp er geregeld een deel van wegzuigt en daarmede de temperatuur van de vloeistof doet dalen. De laagste temperatuur, die op die wijze bereikt wordt, hangt af van de deugdelijkheid der pompen, in het bijzonder van de laagste drukgrens, die de zuigpomp kan bereiken, en verder van den toevoer van warmte van buiten, die door een bijzondere bescherming van den verdamper zoo gering mogelijk wordt gemaakt.

Het spreekt van zelf, dat men voor het beoogde doel een stof zal moeten kiezen, die reeds door drukking alleen, zonder voorafgaande afkoeling, vloeibaar wordt, dus een stof, wier kritische temperatuur hooger is dan de gewone temperatuur. De gebezigde zelfstandigheid in Pictet's

eerste machine, die voor commercieele doeleinden bestemd was en veel gebruikt werd, was het zwaveligzuur; daarmee kan hoogstens een afkoeling tot 50 of 60° onder nul verkregen worden. Daarna, toen hij zich het verdichten van de nog permanent gebleven gassen ten doel ging stellen, moest hij

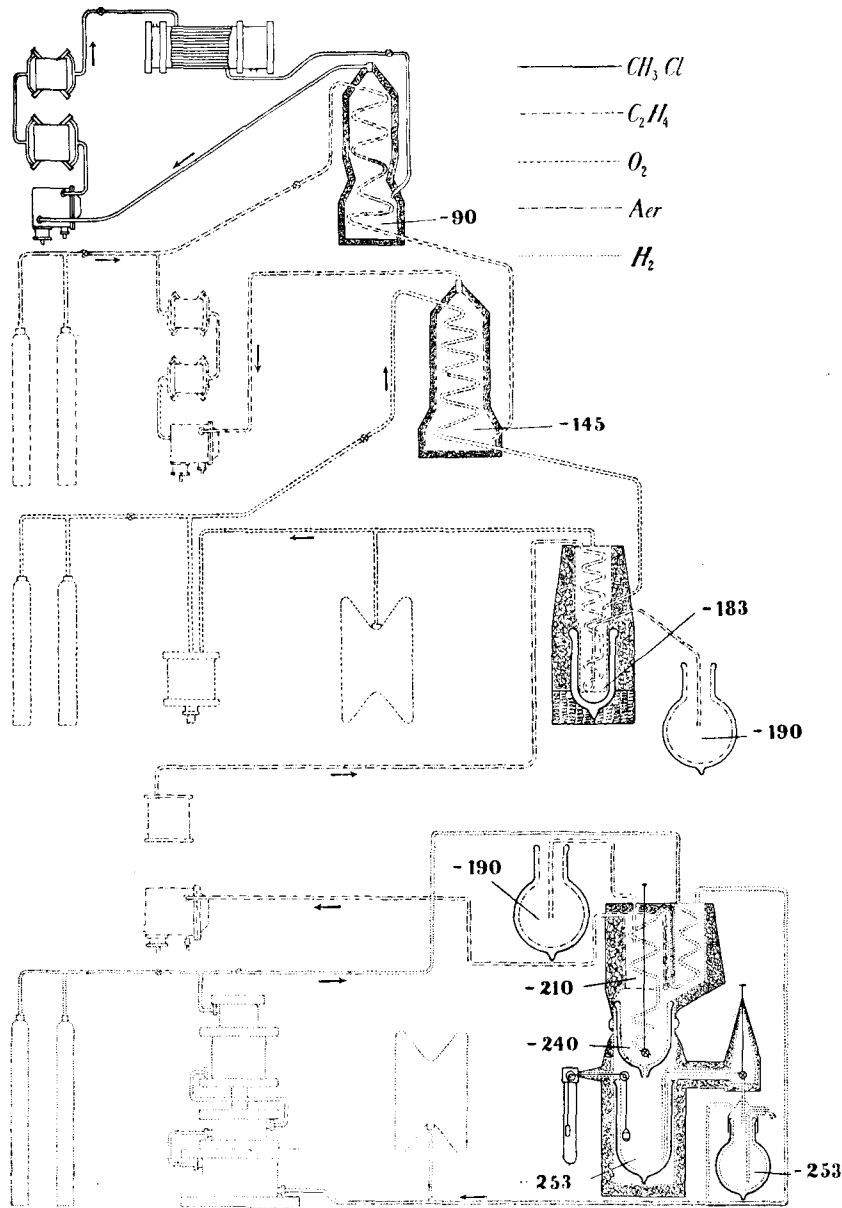


Fig. 16.

twee kringlopen tot een zoogenaamde cascade vereenigen; het beginsel bestaat daarin, dat men in den verdamper van den eersten kringloop een afkoelingspiraal plaatst, die deel uitmaakt van een tweeden kring. De stof, die hierin, weder met behulp van een zuig-pers-pomp, circuleert, is minder gemakkelijk te verdichten dan de eerste en moet dus bij de compressie worden afgekoeld: daarvoor draagt de spiraal, die in de eerste koude vloeistof staat, zorg. Daarin wordt de tweede stof samengeperst en tot vloeistof ver-

dicht; ze wordt dan in een ruimte gevoerd, den verdamper, waaruit ze aan de andere zijde wordt weggezogen, en zoo ontstaat een tweede vloeistof-bad van lager temperatuur dan het eerste, overeenkomstig de hogere dampdrukking en dus lagere kookpunten van de tweede substantie. Op die wijze kan men doorgaan, zoolang er zelfstandigheden te vinden zijn, die langs dien weg in opeenvolgende rij vloeibaar gemaakt kunnen worden. Pictet

bezigde zwaveligzuur en aethyleen; met deze stof kan onder zeer gunstige omstandigheden een vloeistofbad van -140° tot -150° worden verkregen en in gang gehouden. Aan Pictet gelukte het om in een spiraal, die in vloeibaar aethyleen geplaatst was, lucht vloeibaar te maken en deze als vloeistof te doen uitstroomen.

Onnes heeft in zijn cryogeen-laboratorium het cascade-proces tot de hoogste perfectie opgevoerd (in fig. 16 ziet men het schematisch voorgesteld). De stoffen, die hij gebruikt, zijn achtereenvolgens chloormethyl (CH_3Cl kritische temperatuur 143° , normaal kookpunt -24°) aethyleen (C_2H_4 10° , -103°) en zuurstof (O_2 -118° , -183°). Dan wordt in een spiraal, die in vloeibare zuurstof staat, lucht (Aer -141° , -190°) tot vloeistof gecomprimeerd; de vloeibare lucht wordt daaruit afgetapt en in vaten met dubbelen wand volgens het nu uit de thermos-glazen algemeen bekende beginsel van Dewar opgevangen en bewaard.

Het cryogeen-laboratorium is bestemd voor metingen van allerlei aard bij lage temperatuur: de toestel of de stof, die onderzocht wordt, wordt daartoe in een vloeibaar gas geplaatst, welks temperatuur men binnen wijde grenzen kan regelen door de drukking te wijzigen, waaronder het verdampt. Een groot voordeel nu van de cascade-methode is, dat de vereischte vloeibare gassen op elk oogenblik beschikbaar gemaakt kunnen worden, omdat ze van de cascade deel uitmaken. Het geheele temperatuurgebied tot -220° toe kan met de vier genoemde vloeibare gassen vrij wel bestreken worden; tusschen aethyleen en zuurstof kan nog vloeibaar methaan ($t_k = -82^{\circ}.8$, kookpunt -164°) worden ingelascht en bij de laagste temperaturen kan ook dienen stikstof (kritische temperatuur -147° , kookpunt -196° , laagste temperatuur daarmede te bereiken -210° , waar het vast wordt; met zuurstof, dat niet zoo spoedig bevriest, kan men het nog verder brengen).

Waterstof en helium.

Langs den aangegeven weg kan men het niet verder brengen dan stikstof; de laagste zuurstof-temperaturen ($\pm 220^{\circ}$ onder nul) zijn op verre na niet voldoende om waterstof te condenseeren, daar de kritische temperatuur van deze stof bij -240° gelegen is. Ook het later ontdekte neon (kr. temp. -228°) kan het interval tusschen stikstof en waterstof niet overbruggen. Hier moet een geheel ander hulpmiddel te baat genomen worden, n.l. de afkoeling, die een gas bij het doorstromen van een regelkraan ondervindt. De grondslag voor deze methode zijn de proeven van Joule en Kelvin van 1853 en praktisch toegepast is dit beginsel het eerst door Linde in 1895 en ongeveer terzelfder tijd door Hampson en door Dewar. Van de betrekkelijk geringe afkoeling, die plaats vindt, wanneer men een gas in een geregelden stroom, die door pompen wordt onderhouden, door een regelkraan op een lagen druk doet uitvloeien, wordt partij getrokken

om het toestroomende gas op weg naar de kraan vooraf af te koelen, volgens het tegenstroom- of regeneratie-beginsel, tengevolge waarvan de temperatuur automatisch lager en lager wordt. Lucht kan langs dien weg zonder eenig uitwendig koelmiddel, behalve koud water, dat de bij de compressie gevormde warmte afvoert, tot beneden haar kritische temperatuur en ten slotte tot het kookpunt worden afgekoeld en aldus als vloeistof worden opgevangen.

Om waterstof langs denzelfden weg te verdichten, wat aan Dewar het eerst gelukte, moet deze worden voorgekoeld, het gemakkelijkst in een spiraal, die door vloeibare lucht is omgeven (H_2 -240° , -253°). Helium (-267° , -269°) eindelijk wordt vloeibaar, wanneer men het een dergelijken kringloop doet doormaken met vóórkoeling in vloeibare waterstof.

Theoretisch is deze afkoelingsmethode door een regelkraan weinig economisch: veel grooter zou de afkoeling wezen, indien men het gas bij zijn expansie den vollen arbeid kon doen verrichten, waartoe het in staat is; dit kan geschieden door het gas bij de uitzetting een motor te doen drijven. Dit beginsel is o. a. door Onnes in een verhandeling aangegeven, voordat het in handen van Claude tot de constructie van een praktisch bruikbare verdichtingsmethode werd aangewend. Wegens de groote praktische moeilijkheden aan deze methode eigen zal zij de eenvoudiger methode van Linde wel nimmer kunnen verdringen.

Proeven met vloeibare gassen.

De interessante proeven, die met vloeibare lucht kunnen genomen worden, en de eigenschappen van andere stoffen, die aan de lage temperatuur van vloeibare lucht worden blootgesteld, zijn in ons land door de talrijke lezingen van L. Bleekrode bekend geworden; indirect is daarvan, naar men wil weten, de schenking van het veelbesproken Huygens-monument der Hollandsche Maatschappij te Haarlem te danken. Bleekrode was op het gebied der lage temperatuur tevens een serieus onderzoeker: zijn metingen over den brekingsindex van vloeibare gassen hebben in de literatuur over dit onderwerp een blijvende plaats gevonden.

De nog opvallender verschijnselen, die men met de veel koudere vloeibare waterstof verkrijgt, zijn ook, dank zij de werkzaamheid van het Leidsche cryogeen-laboratorium, aan menigen weetgierigen Nederlander in de laatste jaren gedemonstreerd geworden.

Practische uitvoering door Onnes.

Een en ander laat zich in weinig woorden aangeven, maar de praktische uitvoering, waar het op aankomt, is alles behalve eenvoudig. Geen wonder dat er jaren van voorarbeid moesten verlopen, voordat de eindpaal, de condensatie van helium, gepasseerd werd. Wat het helium betreft, reeds

eenmaal merkten wij op, dat de verdichting elders, ondanks ernstige pogingen en volledige publicatie van de gebezigde toestellen en werkwijzen, niet gelukt is.

Terwijl de eerste pompen, die voor de condensatie der gassen zouden dienen, reeds in 1885 werden aangeschaft, valt de eerste publicatie omtrent het cryogene werk eerst in 1894. In de jaren daaraan voorafgaande werden talrijke onderzoekingen op velerlei gebied in het laboratorium ten uitvoer gebracht, onderzoekingen, die in vorige gedeelten van dit overzicht ter sprake zijn gekomen of later zullen worden behandeld. Maar de cryogene afdeling vereischte steeds meer van de beschikbare hulpbronnen en werkkrachten en om die hulpmiddelen niet te versnipperen en het cryogene laboratorium te maken tot de werkelijk eenige instelling, die het geworden is, was het noodig meer en meer de aandacht te concentreeren op onderzoekingen, waarbij lage temperaturen de hoofdrol spelen en die elders waren buitengesloten. Door de in versneld tempo volgende publicaties en door persoonlijke correspondentie slaagde de directeur er in de belangstelling van natuurkundigen uit andere centra, ook buiten ons land, op te wekken en in den loop van tijd zijn velen naar Leiden opgegaan om in samenwerking met Onnes een antwoord te komen zoeken op bepaalde vraagpunten, waar lage temperaturen bij te pas komen. Ook in dit opzicht kan een parallel getrokken worden tusschen Onnes en Van Marum, die zichzelf en zijn electriseermachine voor de wetenschappelijke wereld beschikbaar stelde en met onverdroten ijver jaren lang de vragen, die hem werden voorgelegd, trachtte te beantwoorden. Een verschil zal daarin worden opgemerkt, dat de hem voorgestelde proeven bij de nieuwhed en onzekerheid der elektrische verschijnselen toen ter tijd niet altijd zoo wel overdacht waren, als dat tegenwoordig pleegt het geval te zijn, zoodat Van Marum dikwijls veel tijd besteedde aan proeven, die hem zelf weinig belovend voorkwamen.

Wij zullen beginnen met eenige bijzonderheden omtrent het cryogene werk te Leiden naar voren te brengen. De twee Pictet-pompen, die voor de beide eerste kringlopen van choormethyl en aethyleen bestemd waren, vormen nog steeds een onderdeel van de apparatuur, zij het ook na het aanbrenge van tal van verbeteringen en veiligheidsinrichtingen, waarover wij niet willen spreken. Een andere pomp — een compressor door Cailletet gebouwd — die spoedig daarna werd verkregen, heeft jaren lang eveneens dienst gedaan, nadat zij door Onnes een essentiele wijziging had ondergaan. Het denkbeeld, dat aan de bijzondere constructie van deze pomp ten grondslag ligt, was de schadelijke ruimte boven den zuiger te vermijden door daarop een kwikzuil aan te brengen, die bij het naar boven gaan de buis tot aan de pers-klep geheel opvult. Bij het gebruik openbaarde zich het bezwaar, dat het smeermiddel van den zuiger, glycerine, het kwik dusdanig vervuilde, dat de goede werking herhaaldelijk werd gestoord en het gas verontreinigd werd. Onnes hief dit euvel op door den zuiger

onderste boven te keeren en te doen werken in het eene been van een U-buis, waarvan het andere been onder aan de persruimte verbonden is. Deze buis is tot aan den zuiger met kwik gevuld, zoodat de kwikzuil a. h. w. een verlenging van den zuiger vormt. De glycerine kan nu niet meer tot het uiteinde van de kwikzuil, hetwelk de rol van zuiger speelt, doordringen. Door deze verbetering werd van den compressor een nieuw hulpwerktuig gemaakt, dat voor het comprimeeren van zuivere gassen, aethaan en later helium, belangrijke diensten bewezen heeft.

Talrijke pompen van moderne constructie en deugdelijkheid werden later aan de installatie toegevoegd om de werking der Pictet-pompen te versterken, en voor het comprimeeren van de zuurstof en de lucht. Voor de condensatie en den kringloop van waterstof werd op den duur een geheel afzonderlijke installatie ingericht, evenals later voor het helium.

Een eenigszins volledige beschrijving van de verschillende condensatoren — door Onnes bij voorkeur kookflesschen genoemd — zou ons te lang ophouden. Alleen zij opgemerkt, dat Onnes bij de constructie van den aanvang af met het oog op een economische en dus zoo krachtig mogelijke werking stelselmatig het beginsel der regeneratie heeft toegepast, om welke reden de cascade-installatie met vol recht den bij-titel „met regeneratie” verdient. De afkoelende stof, die in de kookflesch als vloeistof aanwezig is (fig. 16), wordt daaruit in dampvorm weggezogen en strijkt daarbij om een spiraal, waardoor het af te koelen gas toestroomt, zoodat dit, reeds voor het de vloeistof-ruimte binnen komt, zoo volledig mogelijk wordt afgekoeld en de damp de kookflesch eerst verlaat, nadat hij al zijn koude heeft afgestaan. Voor verdere bijzonderheden omtrent de in alle onderdeelen volmaakt doordachte constructie, ook wat betreft de warmte-isolatie, verwijzen wij den lezer naar de desbetreffende publicaties. De chloormethylcondensator van Pictet werd na eenige jaren eveneens door een dergelijke kookflesch vervangen.

Cryostaten.

Voor de afkoeling van meetbuizen en andere toestellen, die bij lage temperatuur moeten worden onderzocht, dienen zoogenaamde cryostaten van geheel oorspronkelijken bouw, die eerst na jaren van ondervinding hun tegenwoordigen vorm hebben verkregen. Deze cryostaten moeten aan tal van voorwaarden voldoen, waarvan we er enkele willen opnoemen. Ze moeten luchtdicht zijn, daar de temperatuur van het bad door drukverlaging beneden een atmosfeer tusschen het normale kookpunt van het vloeibare gas en de laagste temperatuur, die er mede te verkrijgen is, moet worden geregeld. De toevoer van het vloeibare gas moet met groote zorgvuldigheid kunnen geschieden om brekages door te snelle afkoeling te voorkomen: de noodige veiligheidsinrichtingen moeten worden aangebracht

voor het eventueel knappen van glazen. De toevoer van warmte van buiten moet tot een minimum worden teruggebracht, voor welk doel o. a. de

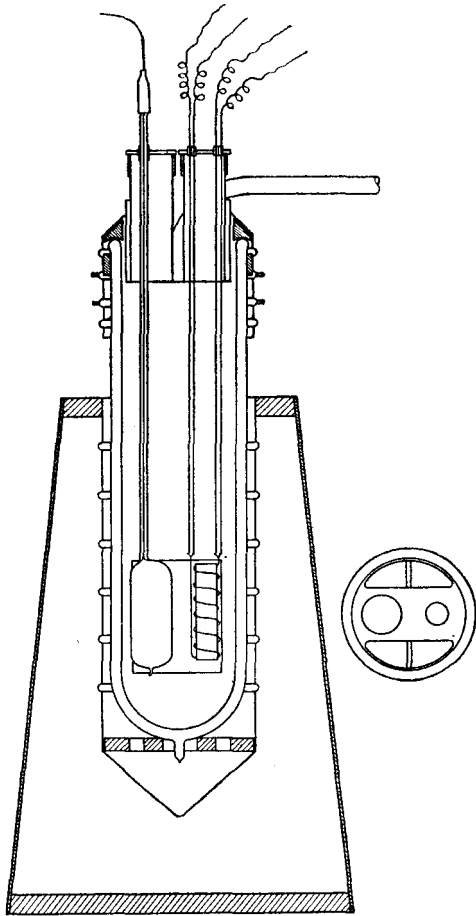


Fig. 17.

onderste ruimte, waarin het vloeibare gas zich verzamelt, door een of meer vacuümg-lazen, met vloeistoffen van hogere temperatuur gevuld, omringd moet worden. En bij dat alles moet in vele gevallen worden waargenomen, wat binnen in den toestel geschiedt, bijv. bij het bepalen van condensatie-punten of kritische konstanten. Figuur 17 moge een indruk er van geven, hoe een cryostaat, voor bepaalde metingen ingericht, er ten slotte uitziet. In dit geval bevat de cryostaat (1) den bol van een gasthermometer (2) een weerstandsspiraal (3) twee roerders, die terzijde in doorsnede zijn weergegeven. Deze worden van boven uit electromagnetisch op en neer bewogen. Een meer uitvoerige beschrijving en toelichting der onderdeelen zouden hier misplaatst zijn.

Damp-cryostaat.

Het kan voorkomen, dat de temperatuur, die men gebruiken wil, niet met een vloeibaar gas te verkrijgen is: dit geldt bijv. voor de kritische temperatuur van neon, want het kookpunt van zuurstof, de stof die voor dit doel in aanmerking zou komen, kan niet voldoende verlaagd worden, en dezelfde moeilijkheid doet zich voor bij de meting van het kritisch punt van waterstof. Onnes heeft in zulke gevallen zijn doel weten te bereiken door een cryostaat te ontwerpen, waarin de meetbuis door den damp van een kokend vloeibaar gas, in het gekozen voorbeeld van vloeibare waterstof, omspoeld wordt. Deze damp heeft bij het verlaten van de vloeistof dezelfde temperatuur als deze, maar wordt op zijn weg naar de afkoelruimte op oordeelkundige wijze verwarmd, zoodat de beoogde graad van warmte bereikt wordt. Het is weder aan de zorgvuldige uitvoering der weldoordachte details te danken, dat op die wijze constante temperaturen verkregen worden en dus ook in die gevallen nauwkeurige uitkomsten worden bereikt.

Verdeelde absolute open manometer.

In het programma der onderzoekingen te Leiden wordt een belangrijke

plaats ingenomen door metingen van drukking, temperatuur en volumen bij enkelvoudige stoffen en mengsels. Over enkele der hiervoor door Onnes geconstrueerde hulpmiddelen zullen wij iets mededeelen. In de eerste plaats wat de drukking betreft. Zooals men weet worden drukkingen in absolute maat gemeten door bepaling van de hoogte van een kwikzuil, die met de drukking evenwicht maakt. Daar per atmosfeer een kolom van 76 cM. noodig is en de drukkingen, die te pas komen, allicht 50 of zelfs 100 atmosfeer bereiken, zouden buizen vereischt worden, die de beschikbare hoogte in het gebouw tientallen malen overtreffen. In mijnputten en langs den Eifeltoren hebben physici als Cailletet en Amagat dergelijke open manometers verwezenlijkt en met behulp daarvan directe metingen uitgevoerd of andere manometers geijkt en op absolute maat gereduceerd, welke manometers dan bij verdere onderzoekingen kunnen dienst doen. Daar een dergelijke manometer te Leiden niet te gebruiken is, heeft Onnes een andere constructie voor den open manometer gekozen. De „verdeelde” open manometer is uit 15 afzonderlijke, naast elkaar gemonteerde en met kwik gevulde buizen samengesteld, die den vorm hebben van een U-buis met een kort en een lang been, het laatste van 3 meter. Het korte been van iedere buis is telkens door een luchtbuis voor hooge drukking met het bovineinde van het lange been der volgende vereenigd. Door de lucht wordt de drukking van buis tot buis overgebracht, zoodat, wanneer alle buizen in gebruik zijn en daarin het kwik tot boven in het lange been is opgestuwd, een totale drukking van 15×3 meter kwik of ongeveer 60 atmosfeer wordt teweeggebracht en kan worden uitgemeten. Door T-stukken kan de lucht tusschen de opeenvolgende buizen op de gewenschte drukking worden gebracht. Tusschengelegen drukkingen worden verkregen door een gedeelte van de buizen buiten gebruik te stellen. Alle buizen op de laatste na, die open is, hebben alleen aan het bovineinde van het lange been en in het korte been een verwijding, waar afgelezen kan worden, zoodat slechts een zuil van drie meter kan worden gemeten; de laatste is overal even wijd en kan over haar geheele lengte afgelezen worden. Met deze inrichting kunnen derhalve alle drukkingen tusschen nul en 60 atmosfeer met groote nauwkeurigheid in absolute maat worden uitgemeten. Doordat de geheele manometer zich in één werkkamer bevindt, kan de temperatuur van het kwik, die bij de meting in aanmerking wordt genomen, beter dan bij een hoogen manometer uit één stuk in de open lucht, standvastig gehouden worden.

Ook drukkingen boven 60 atmosfeer zijn met den toestel gemeten: daartoe vult men de ruimte boven de laatste buis met gas van een druk van 60 atmosfeer, die op een reeds geijkten manometer wordt afgelezen, en verkrijgt dan in de volgende buizen drukken, die tot 120 atmosfeer kunnen stijgen.

Bij het dagelijksche werk zou het gebruik van den open manometer te veel omslag vereischen: hij dient dan ook v.n. om een aantal gesloten gas-manometers of metaal-manometers te ijken en van deze laatste wordt dan bij de proeven gebruik gemaakt. Ook metaal-manometers, die aan verschillende takken van openbaren dienst toebehooren, zijn door Onnes met den absoluten manometer vergeleken. Kort geleden is nog met behulp van den absoluten manometer door C. A. Crommelin en Mejuffrouw E. I. Smid een onderzoek ingesteld naar de juistheid der aanwijzingen van een druk-balans, die door Ph. Kohnstamm en K. W. Walstra voor onderzoekingen bij zeer hoogen druk was gebezigt; de kleine onzekerheden en miswijzingen van het onderzochte instrument, die hierbij voor den dag kwamen, zullen kunnen dienen als een bijdrage tot de theorie van de finesses van de werking bij een dergelijk instrument.

Thermometers.

Als grondslag bij de meting van temperaturen dient de gasthermometer van constant volume. De aanwijzingen van dezen thermometer moeten dan nog op de absolute thermodynamische schaal van Kelvin worden teruggebracht. Deze correcties zijn het kleinst, als men een gas bezigt, dat zoo ver mogelijk van zijn condensatie-gebied verwijderd is: vandaar dat voornamelijk de met waterstof en in later jaren de met helium gevulde thermometer in aanmerking gekomen zijn. Aan de studie van deze thermometers zijn te Leiden een groot aantal met pijnlijke nauwkeurigheid uitgevoerde onderzoekingen gewijd. Hierbij heeft Onnes den bijstand van een aantal leerlingen gehad, waarvan wij C. Braak, G. Holst en P. G. Cath noemen.

Om uit de drukking, die op den gasthermometer van constant volume wordt afgelezen, de temperatuur af te leiden is een nauwkeurige bepaling van den drukkings-coëfficiënt van het gas noodig. Dergelijke bepalingen zijn dan ook weder met de uiterste zorg uitgevoerd, waarbij in het geval van waterstof M. Boudin en voor de andere gassen Cath den arbeid met Onnes deelden. Deze bepalingen gelden terecht als modellen van nauwkeurigheid. De reductie op de absolute schaal vereischt verder een aantal bepalingen van „isothermen”, waaraan weder vele medewerkers hebben deelgenomen, behalve reeds genoemden nog J. C. Schalkwijk en H. H. F. Hyndman. Op de beteekenis van deze laatste bepalingen komen wij straks terug. We vermelden hier alleen nog, dat de te Leiden gevonden ligging van het absolute nulpunt -273.09 of -273.1 ten nauwste met de door D. Berthelot en anderen verkregen uitkomst overeenkomt.

Thermo-elementen en weerstands-thermometers.

Voor de talrijke proeven met de cryostaten zou het directe gebruik van den gasthermometer te veel tijd vorderen; zoowel bij de metingen

zelve als bij de voortdurende regeling van de temperatuur zijn instrumenten noodig, die zonder omslachtige instellingen op ieder oogenblik de temperatuur doen kennen. Voor deze doeleinden wordt in plaats van den gasthermometer het thermo-element gesteld en in latere jaren bijna uitsluitend de weerstandsthermometer. Over het eerstgenoemde behoeven wij niet afzonderlijk uit te weiden. Het tweede berust op de meting van de verandering, die de elektrische weerstand van een in den cryostaat geplaatsten geleiddraad, bijv. van platina, bij verandering van de temperatuur vertoont: de daartoe dienende draden worden vooraf zorgvuldig met den gasthermometer vergeleken, zoodat de aflezingen op de gas-schaal en daarmee ook op de absolute schaal kunnen worden gereduceerd.

Voor de elektrische metingen dient een afzonderlijk gedeelte van het laboratorium; daarin vinden al weder vele toestellen van bijzondere constructie een voortdurende toepassing. Wij noemen een bepaalde methode van schaalverlichting bij de spiegel-aflezing van de galvanometers en verschillende kwik-schakelaars en -commutatoren, die er alle op berekend zijn om storende effecten van thermo-electrischen oorsprong te voorkomen.

Piëzometers.

De toestellen, welke in het laboratorium worden aangewend bij het meten van het volumen der samengeperste en gecondenseerde gassen, door Onnes piëzometers genoemd, hebben zich uit den toestel van Cailletet—Ducretet, die in vele laboratoria wordt aangetroffen en voor de demonstratie van vloeibaar koolzuur dient, ontwikkeld. Een voorname verbetering bestaat daarin, dat de persbus ook aan het onderende open is en aldaar door middel van een moer met pakking-ring wordt gesloten. De bus laat zich nu behoorlijk schoonmaken, wat bij den gewonen vorm moeilijkheid oplevert. Bovendien wordt deze bus bij het in elkaar zetten geheel met kwik gevuld en wordt de drukking niet zooals gewoonlijk door een vloeistof (water of glycerine) boven op het kwik aangebracht, maar naast de bus bevindt zich een stalen kwik-reservoir, dat door een persbuis met de moer aan het onderende van de bus communiceert. Op het kwik in dit reservoir drukt de vloeistof of het gas: het kwik in de bus blijft dus vrij van alle verontreiniging en de glazen buis, waarin het samen te persen gas vervat is, kan in de bus gezet worden of er worden uitgetild zonder gevaar voor verontreiniging met de pers-vloeistof. Eindelijk, en dit is voor nauwkeurige metingen van het eerste belang, is evenwijdig aan het genoemde kwik-reservoir een peilglas aangebracht, dat den juisten stand van het kwikoppervlak doet kennen; bij de gewone inrichting kan deze slechts bij benadering worden geschat. Voor de bepaling van de drukking in de waarnemingsbuis moet het niveau-verschil tusschen het kwik in den manometer en daarbuiten natuurlijk bekend zijn.

De glasbuis, waarin het gas bevat is en wordt samengeperst, kan niet den rechtopstaanden vorm behouden, die voor metingen bij gewone en hooge temperatuur de aangewezen is, (1) omdat het moeilijk zou zijn de buis van onderen in den cryostaat te doen steken en (2) omdat de persvloeistof, het kwik, reeds bij -40° bevriest en dus niet binnen den cryostaat komen mag. De buis bestaat daarom uit twee gedeelten, door een nauwen buigzamen staal-capillair met elkaar verbonden; het eene deel is in de persbuis bevestigd en blijft op de gewone temperatuur, terwijl het andere van boven in den cryostaat steekt. Alleen het daarin aanwezige gas komt dus op de lage temperatuur: bij iedere meting wordt de hoeveelheid buiten den cryostaat uit volume, druk en temperatuur afgeleid en zodoende door aftrekking van de geheele hoeveelheid het gedeelte in den cryostaat, waar het om te doen is, gevonden. De berekeningen en waarnemingen zijn dus vrij wat omslachtiger dan voor den gewonen vorm van de buis, waar bij iedere waarneming de geheele hoeveelheid van de stof op de waarnemingstemperatuur is.

Isothermen-bepalingen.

De meettoestellen, waarvan wij het bijzondere met enkele woorden hebben trachten aan te geven, moeten vooral dienen bij de bepaling van gas-isothermen. Om de beteekenis van deze onderzoekingen te waardeeren, moeten wij ze bezien in verband met verschillende theoretische beschouwingen: zodoende leeren wij van zelf het werk van Van der Waals kennen.

De onderlinge verhouding van de gasvormige en vloeibare aggregatie-toestanden was door de proeven van Andrews met koolzuur aan het licht gekomen. Voordien had men reeds in de samenpersing en afkoeling de beide middelen leeren kennen, waardoor gassen vloeibaar gemaakt kunnen worden; de proeven van Andrews deden zien, waarom samenpersing zonder afkoeling in enkele gevallen niet tot het doel kon leiden, terwijl afkoeling, mits sterk genoeg, de condensatie ook zonder compressie moet doen gelukken. Voor iedere stof bestaat een zekere temperatuur — kritische temperatuur — die de grens aangeeft, waarboven samenpersing, hoe sterk ook, geen afscheiding van een dichteren vorm der stof — vloeistof — kan teweegbrengen. Het ware inzicht in dit algemeen geldende verband kan men verkrijgen door gebruik te maken van de door Andrews voor koolzuur ontworpen graphische voorstelling. In deze figuur wordt het verband tusschen druk en volume bij standvastig gehouden temperatuur door een lijn, een zoogenaamde isotherme, weergegeven. Inderdaad worden ook de proeven meestal zoo ingericht, dat men de temperatuur onveranderd houdt en nu telkens na verandering van het volumen deze grootheid zelve en de drukking meet. Iedere dergelijke dubbele aflezing wordt in de figuur door een punt weergegeven en door de punten, welke op eenzelfde

temperatuur betrekking hebben, te verbinden verkrijgt men de bedoelde isotherme. Voor iedere stof kunnen langs dien weg een aantal isothermen, voor verschillende temperatuur geldende, worden verkregen.

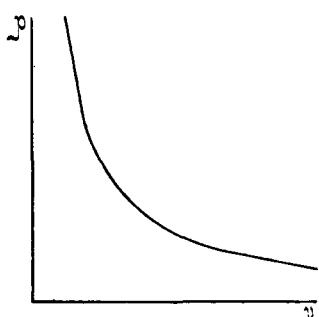


Fig. 18.

Wanneer men dergelijke metingen bij de gewone temperatuur met een gas als zuurstof of stikstof ten uitvoer brengt, vindt men waarden van p en v , die bij benadering aan de wet van Boyle voldoen: p en v zijn omgekeerd evenredig of $p \times v = \text{constant}$ en dus wordt de isotherme een kromme lijn, die veel gelijkenis vertoont met een gelijkzijdige hyperbool (fig. 18). Indien de wet van Boyle nauwkeurig doorging en met name bij steeds toenemende drukking bleef gelden, zou het volume van het gas ten slotte tot nul moeten naderen. In werkelijkheid wijkt de isotherme van de hyperbool af: wanneer men van lagen druk uitgaat, blijken bijna alle gassen bij gewone temperatuur iets meer samendrukbaar te zijn, dan de wet van Boyle eischt (alleen helium, waterstof en neon vormen uitzonderingen op dien regel). Deze afwijking komt evenwel bij toenemende samendrukking tot staan en boven zekere drukking worden ook de eerstgenoemde gassen minder samendrukbaar, het volume neemt minder sterk af, dan volgens de wet te verwachten zou zijn, ja bij zeer hoge drukking wordt de samendrukbaarheid zoo gering, dat de gassen in dit opzicht op vloeistoffen gaan gelijken.

Onderzoekt men de gassen bij hogere temperatuur, zoo vindt men, dat het punt, waar de te hoge samendrukbaarheid in een te kleine overgaat, steeds spoediger bereikt wordt; boven een bepaalde temperatuur-grens, voor ieder gas verschillend, is de samendrukbaarheid reeds van den aanvang af kleiner dan volgens de eenvoudige gaswet, zoodat het gas zich dan gedraagt, als de drie genoemde gassen het reeds bij gewone temperatuur doen. Omgekeerd heeft men gevonden, dat deze laatste, als ze bij lage temperatuur gecomprimeerd worden, hetzelfde beeld gaan vertoonen als de andere gassen bij gewone temperatuur, dus aanvankelijk een te hoge, later een te kleine compressibiliteit. De genoemde temperatuur-grens draagt den naam van het Boyle-punt.

Toestands-vergelijking.

Dit alles wordt verklaarbaar als men de kinetische molecuulair-theorie te hulp roept. Deze theorie geeft, zooals wij gezien hebben, een natuurlijke verklaring van de gas-wet $p \times v = R T$ en afwijkingen van die wet zullen toe te schrijven zijn aan factoren, die bij het opstellen van de theorie buiten beschouwing bleven. Inderdaad kan men dadelijk inzien, dat een te groote samendrukbaarheid het gevolg kan zijn van een wederzijdsche attractie der moleculen, die zich bij vloeistoffen in de cohesie

openbaart. Immers deze attractie zal het volume kleiner maken, dan het anders onder de gegeven drukking zijn zou. Bij samendrukking komen de moleculen dichter bijeen: ceteris paribus moet de attractie dus toenemen en het laat zich voorzien, dat het volume dus steeds meer in dezelfde richting moet gaan afwijken, m. a. w. dat het gas een te groote compressibiliteit gaat vertoonen.

Een tweede factor wordt gevonden in het volumen, dat de moleculen zelve innemen. De invloed daarvan is omgekeerd: zelve bieden zij aan samendrukking een hoogen weerstand, zooals blijkt uit de geringe samendrukbaarheid van de uit dicht opeengehoopte moleculen bestaande vloeistoffen. Hoe dichter het gas, des te meer gaat het op een vloeistof gelijken en des te meer zal de samendrukbaarheid moeten afnemen. Ook zal ieder voelen, dat deze invloed bij compressie ten slotte boven dien van de attractie moet gaan overwegen, waarmede de waargenomen overgang van te groote in te kleine samendrukbaarheid volkomen strookt.

Van der Waals was de eerste, aan wien het gelukte deze beide tegengestelde invloeden in een formule, de zoogenaamde toestandsvergelijking, te vereenigen; ze luidt:

$$(p + \frac{a}{v^2}) (v - b) = RT.$$

Deze vergelijking gelijkt in vorm op de eerstgenoemde ideale gaswet en onderscheidt zich ervan door de twee bijkomstige termen a/v^2 en b . De eerste brengt den invloed der moleculaire aantrekking in beeld, de tweede stelt een zeker veelvoud van het eigen volumen der moleculen voor; a/v^2 speelt in de formule de rol van een bijkomstige drukking — de zoogenaamde moleculaire drukking — die blijkbaar des te grooter is, naarmate het volume kleiner wordt. Een betrekkelijk eenvoudige beschouwing doet nu zien, dat volgens deze formule boven zekere temperatuur de invloed van b bij alle dichtheden overweegt en dus het gas van den aanvang af te weinig wordt samengedrukt, en dat beneden die temperatuur de attractie-term a/v^2 een steeds grooteren invloed verkrijgt, waarmede, zooals wij zagen, de proefneming een volledige overeenstemming oplevert. Voor de Boyle-temperatuur geeft de vergelijking de waarde $RT = a/b$ en deze zal derhalve des te lager liggen, naarmate a kleiner is of b grooter. Het onderscheid tusschen de verschillende gassen ten opzichte van de samendrukbaarheid moet dus afhangen van een verschil in de attractie der moleculen en hun volumen. Het blijkt, dat in het algemeen met een klein moleculair gewicht een kleine a samengaat en dat de invloed daarvan gemeenlijk boven dien van het moleculairvolumen overweegt; dat helium, hoewel het molecuul waarschijnlijk kleiner is dan bij waterstof en het moleculair-gewicht grooter, toch een nog lager Boyle-punt bezit, moet aan een zeer kleine attractie tusschen de een-atomige moleculen worden toegeschreven.

Isothermen voor een stof, die vloeibaar wordt.

Laat ons nu de isotherme van een stof als koolzuur bij de gewone temperatuur T_1 van een groot volume af volgen: aanvankelijk gedraagt de stof zich als een niet verdichtbaar gas, met een samendrukbaarheid merkbaar grooter dan volgens de ideale gaswet. De isotherme stijgt lang-

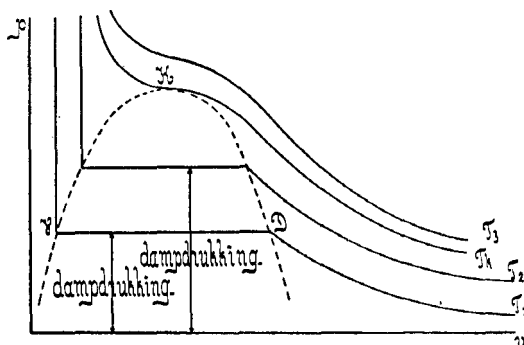


Fig. 19.

zamer dan op een hyperbool. Op een bepaald oogenblik evenwel houdt dit beloop plotseling op: de drukking wordt standvastig (in D fig. 19), zooals het horizontale gedeelte van de isotherme doet zien. Tegelijkertijd bemerkt men, dat zich vloeistof gevormd heeft, waarvan de hoeveelheid regelmatig toeneemt, naarmate de compressie wordt voortgezet, totdat in V al het

gas in vloeistof is veranderd. Van nu af doet zich de geringe samendrukbaarheid van de vloeistof gelden en de isotherme stijgt steil naar de hoogte.

De standvastige drukking tusschen D en V is de verzadigingsdrukking of dampdrukking bij de gekozen temperatuur. Het gas was dus niet anders dan een damp, die langs het stuk rechts van D nog onverzadigd was en in D het verzadigingspunt bereikte. Hoe hooger de temperatuur, des te hooger die dampdrukking. In de figuur is nog een tweede isotherme voor hooger temperatuur T_2 getrokken.

Verder ziet men, dat het volume, waarbij verzadiging intreedt, des te kleiner is, naarmate de temperatuur hooger is; het volume van de vloeistof daarentegen neemt toe. Bij toenemende temperatuur naderen dus de volumina en de dichtheden van vloeistof en damp tot elkander en eindelijk vallen ze in een bepaald punt K samen op de wijze, zooals dat in de figuur is aangegeven. Nu wordt het duidelijk, waarom bij nog hooger temperatuur van condensatie geen sprake meer kan zijn; wel vertoonen de isothermen, welke beantwoorden aan iets hogere temperaturen, bijv. T_3 , een gedaante, die aan den vorm met het horizontale stuk herinnert en sterk van de hyperbool afwijkt, maar een splitsing in twee toestanden van verschillende dichtheid — en dat is de condensatie — kan niet meer geschieden. De ruimte, die de stof bevat, blijft bij alle dichtheden homogeen gevuld, zoolang slechts haar toestand door punten wordt aangegeven, welke buiten de gestippelde lijn liggen: deze lijn heet grenslijn of verzadigingslijn. Het toppunt er van K is het kritische punt: druk en volume in dit punt heeten kritische druk en kritisch volume, de temperatuur van de isotherme, waartoe het punt behoort, de kritische temperatuur T_k . Spoedig na het onderzoek van Andrews is gebleken, dat dezelfde verschijnselen bij alle mogelijke stoffen worden gevonden; een eerste voorbeeld was het stikstof-oxydule,

dat in 1877 door W. J. Janssen volgens de methode van Andrews onderzocht werd.

Hoe hooger de temperatuur boven de kritische gelegen is, des te meer nadert de vorm der isotherme tot dien, welken wij straks bij de niet condenseerbare gassen aantreffen. De kritische temperatuur t_k ligt voor koolzuur bij 31° C. Boven 31° zal men dus koolzuur nooit zich in twee fluïde toestanden zien splitsen. In dit gebied kan men het een permanent gas noemen en b.v. bij 100° zal het gedrag van koolzuur zeer gelijken op dat van zuurstof of stikstof bij de gewone temperatuur. Het verschil tusschen de verschillende stoffen ten opzichte van haar condenseerbaarheid wordt dus volledig bepaald door de ligging van het kritisch punt; kwalitatief gedragen alle stoffen zonder uitzondering zich geheel op dezelfde wijze als koolzuur: door het groote verschil in de hoogte van die temperatuur ontstaat het quantitative verschil in de waargenomen verschijnselen.

Eenige voorbeelden zullen dit kunnen verduidelijken. Terwijl het kritisch punt van koolzuur bij 31° ligt, is voor zuurstof $t_k = -119^\circ$, voor stikstof -147° , voor neon -228° , voor waterstof -240° en voor helium -268° , terwijl voor de stoffen, die wij als vloeistof kennen, de kritische temperatuur ver boven de normale gevonden wordt. Voorbeelden vindt men in onderstaande tabel; deze geeft tevens de normale kookpunten t_{76} onder een druk van 1 atmosfeer of 76 cM. kwik.

	t_k	p_k	t_{76}		t_k	p_k	t_{76}
Acetyleen	35.25	61.6	— 84	Koolzuur	31.0	72.9	— 78.2
Aethaan	32.0	48.8	— 90?	Krypton	— 62.5	54.3	— 150?
Aether	193.8	35.6	34.6	Kwik	1650?	—	355
Aethylalkohol	243.1	63.0	78.3	Lucht	— 140.7	37.2	— 195
Aethyleen	9.5	50.6	— 103	Methaan	— 82.8	45.6	— 164
Ammoniak	133	112.3	— 34	Methylaether	124.8	51.8	— 23
Argon	— 122.4	48.0	— 186	Methylalkohol	240.0	78.5	64.7
Benzol	288.5	47.9	80.2	Methylchloride	143.1	65.8	— 240
Broombenzol	397.0	44.6	156.0	Neon	— 228.4	26.9	
Butaan	150.8	37.5	— 0.6	Oktaan	296.2	24.6	125.8
Chloor	143.5	76.1	— 33.7	Pentaaan	197.2	33.0	36.3
Chloorbenzol	359.2	44.6	132.0	Propaan	97.0	42.9	— 45
Chloorkoolstof	283.2	45.0	76.8	Propylalkohol	263.7	50.2	97.4
Chloroform	262.9	53.8	61.2	Stikstofoxyde	— 96?	64	— 150
Chloorwaterstof	51.4	81.6	— 83	Stikstofoxydule	36.5	71.7	— 89
Cyaan	128.3	59.8	— 20	Stikstof	— 147.1	33.5	— 196
Fluorbenzol	286.6	44.6	85.2	Water	374	217	100
Helium	— 267.8	2.26	— 268.8	Waterstof	— 239.9	12.8	— 252.8
Heptaan	266.8	26.9	98.4	Xenon	16.6	58.2	— 108
Hexaan	234.8	29.6	69.0	Zuurstof	— 118.8	49.7	— 183
Isopentaaan	187.8	32.9	28.0	Zwavelkoolstof	273	72.9	46
Joodbenzol	448	44.6	188.4	Zwavelwaterstof	100.4	89.0	— 60
Kooloxyde	— 138.7	34.6	— 191	* Zwaveligzuur	157.2	77.6	— 10

Zuurstof kan men dus niet vloeibaar maken, tenzij de temperatuur om te beginnen beneden -119° gebracht wordt; welke druk dan vereischt

wordt, hangt van de temperatuur af. De verzadigingsdruk neemt met de temperatuur af; beneden het normale kookpunt is hij zelfs minder dan een atmosfeer en wordt het gas dus zonder compressie vloeibaar.

Aether heeft een kritische temperatuur van 194° . Boven die temperatuur is aether derhalve een niet condenseerbare, permanente damp. Beneden 194° gelukt de condensatie wel; beneden het kookpunt 34.6° is de dampdrukking kleiner dan een atmosfeer en kan de stof dus in een open vat vloeibaar zijn. Deze beide voorbeelden mogen volstaan om de kwalitatieve overeenstemming en tevens het groote quantitatieve verschil tusschen stoffen te doen uitkomen.

Condensatie volgens de toestandsvergelijking.

De vraag rijst nu, wat de toestandsvergelijking omtrent de condensatie van stoffen kan doen verwachten, of zij het waargenomen gedrag kan weergeven. Het antwoord op deze vraag wordt gevonden door van de

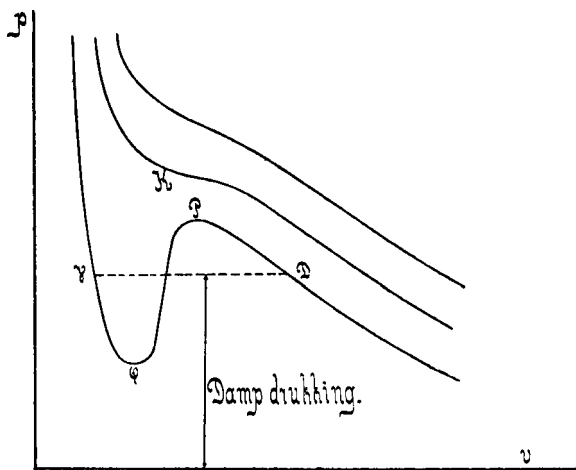


Fig. 20.

isothermen, zooals die volgens de vergelijking zouden zijn, een graphische voorstelling te ontwerpen (figuur 20). De figuur stemt niet in alle opzichten met de empirische figuur van Andrews overeen, zooals uit een mathematisch oogpunt dadelijk te voorzien was: de horizontale stukken ontbreken en zijn door een dubbele bocht vervangen. Overigens zien wij, hoe deze bijzondere loop der isothermen bij verhooging van temperatuur allengs

verflauwt en bij bepaalde temperatuur in het punt K verdwijnt. Dit punt is niet anders dan het kritische punt, waarover wij gesproken hebben. Berekening leert, dat aldaar $RT_k = \frac{8}{27} \frac{a}{b}$, $p_k = \frac{1}{27} \frac{a}{b^2}$ en $v_k = 3b$, m. a. w. de ligging van dit punt, evenals straks van het Boyle-punt, wordt volledig door de grootheden a en b bepaald. Daar dit laatste bij $RT = a/b$ lag, is de kritische temperatuur dus meer dan driemaal lager.

Wanneer a en b voor een bepaalde stof met behulp van de isothermen gevonden zijn, kunnen dus de kritische grootheden worden berekend en met de waarneming vergeleken. Dit leverde bij koolzuur een tamelijk bevredigende uitkomst. Omgekeerd kunnen a en b uit twee der drie kritische grootheden worden afgeleid.

Wat nu verder de dubbele bocht aangaat in de isothermen beneden T_k , zoo kan vooreerst worden opgemerkt, dat de punten tusschen P en Q in ieder geval geen praktische beteekenis kunnen hebben, omdat aldaar de

isotherme bij toeneming van het volume naar hooger drukking stijgt: dit brengt n. l. mede, dat de stof zich aldaar in een labielen toestand bevindt. Ze moet zich daarom in twee toestanden van verschillende dichtheid verdeelen, waarvoor de drukking dezelfde is, en dat is juist wat gebeurt. Maxwell bewees met behulp van een thermodynamische beschouwing (zie hoofdstuk V), dat de horizontale lijn, welke de beide te zamen bestaانبare of co-existerende toestanden, dus de vloeistof en den damp, verbindt, op zoodanige hoogte gelegen is, dat de beide door haar en de bochten der isotherme ingesloten oppervlakken even groot zijn. Voegt men nu aan elke isotherme deze horizontale lijn toe, zoo wordt de overeenstemming met de figuur van Andrews volkomen: de toestandsvergelijking verklaart dus niet alleen, zooals wij straks zagen, het gedrag in den gastoestand, maar geeft tevens het verzadigingsgebied weer, zooals de waarneming ons dat doet kennen.

Over de beteekenis der stukken DP en QV van de theoretische of homogene isotherme, welke reeds vroeger door James Thomson als waarschijnlijk voorspeld was, zullen wij niet uitvoerig spreken: ook het bestaan daarvan wordt door de verschijnselen bevestigd. Ze stellen stabiele toestanden voor, die ook onder gunstige omstandigheden, in den vorm van oververhitte vloeistof en oververzadigden damp, verwezenlijkt kunnen worden, maar die de neiging hebben om plotseling te verdwijnen en door de heterogene toestanden, welke door de horizontale lijn worden weergegeven, te worden vervangen. Zoo kan boven een vloeistof, die geheel vrij is van opgelost gas, de drukking tot verre beneden de dampdrukking worden verlaagd, zonder dat ze gaat koken: blijkbaar wordt de toestand onder die omstandigheden door een punt van VQ voorgesteld. Evenzoo komen de toestanden tusschen D en P voor, als de damp oververzadigd is. Dergelijke „metastabiele” toestanden kwamen wij vroeger (blz. 261) bij de metalen tegen.

Zoo bevestigen de verschijnselen, goed beschouwd, het bestaan van de theoretische isotherme, die aanvankelijk met hen in strijd schijnt te zijn. Ja zelfs, wat ons hier het onderzoek van Van der Waals over de eigenlijke beteekenis van het evenwicht tusschen vloeistof en damp leert, is gebleken van algemeene toepassing te zijn, waar het geldt het evenwicht tusschen verschillende fasen in een systeem van stoffen, dus ook bij mengsels, waarin zich vloeistoffen, damp en vaste toestanden bijeen kunnen bevinden. Steeds moet men zich een doorlopenden overgang tusschen de verschillende toestanden als theoretisch mogelijk denken: waar deze overgangen labiele stukken bevatten en dus niet voor verwezenlijking vatbaar zijn, moet een splitsing in fasen optreden en de thermodynamica leert dan, welke evenwichten voor den homogenen toestand in de plaats komen. In de fasen-leer wordt van dit beginsel bij voortduur gebruik gemaakt.

Kritische verschijnselen.

Wanneer men een stof, die zich bevindt in de buurt van haar kritisch punt, nauwkeurig beziet, ontwaart men allerlei eigenaardige optische verschijnselen. De stof is niet homogeen doorzichtig, maar vertoont striemen en nevels, vooral wanneer men kleine wijzigingen in de dichtheid aanbrengt, en eindelijk vlak boven het kritisch punt een blauwachtige opalescentie, die nog enkele graden boven de kritische temperatuur zichtbaar kan zijn. Wanneer bij langzame verwarming het kritisch punt juist gepasseerd is, zoodat het vloeistof-oppervlak is verdwenen, ziet men de plaats, waar dit geschied is, door een eigenaardige lichtbreking aangeduid. Nader onderzoek leerde, dat dan tusschen de stof boven en beneden deze plaats nog een aanmerkelijk verschil in dichtheid kan bestaan. Daarentegen eischt de gegeven theorie, dat bij het kritisch punt alle verschil tusschen de fasen verdwenen is: een en ander schijnt daarmee in strijd. Talrijke onderzoekers meenden dan ook uit hun waarnemingen hieromtrent te moeten besluiten, dat de definitie van het kritisch punt, die uit de theorie van Van der Waals voortvloeit, een wijziging van noode heeft. De twee toestanden zouden niet identiek worden, maar het vermogen verkrijgen om in elkander op te lossen: de vloeistof zou dus nog verre boven het kritisch punt kunnen blijven voortbestaan, zij het dan ook niet door een oppervlak van den damp gescheiden.

Deze opvattingen werden door Kuenen aan kritiek onderworpen en haar onhoudbaarheid werd aangetoond. De verklaring van de verschijnselen zou volgens hem ten deele te vinden zijn in de werking der zwaartekracht, die immers steeds een gas naar beneden toe in dichtheid doet toenemen en die in de buurt van het kritisch punt een abnormaal grooten invloed op de dichtheid moet hebben, dank zij de aanzienlijke samendrukbaarheid van de stof, die in den bijna horizontalen loop van de isothermen in die buurt een uitdrukking vindt. Bovendien bleken bij een experimenteel onderzoek de afwijkingen meer en meer te verdwijnen, naarmate de zelfstandigheid van vreemde bijmengsels gezuiverd werd. Evenals de druk moet ook een bijmengsel bij het kritisch punt een veel grooter invloed op de dichtheid hebben dan elders. Zulk een bijmengsel is niet gelijkmatig tusschen vloeistof en damp verdeeld; vandaar het waargenomen dichtheidsverschil. De bedoelde abnormale toestanden zouden geen toestanden van evenwicht zijn, slechts schijnbaar door de zeer langzame diffusie van de bijgemengde zelfstandigheid.

Indien dan ook de stof bij de verwarming geregeld dooreengeroerd wordt, wat geschieden kan door een ijzeren staafje in de waarnemingsbuis aan te brengen, dat van buiten door een magneet op en neer kan worden bewogen, verdwijnen de genoemde verschillen, behoudens die, welke in de werking van de zwaartekracht een verklaring vinden.

Een uitvoerig experimenteel onderzoek van Kamerlingh Onnes en G. H. Fabius, v.n. in verband met proeven van De Heen en van Teichner, kwam later deze conclusies bevestigen. Bovendien werd door W. H. Keesom en door J. E. Verschaffelt met behulp van de theorie van de mengsels de gevonden groote invloed van kleine bijmengsels bevestigd en Verschaffelt toonde aan, dat de door Teichner waargenomen dichtheidsverschillen quantitatief door de onvermijdelijke onzuiverheden geheel werden verklaard.

Daarmede was de theorie van het kritische punt steviger dan ooit bevestigd. Toch bleef nog de verklaring van de opalescentie over. Het is bekend, dat dit verschijnsel aan de een of andere inhomogeniteit moet worden toegeschreven. Het doorvallende licht wordt door de aanwezige deeltjes opgevangen en zijdelings uitgespreid, des te sterker, naarmate de golflengte van het licht kleiner is, van daar de blauwe tint. Blijkbaar zijn er dus in de zelfstandigheid, wanneer ze iets boven het kritisch punt verwarmd is, plaatsen, waar de stof min of meer verdicht is, en andere, waar de dichtheid kleiner is dan de gemiddelde, want aan vreemde zelfstandigheden valt voor de verklaring niet te denken. Kamerlingh Onnes en Keesom stelden omtrent het verschijnsel bij aethyleen in de buurt van het kritische punt ($t_k = 10^0$) een spectro-photometrisch onderzoek in, d. w. z. de intensiteit van het verstrooide licht werd voor verschillende golflengten en bij verschillende temperaturen gemeten. Deze metingen bleken in overeenstemming te zijn met een terzelfder tijd door Smoluchowski gegeven theorie. Volgens deze worden de verstrooiingscentra gevormd door de toevallige plaatselijke verdichtingen en verdunningen, die volgens de kinetische theorie te verwachten zijn (zie blz. 274) en die in de buurt van het genoemde punt, dank zij al weder de reeds genoemde groote compressibiliteit van de stof in dien toestand, bijzonder sterk op den voorgrond moeten treden. Keesom leidde door de uitkomst van deze theorie met de verstrooiingsformule van Rayleigh te combineeren een uitkomst af, die tegelijkertijd door Einstein op andere wijze verkregen was en waarmede de proeven in overeenstemming bleken te zijn.

Een enkel woord tot toelichting van de theorie van Smoluchowski. Wanneer men zich een zwerm van moleculen denkt, die zich zonder eenige regelmaat in alle richtingen dooreen bewegen en talloze botsingen met elkaar uitvoeren, dan spreekt het van zelf, dat door toevallige omstandigheden in een bepaald zeer klein gedeelte van de ruimte nu eens meer en dan weer minder moleculen bijeen zullen zijn. Nu leert de berekening, dat de graad, waarin deze toevallige abnormaal hooge of lage verdichtingen voorkomen, in sterke mate afhangt van de samendrukbaarheid van de stof in haar geheel en dat ze — wat men ook wel verwachten zal — meer op den voorgrond zullen treden, als deze groot is. Daardoor wordt het begrijpelijk, waarom juist bij het kritische punt een opalescentie wordt

waargenomen. Omgekeerd mag men dus in de kritische opalescentie een indirect bewijs zien voor de kinetische hypothese.

De theorie is verder nog door L. S. Ornstein en F. Zernike ontwikkeld.

Ook bij mengsels van twee gedeeltelijk mengbare vloeistoffen wordt het verschijnsel opgemerkt in de buurt van het kritisch mengpunt, d. w. z. het punt, waar de twee vloeistoffen dezelfde samenstelling verkrijgen, zoodat het scheidingsvlak verdwijnt op een wijze, die veel overeenstemming vertoont en analoog is met de verdwijning van het oppervlak tusschen vloeistof en damp bij het gewone kritische punt.

Overeenkomstige toestanden.

Uitgaande van de toestandsvergelijking heeft Van der Waals de wet der overeenkomstige of corresponderende toestanden afgeleid. Wij zullen bij de bespreking hiervan den mathematischen weg vermijden, ook al moet daardoor de bewijsvoering aan volledigheid inboeten.

We nemen aan, dat voor de verschillende zelfstandigheden een toestandsvergelijking geldt van den vorm door Van der Waals aangegeven. Reeds hierin ligt een opmerkelijke kwalitatieve overeenstemming tusschen de stoffen: alle stoffen zullen een bepaald kritisch punt bezitten, waar beneden zich een condensatie-gebied uitstrekt van de beschreven eigenschappen, terwijl daarbuiten het verband tusschen temperatuur, druk en volume van overeenkomstigen aard is. Zoo zagen wij, dat alle stoffen een bepaald Boyle-punt bezitten bij een temperatuur, die $27/8$ malen de kritische temperatuur is. Iets dergelijks geldt voor het zoogenaamde Joule-Kelvin-punt, d. w. z. het punt, waarboven de stof bij het stroomen door een regelkraan of smoorklep warmer wordt, terwijl beneden dat punt een afkoeling plaats vindt (boven blz. 281). In het algemeen: alle bijzonderheden, welke uit de toestandsvergelijking kunnen worden afgeleid, moeten bij alle stoffen zonder onderscheid te vinden zijn.

Men kan deze overeenkomst op de volgende wijze nader doen uitkomen. Wij denken ons een willekeurigen toestand van een bepaalde stof, waarin dus T , p en v zekere waarden hebben; deze stof heeft een bepaald kritisch punt, dus met bepaalde T_k , p_k en v_k . Wij gaan nu T , p en v uitdrukken als veelvouden van T_k , p_k en v_k , d. w. z. we deelen T door T_k , p door p_k en v door v_k . De aldus verkregen verhoudingen noemt Van der Waals gereduceerde grootheden. Zeggen wij dus bijv., dat de gereduceerde temperatuur 1.6 bedraagt, dan bedoelen we daarmee, dat de temperatuur 1.6 maal zoo groot is als de kritische, en analoog voor drukking en volume.

Gaan wij nu het verband tusschen de gereduceerde grootheden ϑ , π en ω door een vergelijking uitdrukken, wat we kunnen doen door in de oorspronkelijke toestandsvergelijking T te vervangen door $\vartheta \times T_k$, enz.,

dan vindt men, dat de uitkomst voor alle stoffen volkomen dezelfde is, doordat de grootheden a , b en R , die natuurlijk voor alle stoffen verschillen, uit de vergelijking wegvallen en door bepaalde, voor alle stoffen even groote getallen worden vervangen. Men vindt n.l.

$$\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right) \left(\omega - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3} \vartheta$$

en daaraan is niet meer te zien, op welke stof ze betrekking heeft. Deze uitkomst kan men aldus formuleeren: indien temperatuur, druk en volume worden uitgedrukt in de kritische grootheden, zoo wordt de toestandsvergelijking voor alle stoffen dezelfde. Dus b.v.: indien twee stoffen genomen worden, niet bij eenzelfde temperatuur, maar bij eenzelfde gereduceerde temperatuur en eenzelfde gereduceerden druk, dan nemen ze noodzakelijk eenzelfde gereduceerd volume in. Of om nog een ander voorbeeld te geven: bij gelijke gereduceerde temperaturen zullen twee stoffen een gelijke gereduceerde dampdrukking en gelijke gereduceerde volumes van vloeistof en damp moeten bezitten. In het algemeen kan men het beginsel zoo samenvatten: alle eigenschappen der stoffen, die afhangen van den graad van opeenhooping der moleculen, zijn in overeenkomstige toestanden zelve overeenkomstig. Dus niet die, welke samenhangen met den bouw van het molecuul; de chemische, optische en electriche eigenschappen der stof vallen dus buiten het gebied, waarover het beginsel zich uitstrekt.

Plaatsruimte ontbreekt ons voor een opsomming van alle eigenschappen, die door de toestandsvergelijking en dus ook door het beginsel der correspondentie worden omvat. Genoeg zij het te vermelden, dat in kwalitatieven zin een verrassende overeenstemming tusschen theorie en waarneming gevonden wordt. Voor bijzonderheden verwijzen wij naar de oorspronkelijke verhandelingen van Van der Waals en naar werken, waarin ook de talrijke experimenteele en theoretische onderzoeken van later tijd worden samengevat¹⁾. Het is allengs gebleken, dat, terwijl de verschijnselen, quantitatief beschouwd, betrekkelijk slecht aan de toestandsvergelijking beantwoorden, de wet der corresponderende toestanden met veel grooter benadering wordt bevestigd, dan men op grond van de eerstgenoemde afwijkingen zou verwachten. Daaruit volgt eenerzijds, dat de vergelijking belangrijke wijziging van noode heeft, wil zij met het gedrag der stoffen in harmonie gebracht worden, terwijl anderzijds de wet der correspondentie op een meer algemeen grondbeginsel moet berusten, dan de afleiding uit de toestandsvergelijking deed vermoeden.

Vroegere betrekkingen.

Reeds lang vóór Van der Waals hadden de natuurkundigen opgemerkt,

¹⁾ J. P. Kuenen. Die Zustandsgleichung, 1907. H. Kamerlingh Onnes und W. H. Keesom. Die Zustandsgleichung, Art. V 10 der Enc. d. Math. Wiss. 1912. J. P. Kuenen. Die physikalischen Eigenschaften der Gase (Ostwald Handbuch d. Chemie. Leipzig 1919).

dat de meest verschillende zelfstandigheden analoge eigenschappen bezitten, en dit had hen doen trachten voor dit parallelisme empirische quantitative betrekkingen op te sporen. Zoo vond J. A. Groshans (1818—1904) een verband tusschen dampdrukking en absolute temperatuur, hetwelk door de volgende formule kan worden uitgedrukt:

$$T_p^1 : T_p \quad \text{constant, onafhankelijk van } p.$$

T_p en T_p^1 zijn hierin de kookpunten van twee verschillende stoffen op de absolute schaal onder eenzelfde uitwendige drukking p . Men vindt deze betrekking ook in den aequivalenten vorm

$$T_p^1 : T_p - T_{76}^1 : T_{76} \quad (T_p^1 - T_{76}^1) : (T_p - T_{76}) = \text{constant.}$$

Hierin is het normale kookpunt onder een druk van 76 cM. kwik als uitgangspunt ingevoerd; de verschillen $(T_p - T_{76})$ enz. mogen natuurlijk op de gewone temperatuurschaal gemeten worden.

Het zou ons te ver voeren, indien we getalwaarden ter toetsing dezer betrekking gingen mededeelen. Volkomen juist is ze geensdeels en het belang van dergelijke empirische formules (want een groot aantal andere zijn beproefd geworden) is veel geringer geworden, sedert Van der Waals zijn meer nauwkeurige wet der overeenstemmende toestanden daarvoor in de plaats heeft gesteld. Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat de stoffen niet onder gelijke drukking moeten worden vergeleken, maar onder gelijke gereduceerde drukking. Onder zoodanige drukkingen zijn dan de gereduceerde kookpunten voor verschillende stoffen even groot.

Ook ten opzichte van andere eigenschappen heeft Groshans met grooten ijver naar algemeene wetmatigheden der stoffen gezocht. Genoemd zij de dampdichtheid, die b.v. met de dichtheid van oplossingen derzelfde substanties in verband gebracht werd. Opmerking verdient, dat A. C. Oudemans, die aan deze beschouwingen groote waarde hechtte, een aantal nauwkeurige waarnemingen ter toetsing daarvan ondernam en zich voorstelde aan de wetten van Groshans een afzonderlijk geschrift te wijden, waartoe hem evenwel de gelegenheid niet gegund geweest is. Zijn belangstelling in dergelijke vragen blijkt trouwens ook uit zijn waarnemingen over dichtheid en uitzetting ten behoeve van een toetsing van de wetten van Van der Waals verricht.

Groshans was notaris en beoefende de natuurwetenschap in zijn vrijen tijd. Hij was een broeder van den medicus G. P. F. Groshans (1814—1874), eveneens te Rotterdam, die daar o. a. lector was aan de medische school en bij het 25-jarig bestaan in 1853 een gedachtenisrede hield, voor de geschiedenis der school van belang.

Beginsel der gelijkvormige bewegingen.

Spoedig na de publicatie van Van der Waals heeft Kamerlingh Onnes er op gewezen, dat men de wet der correspondentie kan afleiden uit het

beginsel der gelijkvormige bewegingen. Wij denken ons twee gelijkvormige ruimten van verschillende grootte; in de twee ruimten bevindt zich een gelijk aantal deeltjes (moleculen) met afmetingen, die zich verhouden als die van de ruimten zelve, en in volkomen overeenkomstige standen. Daardoor verkrijgen wij twee „gelijkvormige” systemen. Men kan het eene uit het andere afleiden, als men de verhouding van de lengten en die van de massa's kent: laten wij deze door $1 : l$, resp. $1 : m$ voorstellen. Verder nemen wij aan, dat de deeltjes zich bewegen en dat deze bewegingen voor de overeenkomstige deeltjes in overeenkomstige richtingen plaats vinden met snelheden, die evenredig zijn met de verhouding der lengten. Blijkbaar zullen dan de beide systemen van deeltjes gelijkvormige toestanden doorloopen; men noemt in dit geval de bewegingen zelve gelijkvormig. In het algemeen zullen gelijkvormige configuraties niet op dezelfde oogenblikken doorloopen worden; noemen wij de verhouding van de tijden tusschen gelijkvormige standen $1 : t$. De snelheden verhouden zich dan als $1 : l/t$, hoeveelheden van beweging als $1 : ml/t$, enz. Voor het oogenblik is de grootte t nog onbepaald.

Om zorg te dragen, dat de bewegingen nu ook gelijkvormig blijven, moeten wij de twee systemen nog aan verdere voorwaarden laten voldoen. Wat de botsingen betreft, welke de deeltjes met den wand en met elkaar zullen uitoefenen, voeren wij de onderstelling in, die overal in de kinetische theorie gemaakt moet worden, dat deze volkomen elastisch zijn; alleen dan blijft de energie der beweging op den duur onveranderd. In die onderstelling nu zullen blijkbaar de botsingen, noch wat de grootte noch ook wat de richting aangaat, de gelijkvormigheid der bewegingen kunnen storen. Verder moeten wij nog krachten tusschen de moleculen aannemen, en deze kunnen voor de twee soorten verschillende grootte hebben, maar ze zullen volgens eenzelfde wet van den afstand der moleculen moeten afhangen. Stellen wij, dat de verhouding dezer krachten in overeenkomstige standen door $1 : k$ uit te drukken is. Deze krachten geven aan de deeltjes versnellingen en deze moeten zich als $1 : l/t^2$ verhouden en dus de krachten zelve volgens de mechanica als $1 : ml/t^2$, waaruit dus volgt, dat $k = ml/t^2$ zijn moet. Men ziet, dat als k gegeven is, door deze grootte nu ook het verhoudingsgetal t vastgelegd is.

Wij kunnen nu de verhoudingen der drie grootheden, die temperatuur, druk en volume voorstellen, aangeven. De volumes verhouden zich blijkbaar als $1 : l^3$; temperatuur is in de kinetische theorie evenredig met de energie van het molecuul en zal dus evenredig zijn met ml^2/t^2 ; druk wordt door de botsingen der moleculen teweeggebracht en is gelijk aan de hoeveelheid van beweging, die per tijds-eenheid aan de vlakke-eenheid wordt afgestaan, is derhalve evenredig met $m/l t^2$. In deze verhoudingsgetallen kan t volgens boven door k , m en l worden uitgedrukt, zoodat de verhoudingsgetallen voor p en T worden k/l^2 en lk .

Daaruit volgt nu de wet der overeenkomstige toestanden. Met behulp van de drie verhoudingen, die door de getallen m (moleculair-gewicht), l (moleculaire afmeting) en k (moleculaire attractie) worden uitgedrukt en bekend ondersteld worden, kan men uit een gegeven toestand van het eene systeem den overeenkomstigen toestand van het tweede berekenen. Alle eigenschappen, die met moleculaire bewegingen samenhangen, zullen zich in de twee systemen op overeenkomstige wijze voordoen. Een toestand van bijzonderen aard, zooals de kritische toestand, zal met een dergelijken toestand van het andere systeem correspondeeren. Daaruit volgt, dat de verhoudingen van de drie kritische grootheden genomen kunnen worden in de plaats van de boven afgeleide verhoudingen voor temperatuur, druk en volume, waarmede men tot de methode van Van der Waals teruggekeerd is. Men moet dus hebben $p_k : p'_k = 1 : k/l^2$, $v_k : v'_k = 1 : l^3$ en $T_k : T'_k = 1 : lk$ en dit stemt ook met de vroegere uitdrukkingen voor de kritische grootheden overeen, omdat $a : a' = 1 : l^4 k$ en $b : b' = 1 : l^3$, zooals uit de beteekenis van a en b door eenvoudige beschouwing voortvloeit.

Natuurlijk zal men zich niet kunnen voorstellen, dat de moleculaire bewegingen in twee stoffen in overeenkomstige toestanden letterlijk aan de definitie van gelijkvormigheid beantwoorden. Zooals overal in de kinetische theorieën, moet ook hier aan de gemiddelde grootheden voor de zich stationnair bewegende moleculen gedacht worden en de analogie met streng gelijkvormige systemen heeft betrekking op deze middelwaarden. Dan behoeven de ruimten, waarin de twee systemen bevat zijn, ook zelve niet aan den eisch van gelijkvormigheid te voldoen; trouwens men gevoelt zonder meer, dat voor systemen, zooals hier bedoeld worden, de grootte en vorm van het vat van geen beteekenis kunnen zijn bij het bepalen van den aard der bewegingen.

Afwijkingen. Associatie van moleculen.

Men heeft bevonden, dat er enkele stoffen zijn, die opvallend groote afwijkingen van de wet der correspondentie vertoonen, van een andere orde dan de betrekkelijk geringe afwijkingen, die gemeenlijk gevonden worden. Volgens de zooeven gegeven verklaring van de wet als berustende op gelijkvormigheid der systemen kan men deze uitzonderingen onmiddellijk verklaren als het gevolg van niet-gelijkvormigheid. De gelijkvormigheid zal b.v. dadelijk verstoord worden, indien de moleculen niet van elkander gescheiden blijven, maar zich in paren of in grooter aantal tot samengestelde moleculen vereenigen. Zoo had men reeds lang geleden de abnormaal groote damp-dichtheid van stoffen als mierenzuur en azijnzuur daaraan toegeschreven, dat de moleculen dezer stoffen bij lage temperatuur niet gescheiden zijn, maar tot dubbel-moleculen geassocieerd. Iets dergelijks wordt nu ter verklaring van de genoemde uitzonderingen

aangenomen: doordat de moleculen zich associeeren, en wel voornamelijk in de dichtere toestanden en dus in het bijzonder in de vloeistoffen, wordt de gelijkvormigheid opgeheven en wijken ze van de wet af. Een voorbeeld vormt het water: een verbinding van zoo eenvoudige scheikundige samenstelling behoorde bij veel lager temperatuur te koken dan het geval is; door de associatie van de enkelvoudige H_2O moleculen tot groepen van twee of drie wordt o. a. de dampdrukking lager en wordt dus het kookpunt veel hooger dan te verwachten was ¹⁾). Iets dergelijks geldt voor de lagere alcoholen en zuren en voor nog menige andere stof, zooals bijv. ammonia. Methylalcohol heeft een te hoog kookpunt en een te hooge kritische temperatuur: zelfs daar is de associatie nog niet geheel opgeheven.

De genoemde stoffen worden als de anomale van de overige onderscheiden, maar ook de normale stoffen stemmen slechts met zekere benadering met elkaar overeen. Ook deze verschillen worden uit het beginsel der gelijkvormigheid begrijpelijk. Dat éénatomige stoffen zich eenigszins afwijkend gedragen van meeratomige, ligt n.l. daaraan, dat de moleculen zelve niet gelijkvormig zijn en dat dus de bewegingen het ook niet kunnen wezen. Bij meeratomige stoffen onderling kan op denzelfden grond geen absolute overeenstemming verwacht worden en het kan dan ook geen verwondering baren, dat de bij deze stoffen gevonden onderlinge afwijkingen met de samengesteldheid van het molecuul vrij wel hand in hand gaan.

Door de onderzoekingen betreffende het gedrag van stoffen bij zeer lage temperatuur in het cryogeen-laboratorium zijn betrekkelijk aanzienlijke afwijkingen van de correspondentie voor den dag gekomen; misschien, dat de normale stoffen bij lage temperatuur abnormaal worden, misschien ook dat deze afwijkingen samenhangen met de bijzondere eigenaardigheden, die in de laatste jaren in velerlei ander opzicht bij lage temperatuur gevonden zijn en tot wier verklaring men tegenwoordig de quanten-theorie te hulp roept. Volgens haar zou het verband tusschen p , v en T bij nadering tot het absolute nulpunt allengs een essentieele wijziging ondergaan. Een onderzoek daaromtrent heeft Keesom ingesteld: wij kunnen ons met het vermelden daarvan tevreden stellen.

Proeven.

Nog een enkel woord over de juist genoemde onderzoekingen te Leiden ondernomen. Terwijl elders door anderen, om slechts één naam te noemen, S. Young, uitvoerige toetsingen van de wet voor gewone vloeistoffen werden ten uitvoer gebracht, stelde Onnes zich dezelfde taak voor het interessante gebied van lage temperatuur en dus v.n. met stoffen van de laagste kritische temperaturen. Deze onderzoekingen bestaan

¹⁾ Onder de talrijke onderzoekingen van J. J. van Laar op het gebied van de toestandsvergelijking komt er ook een voor over den moleculairen toestand van water.

in talrijke met de uiterste zorg uitgevoerde isothermen-bepalingen, die wij reeds vroeger besproken hebben, en voorts metingen betreffende dampdrukkingen en kritische punten. Oorspronkelijk, in den tijd, toen de condensatie van waterstof en helium nog niet was gelukt, hadden de isothermen-bepalingen tevens ten doel uit haar gedaante, in verband met een toepassing van de wet der correspondentie, de ligging van de kritische punten dezer stoffen te weten te komen om zoodoende bij de pogingen om deze punten te overschrijden en de stoffen te condenseeren en het ontwerpen der benoedigde toestellen vasten grond onder de voeten te hebben.

Aan deze isothermenbepalingen hebben deelgenomen J. C. Schalkwijk (waterstof bij 20° tot 60 atm., later voortgezet tot 100 atm. door C. Dorsman en G. Holst en door C. A. Crommelin en Meijuffrouw E. I. Smid, om aansluiting te verkrijgen met de isothermen van Amagat), C. Braak (waterstof bij lage temperaturen), Crommelin (argon), H. H. F. Hijndman (zuurstof en waterstof), W. H. Keesom (koolzuur), Crommelin (neon) en H. A. Kuypers (zuurstof). In nauw verband met deze bepalingen staan onderzoekingen over de samendrukbaarheid bij matige drukkingen boven en beneden één atmosfeer met een anderen toestel uitgevoerd, o. a. voor waterstof bij 20° en in de buurt van het kookpunt door W. J. de Haas en voor koolzuur en mengsels daarvan met zuurstof door Keesom.

Isothermen van waterstof tot zeer hoge drukkingen werden te Amsterdam gemeten door Ph. Kohnstamm en K. W. Walstra met een bijzonder voor dit doel ingerichte apparatuur.

Uit de isothermen voor waterstof werd het beloop van het Joule-Kelvin-effect door J. P. Dalton afgeleid, terwijl het effect voor lucht door hem te Leiden proefondervindelijk werd gemeten. De bijzonderheid van dit onderzoek was het gebruik van een reduceerkraan in plaats van een prop, zooals Joule en Kelvin zelve bezigden; hierin bleek de warmtegeleiding in de kraan ernstige stoornis te veroorzaken, zoodat eerst juiste uitkomsten werden verkregen, nadat een niet-geleidende kraan van glas voor dit doel was ontworpen en in gebruik genomen.

Verder werden te Leiden condensatie-grootheden, zooals dampdrukkingen, smeltpunten en dichtheden van vloeistof en damp, gemeten voor zuurstof door Braak, voor methaan, waterstof, argon, stikstof en neon door Crommelin, voor waterstof door Keesom, voor zuurstof en stikstof door Dorsman en Holst, voor helium door Onnes en S. Weber, voor neon door Onnes, voor koolzuur door Keesom, voor ammonia en chloormethyl door Holst en voor zuurstof, argon en stikstof door E. Mathias en Crommelin. Bij deze laatste onderzoekingen ging het om een toetsing van de wet van den diameter (Cailletet en Mathias), volgens welke het gemiddelde tusschen de dichtheden van coëxisterende vloeistof en damp lineair met de temperatuur verloopt. In dit geval kwam de heer

Mathias van de Leidsche hulpmiddelen gebruik maken om het beloop van den diameter bij de genoemde drie vloeibare gassen te leeren kennen.

In dit verband vermelden wij ook een uitgebreid onderzoek naar de condensatie-grootheden en talrijke andere physische constanten van normaal butaan door Kuenen en S. W. Visser.

Een bijzonder onderzoek door Onnes en Weber ingesteld betrof de dampdrukkingen van koolzuur bij zeer lage temperatuur, waarvan de kennis van belang beloofde te zijn voor een toetsing van het warmte-theorema van Nernst, hetwelk tot een bepaalde dampdrukformule voert. De uiterst kleine drukkingen, waar het bij dit onderzoek op aan kwam, liggen alle beneden een millimeter kwik en voor een gedeelte zelfs beneden een millioenste atmosfeer; dergelijke kleine drukkingen worden om kleine breuken te vermijden in de absolute eenheid van drukking (één dyne per cm^2 één barye; één atmosfeer = 1.013×10^6 baryen) uitgedrukt. Voor het meten daarvan laten gewone manometers ons in den steek. Het was noodig zich van een tweetal door Knudsen aangegeven meetmethoden te bedienen.

De eene methode met den manometer „met verhitten draad” berust op de meting van de warmtegeleiding in den damp, welks druk bepaald moet worden. Terwijl bij niet te lage drukking in een gas de warmtegeleiding onafhankelijk is van de drukking, neemt ze bij zeer lage drukking evenredig daarmee af: uit het bedrag van de warmtegeleiding kan de druk dus worden gevonden. De geleiding wordt afgeleid uit de warmte, die een electricch verhitte draad in de damp-ruimte aangebracht afgeeft, en deze warmte kan uit de stroomsterkte in den draad worden berekend.

De andere „absolute” manometer van Knudsen, die voor nog lagere drukkingen dient, berust op de meting van de kracht, die een zeer gevoelig opgehangen plaatje ondervindt van de botsingen der moleculen, die van een warmere er tegenover opgestelde plaat afkomstig zijn. Deze kracht is bij zeer lage drukking weer evenredig met het aantal aanwezige moleculen en dus met de drukking zelve en verder op eenvoudige wijze afhankelijk van de temperaturen der beide platen, zoodat uit de gemeten kracht de druk is te berekenen.

Beide methoden werden met succes toegepast en de uitkomsten bleken met het theorema te strooken.

Verschillende andere onderzoekingen in het laboratorium van Onnes vloeiden uit zijn belangstelling in de toestandsvergelijking en het beginsel der overeenkomstige toestanden voort. Vooreerst mogen genoemd worden bepalingen van wrijvingscoëfficiënten van vloeistoffen en gassen¹⁾. Zooals Onnes het eerst aanwees, moet volgens het beginsel der gelijkvormige bewegingen een verband bestaan tusschen de wrijvingscoëfficiënten van

¹⁾ Zie proefschrift van L. Steenhuis (Groningen 1879).

twee stoffen in overeenkomstige toestanden en dit verband kon vooreerst aan bestaande metingen over vloeistoffen worden getoetst (M. de Haas), terwijl nieuwe metingen voor dit doel moesten worden ondernomen.

De meest gebruikelijke methode voor de meting betaamt daarin, dat de hoeveelheid vloeistof of gas bepaald wordt, die bij gegeven drukverschil in een gegeven tijd door een nauwe buis stroomt of omgekeerd: de tijd, dien een bepaalde hoeveelheid voor het doorstromen noodig heeft¹⁾. Daarbij moet er op worden toegezien, dat de „kritische” snelheid (blz. 212) niet wordt overschreden. Volgens deze methode op bijzondere wijze toegepast maten L. M. J. Stoel en later M. de Haas de viscositeit van vloeistoffen (chloormethyl) tot in de buurt van het kritisch punt, waarbij ook de bovengenoemde betrekking werd getoetst door vergelijking met koolzuur.

Later zien wij Onnes in samenwerking met Dorsman en Weber de inwendige wrijving onderzoeken van gassen bij zeer lage temperaturen en deze ook weder op correspondentie toetsen. Daarbij bleek, dat de gassen een vrij goede overeenstemming in den bedoelden zin vertoonen met uitzondering van helium, ook in vergelijking met het eveneens één-atomige argon; de groote afwijking, die daar voor den dag komt, mag wellicht op rekening van de lage temperatuur als zoodanig worden gesteld. Zeer besliste gevolgtrekkingen omtrent de veranderingen, die stoffen bij zeer lage temperatuur in hun constitutie ondergaan, zijn uit deze proeven nog niet getrokken kunnen worden.

Een eenvoudige viscosimeter voor vluchtige stoffen, een modificatie van den bekenden viscosimeter van Ostwald, is aangegeven door Kuenen en S. W. Visser; zij heeft o. a. gediend voor een bepaling van de viscositeit of inwendige wrijving van vloeibaar butaan tot -23° C. Ook bij dit onderzoek was het om een toetsing van de overeenstemming tusschen verschillende koolwaterstoffen in hun gedrag te doen.

De metingen van de viscositeit van vloeibare gassen bij lage temperatuur door Verschaffelt en Nicaise geschiedden volgens de methode der torsie-slingeringen, waarbij de viscositeit wordt afgeleid uit de demping der oscillaties, in dit geval van een metalen bol. Voorloopig werden vloeibare mengsels van zuurstof en stikstof en vloeibare waterstof gemeten.

Over de capillaire opstijging tot bij het kritisch punt werden metingen verricht door E. C. de Vries bij aether; Verschaffelt zette de metingen voort met vloeibare gassen. Deze verbetert ook de theorie der capillaire opstijging en behandelt kort geleden de theorie van het capillaire oppervlak en van de verschillende meet-methoden van de oppervlakte-spanning met behulp van druppels en gasbellen. A. van Eldik mat capillaire

¹⁾ De theorie werd behandeld door M. J. H. Houba (Leiden 1883).

opstijgingen bij mengsels van vloeibare gassen tot in het kritisch gebied, Kuijpers onderzocht vloeibare waterstof, Kuenen en Visser bepaalden de oppervlakte-spanning van normaal butaan. Talrijke metingen van de oppervlakte-spanning, ook van gesmolten zouten, dus bij zeer hooge temperatuur, heeft men aan F. M. Jaeger en diens leerlingen te danken: bij dit onderzoek werd de methode der gasbellen gebezigd.

Thermodynamisch oppervlak van Gibbs.

Het verband tusschen p , v en T , dat in de toestandsvergelijking ligt opgesloten, kan, zooals wij gezien hebben, graphisch door een reeks van isothermen worden weergegeven. Tal van andere graphische methoden voor hetzelfde doel zijn mogelijk en worden elk op haar tijd toegepast. Wil men het verband in één meetkundige figuur samenvatten, dan is daartoe een oppervlak noodig, immers er zijn drie grootheden voor te stellen. Men zou reeds dadelijk zulk een oppervlak verkrijgen door p , v en T zelve als coördinaten te kiezen. Van veel meer beteekenis zijn zoodanige oppervlakken, waaruit door meetkundige constructie onmiddellijk de evenwichtstoestanden tusschen de mogelijke fasen zijn af te leiden. Zulk een vlak is het vlak van Gibbs met de inwendige energie, de entropie en het volume als coördinaten. Over de beteekenis van „entropie” hebben wij bij de bespreking der thermodynamica iets medegedeeld.

Op dit vlak wordt het volume dus onmiddellijk gegeven, maar de druk en temperatuur niet; om deze in een punt van het vlak te leeren kennen, moet men aldaar het raakvlak aanleggen: de helling daarvan staat n.l. op eenvoudige wijze met p en T in verband. Het oppervlak vertoont nu bepaalde plooien, die nauw verband houden met de dubbel gekromde theoretische isotherme, die wij vroeger leerden kennen. Een dubbel-raakvlak aan zulk een plooi aangelegd geeft door zijn raakpunten den toestand der twee coëxisterende fasen aan, terwijl, als gezegd, uit de richting van dit vlak de bijbehorende waarden van p en T kunnen worden gevonden.

Om deze methode ook praktisch tot de toetsing en voorstelling van de verschijnselen te kunnen benuttigen, heeft Onnes zich veel moeite gegeven gedeeltelijk in samenwerking met Happel om zulk een oppervlak naar de waarnemingen der isothermen zelve te modelleeren. Ook bespreekt hij de methode om het geheele oppervlak te reduceeren, in den besproken zin, en verkrijgt dusdoende een oppervlak, waarvan men — in de onderstelling van de geldigheid der correspondentie — alle eigenschappen van alle stoffen, die eraan beantwoorden, als het ware kan aflezen.

Verbetering van de toestandsvergelijking.

Allengs openbaarde het zich, dat de toestandsvergelijking het gedrag der stoffen quantitatief niet kan weergeven. Zoo bleek b.v., dat het

kritisch volume aanmerkelijk kleiner is dan drie maal de konstante b , die uit de isothermen verkregen of uit T_k en p_k berekend wordt. Volgens de formules van blz. 294 zou $RT_k : p_k v_k^{8/3} = 2.67$ zijn, terwijl de waarnemingen uitkomsten geven, die gewoonlijk tusschen 3.5 en 4.0 varieeren. Ook de vorm der isothermen is een andere dan volgens de vergelijking het geval zou zijn, zooals b.v. een onderzoek van chloormethyl door Kuenen uitwees.

Nu had Van der Waals reeds in den aanvang opgemerkt, dat de wet althans voor de grootere dichtheden niet juist kon zijn, omdat de afleiding, wat de volume-correctie aangaat, alleen voor kleine dichtheid geldig was. Evenzoo wees Lorentz op de onzekerheid van de gedaante van het attractie-lid in de toestandsvergelijking. Van alle zijden is men toen begonnen de theoretische afleiding strenger te maken; aan dit moeilijke vraagstuk hebben naast Van der Waals zelf zijn landgenooten met voorliefde gearbeid.

In de eerste plaats trok de verbetering van de uitdrukking $(v-b)$ de aandacht; bij de bewerking daarvan werden veelal andere methoden gebezigd dan die, welke Van der Waals had aangewend en die bleek tot onjuiste uitkomsten te kunnen voeren. Van de bewerkers van dit vraagstuk noemen wij Lorentz, D. J. Korteweg, J. J. van Laar, Ph. Kohnstamm, J. D. van der Waals Jr., C. J. Kool en G. van Iterson. De nieuw verkregen uitdrukkingen werden door verschillende onderzoekers aan de waarnemingen getoetst, zooals door Van der Waals zelf, Van Laar, C. H. Brinkman en G. van Rij. Daar de uitslag niet bevredigend was, nam men ook wel zuiver empirisch aangebrachte wijzigingen te baat.

Wat de verbetering van den attractieterm aangaat, daaraan hebben weder verscheidene Nederlanders hunne krachten beproefd; van hen noemen wij G. Bakker, van der Waals Jr., Van Laar en Keesom. De laatste paste evenals L. S. Ornstein deed, de algemeene methode der statistische mechanica toe; daarbij kwam hij bij vergelijking met de isothermen der gassen tot de slotsom, dat bij waterstof en zuurstof de beste aansluiting verkregen wordt in de onderstelling, dat de moleculen van deze stoffen zich gedragen als electriche dipolen, d. w. z. systemen, waarin naast elkaar en gescheiden een positieve en een negatieve lading worden aangenomen. Op deze onderstelling was ook reeds door Van der Waals Jr. voortgebouwd. Daarentegen stemt het gedrag van helium en argon overeen met de onderstelling, dat de moleculen als eenvoudige kracht-centra op elkander werken. In een zijner verhandelingen over deze quaesties had Keesom de medewerking van mejuffrouw C. van Leeuwen.

Het attractie-lid ondergaat ook een vergrooting door de toevallige oopenhoopingten der moleculen, waar vroeger van werd gewag gemaakt: aan de theorie hiervan hebben o. a. Ornstein en Zernike gewerkt.

Om een eenigszins volledige aansluiting aan de waarnemingen te verkrijgen, riep men ook hier zuiver empirische wijzigingen te hulp. Van der Waals zelf beproefde verbeteringen te verkrijgen door eensdeels het uitwerken van een theorie omtrent de volumeveranderingen van het molecuul zelf, wanneer dit als uit meer dan één atoom samengesteld gedacht wordt; de uitkomsten daarvan werden door Van Laar aan proeven getoetst. Anderzijds voerde Van der Waals de onderstelling in, dat de moleculen zich tot groepen kunnen vereenigen, welke groepvorming hij onder den naam van schijn-associatie onderscheiden wil zien van de chemische bindingen tusschen de moleculen, welke wij boven als eigenlijke associatie leerden kennen. In deze theorie werd gebruik gemaakt van de toestandsvergelijking, die door zijn leerling A. J. Swart voor dissocieerende stoffen was opgesteld; ze werd door G. van Rij nader uitgewerkt. Van Laar stelde een eenigszins andere toestandsvergelijking voor dit geval op. Verschaffelt gaf eveneens een theoretische toestandsvergelijking voor associeerende moleculen.

Vermelden wij ten slotte, dat men getracht heeft de toestandsvergelijking op vaste stoffen toe te passen: aan deze beschouwingen hebben Onnes, Van der Waals en Van Laar aandeel genomen.

Voor berekeningen over de gassen van lage kritische temperatuur met het oog op de correctie van de gasschaal op de absolute schaal van Kelvin, de bepaling van het absolute nulpunt en andere dergelijke quaesties zijn nauwkeurige betrekkingen tusschen p , v en T een absolute vereischte. Nu de theoretische toestandsvergelijkingen geen bevredigend resultaat opleverden, ging Onnes over tot het opstellen van nauwkeurige, zuiver empirische toestandsvergelijkingen met reeks-ontwikkeling. Op grond van een uitgebreid onderzoek aan het in het cryogeen laboratorium verzameld experimenteel materiaal van de verschillende mogelijke vormen, waaraan ook E. F. van de Sande Bakhuyzen een belangrijk aandeel nam, kwam men ten slotte tot de vergelijking

$$pv = RT \left(1 + \frac{B}{v} + \frac{C}{v^2} + \dots \right),$$

waar de coëfficiënten B , C . enz. op hun beurt naar de omgekeerde machten van de absolute temperatuur te ontwikkelen zijn. De coëfficiënten in de vergelijking werden zoo gekozen, dat ook de condensatie-grootheden er aan voldoen. Van deze vergelijkingen, die ook in gereduceerden vorm werden gegoten ten einde voor de toetsing der correspondentie te worden gebruikt, is bij het onderzoek veelvuldig gebruik gemaakt.

Waarden van a en b.

Uit de isothermen eener stof of uit de kritische constanten zouden waarden gevonden kunnen worden voor de grootheden a en b , die resp. de grootte van de moleculaire krachten en die van het molecuul zelf voor-

stellen. Nu evenwel de toestandsvergelijking niet behoorlijk aan het gedrag der stoffen aansluit, zal men verschillende uitkomsten vinden, naarmate de berekening op andere gegevens berust; a en b zijn geen constante grootheden. Om toch het doel te bereiken zijn dus bepaalde onderstellingen noodig over de veranderingen, die a en b bij verandering van volume of temperatuur ondergaan. Bij de keuze dezer onderstellingen moet men zich door empirische betrekkingen tusschen de waarden in het kritisch punt, in den verdunnen toestand en in den grenstoestand bij hooge verdichting laten leiden. Zoowel Van der Waals, als op zijn voetspoor Van Laar, zijn er op uit geweest om langs dien weg eenigszins betrouwbare uitkomsten voor a en b te verkrijgen. Men kan dan bijv. de vraag trachten te beantwoorden, of er betrekkingen zijn aan te wijzen tusschen de waarden van deze moleculaire constanten bij verschillende stoffen, of er bijvoorbeeld een verband bestaat met het moleculairgewicht en of het moleculairvolumen, dat met b evenredig is, additief uit de atoomvolumina kan worden opgebouwd. Op een gebied, waar nog zoovele vraagtekens te zetten zijn, onthouden wij ons liefst van bepaalde mededeelingen.

Verdampingsevenwicht volgens de kinetische theorie.

Volgens de kinetische theorie moet men zich het evenwicht tusschen vloeistof en damp niet als een onveranderlijken toestand denken, maar als een zoogenaamd stationnairen, waarin voortdurend deeltjes uit de vloeistof in den damp en omgekeerd een even groot aantal uit den damp in de vloeistof overgaan. Men kan zich nu het probleem stellen om uit de voorwaarde, dat de verdampende deeltjes even groot in aantal zijn als de condenseerende dampdeeltjes, de evenwichtsvergelijking af te leiden, die uit de thermodynamica volgt en die we vroeger in den vorm hebben leeren kennen haar door Maxwell gegeven: ze kan trouwens in een aantal andere, daarmee aequivalente vormen gegoten worden. Dit probleem is door Kamerlingh Onnes ter hand genomen. Om uit de vloeistof in den damp te geraken moeten de deeltjes zekeren arbeid verrichten, omdat ze bij hun beweging door de grenslaag door de dichtere vloeistof naar beneden getrokken worden. Om dus te kunnen ontsnappen, moet hun kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$ een zekere bepaalde waarde γ overtreffen. Daarentegen zullen alle dampmoleculen, die het vloeistof-oppervlak treffen, ook door de vloeistof worden opgenomen, omdat de aantrekking naar beneden medehelpt. Dat dan toch de beide aantallen even groot kunnen zijn, is het gevolg daarvan, dat in de dichtere vloeistof meer deeltjes bijeen zijn dan in den damp en dus ook meer deeltjes het oppervlak zullen treffen dan omgekeerd.

Men kan nu met behulp van bekende formules uit de kinetische theorie de gevraagde aantallen mathematisch uitdrukken en zodoende

door ze beiderzijds gelijk te stellen de evenwichtsvoorwaarde opstellen. Daarbij kan, evenals in de toestandsvergelijking, ook het volume der moleculen zelve mede in rekening worden gebracht. Het lag verder voor de hand om de grootheid γ met de verdampingswarmte van één molecuul te vereenzelvigen. De formule, waartoe men op die wijze geraakt, blijkt overeen te stemmen met een betrekking, die volgt uit de toepassing van de thermodynamica op de toestandsvergelijking en dus ook indirect met het genoemde beginsel van Maxwell.

Op een dergelijke wijze behandelde Van der Waals later hetzelfde vraagstuk, waarbij een betrekking werd verkregen, welke in den grond met die van Onnes overeenstemde. Bovendien werd door hem dezelfde methode ook op een mengsel van stoffen toegepast.

Boltzmann volgde een geheel andere methode, die we echter niet zullen aangeven: deze werd later door Z. J. de Langen in een Groningsche dissertatie (1907) op een mengsel aangewend.

Oppervlakte-spanning.

Men kent een aantal verschijnselen, die tot de werking van een spanning in het oppervlak van vloeistoffen kunnen worden teruggebracht. Men denke bijv. aan de spanning in een dun zeepvlies, waaruit de mogelijkheid van zeepbellen voortvloeit, of aan de vorming van vloeistof-druppels en damp- en gasbellen in een vloeistof, die eveneens berust op de neiging van het oppervlak om zich zoo veel mogelijk samen te trekken. Ook de opstijging van een vloeistof in een nauwe buis (capillariteit) vindt in dezelfde eigenschap haar verklaring.

De theorie van het ontstaan dezer oppervlakte-spanning is een theorie omtrent de krachten, die aan het grensvlak werken, dus krachten tusschen de moleculen onderling en hangt derhalve samen met de theorie der verdamping en met den attractie-term in de toestandsvergelijking. Door verschillende onderzoekers, van wie we Van der Waals in het bijzonder moeten noemen, zijn theorieën van de oppervlaktelaag gegeven in de onderstelling, dat er in deze laag een continue overgang tusschen de vloeistof en den damp bestaat: aan het oppervlak zou de dichtheid niet plotseling een sprong maken, maar men denkt zich een — trouwens uiterst dunne — laag, waarin de dichtheid geleidelijk van de hooge waarde in de vloeistof in de lage waarde van den damp zou veranderen. Van der Waals stelt zich daarbij bepaaldelijk voor, dat deze tusschengelegen toestanden niet anders zijn dan die, welke door de dubbele bocht van de theoretische isotherme (fig. 20 p. 294) worden weergegeven.

Van der Waals bewees, dat de aanwezigheid van de niet-stabiele fasen n.l. die tusschen P en Q geen bezwaar tegen deze opvatting opleverde, want dank zij de omstandigheid, dat elke toestand slechts in een

oneindig klein onderdeel van de laag gevonden wordt, kan de laag in haar geheel toch stabiliteit vertoonen.

Een ander bezwaar, dat uit den weg moet worden geruimd, bestaat daarin, dat in de grenslaag niet overal de druk zou heerschen, die het evenwicht kenmerkt, dus die, welke aan de hoogte van de horizontale lijn in de genoemde figuur beantwoordt; in het onderste gedeelte, dus aan de vloeistofzijde van de oppervlaktelaag zouden, zooals men ziet, lagere en aan de dampzijde hoogere drukkingen bestaan, zij het dan ook over zeer korte afstanden. Wanneer men zich evenwel op een willekeurige hoogte in de laag een horizontaal vlakje denkt en nu de krachten gaat beschouwen, die aldaar tusschen de aangrenzende deelen van de laag werken, zoo blijkt, dat tengevolge van de dichtheids-verandering in de richting loodrecht op het oppervlak bijkomstige krachten werken, die binnen in de vloeistof niet gevonden worden, omdat daar de dichtheid overal even groot is; ten gevolge daarvan is de totale drukking niet gelijk aan die, welke door de isotherme wordt aangegeven, maar wordt toch weder gelijk aan de buiten de laag heerschende drukking.

Op verschillende wijzen kan men nu het bestaan van de spanning afleiden en er een uitdrukking voor vinden. Van der Waals zelf deed dit door een energie-beschouwing. Men gaat daarbij uit van het bestaan van een oppervlakte-drukking: deze ontstaat door de aantrekking, welke de deeltjes aan het oppervlak van de dichte vloeistof ondervinden en die grooter is dan de aantrekking naar boven door de schaars verspreide dampdeeltjes. De overmaat van aantrekking naar beneden doet zich als een druk op het oppervlak gelden, die bij den uitwendigen druk gevoegd moet worden: in de toestandsvergelijking wordt die druk door den term a/v^2 weergegeven.

Vervolgens kan men doen zien, dat er arbeid noodig zal zijn om het oppervlak van een vloeistof te vergrooten, want daarvoor is het noodig een aantal deeltjes uit het binnenste van de vloeistof naar het oppervlak te brengen en dus tegen den oppervlaktedruk in arbeid te verrichten. Ten slotte volgt dan de overweging, dat deze arbeid zich aan ons zal openbaren in den vorm van een spanning evenwijdig aan het oppervlak: als het ons arbeid kost om een oppervlak grooter te maken, drukken wij dat steeds uit door te zeggen, dat er in het oppervlak spanning bestaat.

Een meer directe afleiding van de oppervlakte-spanning werd gegeven door H. Hulshof (Diss. Amst. 1900) en spoedig daarop door G. Bakker. Men kan n.l. deze spanning vinden door zich een vlakje te denken in de oppervlaktelaag, ditmaal niet evenwijdig aan die laag, maar loodrecht er op, en nu, evenals straks op het eerstgenoemde vlakje, alle wederzijdsche werkingen tusschen de aangrenzende deelen der laag in rekening te brengen. Het blijkt dan, dat de geheele drukking in die richting, d. w. z. evenwijdig

aan de laag, kleiner is dan die, welke loodrecht op het oppervlak werkt: in de grenslaag gaat de wet van Pascal uit de hydrostatica niet door (Bakker). Het te kort aan drukking langs het oppervlak nemen wij waar in den vorm van een spanning en dit is niet anders dan de gezochte oppervlakte-spanning.

Ten slotte zij vermeld, dat de dichtheidsverdeeling, welke volgens bovenstaande theorie in de oppervlaktelaag gevonden wordt, in overeenstemming is met wat uit de thermodynamische evenwichtsvoorwaarde voortvloeit omtrent de dichtheden van vloeistof en damp zelve. De geheele dichtheidsverandering n.l. door de laag heen van de vloeistof af tot den damp toe blijkt even groot te zijn als het verschil tusschen vloeistof-dichtheid en dampdichtheid, dat uit den regel van Maxwell voortvloeit ¹⁾.

We kunnen hier nog eenige onderzoekingen van anderen aard over vloeistoffen en gassen de revue doen voorbijgaan.

Van der Waals Sr. bepaalde den invloed, dien een verhoogde drukking uitoefent op de temperatuur van grootste dichtheid van water. Men weet, dat onder gewone drukking water bij 4° een grootere dichtheid heeft dan bij temperaturen, die lager of hooger gelegen zijn. Het onderzoek leerde nu, dat deze temperatuur lager gevonden wordt, wanneer men de dichtheden onder een hoogere drukking meet; bovendien neemt de temperatuur sneller af dan het vriespunt, zoodat bij een bepaalde drukking de grootste dichtheid bij het vriespunt gevonden wordt.

Aan R. A. Mees heeft men een onderzoek te danken over de samendrukbaarheid van water, waarin de uitkomsten van vroegere waarnemers werden bevestigd en uitgebreid. Hij bewees, dat het water al minder compressibel wordt, naarmate de druk hooger is.

Van de veelzijdigheid zijner belangstelling leggen de proefschriften zijner leerlingen getuigenis af. Verschillende daarvan zijn elders besproken. Verder schreef C. Menzinga over warmte-geleiding. Ook H. Kamerlingh Onnes bewerkte onder hem zijn „nieuwe bewijzen voor de aswenteling der aarde”.

H. A. Naber construeerde een luchtbarometer en een stereometer. Onder het laatste wordt verstaan een toestel voor het meten van het volume van een vast lichaam door waterverplaatsing. Een uiteenzetting van het instel-criterium zou te veel ruimte vorderen: we verwijzen den belangstellenden lezer naar de oorspronkelijke verhandeling (Proefschrift Amsterdam 1901), waarin ook een dilatometer wordt beschreven, die op hetzelfde beginsel berust en geschikt is voor de bepaling van de volume-verandering

¹⁾ Zie voor meer uitvoerige uiteenzettingen J. P. Kuenen „Die Physik. Eigensch. d. Gase Leipzig 1919”. De talrijke bijdragen van G. Bakker over de theorie van de oppervlaktelaag en het verband met de toestandsvergelijking zijn meerendeels in het „Zeitschrift für physikalische Chemie” verschenen; een samenvatting in het Fransch, van enkele jaren geleden, vindt men in twee deeltjes van de serie „Scientia” 32, 33.

bij oplossing of menging. Te vergelijken hiermede is de dilatometer van L. J. Terneden (Utrecht 1901).

Mengsels van twee stoffen.

Ten opzichte van een mengsel kan men zich dezelfde vragen stellen, als waarvan door de beschreven onderzoekingen voor een enkelvoudige stof de oplossing werd gevonden. De theoretische behandeling heeft men weder aan Van der Waals te danken. Vooreerst gaf hij aan, hoe de toestandsvergelijking van een mengsel er uit ziet, en ten tweede ontwikkelde hij een graphische methode om, de toestandsvergelijking gegeven zijnde, de mogelijke evenwichten van fasen bij alle mogelijke temperaturen af te leiden en op overzichtelijke wijze voor te stellen.

Het onderzoek leerde vooreerst, dat de toestandsvergelijking voor een mengsel geheel dezelfde gedaante heeft als voor een enkele stof. Een mengsel van bepaalde samenstelling gedraagt zich dus in den homogenen, niet gesplitsten toestand ten opzichte van veranderingen in druk, volume en temperatuur vrijwel als een zuivere zelfstandigheid en is daarvan dus niet te onderkennen. Dat lucht een mengsel is, zou men zonder scheikundige analyse uit haar gedrag niet kunnen opmaken en dit geldt ook bij andere dan de gewone temperatuur, zoolang maar geen splitsing in fasen plaats vindt, want dan wordt de zaak anders.

Gaat men van een bepaald mengsel van twee gegeven stoffen over op een ander, zoo veranderen de grootheden a en b in de toestandsvergelijking. Deze hangen n.l. van de samenstelling af: de aantrekkingsconstante a is samengesteld uit de aantrekkingen van de moleculen der beide componenten afzonderlijk en uit de wederzijdsche aantrekking van de ongelijke moleculen. Daardoor opent zich de mogelijkheid om, door de isothermen der verschillende mengsels van twee bepaalde stoffen te vergelijken, de aantrekking tusschen de ongelijke moleculen van die der gelijke moleculen te onderscheiden en te leeren bepalen.

In de tweede plaats moet nu de evenwichtsvoorwaarde tusschen de fasen, die zich kunnen vormen, b.v. tusschen een vloeibaar mengsel en het dampmengsel, worden opgemaakt; evenals straks bij een enkelvoudige stof, ontleent men deze aan de thermodynamica. In dit geval gaat dit echter niet zoo eenvoudig als toen, met behulp van de horizontale lijn in het p - v diagram, want bij een mengsel heeft de evenwichtsdruk bij een vaststaande temperatuur geen constante waarde, omdat bij het condenseeren van een mengsel een vloeistof en damp van verschillende samenstelling gevormd worden, die bovendien bij volume-verandering voortdurend verandert: daardoor loopt de drukking van het begin der condensatie, totdat alles vloeibaar is, geleidelijk op. De evenwichtsvoorwaarde moet dus in een meer algemeen vorm worden toegepast. Wij zagen,

hoe zij met behulp van de entropie kan worden uitgedrukt, maar om praktische redenen koos Van der Waals een andere functie, die met de entropie samenhangt, de zoogenaamde vrije energie ψ , die de volgende beteekenis heeft: $\psi = \varepsilon - T\eta$, waar ε de energie van het stelsel en η zijn entropie voorstellen. Wie over de beteekenis en het gebruik in de physica van de vrije energie meer wil weten, raadplege het leerboek van Lorentz-Siertsema of het genoemde werkje van Kohnstamm¹⁾.

Om met behulp van de vrije energie de evenwichtsvoorwaarde uit te drukken, denke men zich het systeem in een standvastig volume opgesloten en op constante temperatuur gehouden. Onder die omstandigheden zal door de niet-omkeerbare veranderingen, die plaats kunnen hebben, de ψ alleen kunnen dalen: in den evenwichtstoestand is ψ zoo klein mogelijk geworden.

Nemen wij eerst nog eens een enkelvoudige stof. In dat geval kan de vrije energie, — daarin ligt juist een voordeel van deze functie — met behulp van de toestandsvergelijking in alle mogelijke toestanden worden berekend, d. w. z. in twee van de grootheden p , v en T , met name in v en T worden uitgedrukt; in deze formule komen natuurlijk de twee constanten a en b ook voor. Om nu goed te overzien, hoe ψ bij constante temperatuur met het volume v der stof verandert, bezigt men een door Van der Waals aangegeven graphische voorstelling van deze twee grootheden. Men denke zich daartoe het volume, dat de stof inneemt, langs

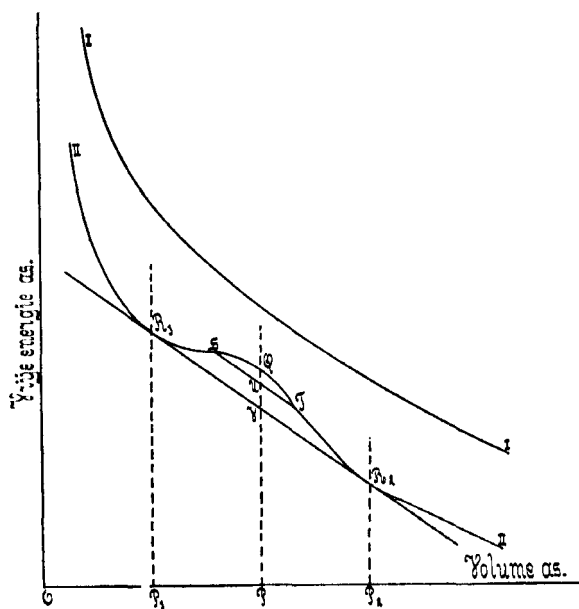


Fig. 21.

de kritische, zoo vertoont de lijn een dubbele bocht (lijn II) en bezit

een van twee rechthoekige assen uitgemeten en de vrije energie bij elk bepaald volume door een afstand in loodrechte richting, die der tweede as, voorgesteld; de kromme lijn, welke de zoo verkregen punten vereenigt, geeft dan de betrekking tusschen het volume en de vrije energie weder.

De gedaante van deze lijn kan van tweeërlei aard zijn; bij temperaturen, welke de kritische te boven gaan, is zij een regelmatig gekromde lijn, welke hare bolle zijde naar de assen toekeert, zoals lijn I in figuur 21. Ligt de temperatuur daarentegen lager dan

¹⁾ Verg. de dissertatie van P. H. J. Hoenen (Leiden 1912) over de theorie der thermodynamische functies.

dientengevolge in het midden een gedeelte, dat naar beneden hol is. Beschouwen wij voor een oogenblik de stof in het laatstgenoemde geval in het volume OP opgesloten, waar alzoo de vrije energie de waarde PQ bezit; blijkbaar heeft deze functie nu niet de kleinste waarde, welke zij in het gegeven volume en bij de gegeven temperatuur kan aannemen: splitst de stof zich b.v. in de twee toestanden S en T, zoo zoude, naar men gemakkelijk kan aantonen, ψ voor de twee fasen te zamen de waarde PU bezitten, waar U het punt is, waar de lijn PQ de verbindingslijn ST snijdt, en deze waarde is kleiner dan PQ in den eerst aangenomen homogenen toestand Q. De kleinst mogelijke waarde is nu blijkbaar die, welke door het punt V wordt voorgesteld, d. w. z. het punt waar de lijn PQ de dubbelraaklijn $R_1 R_2$ doorsnijdt; een kleinere waarde laat zich niet denken en de stof moet zich derhalve in de beide toestanden R_1 en R_2 splitsen, zoodat de volumes der beide in evenwicht verkeerende fasen per eenheid stof door de afstanden OP_1 en OP_2 worden weergegeven.

Hiermede is ons vraagstuk opgelost; is de kromme lijn over haar geheele beloop naar onderen bol, zoo zijn alle voorgestelde toestanden stabiel en dus blijvend bestaanbaar; vertoont daarentegen de lijn een bocht, zoo trekke men de dubbelraaklijn en vindt daarmede de dichtheden der beide fasen, waarin de stof zich zal splitsen. Het tusschen de beide punten R_1 en R_2 gelegen stuk is nabij de uiteinden nog naar onderen bol en stelt daar dus toestanden voor, welke op zichzelf stabiel zijn, terwijl het middengedeelte hol is en dientengevolge werkelijk labiele toestanden aangeeft; maar alle tusschen R_1 en R_2 gelegen toestanden hebben dit gemeen, dat zij minder stabiel zijn dan die, welke bij splitsing ontstaat, zoodat dit dan ook die is, welke ten slotte zal intreden. Dit alles komt voldoende overeen met wat wij op blz. 295 met behulp van de horizontale lijn van Maxwell vonden.

ψ -vlak.

Nu voor een mengsel. Denkt men zich voor een oogenblik het mengsel met de eigenschap begiftigd van zich, evenals een zuivere stof, te splitsen in twee toestanden van dezelfde samenstelling, dan leidt dit blijkbaar tot dezelfde constructie en dezelfde evenwichtstoestanden als bij zuivere stoffen. Laat men nu echter, nadat deze denkbeeldige evenwichtstoestand is ingetreden, de genoemde voorwaarde varen, zoo blijkt onmiddellijk, dat de meest stabiele toestand nog niet bereikt behoeft te zijn: gewoonlijk zal ψ nog verder kunnen afnemen, doordat het meest vluchtige bestanddeel ten deele uit de vloeistof verdampt en door het andere vervangen wordt. Vooral bij stoffen, die sterk in vluchtigheid verschillen, zal de eindtoestand ver van den eerst aangenomenen kunnen afwijken.

De gezochte eindtoestand kan bij een mengsel verkregen worden met

behulp van een oppervlak, het ψ -vlak, dat analoog is met de ψ -lijn, die wij zooeven leerden kennen, en deze in dit geval moet vervangen. Men verkrijgt dit oppervlak door de ψ -lijnen voor alle mogelijke mengsels in de volgorde naar hun samenstelling naast elkaar opgesteld te denken en deze door een oppervlak te vereenigen. Dit komt hierop neer, dat men nu drie in plaats van twee assen bezigt; in de richting van de derde as, die loodrecht staat op de beide andere, wordt de samenstelling uitgezet; deze samenstelling x wordt uitgedrukt als de verhouding van de massa van het eene bestanddeel tot de geheele massa van het mengsel en haar uiterste waarden zijn dan blijkbaar 0 en 1.

De eigenschappen van dit oppervlak zijn analoog met die van de ψ -lijn. Indien het overal zijn bolle zijde naar het grondvlak toekeert, zijn alle toestanden te verwezenlijken. Komt echter in het oppervlak een plooi voor, wat vanzelf het geval zal zijn, zoo de lijnen voor de afzonderlijke mengsels de beschreven bocht vertoonen, zoo wordt een deel der binnen deze plooi gelegen toestanden labiel en zal het mengsel zich in twee fasen splitsen. Den eindtoestand vindt men in dit geval door het aanbrengen van een dubbelraakvlak, analoog met de dubbelraaklijn van straks, welks raakpunten de gevraagde toestanden aangeven. De waarden van volume

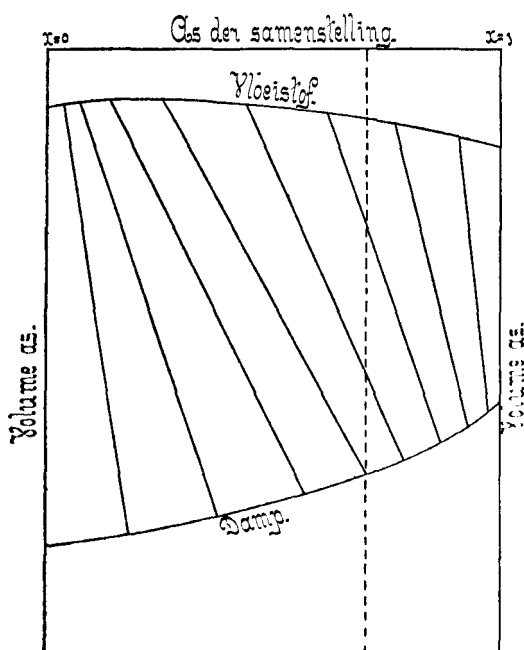


Fig. 22.

van het vlak beslaat; dit geval doet zich voor, als de temperatuur beneden de kritische temperaturen der bestanddeelen gelegen is. In het tegengestelde geval, dat de temperatuur hooger is dan de beide kritische temperaturen, ontbreekt de plooi geheel. Een tusschengelegen geval wordt door fig. 23 weergegeven. De mengsels aan de rechterzijde der figuur zijn hier boven

(dus ook dichtheid) en samenstelling in deze punten leeren ons, wat wij omtrent de coëxisterende damp en vloeistof willen weten. Wij kunnen het raakvlak over de plooi doen rollen en verkrijgen zoo een reeks van bijeenbehorende pairen van punten, die te zamen een dubbele kromme lijn vormen; door deze op het grondvlak te projecteeren, ontstaan een paar kromme lijnen als in fig. 22 aangegeven. De rechte lijnen verbinden telkens de bijeenbehorende fasen; men ziet, dat deze sterk in samenstelling kunnen verschillen.

Er kunnen zich nu verschillende gevallen voordoen: in fig. 22 is ondersteld, dat de plooi de geheele breedte

zoals het op grond van de theorie te verwachten was. Alleen de verschijnselen in de buurt van het kritisch punt baarden moeilijkheden, die eerst na voortgezet onderzoek en door de strenge consequenties van de theorie uit te werken werden opgehelderd.

Uit de beschouwing der figuur 23 blijkt, dat bij mengsels een onderscheid gemaakt moet worden tusschen de temperatuur, waarboven een bepaald mengsel bij samendrukking geen vloeistofvorming zal vertoonen, en de eenigszins lagere temperatuur, waarbij de twee fasen met elkaar identiek worden. Bij zuivere stoffen vallen deze punten in één punt samen. In figuur 23 verkeert het mengsel, dat aan punt C beantwoordt, blijkbaar in het tweede geval. De grens van de mengsels, welke bij de gekozen temperatuur condenseerbaar zijn, ligt echter niet in C maar in C', het uiterste punt van de projectie der plooi.

Gaat men nu op de straks aangegeven wijze het beloop der condensatie na voor die mengsels, welke tusschen de beide punten C en C' vallen, zoo wordt gevonden, dat de vloeistof niet, zoals in andere gevallen, steeds toeneemt, tot alles vloeibaar is, maar dat zij aanvankelijk toeneemt, dan een maximumwaarde bereikt en vervolgens weder afneemt, totdat ze verdwenen

is. Aan dit verschijnsel werd de naam van retrograde condensatie gegeven. Fig. 24 (rechterzijde) moge er een nader denkbeeld van geven.

Als er niet behoorlijk geroerd wordt, vertoont zich evenwel het verschijnsel, dat in de figuur aan de linkerzijde is weergegeven: de vloeistof bereikt ook dan een grootste waarde, maar zij vermindert niet weder; in plaats daarvan

wordt het vloeistofoppervlak bij voortgezette compressie al vlakker en nevelachtiger en verdwijnt ten slotte geheel. Dit verschijnsel bleek het gevolg te zijn van de reeds genoemde groote vertraging in het optreden van den evenwichtstoestand en maakte bij zorgvuldig roeren voor het uit de theorie afgeleide verschijnsel plaats.

De figuur, waarvan we gebruik gemaakt hebben, levert ons de verschijnselen, die zich bij bepaalde temperatuur voor verschillende mengsels voordoen. Men kan daaruit vinden, hoe een bepaald mengsel zich bij verandering van de temperatuur zal gedragen, door in aanmerking te nemen, dat de plooi bij temperatuurverhooging zich allengs terugtrekt, in de figuur naar links. Men vindt dan, dat de condensatie bij lagere

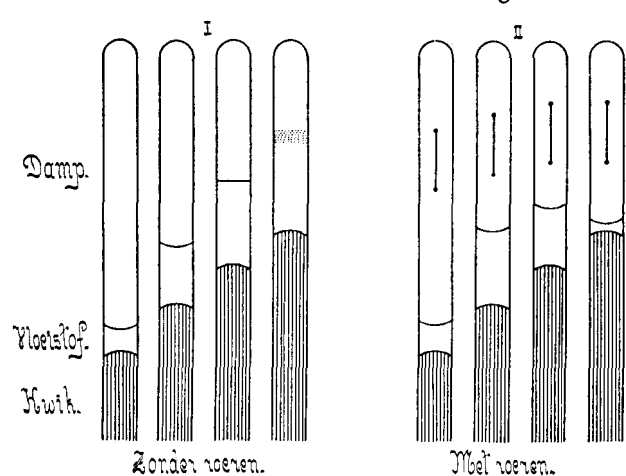


Fig. 24.

temperatuur normaal is, dat bij een bepaalde temperatuur, beantwoordende aan punt C, het kritisch verschijnsel optreedt, veroorzaakt door het gelijk worden van vloeistof en damp, en dat daarboven retrograde condensatie zal worden waargenomen; eindelijk bereikt men een temperatuur, waar de hoeveelheid vloeistof, die zich vormt, tot nul genaderd is, en daarboven blijft de condensatie geheel uit.

Invloed van de zwaartekracht.

Bij de proeven werd de gevolgtrekking, dat de kritische verschijnselen voor ieder mengsel slechts bij één temperatuur te zien zullen zijn, niet nauwkeurig bevestigd: ook bij eenigszins lagere en hogere temperatuur kon de meniscus ondanks zorgvuldig roeren door druk tot verdwijning gebracht worden. Deze afwijking van de theorie vond hare verklaring in den invloed van de zwaartekracht, wat later door proeven en berekeningen van Keesom bevestigd werd. De zwaartekracht heeft n.l. in een verticale zuil van een gas door het gewicht der op elkander drukkende lagen een toenemende dichtheid naar beneden ten gevolge en in een mengsel bovendien een langzame verandering van laag tot laag van het gehalte; deze invloed is bij het kritisch punt aanmerkelijk ten gevolge van de groote samendrukbaarheid van de stof (blz. 296). De aldus te voorschijn gebrachte continue wijziging in de op elkander rustende lagen heeft tengevolge, dat ergens in de buis de kritische toestand kan optreden, alhoewel het mengsel gemiddeld genomen van de kritische samenstelling afwijkt.

Het verschijnsel der retrograde condensatie werd later met groote zorg door Verschaffelt bij mengsels van koolzuur en waterstof bestudeerd en bleek ook daar het door de theorie voorziene karakter te openbaren. Voor een paar jaar toonde Kuenen in samenwerking met A. L. Clark aan, dat bij lucht, wier kritische temperatuur bij -141° C ligt, de verschijnselen geen andere zijn dan bij de hogere temperaturen, die bij vroegere mengsels te pas kwamen. C. Dorsman onderzocht langs dezelfde wegen mengsels van koolzuur met zoutzuur, H. C. Schamhart benzol en aether.

Retrograde condensatie van de tweede soort. Minimum in de kritische temperaturen.

De kritische verschijnselen zullen anders zijn, indien het punt C niet naar de as der samenstelling gekeerd is, maar naar de groote volumina. Voor een mengsel tusschen C en C' moet dan bij de samendrukking geen vloeistof, maar een lichtere phase, dus een damp voor den dag komen. De hoeveelheid daarvan moet eerst toe- en dan weer tot nul afnemen. Aan de hand van een andere graphische voorstelling met p en T als coördinaten, waarvan het karakter eerst theoretisch moest worden afgeleid, kon spoedig een combinatie van twee stoffen worden uitgezocht, die aan de voorwaarde

van het bestaan dezer retrograde condensatie van de tweede soort voldeed, n.l. aethaan en stikstof-oxydule.

Bij de proeven werd het gezochte verschijnsel evenwel niet opgemerkt, daar het door storende omstandigheden, zwaartekracht en kleine onzuiverheden, werd gemaskeerd, maar toch was het onderzoek niet nutteloos, daar het tot de ontdekking voerde van een nieuw verschijnsel, het bestaan van een minimum in de kritische temperaturen der mengsels. Aethaan heeft een kritische temperatuur van 32° C, stikstof-oxydule van 36° ; nu bleek, dat de mengsels gedeeltelijk kritische temperaturen hadden, die nog lager waren, tot 26° toe. In de theorie beteekent dit, dat de plooi bij verhooging van temperatuur niet van een van de zij-assen loslaat, maar zich ergens in het midden splitst. Voor de opheldering dezer verschijnselen kon de door Korteweg uitgewerkte theorie der plooiën in zijn verhandeling over het ψ -vlak dienen, terwijl de theorie naar aanleiding van de proeven door Van der Waals werd aangevuld.

De mengsels van aethaan en stikstofoxydule hebben de verdere bijzonderheid, dat bij een gegeven temperatuur een deel der mengsels grootere dampdrukking hebben dan de componenten zelve en dat dus voor een bepaald mengsel de dampdrukking een grootste waarde bezit. Dit verschijnsel komt ook bij gewone vloeistoffen meermalen voor, maar het was nog nimmer tot in het kritisch gebied onderzocht. Voor het mengsel met de maximale drukking hebben vloeistof en damp dezelfde samenstelling: dergelijke mengsels distilleeren dus ook in hun geheel over, alsof het zuivere stoffen waren (ditzelfde geldt trouwens voor mengsels met een kleinste dampdrukking). In de v-x figuur kan men een dergelijk mengsel

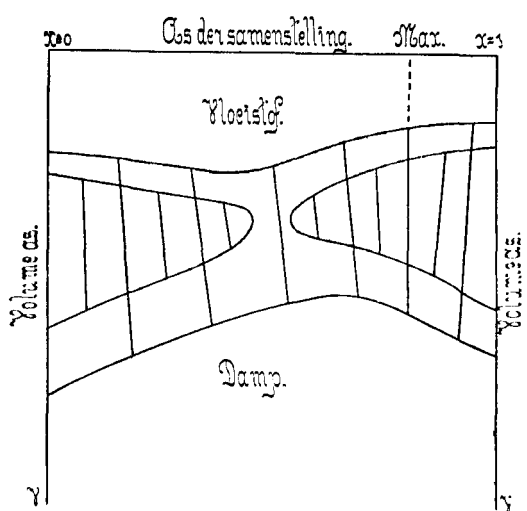


Fig. 25.

daaraan herkennen, dat de rechte lijn, die de fasen verbindt, evenwijdig aan de volume-as loopt.

Bij wijze van voorbeeld geven wij figuur 25, die op het geval van aethaan en stikstof-oxydule betrekking heeft. Men ziet er de grenslijnen voor twee verschillende temperaturen in opgenomen: t_1 , waar de plooi nog ongesplitst is, en de hogere temperatuur t_2 , waar de splitsing juist heeft plaats gehad. Het maximum-mengsel is ook aangegeven. Men zal kunnen opmerken, dat op de tegenover elkaar liggende uiteinden

der beide plooi-helften de ligging van C en C' een verschillende is: links heeft men gewone retrograde condensatie, rechts die van de tweede soort.

Dergelijke verhoudingen werden later bij mengsels van aethaan met

acetyleen en met koolzuur aangetroffen, door N. Quint te Amsterdam (diss. 1900) bij aethaan + HCl, door Kuenen bij hexaan + methylalkohol en door A. Keesing bij water + phenol. Met behulp van de toestandsvergelijking kan men duidelijk maken, waarom de beide genoemde bijzondere eigenschappen bij mengsels licht gecombineerd zullen voorkomen.

Bij mengsels van methylaether en zoutzuur bleek een minimum kritische temperatuur voor te komen, verbonden met een minimum in de dampdrukking.

Voor liefhebbers van graphische voorstelling zijn de mengsels een uitgezocht terrein. Ch. M. A. Hartman behandelde het onderwerp in een aan mengsels gewijd geschrift. Verder kan men vergelijken: J. P. Kuenen, *Handbuch der angewandten Chemie, Band IV; Verdampfung und Verflüssigung von Gemischen.*

Wet der overeenstemmende toestanden voor mengsels.

Met het doel voor oogen om ten slotte de eigenschappen der onderzochte mengsels door modellen van ψ -vlakken weer te geven heeft Kamerlingh Onnes zich de vraag gesteld, of mengsels aan de wet der correspondentie zouden gehoorzamen. Deze vraag moest als een opene beschouwd worden; wel is waar werd de wet door Van der Waals uit de toestandsvergelijking verkregen en zou dus ook voor mengsels moeten gelden, in zooverre als de toestandsvergelijking ook op deze van toepassing is, maar wij zagen, dat deze vergelijking quantitatief geen voldoende beeld van de verschijnselen levert, en zoo bleef de conclusie twijfelachtig. Evenmin kunnen wij omtrent de geldigheid van de wet iets uit de door Onnes gegeven afleiding concludeeren, omdat het beginsel der gelijkvormige bewegingen zeker voor een mengsel van twee stoffen niet doorgaat. De zaak moest dus uitsluitend door proeven worden uitgemaakt; de slotsom, waartoe de Leidsche onderzoekingen voerden, was, dat de afwijkingen van de wet van dezelfde orde van grootte kunnen zijn als bij zuivere stoffen en niet grooter.

De toetsing der wet kan bij mengsels niet op alle wijzen geschieden, die bij zuivere stoffen geldig zijn. Vooreerst geldt de wet in het geheel niet voor de condensatie-grootheden, uitsluitend voor de homogene toestanden. Bovendien zijn de kritische grootheden, die men proefondervindelijk bij mengsels verkrijgt, niet die, waarmede p , v en T gereduceerd moeten worden: immers daartoe zou men moeten gebruiken de kritische grootheden, die zouden worden waargenomen, indien het mengsel zich als een zuivere stof gedroeg en zich in een vloeistof en damp van gelijke samenstelling verdeelde. De vergelijking der mengsels onderling en met zuivere stoffen moest dus langs anderen weg en wel graphisch geschieden, door uit te maken, of het mogelijk was de isothermen van de eene stof door

verandering van v , p en T in bepaalde verhoudingen, die van een tweede te doen bedekken. Wij zullen hierop niet ingaan. Opmerking verdient echter, dat nu omgekeerd, toen de beslissing omtrent de geldigheid der wet gunstig was uitgevallen, uit de kritische grootheden der zuivere stoffen door gebruik te maken van de juist genoemde verhoudingen de hypothetische kritische grootheden van de mengsels konden worden afgeleid; deze bleken bij de door Verschaffelt onderzochte combinatie ($\text{CO}_2 + \text{H}_2$) enorm van de werkelijk waargenomen kritische grootheden te verschillen, wat geheel op rekening gesteld moet worden van de omstandigheid, dat bij een mengsel de vloeistof en de damp een verschillend gehalte hebben. Bij mengsels van stoffen, die weinig in vluchtigheid verschillen, zooals aethaan en stikstofoxydule, zijn de verschillen tusschen werkelijke en hypothetische kritische grootheden gering (Kuenen).

Wordt de wet der overeenstemmende toestanden nu voor mengsels als geldig aangemerkt, dan kan de theorie van mengsels in menig opzicht, vooral bij de oplossing van bijzondere vraagstukken, belangrijk vereenvoudigd worden; de uitkomsten zijn dan op alle mengsels, die aan de wet voldoen, van toepassing en verkrijgen derhalve een groote algemeenheid.

Het vraagstuk, waarop wij hier in het bijzonder het oog hebben, betreft de wijzigingen, die door een bijmengsel in de dampdrukking en in de kritische constanten van een stof worden teweeggebracht. Bouwstof daarvoor werd door proeven van Kuenen geleverd, terwijl de theorie door Keesom en door Verschaffelt werd ontwikkeld; later kon meermalen van de verkregen uitkomsten gebruik gemaakt worden.

Constructie van ψ -vlakken.

De in het bovenstaande beschreven metingen boden Onnes een welkome gelegenheid aan een ψ -vlak te construeeren, dat het werkelijk gedrag van een bepaald paar van stoffen zou weergeven. De te volgen methode kan uit het reeds medegedeelde worden afgeleid. Uit de isotherme-vergelijking voor een aantal mengsels bij eenzelfde temperatuur, want immers een bepaald ψ -vlak behoort bij een bepaalde temperatuur, kan door berekening het verband tusschen ψ en v voor die mengsels worden gevonden. Dit verband wordt graphisch door ψ - v krommen voorgesteld; naar deze krommen worden mallen gemaakt, welke dan dienen om het oppervlak in gips naar te boetseeren. Zoowel in de teekeningen als op het model zelf werden nog een aantal hulplijnen geconstrueerd, die van beteekenis zijn bij het opsporen van de coëxisterende fasen. De vorm en stand van de plooi, die het oppervlak vertoonde, stemden geheel overeen met wat de theorie deed verwachten en met de waargenomen condensatie-verschijnselen.

Het eerste model werd vervaardigd naar de metingen van Kuenen over CO_2 en CH_3Cl bij 100° door Onnes en Reinganum.

Dezelfde methode is later toegepast door Hartman voor dezelfde mengsels bij 9.5°C en door Onnes met Zakrzewski bij 25° . Bij deze beide modellen bleek de dampdruk van de grenslijn in het x-v vlak nagenoeg recht te zijn, terwijl de dampdrukking lineair met de samenstelling van de vloeistof samenhangt; dat beide eigenaardigheden met elkander in verband staan, was door Van der Waals vroeger analytisch aangetoond.

Eindelijk vermelden wij een overeenkomstig onderzoek van Onnes met mejuffrouw T. C. Jolles gebaseerd op de genoemde proeven over aethaan en stikstof-oxydule.

Afwijkingen van de gaswetten.

Door de genoemde waarnemers zijn veelal berekeningen uitgevoerd nopens de afwijkingen hunner mengsels van de eenvoudige gaswetten. Zoo vond b.v. Verschaffelt, dat, waar waterstof en koolzuur in tegen-gestelden zin van de wet van Boyle afwijken, het mengsel, hetwelk 80 deelen waterstof tegen 20 koolzuur bevat, bij niet te groote dichtheid aan de wet met zekere benadering gehoorzaamt.

Andere wetten, die getoetst worden, zijn de wet van Dalton, die zegt, dat de druk van een mengsel in een gegeven volume gelijk is aan de som der drukkingen, die de bestanddeelen afzonderlijk in hetzelfde volume uitoefenen; voorts de wet, dat het volume van een mengsel gelijk is aan de som der afzonderlijke volumes onder dezelfde drukking; eindelijk de wet dat de drukking ook voor een mengsel evenredig is met het aantal aanwezige moleculen (Verschaffelt). Bijzonderheden omtrent een en ander laten wij achterwege.

Behalve de reeds genoemde isotherme-bepalingen komt een onderzoek van C. H. Brinkman over koolzuur en choormethyl in aanmerking (Amst. 1904).

Bepaling van het gehalte en de dichtheid der coëxisterende fasen.

Wanneer men een mengsel in een buis comprimeert, zooals dat bij isotherme-bepalingen het geval is, weet men wel de samenstelling en het volume van het mengsel in zijn geheel, maar leert men die van een tweede phase, welke er zich uit vormt, niet kennen en evenmin de samenstelling en dichtheid van de beide fasen gedurende de condensatie. Eerst door combinatie van een aantal waarnemingen van condensatie-punten met verschillende mengsels kunnen indirect het gehalte en volume van met elkaar bestaansbare mengsels worden verkregen. Er bestaat dus behoefte aan methoden om het gehalte en de dichtheid van de fasen meer onmiddellijk te meten.

Voor dit doel gaf Onnes een bijzonderen toestel aan, waarmede

Hartman mengsels van koolzuur en chloormethyl onderzocht. Het in vloeistof en damp gescheiden mengsel was in een buis opgesloten, die zoo was ingericht, dat een klein volume van de vloeistof en de bovenste laag damp door kranen van het overige mengsel konden worden afgescheiden en vervolgens in meetbuizen opgevangen, waar de hoeveelheden der beide bestanddeelen door opslorping van het koolzuur door potasch worden gemeten. De aldus verkregen uitkomsten hebben dienst gedaan bij de genoemde constructie van het op dit mengsel betrekking hebbende ψ -oppervlak.

In een onderzoek van E. H. J. Cunaeus (Amst. 1900) over mengsels van aceton en aether bij lage drukkingen geschiedde de directe bepaling van het dampgehalte door middel van het brekend vermogen volgens een interferentie-methode, later ook toegepast door G. C. Gerrits bij dezelfde mengsels en bij de combinatie aceton-tetrachloorkoolstof (Amst. 1904).

Het evenwicht tusschen vloeistof en damp bij mengsels van stikstof en argon is door G. Holst en L. Hamburger onderzocht.

Statische en dynamische methoden.

De tot nu toe beschouwde waarnemingsmethoden behooren alle tot de groep, die men noemt statische, omdat de grootheden gemeten worden, terwijl het stelsel zich in evenwicht bevindt. In de dynamische methoden wordt van het kookproces gebruik gemaakt.

Om bijv. de dampdrukking van een stof, hetzij zuiver, hetzij een mengsel, te leeren kennen, kan men haar onder bepaalde drukking doen koken en de temperatuur aflezen, in plaats van haar op een bepaalde temperatuur te brengen en de drukking te bepalen, die zich daarbij instelt. Kohnstamm heeft in een uitvoerige studie de beide methoden, wat haar betrouwbaarheid betreft, in het bijzonder voor mengsels met elkaar vergeleken en heeft op grond daarvan bij zijn eigen metingen van de dampdrukking bij eenige mengsels aan de statische methode de voorkeur gegeven.

Aangenomen dat de stoffen zuiver zijn, is de voornaamste moeilijkheid bij de statische methode om haar volkomen luchtvrij in den waarnemings-toestel te brengen. In de kook-methode bestaat deze moeilijkheid niet, daar de lucht vanzelf uitgedreven wordt; ook heeft ze het voordeel van grootere eenvoudigheid, maar daar staat tegenover, dat ze met groote voorzorg moet worden toegepast om oververhitting bij het koken te voorkomen, vooral bij mengsels. Roozeboom heeft bij zijn baanbrekende onderzoekingen in den regel de statische methode gebezigd. De dynamische methode werd o. a. door Kohnstamm en Van Dalfsen toegepast.

Voor de bepaling van het gehalte van den damp, die met een gegeven vloeibaar mengsel in evenwicht verkeert, kan eveneens de dynamische methode dienst doen. De damp moet daartoe uit het kookvat worden afgevoerd, gecondenseerd en geanalyseerd. Schreinemakers heeft aan den

kooktoestel een zoodanige inrichting gegeven, dat de fouten, welke te duchten zijn, tot een minimum worden teruggebracht. Men moet er n.l. in het bijzonder op verdacht zijn, dat de damp op zijn weg uit het vat niet gedeeltelijk neerslaat, want daarbij verandert zijn samenstelling wegens de ongelijke vluchtigheid der bestanddeelen.

Met deze laatste omstandigheid houdt natuurlijk het bijzondere beloop van de distillatie bij een mengsel verband en de mogelijkheid om door

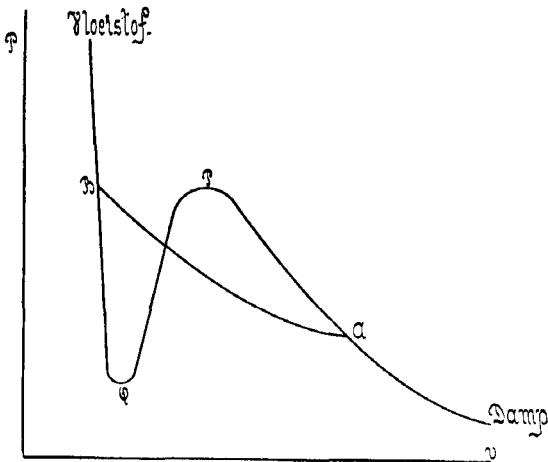


Fig. 26.

fractionnatie een mengsel in zijn bestanddeelen te splitsen. Theoretische bijdragen omtrent een en ander leverden Kohnstamm en Kuenen.

Een andere vorm van de dynamische methode bestaat daarin, dat men een gas (lucht) door en over de vloeistof doet strijken: dit gas verzadigt zich met den damp, die uit de vloeistof opstijgt, en voert dezen met zich mede; buiten den toestel wordt dan het gehalte aan damp door analyse vastgesteld. De

methode is o. a. door J. W. Doyer toegepast.

Beloop der isotherme bij de condensatie.

Op eenige bijzondere problemen, die de mengsels betreffen, vestigen wij nog de aandacht. Wij hebben reeds opgemerkt, dat bij een mengsel gedurende de condensatie de druk gemeenlijk oploopt; een uitzondering vormen alleen de mengsels met een grootste of kleinste dampdrukking, omdat hierbij damp en vloeistof in gehalte overeenstemmen. De mogelijke loop van dit gedeelte der isotherme van een mengsel kan theoretisch met behulp van thermodynamica en toestandsvergelijking worden onderzocht. Vooreerst kan streng bewezen worden, dat de lijn in haar eindpunten met de homogene isotherme eindige hoeken maakt en in beide punten minder steil loopt dan deze (fig. 26) (Hartman, Kuenen). Verder heeft Kohnstamm aangetoond, dat de lijn naar boven hol of bol kan zijn — beide gevallen zijn door Kuenen waargenomen — en ook aanvankelijk hol en daarna bol, maar niet omgekeerd (fig. 27).

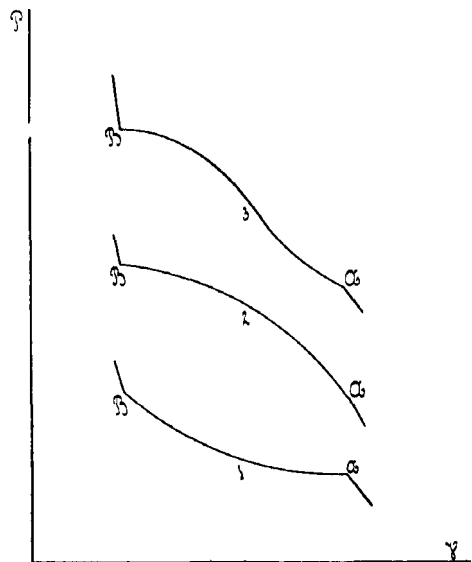


Fig. 27.

Dampdruklijn.

Straks kwam even de vraag ter sprake, hoe de evenwichtsdrukking van mengsels bij bepaalde temperatuur met de samenstelling verandert. Daaromtrent hebben Van der Waals en Kohnstamm met behulp van de toestandsvergelijking theoretische resultaten verkregen, die door de proeven

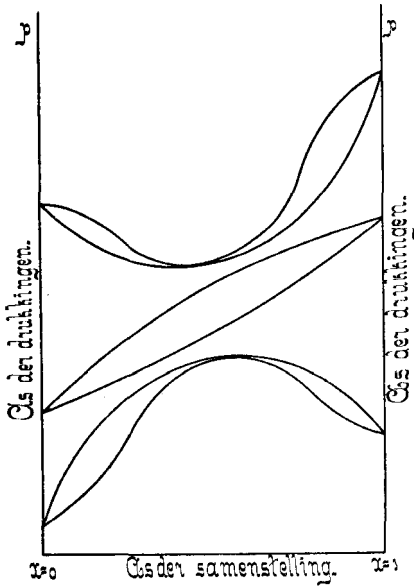


Fig. 28.

over het geheel bevestigd worden. Het blijkt, dat theoretisch een veel grooter verscheidenheid mogelijk is dan bij waarneming gevonden is: het aantal typen, dat experimenteel is aangetroffen, is betrekkelijk klein; fig. 28 geeft de hoofdtypen: de bovenste tak van een der dubbele lijnen heeft telkens op de vloeistof, de onderste op den damp betrekking. In het boek over thermodynamica van de hand der genoemde schrijvers en in het genoemde werk van Kuenen kan men alle bijzonderheden omtrent deze quaestie vinden, alsook over menig ander theoretisch vraagstuk, waarover wij hier niet kunnen spreken.

Gedeeltelijk mengbare vloeistoffen.

Soms zijn de twee stoffen niet in alle verhoudingen met elkaar mengbaar; er vormen zich dan twee vloeistoflagen van verschillend gehalte, die met elkaar in evenwicht verkeerden. In het ψ -vlak en in de projectie op het x - v vlak uit zich dit in het bestaan van een tweede plooi, die met de besproken damp-vloeistofplooi al of niet een samenhangend geheel kan vormen. In het eerste geval kunnen de drie fasen, damp en twee vloeistoffen, met elkaar coëxisteeeren; de figuur vertoont dan een evenwichtsdriehoek. In figuur 29 worden de vloeistoffen door p_0 en p_2 voorgesteld en de damp door p_1 . Links en rechts ziet men de twee helften van de damp-vloeistofplooi; boven aan de figuur ligt de vloeistofplooi. Verhoogt men de drukking boven de waarde van het drie-fasen evenwicht, dan verdwijnt de damp en komt men op de vloeistofplooi terecht.

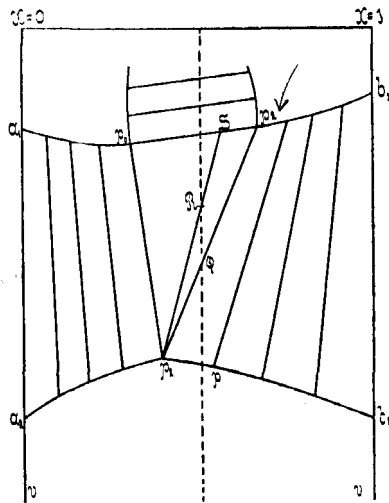


Fig. 29.

Bij temperatuurverhoging zullen de plooiën zich weder samentrekken en er kunnen zich dan verschillende gevallen voordoen; het kan zijn, dat de vloeistoffen volledig mengbaar worden, voordat het kritisch gebied van vloeistof en

damp bereikt wordt, d. w. z. voordat de damp-vloeistofplooien van de kanten loslaten (boven-mengpunt). Dit mengbaar worden van de vloeistoffen openbaart zich in de figuur door een nadering en samenvallen in een kritisch punt van de twee punten p_0 en p_2 , en dit geschiedt, hetzij doordat de vloeistofplooï van buiten van de hoofdplooï loslaat (fig. 30), of wel, doordat ze binnen in de laatste verdwijnt (fig. 31). In het eerste geval, dat door N. J. van der Lee (Amst. 1898) het eerst bij phenol en water

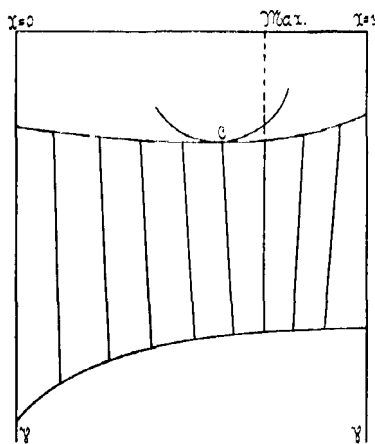


Fig. 30.

werd aangetroffen, zal het mogelijk zijn — de figuur doet dit dadelijk inzien — door drukverhooging boven de dampdrukking de vloeistof zich weder in tweeën te doen splitsen. Dit geval komt veelvuldig voor.

Ook het omgekeerde geval komt voor, dat bij temperatuurverhooging de vloeistofplooï niet verdwijnt, maar eerst te voorschijn komt, zoodat de eerst homogene vloeistof zich in twee lagen gaat splitsen. Men spreekt dan van een ondermengpunt.

Eindelijk kan het ook gebeuren, dat de vloeistoffen half-mengbaar blijven tot in het

kritisch gebied van de hoofdplooï: de omzettingen, welke de plooïen dan ondergaan, vereischen voor de toelichting te vele diagrammen, dan dat wij er hier op kunnen ingaan. Bijna alle gevallen, die a priori te verwachten zijn, werden door Kuenen aangetroffen en onderzocht; de mengsels van de alcoholen met de koolwaterstoffen bleken een vruchtbaar materiaal van onderzoek te vormen.

Van de latere waarnemers op dit gebied noemen wij E. H. Büchner, A. H. W. Aten, F. E. C. Scheffer, Ph. Kohnstamm J. C. Reeders en J. Timmermans. Afzonderlijke gevallen van niet-mengbaarheid zijn o. a. onderzocht door E. A. Klobbie, en A. C. Lobry de Bruyn.

Zooals Van der Waals het eerst opgemerkt heeft, kan zich bij het bestaan van de twee plooïen het geval voordoen, dat bij de samendrukking tweemaal achtereen retrograde condensatie plaats vindt: dit verschijnsel is echter nog niet waargenomen.

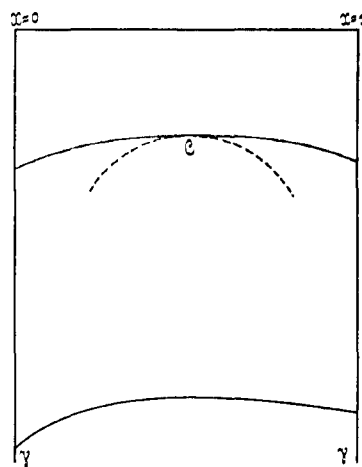


Fig. 31.

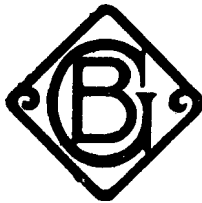
Vaste stof in kritisch gebied.

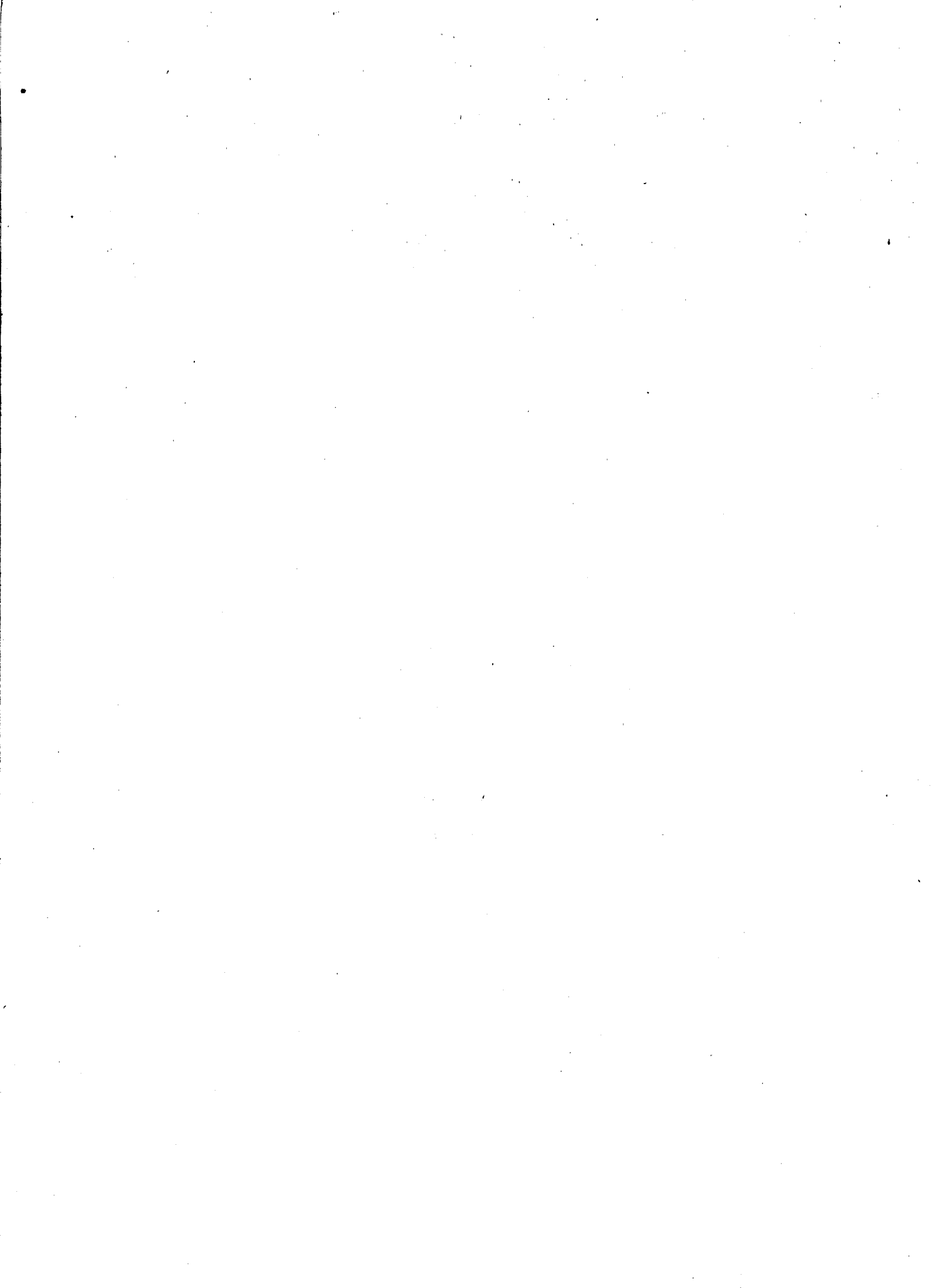
Weer anders worden de verschijnselen, zoo de eene stof een hoog

smeltpunt heeft, zoodat ze nog vast is in het kritisch gebied van de andere stof. Dit geval is het eerst door Van der Waals en door A. Smits theoretisch en experimenteel bestudeerd.

Drie en meer stoffen.

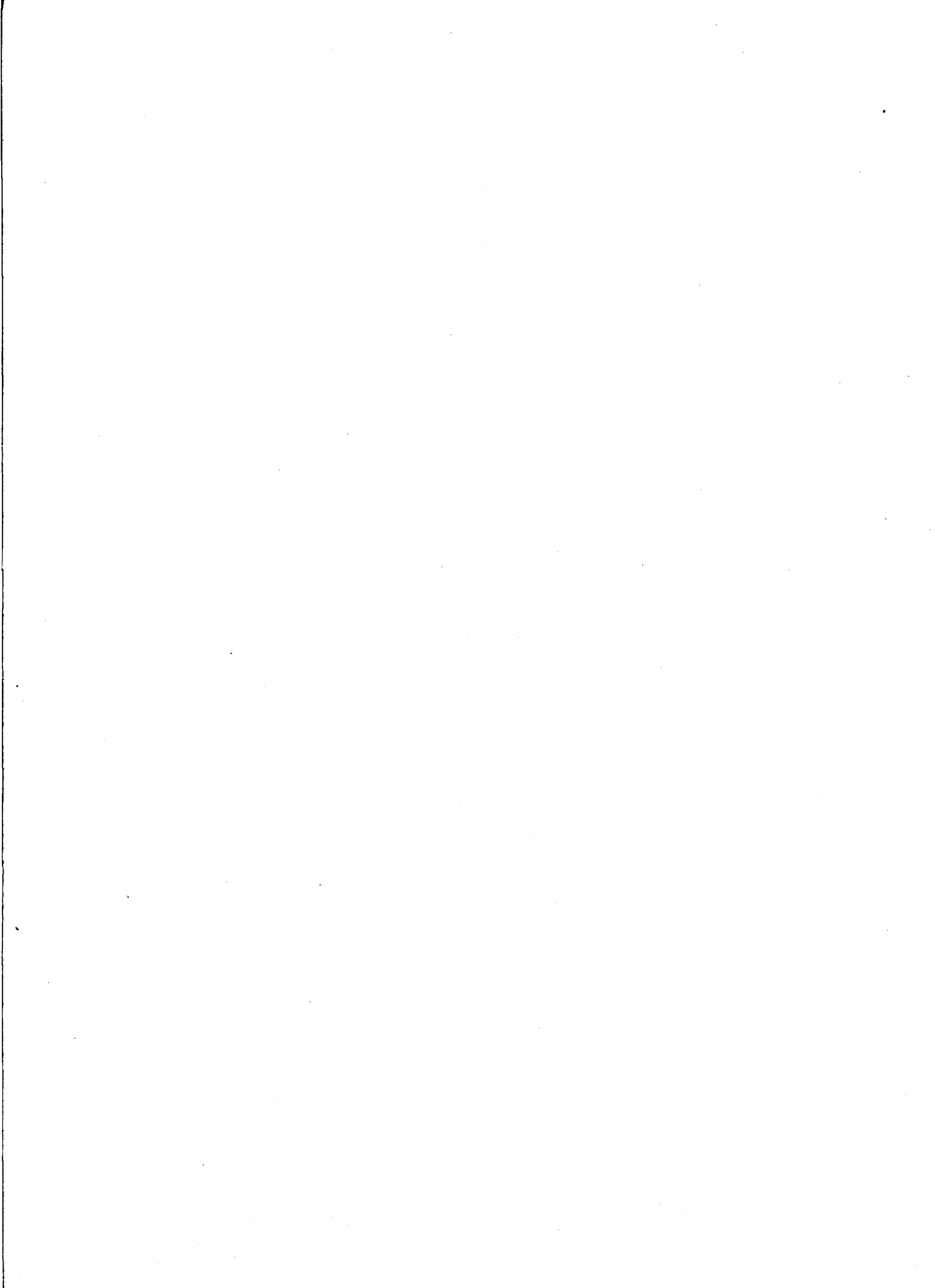
Over het geval van drie en meer stoffen zullen wij geen bijzondere mededeelingen doen: bij het onderzoek is de phasenregel het leidende beginsel en spelen weder graphische voorstellingen een overwegende rol. Roozeboom en Schreinemakers zijn de voornaamste voorgangers geweest.





LIJST DER AFBEELDINGEN.

	Blz.
Petrus van Musschenbroek	2
Guilielmus Jacobus 's Gravesande	4
Beurs te Rotterdam	6
Steven Hoogendijk	10
L. Bicker	12
Stoomgemaal in den polder van Blijdorp	14
Johan Lulofs	16
J. H. van Swinden	18
Pieter Nieuwland	20
H. Aeneae	28
Johan Ingenhousz	32
Martinus van Marum	38
Joan Rudolph Deiman	50
Paets van Troostwijk	68
K. M. Giltay	82
P. Curten	84
G. Moll	86
R. van Rees	88
J. Bosscha	102
C. H. D. Buys Ballot	116
J. H. van 't Hoff	254
H. W. Bakhuis Roozeboom	258



NAAMLIJST.

	Blz.		Blz.
Aalderink A.	197	Bicker L.	11 - 13, 80
Adriani J. N.	260	Bierens de Haan D.	102
Aenae H. . . 17, 27, 28, 53,	110	Bilderbeek-van Meurs H. B. van	172
Allamand J. N. S. Allamand .	12	Bildt J. van der	28
Aten A. H. W.	328	Birnie S.	256
		Blassière J. J.	11
Baat W. C. de	258	Bleekrode L. . . 81, 92, 129,	282
Bakhuyzen E. F. van de Sande	118	Blomberg C.	256
	309	Bockwinkel H. B. A. . .	204, 277
Bakhuyzen H. G. van de Sande	102	Boeke H. E.	260
	110, 118	Boeke J. D.	99
Bakker G. . . . 308, 312, 313		Boer A. R. de	252
Bangma O. S.	17	Boerema J.	204
Baren J. van	77	Boerhaave H.	30
Barendrecht H. P.	260	Bois H. E. J. G. du . . .	150, 173, 191
Barnaart A.	21		236 - 238, 245
Barneveld W. van . . . 31, 33, 53,	68	Boks A. J.	260
Baumhauer E. H. von . . .	85	Bolstra M.	13, 15
Beckman B.	196	Bondt N. . . . 10, 53, 69, 73, 77, 78	
Beeck Calkoen J. F. van . .	16	Bonn A.	9
Beek A. van 83, 85, 87		Borgesius A. H. . . . 95, 154, 205	
Bemmelen A. van	6	Bos D.	101
Bemmelen J. M. van . . . 33, 77, 263		Bosch J. de	77
Bemmelen W. van	117	Bosscha J. . . . 41, 85, 88, 90, 102-112	
Bergansius F. L. 95, 204		Bothnia de Burmannia J. . .	113
Bernoulli D. 92, 99		Boudin M.	287
Bernoulli J. 3, 92		Bouman Z. P.	165
Beyerinck F. 13		Bouwman E.	263
Beyerinck M. W. 262		Braak C. 117, 287, 304	
Bicker J. B. 21		Brandsen P.	102

	Blz.		Blz.
Breda J. van	32, 33, 41	Cunaeus	4
Breda J. G. S. van	83, 85	Cunaeus E. H. J.	325
Bremekamp H.	146	Curten P.	82
Bremer G. J. W.	177, 255, 256	Cuthbertson J.	27, 29, 39, 41, 44 50, 51, 56
Brester A.	162		
Brinkman C. H.	308, 324	Dalfsen B. M. van	258, 325
Broek A. van den	229, 231	Dalton J. P.	304
Broek C. L.	204	Dam J. van	95
Brongersma H.	180	Damen C. H.	11, 19, 46
Brugmans A.	18, 28, 39, 235	Debye P.	181, 228, 231, 271, 274
Brugmans S. J.	18, 78	Deiman J. R.	10, 12, 27, 29-31 33-38, 41, 42, 46, 48, 50 51, 53, 54, 60, 68-71, 73 74, 76-78
Bruins E. D.	245	Dekhuyzen M. C.	255
Brunings C.	15	Deventer Ch. M. van	255, 259
Brunings Jr. C.	15	Deventer J. G. van	92
Brunings C. E.	15	Dojes P. H.	256, 277
Bruyn B. R. de	258	Donders F. C.	99, 109
Büchner E. H.	232-234, 263, 328	Doornik J. E.	77
Bückman H. W. C. E.	235	Dorp W. A. van	256
Burger H. C.	259, 275	Dorsman C.	304, 306, 320
Burgers J. M.	85, 231, 271	Douwes C.	17
Buys J.	5, 68	Doyer J. W.	326
Buys Ballot C. H. D.	89, 114-117 246, 257, 260, 266	Driessen J. C.	6
Bijl A. J.	229, 261	Driessen P.	6, 78
Bijlert A. van	255	Droste J.	220
		Dijk G. van	117, 204
Calkar R. P. van	261, 262	Dijken D.	154
Cannegieter H. G.	117, 235		
Cath P. G.	287	Easton C.	117
Cittert P. H. van	163	Eckhardt A. G.	28
Clark A. L.	320	Eckhart J.	113
Clay J.	287, 341	Eeuwen C.	251, 252
Cocheret D. H.	258	Eggink B. G.	258
Cohen E.	204, 251, 254, 256 259, 261	Ehrenfest P.	231, 254, 271, 275
Cohen F. M.	101	Ehrenfest-Affanasjewa F.	341
Commelin J. W.	254	Eickma O. C.	80
Conrad F. W.	15	Eindhoven W.	239
Couvée J. E.	101	Ekama H.	116
Cramer A.	204	Eldik A. van	306
Crommelin C. A.	287, 304		
Cruquius N. S.	14, 114		

	Blz.		Blz.
Elias G. J.	85, 173, 174, 177, 251	Grafdijk J. M.	172
Elias P.	83, 84	Gravesande W. J. 's	1-3, 8, 11 12, 14, 105
Elings S. B.	197	Grinwis C. H. C.	100
Elst W. van der	163	Groshans G. P. F.	12, 300
Ende A. van der	67	Groshans J. A.	300
Engelenburg E.	116	Grijns G.	256
Engelman J.	6	Gulik D. van	90, 95, 96, 99, 117 129, 164
Everdingen E. van	116, 117, 194 195	Haaff G. G. ten	78
Everdingen M. I. M. van	274	Haas H. K. de	221
Evers E. J.	102	Haas M. de	94, 154, 306
Eyck C. van	261	Haas W. J. de	85, 204, 237, 242, 304
Eyk C. van	260	Haas-Lorentz G. L. de	275
Eyk S. Sprenger van der	14, 83	Haga H.	92, 130, 175, 197, 204 205, 215, 223 - 226, 228 233, 250
Eykman C.	256	Hahn J. D.	21, 23
Eykman J. F.	153, 255	Hall H. C. van	81
Eykman P. H.	232	Hallo J. J.	177
Fabius G. H.	297	Hamburger H. J.	253, 256
Figee S.	117	Hamburger L.	165, 235, 325
Florijn J.	12, 16	Happel H.	307
Fokker A. D.	220, 277	Harting P.	83, 115
Folmer H. J.	233	Hartman Ch. M. A.	117, 322, 324, 326
Franchimont A. P. N.	256	Helderman W. D.	204
Fraukamp C. A.	245	Helmont van	22
Fressery N. C. de	54, 56	Hennert J. F.	15, 16
Frowein P. C. F.	252	Heuvelink H. J.	110, 118
Fullenius	3	Hissink D. J.	260
Gallé P. H.	117	Hissink G. W.	116
Gaubius H. D.	23	Hoek M.	118, 151, 214
Gee A. L. W. de	258	Hoenen P. H. J.	315
Geest J.	180	Hoeven J. van der	80
Gelder J. de	16	Hof K.	196
Gerrits G. C.	325	Hoff J. H. van 't	153, 175, 177, 222 252 - 254, 256, 257 259, 260
Giltay E.	81	Hogervorst N. H.	258
Giltay J. W.	94, 130, 205	Hoitsema C.	260
Giltay K. M.	81	Hollandsche Scheikundigen	9, 19, 28 62, 68 verv.
Ginniken P. J. H. van	204		
Gleuns J. S. G.	269		
Goossens B. J.	92, 178, 250		
Gorter J. de	113		

	Blz.		Blz.
Holst G.	165, 235, 241, 287, 304	Keesing A.	322
	325	Keesom W. H.	245, 261, 271, 297
Hondius Boldingh G.	256		299, 303, 304, 308
Hoogeboom C. M.	181		320, 323
Hoogendijk S.	10, 11, 13	Keizer J. F.	118
Hoogewerff S.	256	Kerckhoff P. J. van	81
Hoorweg J. L.	81, 100	Ketner C. H.	258
Hope H.	69	Klinkenberg D.	13, 15
Hope Th.	69	Klobbie E. A.	328
Horn van den Bos H. P. M. van der	19, 77, 78	Kock A. C. de	260
Huffel N. G. van	94, 245	Kogel J.	29
Huizinga M. J.	129	Kohnstamm Ph. H.	249, 274, 287
Hulshof H.	312		304, 308, 315
Huygens Chr.	3, 14, 95, 102, 105		325-328
	226, 282	Kolkmeijer N. H.	229, 261, 268
Hyndman H. H. F.	287, 304	Kool C. J.	308
		Kors J.	204
Ingenhousz J.	9, 27, 28, 31-33, 41	Korteweg D. J.	19, 100-102, 258
	56, 77		308, 321
Itersen G. van	308	Koster J.	259
		Krayenhoff C. R. Th.	16, 40, 50, 80
Jacobs J. W. J. J.	258	Krecke F. W. C.	115
Jaeger F. M.	130, 175, 177, 226	Kruisheer C. I.	204, 251
	252, 307	Kruyt H. R.	263, 264
Janssen D. J.	92	Kuenen J. P.	249, 258, 296, 299
Janssen Sach.	105		305-308, 313, 318, 320
Janssen W. J.	92, 293		322, 323, 326-328
Jolles F. C.	324	Kunst J.	204, 205
Jonker W. P. A.	258, 264	Kuyper G.	39
Jorissen W. P.	232	Kuypers H. A.	304, 307
Julius V. A.	101, 204	Kuytenbrouwer M. A.	86
Julius W. H.	95, 150, 158, 159		
	161-164, 238	Laar J. J. van	252, 256, 303, 308-310
Kaiser F.	5, 14, 110, 118	Langen Z. J. de	311
Kaiser H. F. G.	252	Lauwerenburgh A.	69, 76
Kamp H. van der	204	Lebret A.	194
Kapteyn J. C.	118	Lee N. J. van der	328
Kasteleyn P. J.	10, 53, 54, 60, 70-73	Leeuwen C. van	308
Katz J. R.	263	Leeuwen H. J. van	231, 245
Kaz P. C.	187	Leopold G. H.	258
		Linden van Dijk Ph. W. van	5, 68
		Lippershey J.	105

	Blz.		Blz.
Lobry de Bruyn C. A.	256, 257, 262 263, 328	Moll W. J. H.	163 - 165, 239
Logeman W.	67, 83, 84	Monné A. J.	117
Loghem W. van	187	Mons J. B. van	25, 53, 66, 71, 75, 77
Lohuyzen T. van	173	Mourik P. van	204
Lorentz H. A.	85, 100 - 102, 124 126, 134, 144 - 146, 150, 151 153, 165 - 168, 170, 172, 174 187, 189, 191, 193, 202, 203 207, 210 - 213, 216 - 221, 232 249, 254, 258, 267 - 269, 271 273, 274, 276, 308, 315	Muilman H.	69
Los H. C.	100	Muilman P.	69
Lotsy J. P.	85	Mulder G. J.	9, 80, 81, 86, 87
Lubach D.	83	Muller J. J. A.	118
Lulofs J.	5, 14, 15	Muller J. F.	31, 33
Lulofs P. K.	256	Musschenbroek J. van	2, 3
		Musschenbroek J. J. van	2, 3
		Musschenbroek P van	1, 2, 4, 8, 12 113, 114
Mandersloot W. C.	204	Naber H. A.	313
Martinet J. F. van	6	Nahuys A. P.	27, 48 - 50
Marum M. van	5, 9, 16 - 18, 27, 28 33 - 35, 37 - 51, 53 - 68 70, 71, 73, 82, 83, 85 105, 278, 283	Nell Ch. C. A.	117
Massink A.	258	Nicaise Ch.	306
Mathias E.	304, 305	Nieuwenhuyzen Kruseman J.	100
Matthes C. J.	114	Nieuwentijdt B.	1
Meerburg J. H.	204, 251	Nieuwkamp P. J.	258
Meerburg P. A.	258	Nieuwland P.	19, 28, 52, 69, 77
Meerum Terwoegt P. C. E.	258	Noorden J. van	12
Mees R. A.	100, 269, 313	Nozeman C.	5
Mees R. T. A.	204	Nyland A. A.	162
Mens J. F. A. van	96		
Menzinga C.	313	Olie J.	229, 232
Meurs G. J. van	258	Onnes H. Kamerlingh	173, 196, 233 239 - 242, 244, 245 269, 278, 281 - 288 297, 299, 300, 303 305 - 307, 309 - 311 313, 322 - 324
Middelberg W.	258	Oosterhuis E.	197, 245
Milikan J.	258	Oosting H. J.	94, 95
Moens A. Isebree	100	Ornstein L. S.	249, 274, 298, 308
Moesveld A. L. Th.	251	Oudemans A. C.	151, 177, 255, 300
Mogendorff E. E.	173	Oudemans J. A. C.	19, 111, 112, 118
Moll D. P.	214		
Moll G.	17, 83, 85 - 87	Paets van Troostwijk A.	16, 27 29 - 31, 33 - 37, 41, 42 44, 46, 48, 50 - 52, 54 58, 65, 68, 73, 76 - 78

	Blz.		Blz.
Pannekoek A.	118, 273	Schreinemakers F. A. H.	258, 261
Pant D. F. van der	81		325, 329
Pinkhoff M.	117	Schroeder van der Kolk H. W.	87
Plaats B. J. van der	150, 163	Schroeder van der Kolk J. L. C.	260
Plaats J. D. van der	16, 109, 112, 256	Schut W.	252
Postma O.	273, 274, 277	Senguerd W.	2, 3, 64, 113
Postma S.	258	Siertsema L. H.	154, 177 - 179, 315
Prins A.	260	Sinnige L. R.	251, 252
Quint N.	322	Sirks J.	85, 92
Reeders J. C.	328	Sirks J. F.	179
Rees R. van	86 - 88, 100, 115	Sirks J. L.	84, 130
Reicher L. Th.	255 - 257	Sissingh R.	109, 183 - 185, 187, 188
Reinders R. M.	256	Sitter W. de	118, 120
Reinders W.	232, 260, 263, 264	Six W.	69
Reinganum M.	323	Smeth D. de	23
Renard Ph.	13	Smeth P. de	21, 69
Retgers J. W.	260	Smid E. I.	287, 304
Reudler J.	277	Smit J. M.	246
Ringer W. E.	232, 258	Smits A.	255, 263, 328
Rink H. J.	100	Snellen M.	117
Roozeboom H. W. Bakhuis	252	Snelluis	112, 226
	258 - 261, 325, 329	Snethlage A.	275
Rossum C. van	258	Spek J. van der	264
Roupe H. W.	12, 13, 53, 66, 70	Spijkerboer J.	163
Rutten G. M.	258	Stamkart F. J.	110, 111
Rij G. van	308, 309	Steenbergen J.	113
Rijckevorsel E. van	117	Steenhuis L.	305
Rijke P. L.	90, 91, 103	Steenstra P.	11, 19
Rijn van Alkemade A. C. van	184, 258	Steger A. M. A. H.	256
Schacht C. P.	79	Steyn J. W. J. A.	118
Schaik W. C. L. van	81, 90, 92 - 95	Stipriaan Luiscius A. van	69, 78
	178	Stocke L.	113
Schalkwijk J. C.	287, 204	Stoel L. M. J.	306
Schamhart H. C.	320	Stok J. P. van der	115, 117
Scheffer F. E. C.	328	Stokvis B. J.	78
Scheffer J. D. R.	256	Stork S. J.	259
Schoevers E. A. F.	260	Stortenbeker W.	258, 260
Schoorl N.	257	Stratingh S.	6, 83
Schoute C.	117, 197	Suringar G. C. B.	12
Schouten W. J. A.	220	Swart A. J.	309
		Swart J.	17
		Swart W. S.	83

Swinden J. H. van 11, 15 - 19, 29, 44
 77, 80, 82, 105, 110, 114
 Swinderen Th. van 6
 Terneden L. J. 314
 Terpstra P. 197
 Thierry D. R. 85
 Thonus J. C. 258
 Thyn A. van 204
 Tiddens P. G. 109, 224
 Tieboel B. 33, 34
 Timmermans J. 328
 Toit D. F. du 258
 Tollenaar D. F. 235
 Treub J. P. 260
 Trivelli A. P. H 232
 Tummers J. H. 181
 Tymstra S. 255
 Uilkens J. A. 5, 6, 54, 114
 Valeton J. J. P. 258
 Valeton M. 252
 Valkema Blouw H. A. J. . . . 246
 Veen A. L. W. E. van der . . . 260
 Velsen C. 13
 Ven E. van der 85, 264
 Verrijp D. P. A. 204
 Verschaffelt J. E. 297, 306, 309
 320, 323, 324
 Visser A. W. 256
 Visser L. E. O. de 251
 Visser S. W. 116, 117, 305 - 307
 Vleuten A. J. M. van 204
 Volder B. de 3
 Vollgraff J. A. 204, 232
 Voltelen F. J. 53
 Vorrsselmann de Heer P. O. C. 83, 104
 Vriends B. 46
 Vriens J. G. C. 258
 Vries E. C. de 306
 Vries G. de 101
 Vries H. de 253, 262

Blz. Blz.
 Vrolijk G. 69, 78, 81
 Waal A. J. C. de 258
 Waals J. D. van der 187, 249, 252
 258, 268, 289, 291, 295
 296, 298 - 300, 308 - 315
 321, 322, 324, 327, 328
 Waals Jr. J. D. van der 171, 274
 275, 277, 308
 Waard C. de 105
 Walstra K. W. 287, 304
 Was E. A. O. 90
 Weber S. 304 - 306
 Wenckebach W. 81, 114
 Wenniger L. F. 204
 Werkhoven P, van 10, 54
 Wertheim Salomonson J. K. A. 239
 Wetteren N. van 67, 83
 Willigen V. S. M. van der 85, 151
 Wilterdink J. H. 162
 Wind C. H. 99, 117, 187 - 189, 205
 223 - 225, 228, 258
 Winter A. 256
 Wittichius J. 1, 14
 Wolff L. K. 262
 Woltjer H. R. 173
 Woudstra H. W. 232, 263, 264
 Wuite J. P. 258
 Wijs J. J. A. 257
 Yntema L. 117
 Ypey A. 54
 Ypey N. 13, 28
 Ysselsteyn H. A. van 11
 Zakrzewski C. 324
 Zeeman P. 19, 142, 143, 159, 165-168
 171 - 175, 177 - 181, 185
 187 - 189, 204, 210, 212
 213, 220
 Zernike F. 274, 298, 308
 Zuylen van Nyevelt P. H. van 85
 Zwaardemaker H. 96, 99, 234
 Zwieten G. van 114

VERBETERINGEN EN AANVULLINGEN.

- Blz.
18 1732 lees 1752.
23 Gaubuis lees Gaubius.
de Smet lees de Smeth.
105 Johan Lipperheij lees Johan Lippershey.
163 J. W. H. Moll lees W. J. H. Moll.
165 Zie Zeeman's boek over magneto-optische onderzoeken (Engelsch en Duitsch).
232 F. H. Büchner lees E. H. Büchner.
262 Beyerink lees Beyrinck.
300 Hier zij de aandacht gevestigd op een verhandeling van Mevrouw T. Ehrenfest-Affanasjewa over het gebruik van dimensies en modelbeschouwingen.
341 Het werk van Dr. J. Clay behoort hier te worden aangehaald (zie blz. 287).

KONINKLIJKE BOEK- EN STEENDRUKKERIJ CORN. IMMIG & ZON - ROTTERDAM