







Negen Nederlandse Nobelprijs- winnaars

Bekijk dit boekje beeldvullend  .

Blader met pijltjes of met   .

Raadpleeg de helppagina  voor het knippen en plakken van tekst en afbeeldingen.

Klik op items in de inhoudsopgave  of gebruik de index  .

Zoek namen en woorden  of ga rechtstreeks naar een bepaalde pagina **1 / 45**.

Voor meer informatie: bezoek de website

[Museum Boerhaave: Algemene
Natuurwetenschappen \(ANW\)](#) .

Voorwoord

Jacobus Henricus van 't Hoff 1852-1911

Nobelprijs voor scheikunde 1901

Stereochemie
Het chemisch evenwicht
Osmotische druk
Stockholm en Berlijn

Hendrik Antoon Lorentz 1853-1928

Nobelprijs voor natuurkunde 1902

Elektronentheorie
Oorsprong van de theorie
Zeeman-effect
Elektrische stroom
Lorentz-contractie
Afsluiting

Pieter Zeeman 1865-1943

Nobelprijs voor natuurkunde 1902

'Piet van den dominee'
Het Zeeman-effect

Johannes Diderik van der Waals 1837-1932

Nobelprijs voor natuurkunde 1910

Kinetische gastheorie
Toestandsvergelijking
Overeenkomende toestanden
Binaire mengsels

Heike Kamerlingh Onnes 1853-1926

Nobelprijs voor natuurkunde 1913

Het vloeibaar maken van gassen
Vloeibaar waterstof
Vloeibaar helium

Heliumliquefactor

Willem Einthoven 1860-1927

Nobelprijs voor geneeskunde en fysiologie 1924

Snaargalvanometer
Nuttig gebruik
Verklaring

Christiaan Eykman 1858-1930

Nobelprijs voor geneeskunde en fysiologie 1929

Nederlandse onderzoekscmissie
Christiaan Eykman
Epidemie onder kippen
Zilvervliesje
Vorderman
Gerrit Grijns
Nobelprijs voor geneeskunde

Petrus Josephus Wilhelmus Debije 1884-1966

Nobelprijs voor scheikunde 1936

Moleculen
Loopbaan
Diëlektrische constante
Röntgenstraling

Frederik Zernike 1888-1966

Nobelprijs voor natuurkunde 1953

Knutselaar en theoreticus
De fasecontrastmicroscop
Miskeningen triomf

Literatuur

Index



Voorwoord

In 1896 overleed, kinderloos en schatrijk, de Zweedse scheikundige en industrieel Alfred Nobel. Bij testament had hij bepaald dat uit zijn vermogen jaarlijks prijzen zouden worden toegekend aan mensen, die zich buitengewoon verdienstelijk hadden gemaakt voor de mensheid door hun werk op een van de volgende vijf gebieden: de vrede, letterkunde, geneeskunde en fysiologie, scheikunde en natuurkunde. De eerste uitreikingen vonden plaats in 1901. Sindsdien is de Nobelprijs een instituut geworden, algemeen erkend als de hoogst denkbare onderscheiding.

In de late 19e eeuw was de Nederlandse wetenschapsbeoefening in een periode van bloei gekomen, die prettig afstak tegen de middelmatigheid die het werk van vier of vijf voorgaande generaties had gekenmerkt. Vernieuwingen in ons onderwijsstelsel - in 1863 oprichting van de HBS, na 1876 herinrichting van de universiteiten - hadden daarin een voorname rol gespeeld. Net als in de dagen van Huygens, Van Leeuwenhoek en Boerhaave liep Nederland weer voorop mee in de wetenschap. De toekenning, in

de eerste dertien jaar van zijn bestaan, van een Nobelprijs aan maar liefst vijf Nederlandse onderzoekers onderstreept dit. Maar ook nadien zijn onze landgenoten nog herhaaldelijk bekroond.

Negen van hen zijn hier geportretteerd. Niet opgenomen werden geleerden, wier werk buiten het aandachtsgebied van het Museum Boerhaave valt: T.M.C. Asser (vrede 1911) en J. Tinbergen (economie 1973). De anderen bleven buiten dit boekje, omdat zij op het moment van schrijven nog in leven zijn. Dit zijn N. Tinbergen (geneeskunde en fysiologie 1969), de in Nederland geboren Amerikaan N. Bloembergen (natuurkunde 1981) en S. van der Meer (natuurkunde 1984).

Een deel van de teksten verscheen eerder als losse vouwbladen in de reeks Mededelingen van het Museum Boerhaave.

Colofon

Deze online uitgave is gebaseerd op Mededeling 225 van het Museum Boerhaave te Leiden.

Realisatie: Infofilm, Leiden

© 2002 Museum Boerhaave, Leiden

Herkomst van illustraties staan in bijschrift vermeld.



Jacobus Henricus van 't Hoff 1852-1911

Nobelprijs voor scheikunde 1901

Razend snel en briljant was Jan van 't Hoff door zijn studie scheikunde geschooten. Op de beroemde laboratoria van Kekulé in Bonn en van Wurtz in Parijs had hij gewerkt. Aan mannen als Gij, heeft Nederland groote behoefte' kreeg hij bij zijn promotie in 1874 te horen. Maar een baantje kon hij voorlopig vergeten: zo verging de nationale behoefte nu ook weer niet. 'Deze slordige en verstrooide sollicitant is als leraar ongeschikt en als collega ongewenst', rapporteerde de directeur van 's Rijks HBS te Breda vol zorg aan de inspectie. Nu was Van 't Hoff niet alleen pas afgestudeerd, de sloddervos had ook al een nieuwe theorie over organische verbindingen op zijn naam staan, die internationaal grote waardering zou krijgen. Waar ging het om?

Stereochemie

De organische scheikunde is de leer van de koolstofverbindingen. De natuur produceert ze in groten getale. Eiwitten, suikers, vetten, steroïden, nucleïnezuren vor-

men een willekeurige greep. Het koolstofatoom bezit de eigenschap ketens te kunnen vormen. Variaties in de lengte of in de wijze van verknopen en combinaties met andere elementen leiden tot even zoveel verschillende stoffen. Hun aantal is in principe zelfs onbeperkt. In 1824 was het de Duitse chemicus Wöhler gelukt een organische stof, oxaalzuur, in het laboratorium te vervaardigen, vier jaar later maakte hij ureum. Toen waren er nog hevige discussies of de mens de natuur kon imiteren, maar in de tweede helft van de 19e eeuw synthetiseerde men de ene verbinding na de ander. En al even snel ontwikkelde zich de kennis. Zo had men bemerkt dat soms totaal verschillende stoffen als alcohol en ether of glucose en fructose toch dezelfde bruto formule hadden. In deze zogenaamde isomeren waren enige atomen in de keten van plaats gewisseld, luidde de plausibele verklaring. In 1873 evenwel had Wislicenus - ook uit Duitsland, het land liep voorop - twee soorten melkzuur beschreven die



zowel in hun structuur als in hun chemische en fysische eigenschappen identiek leken. Zij verschilden onderling slechts in één opzicht. Het trillingsvlak van gepolariseerd licht - een gebruikelijke analysemethode - werd door het ene melkzuur naar rechts, door het andere naar links verschoven. Nog voor zijn proefschrift deed Van 't Hoff in een brochure van slechts 12 pagina's een voorstel ter verklaring van dit raadselachtige fenomeen. Allereerst nam hij een gefixeerde ruimtelijke structuur aan voor alle organische verbindingen. Tot dan toe had men zich slechts heel oppervlakkig over een vorm in drie dimensies bekommerd. Dit lijkt vreemd, maar niemand wist toentertijd hoe een atoom in elkaar zat. Wel had Kekulé geopperd dat koolstof vier gelijkwaardige mogelijkheden heeft om een verbinding met andere atomen aan te gaan. Daarop voortbouwend koos Van 't Hoff de tetraëder - het regelmatig viervlak - als ruimtelijk model. Elk koolstofatoom zou daarin het centrum bezetten en de hoekpunten geven de vier bindingsrichtingen aan. Een soort omgeklapte paraplu dus. Melkzuur bestaat uit een ketentje van drie koolstof-

atomen. Het middelste ervan is gebonden aan vier verschillende groepen. Zo'n atoom noemde hij asymmetrisch. Immers, bouwde hij zijn ruimtelijk model rond deze koolstof dan leverde dat twee mogelijke tetraëders op, die elkaars spiegelbeeld waren. Op deze wijze verklaarde hij niet alleen het bestaan van twee soorten melkzuur, hij generaliseerde dit idee tot de stelling dat optische activiteit altijd gepaard gaat met ruimtelijke asymmetrie.

Van 't Hoff's voorstel vond weinig weerklank in eigen land. Men interesseerde zich er eenvoudigweg niet voor. De hoogleraren Buys Ballot en Gunning vormden uitzonderingen in gunstige zin. Pas met een Franse vertaling en vooral met een Duitse kwamen de reacties los. Kekulé vond zijn ideeën belangwekkend, maar de gezaghebbende chemicus Kolbe zag in deze 'Phantasiespielerei' een gaaf en gevaarlijk voorbeeld van intuïtieve wetenschapsbeoefening. Toch brak de weerstand binnen luttele jaren en tal van voorbeelden bleken Van 't Hoff's voorspellingen te bevestigen.

*Om zijn theorie te illustreren maakte Van 't Hoff deze kartonnen modelletjes, tetraeders.
(foto MB)*



Tegelijkertijd, maar geheel onafhankelijk had trouwens de Fransman Le Bel een vergelijkbare hypothese ontwikkeld. In 1893 ontvingen beiden voor hun pionierswerk de Davy medaille, een hoge onderscheiding van de fameuze Royal Society te Londen. Al veel eerder overigens waren Van 't Hoff's verdiensten erkend. In 1877 verwierf hij een lectoraat aan de Universiteit van Amsterdam; één jaar later werd hij er hoogleraar. Niet toevallig wijdde hij zijn inaugurale rede aan de historische successen van de verbeeldingskracht in de natuurwetenschappen. En wat dat betreft kon hij in de hoofdstad zijn gang gaan, toen hij een nauwelijks ontgonnen gebied betrad, dat zijn interesse had gewekt: de fysische chemie, maar zelfs die naam bestond nog niet.

Het chemisch evenwicht

Tot het geluk en welzijn van de chemicus verlopen niet alle reacties zo compleet en zo heftig als de verbranding van dynamiet. Integendeel, vaak zijn kunstgrepen noodzakelijk om stoffen om te zetten en is het zover, dan lijkt er na enige tijd niets meer te gebeuren. Dit laatste is echter

schijn. In werkelijkheid komt onzichtbaar een wisselwerking op gang. De na omzetting ontstane producten reageren namelijk weer met elkaar, met als gevolg regeneratie van de uitgangsstoffen, die op hun beurt wederom ... enzovoorts. Is nu de reactiesnelheid naar beide kanten (heen en terug) even groot, dan is er sprake van een (dynamisch) evenwicht. De verhouding van de concentraties van de verschillende stoffen is daarbij niet willekeurig, maar wordt gegeven door een bepaald getal. Deze evenwichtsconstante is onder gedefinieerde omstandigheden van temperatuur en druk specifiek voor de betreffende reactie. De Noren Guldberg en Waage hadden dit in 1879 aannemelijk kunnen maken. Met hun gegevens en door zorgvuldige studie van enige reacties kon Van 't Hoff bepalen hoe die constante zich bij temperatuurveranderingen gedraagt. Opmerkelijk genoeg bleek elke chemische reactie zich te verzetten tegen aangebrachte wijzigingen. Anders gezegd: een daling van de temperatuur verschuift het evenwicht zodanig dat meer warmte geproduceerd wordt. Dit verband kreeg een kwantita-



tieve vorm in een thermodynamische vergelijking. De Fransman Le Châtelier generaliseerde dit beginsel door de invloed van de druk erbij te betrekken. Zelf zorgde Van 't Hoff voor een uitbreiding naar andere toestandsveranderingen dan chemische reacties, zoals een vloeistof die in evenwicht verkeert met zijn damp.

Osmotische druk

Verwant met deze onderzoeken was zijn studie van de osmotische verschijnselen, een derde onderwerp waaraan Van 't Hoff blijvend zijn naam zou verbinden. Door osmose is een plantecel of een rood bloedlichaampje, maar ook een wekende krent in staat water uit de omgeving aan te zuigen en vast te houden. Een eenvoudig proefje verduidelijkt dit misschien. In een bak water bevindt zich een afgesloten ballon gevuld met een suikeroplossing. Deze ballon bestaat uit speciaal materiaal dat wel water, maar geen suiker doorlaat. Door het instromen van water zal de ballon dan zwellen, de inhoud komt onder een druk te staan, de osmotische druk genaamd, die verder watertransport zal vertragen en tenslotte

belemmeren. Al in 1748 nam de beroemde abbé Nollet dit verschijnsel waar; in plaats van suikerwater gebruikte hij wijn, zoals het een Frans geleerde betaamt. Ruim honderd jaar later, in 1877, kon de Baselse botanicus Pfeffer de osmotische druk daadwerkelijk meten. Deze bleek niet gering: ruim 1 bar voor een 2% suikeroplossing. Die gegevens brachten Van 't Hoff tot de verrassende conclusie dat verdunde oplossingen zich als gassen gedragen. De oude overbekende wetten van Boyle, Gay-Lussac en Avogadro bleken simpel toepasbaar op dit systeem. Concreet betekende dit dat de osmotische druk evenredig is met de concentratie van de opgeloste stof - suiker - en de absolute temperatuur. Soms was echter een correctiefactor nodig. Verving men suiker bijvoorbeeld door keukenzout dan was de gemeten osmotische druk bijna tweemaal zo groot als de berekende. Svante Arrhenius kwam korte tijd later met een verklaring. Elektrolytische experimenten hadden hem geleerd dat zout in waterige oplossing uiteenvalt in positieve natrium- en negatieve chloorionen, aldus de effectieve concentratie verdubbelt. Van 't

Van 't Hoff met collega's (rechts Ernst Cohen, links Svante Arrhenius en Pieter van Romburgh) op de opening van het Van 't Hoff Laboratorium te Utrecht, 16 mei 1904.



Hoff sloot zich bij deze verklaring onmiddellijk aan.

Stockholm en Berlijn

Toen in 1901 voor het eerst de Nobelprijzen werden uitgereikt, viel die voor scheikunde Jan Van 't Hoff toe. Zijn fysisch-chemische onderzoeken over het evenwicht en de osmose lagen ten grondslag aan deze eervolle beslissing. Het judicium sprak over de belangrijkste theoretische bijdrage sinds de dagen van John Dalton, een eeuw terug. Van 't Hoff was beroemd, maar inmiddels had hij op zijn beurt de behoefte des vaderlands veronachtzaamd. De Universiteit van Amsterdam was er zozeer op gebrand hem te behouden, dat men een geheel nieuw laboratorium voor hem had ingericht. De onderwijsverplichtingen vielen hem echter te zwaar. In 1896 verhuisde hij naar Berlijn. Als lid van de Pruisische Academie en als hoogleraar aan de universiteit aldaar heeft hij nog een belangrijke theoretische bijdrage geleverd over de vorming van zoutlagen, in het bijzonder over de Stassfurter Abraumsalze. Vermeldenswaard is ook zijn enthousiaste

pleidooi voor de stichting van een wetenschapsmuseum ... in Duitsland! Het Deutsches Museum in München zou spoedig verrijzen. Veel te vroeg, op 1 maart 1911, stierf Jan van 't Hoff aan longtuberculose. Weinig geleerden zullen tijdens het leven met zo veel eerbewijzen overladen zijn als deze bescheiden chemicus. Van 50 wetenschappelijke academies en genootschappen was hij lid, 10 universiteiten hadden hem een eredoctoraat verleend, 12 hoge onderscheidingen bezat hij. Het kon nog beter want zelfs een sigaar droeg zijn naam. De mogelijkheid een Van 't Hoff op te steken maakte hem echt populair.



Hendrik Antoon Lorentz 1853-1928

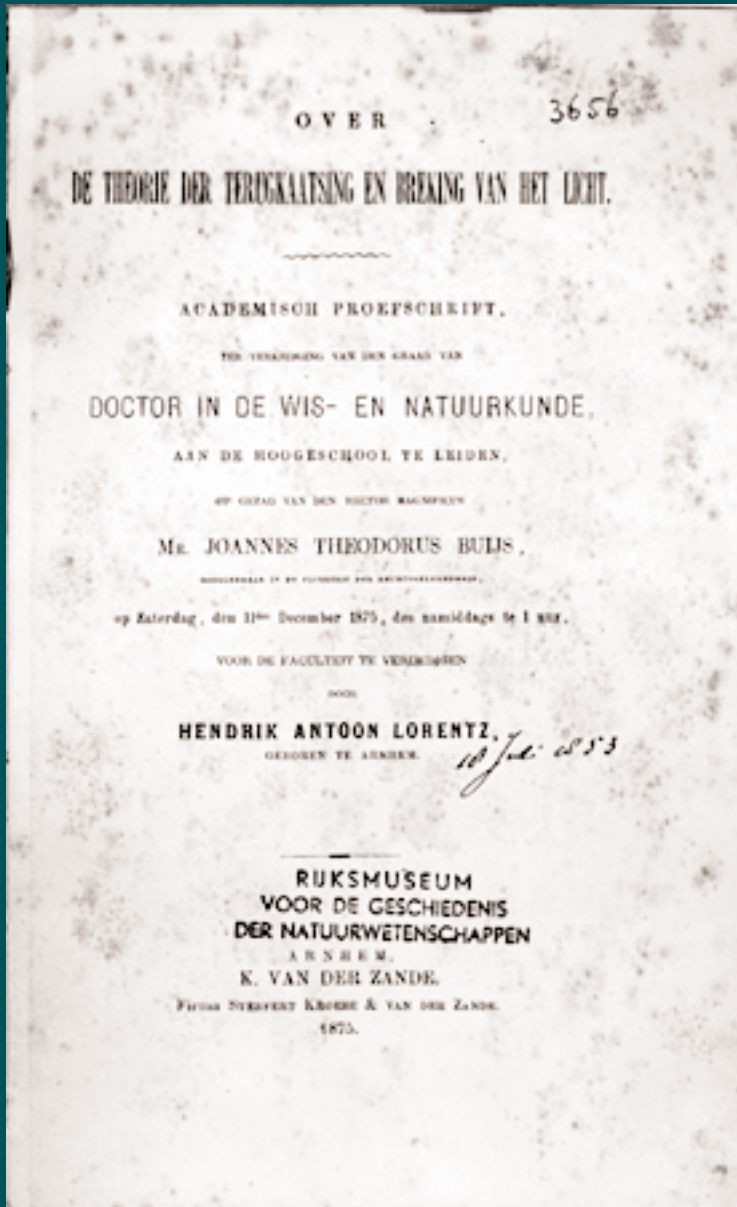
Nobelprijs voor natuurkunde 1902

Elektronentheorie

Lorentz gaf tussen de jaren 1892 en 1904 in een 40-tal publikaties gestalte aan zijn elektronentheorie. Reeds in zijn proefschrift uit 1875, 'Over de theorie der terugkaatsing en breking van het licht' spreekt hij over elektrische bewegingen in de materie. Deze zullen later uitgroeien tot bewegende elektronen in de materie. Zijn uiteindelijke theorie gaat er van uit, dat de wereld is opgebouwd uit drie afzonderlijke bouwstenen. Deze drie zijn: gewone weegbare materie, elektronen en ether. Zij worden gekarakteriseerd door verschillende natuurkundige eigenschappen. Ether is overal aanwezig, zowel in de lege ruimte alsook in en tussen de materiedeeltjes. Zij staat absoluut stil en heeft overal gelijke eigenschappen. Hendrik Antoon Lorentz kreeg in 1902 samen met Pieter Zeeman de Nobelprijs voor natuurkunde. Zij kregen deze prijs in de eerste plaats voor respectievelijk de ontdekking en de verklaring van de opsplitsing van spectraallijnen in een

magneetveld, het 'Zeeman-effect' (zie het hoofdstuk over Pieter Zeeman). Faraday en Kerr hadden reeds aangetoond dat de voortplanting en de terugkaatsing van licht door een magneet beïnvloed werden; uit het Zeeman-effect bleek duidelijk dat dit ook met de oorsprong, het ontstaan van de lichtstraal in de materie het geval was. Lorentz kreeg de Nobelprijs niet alleen voor de verklaring van het Zeeman-effect, maar tevens voor zijn elektronentheorie, die hij in de voorafgaande tien jaar had ontwikkeld.

Elektronen vormen de bron van het elektromagnetisch veld, dat door de ether wordt gedragen. Op zijn beurt reageert het veld met gewone materie door middel van de in de materie aanwezige elektronen. De ether en de materie werken dus niet rechtstreeks op elkaar in, zij zijn juist volledig van elkaar gescheiden. Deze volledige scheiding is door vele natuurkundigen als Lorentz' grootste bijdrage tot de natuurkunde beschouwd. Zo



Kaft proefschrift H.A. Lorentz



noemde Einstein haar 'een daad van intellectuele bevrijding'.

Oorsprong van de theorie

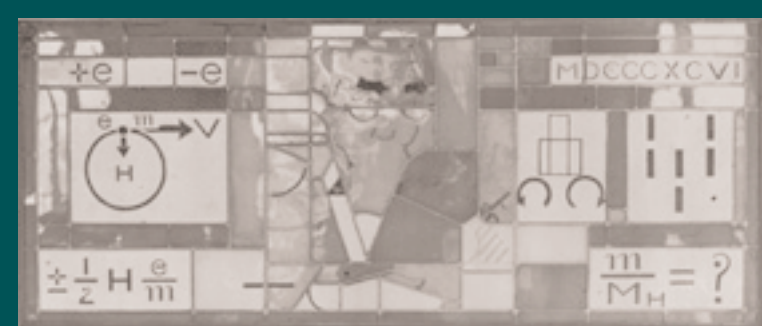
Bij de ontwikkeling van zijn theorie was Lorentz uitgegaan van de elektromagnetische theorie van de Schot Maxwell (1831-1879). Het essentiële in diens theorie bestond hieruit, dat de voortplanting van licht en de verplaatsing van elektriciteit op éénzelfde manier wiskundig beschreven konden worden. Het zijn beide elektromagnetische trillingen, echter met verschillende golflengten. Deze trillingen planten zich voort met een eendige snelheid, de lichtsnelheid. Maxwell slaagde er echter niet in, belangrijke optische wetten als die van de lichtbreking en de licht-terugkaatsing ermee te verklaren. Het was voor de natuurkundigen in de tijd van Maxwell niet gemakkelijk zijn elektromagnetische theorie te begrijpen. Zij was, zoals Ehrenfest haar later zou karakteriseren, 'een soort intellectueel oerwoud, bijna ondoordringbaar in zijn onontgonnen vruchtbaarheid'. Maxwell wilde zich niet uitspreken over de aard van elektriciteit, noch over de aard van

het medium waarin de elektromagnetische golven zich voortplanten. Op het vasteland van Europa daarentegen verklaarde men elektrische verschijnselen door middel van geladen elektriciteitsdeeltjes. Bovendien hadden omstreeks 1870 niet alleen deeltjesbeschouwingen over elektriciteit, maar ook theorieën over de moleculaire opbouw van de materie (in het bijzonder de kinetische gastheorie, waarover meer in het hoofdstuk over Van der Waals) opgang gemaakt. Lorentz' elektronentheorie kan worden beschouwd als een voortzetting en uitwerking van deze drie gedachtenstromingen.

Zeeman-effect

Met behulp van zijn theorie slaagde Lorentz er nu in, de belangrijkste optische en elektrische verschijnselen te verklaren. Naast de verklaring van de wetten van lichtbreking en -terugkaatsing (die Maxwell niet had kunnen afleiden) was het vooral de verklaring van de kleurschifting en van het Zeeman-effect, die de natuurkundigen overtuigde. Hiermee werd Lorentz' theorie de leidende

Zilveren dienblad van Lorentz, met diverse handtekeningen (o.a. van Marie Curie en Albert Einstein) ter ere van zijn vijftigjarige doctoraat. Geschonken door het internationale Solvay instituut.



gedachte in de natuurkunde van zijn tijd. De kracht van dit theoretische model wordt aangetoond door het feit dat Lorentz er niet alleen de lijnverbreding die bij het Zeeman-effect optrad mee kon verklaren, maar tevens op grond ervan voorspelde dat de verbrede spectraallijn aan de rand circulaire polarisatie moest vertonen. Zeeman was inderdaad in staat, deze voorspelling proefondervindelijk te bevestigen.

Elektrische stroom

Ook de elektrische stroom kon Lorentz met zijn theorie gemakkelijk verklaren. In een elektrische geleider zijn de elektronen beweegbaar; een elektrische stroom is dan ook niets anders dan een stroom van elektronen in de geleider. In een niet-geleider daarentegen kunnen de elektronen slechts bewegen rond hun evenwichtstoestand; zij kunnen dus niet vrij door de materie bewegen. Er zal dan geen elektrische stroom gaan lopen, er ontstaat slechts een kleine elektrische verschuiving.

Lorentz-contractie

In 1892 ging Lorentz in op de gevolgen van zijn veronderstelling dat de aarde

beweegt door een stilstaande ether. De absolute snelheid die de aarde bezit ten opzichte van de stilstaande ether zou dan op aarde gevoeld moeten worden als een 'etherwind'. Licht dat op aarde wordt uitgezonden, zal door die etherwind worden meegesleept, en wel sterker naar gelang de voortplantingsrichting van de lichtstraal meer of minder samenvalt met de richting waarin de aarde zich beweegt. Reeds in 1887 hadden Michelson en Morley proefondervindelijk aangetoond dat dit effect niet kon worden waargenomen. De conclusie dat licht zich op aarde in alle richtingen voortplant met gelijke snelheid, die onafhankelijk is van de snelheid van de aarde, was echter moeilijk te aanvaarden. De uiteindelijke oplossing die Lorentz gaf, was de veronderstelling dat het instrument waarmee Michelson en Morley hadden gemeten, een beetje kleiner werd in de richting van de aardse beweging. De definitieve formulering van deze samentrekking, sindsdien Lorentz-contractie genoemd, publiceerde hij in 1895. In 1904 analyseerde hij dat dit betekent dat alle massa, geladen of niet, afhankelijk is van de snelheid waarmee ze beweegt.



Afsluiting

Lorentz was hoogleraar in de theoretische natuurkunde aan de Leidse universiteit van 1878 tot 1912. Na 1912 werd hij benoemd tot curator van Teylers Fysisch Kabinet in Haarlem en secretaris van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen aldaar. In Leiden bleef hij echter als buitengewoon hoogleraar zijn beroemde maandagochtendcolleges geven. Na de eerste wereldoorlog zette hij zich in om de beperkende maatregelen, die de geallieerden getroffen hadden ten aanzien van Duitse en Oostenrijkse geleerden, te doen verdwijnen. De indruk zou gevestigd kunnen zijn, dat Lorentz zich uitsluitend bezig hield met natuurkunde en internationale wetenschappelijke contacten. Dat was echter niet het geval. Zo werd Lorentz in 1919 benoemd tot voorzitter van een commissie die de afsluiting van de Zuiderzee moest bestuderen. Aanvankelijk dacht men dat de commissie maar weinig tijd nodig zou hebben om de problemen op te lossen. De gegevens over de waterstanden en de getijdenstromen waren echter onvoldoende, zodat de commissie nog jaren bezig is

geweest. De berekeningswijze die Lorentz ontwikkelde is nog altijd de basis van waterbouwkundige berekeningen. Lorentz' werk viel in de overgangstijd tussen de klassieke en de relativistische opvattingen van de natuurkunde. Het werk waarvoor hij in 1902 de Nobelprijs ontving, vormde zowel de afronding van de klassieke theorie als de opstap naar de natuurkunde van Einstein en Planck. Zijn elektronenconcept, dat aan het eind van de 19e eeuw zo vruchtbaar was gebleken voor de ontwikkeling van de natuurkunde, werd in de 20e eeuw een obstakel voor de relativiteitstheorie. Lorentz zelf was één der eersten om in te zien dat de quantum-hypothese van Planck niet met zijn eigen elektronentheorie te verenigen was. Aan de opbouw van de moderne natuurkunde heeft hij sindsdien vooral door het stimuleren van jongeren, zoals Einstein, Planck en Ehrenfest bijgedragen. Zijn eigen werk heeft hij, zoals twee eeuwen tevoren Christiaan Huygens was overkomen, voor het grootste deel nog tijdens zijn leven achterhaald zien raken.

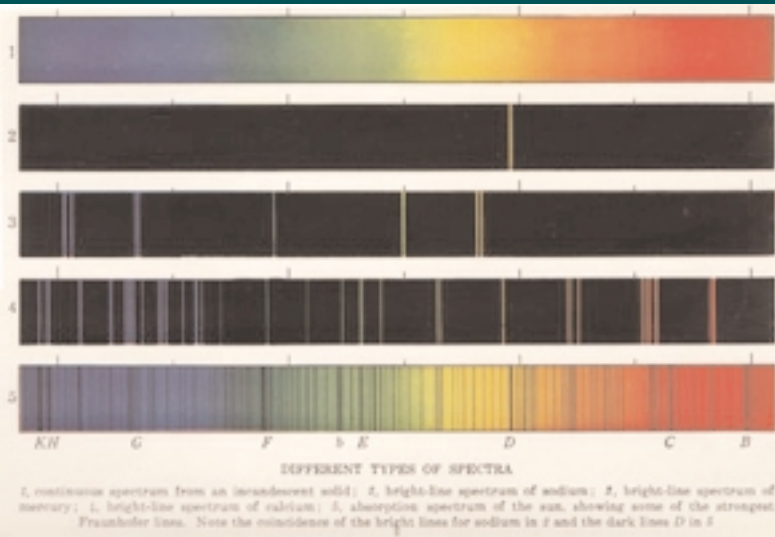
Pieter Zeeman 1865-1943

Nobelprijs voor natuurkunde 1902

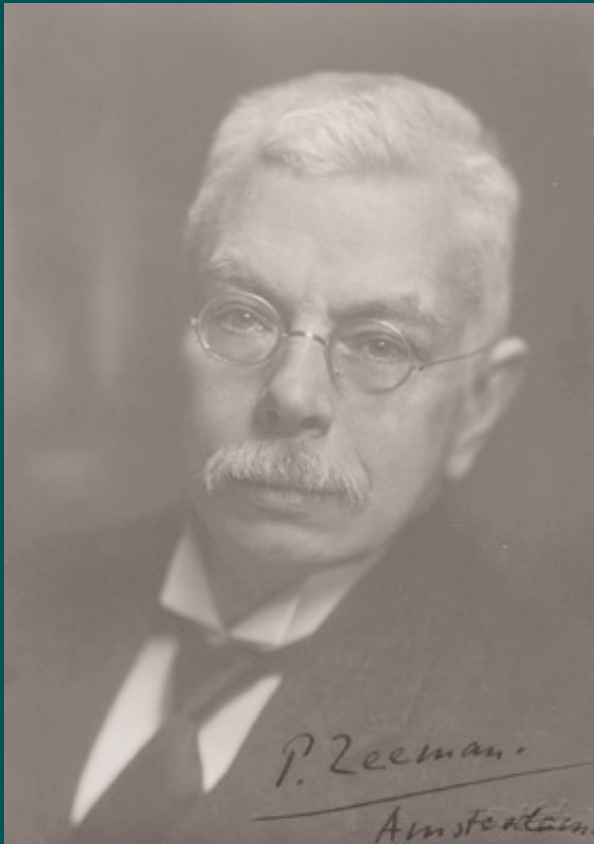
In 1902 ontvingen Pieter Zeeman en Hendrik Antoon Lorentz de Nobelprijs voor natuurkunde. Zij kregen de prijs voor hun onderzoek van het magneto-optische effect, sindsdien Zeeman-effect genoemd. Zeeman toonde aan dat de straling van een lichtbron onder invloed van een magneetveld veranderde, en wel zodanig dat de verschillende spectraallijnen, waaruit het licht bestaat, in diverse componenten opgesplitst werden. Het belang van deze ontdekking lag echter niet in de eerste plaats in de aangetoonde wisselwerking tussen licht en magnetisme, want het Zeeman-effect was al het derde verschijnsel waarbij een dergelijke wisselwerking werd waargenomen. Het grootste belang van Zeemans experimenten lag in het feit dat ze zowel een bevestiging als een mogelijkheid tot verdere uitbouw gaven van de theorieën van Lorentz. Niet alleen werd diens theorie omtrent de polarisatie van het licht van een vlam bevestigd, maar tevens kon worden aangetoond dat de trillende deel-

tjes die volgens Lorentz de bron van Lichtuitstraling waren, een negatieve lading bezaten.

De verhouding van lading en massa (e/m) van deze deeltjes was zeer groot, zodat zij óf een zeer grote lading óf een zeer kleine massa moesten hebben. Nadat Thompson erin was geslaagd vrije elektronen aan te tonen in kathodestralen - deze elektronen hadden eveneens een negatieve lading en een grote e/m verhouding - lag het voor de hand, aan te nemen dat de trillende deeltjes die Lorentz had voorgesteld identiek waren met de elektronen van Thompson. Deze elektronen bleken een massa te hebben, die ongeveer 1800 maal kleiner was dan de massa van een waterstofatoom. Voor de natuurkundigen betekende de ontdekking van het Zeeman-effect meer, voor hen werd het één van de belangrijkste hulpmiddelen om de structuur van atomen en moleculen te onderzoeken. Het Zeeman-effect werd dan ook een toetssteen voor elke



Verschillende spectraallijnen voor diverse stoffen. Uit: Chemical Spectroscopy van Wallace R. Brode, 1939



nieuwe atoomtheorie die in het begin van de twintigste eeuw ontwikkeld werd. Het werd tevens gebruikt om vragen te beantwoorden die astronomen zich stelden over de natuurkundige processen op de zon. Zeeman zelf suggereerde dat 'zijn' effect gebruikt kon worden om de aard van het zonlicht te onderzoeken. Zo meenden sterrenkundigen, dat op het zonoppervlak sterke magneetvelden aanwezig zouden zijn. Zeeman stelde nu voor, deze hypothese te onderzoeken door naar de spectraallijnen uit het zonnenspectrum te kijken en te zien of deze de eigenschappen hadden die op grond van zijn proeven worden verwacht. Inderdaad bevestigde de Engelse astronoom Hale in 1906 dat de veronderstelling van Zeeman juist was, waarmee het bestaan van sterke magneetvelden op het zonoppervlak was aangetoond.

Wie was nu deze Zeeman, en hoe kwam hij ertoe zijn belangrijkste proeven te doen?

'Piet van den dominee'

Zeeman is in 1865 in Zonnemaire geboren, een klein dorpje in Zeeland, op enkele

kilometers van Zierikzee. Zijn vader was hier predikant van de hervormde gemeente. Zeeman had op jeugdige leeftijd al een grote belangstelling voor de natuur. In 1883, toen hij op de HBS zat, was het noorderlicht in Nederland bijzonder goed waar te nemen. Zeeman maakte er een tekening van en zond deze naar het beroemde Engelse tijdschrift 'Nature'. De tekening werd geplaatst, voorzien van een zeer lovende commentaar waarin onder meer sprake was van de nauwkeurige waarnemingen van 'Professor Zeeman in zijn observatorium te Zonnemaire'. Zeeman merkte hier later over op, dat als iemand in die tijd in Zonnemaire gevraagd zou hebben naar professor Zeeman, hij vermoedelijk verwezen zou zijn naar 'Piet van den dominee'.

In 1885 kwam Zeeman naar Leiden, waar hij natuurkunde ging studeren bij o.a. Kamerlingh Onnes en Lorentz. Hij werd benoemd tot assistent van Lorentz in 1890. Zijn belangstelling ging direct uit naar magneto-optische verschijnselen, het terrein waarop hij later zijn belangrijkste

Pieter Zeeman, gefotografeerd door J. Merkelbach, Amsterdam



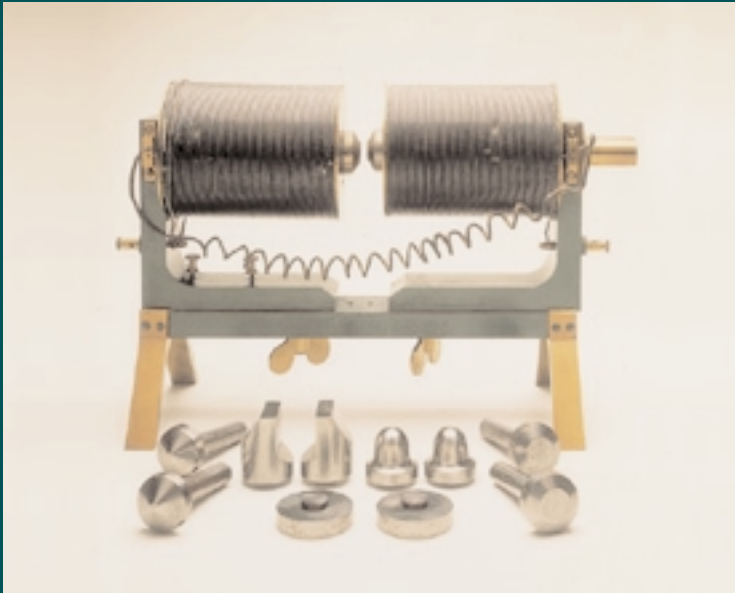
werk zou verrichten. Zijn eerste artikel ging over het Kerr-effect. Dit is de naam van het verschijnsel, dat een gepolariseerde lichtstraal elliptisch gepolariseerd wordt na terugkaatsing via een gemagnetiseerde spiegel. Zeemans eerste artikel werd bekroond met de gouden medaille van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen. Na de publikatie van zijn proefschrift over het Kerr-effect begon hij zijn onderzoek naar de directe invloed van een magneetveld op licht. In 1896 deed hij zijn beroemde proeven, waarvoor hij in 1902 de Nobelprijs ontving. Hij werd in 1897 benoemd tot lector aan de Universiteit van Amsterdam, waar hij in 1908 Van der Waals (zie het hoofdstuk over hem) opvolgde als hoogleraar-directeur van het Natuurkundig Laboratorium. In Amsterdam deed Zeeman verschillende fundamentele onderzoeken, die hier slechts genoemd kunnen worden, zoals: het Dopplereffect gemeten aan kanaalstralen, de lichtsnelheid in snel bewegende lichamen en de invloed van het magnetisch moment van de atoomkern op de hyperfijnstructuur van de spectraallijnen. Tot 1935, het jaar waarin hij gepensio-

neerd werd, bleef hij in de natuurkunde actief. Hij overleed in 1943.

Het Zeeman-effect

Hoe is Zeeman nu tot zijn beroemdste proeven gekomen? Zelf zegt hij dat hij teruggreep op de proeven van Faraday. Deze Engelse onderzoeker had in 1845 aangetoond, dat het polarisatievlak van een gepolariseerde lichtstraal door een magneetveld gedraaid werd, mits de lichtstraal glas van een speciaal soort passeerde, dat tussen de polen van de magneet was bevestigd. Zonder deze speciale glassoort lukte de proef niet. Dit was de eerste keer dat een wisselwerking werd aangetoond tussen licht en magnetisme. Faraday's laatste notities uit 1862 beschreven zijn pogingen om een directe invloed van een magneetveld op een lichtstraal aan te tonen. Zijn conclusie was: niet het minste effect waarneembaar, met gepolariseerd noch met ongepolariseerd licht. Hoewel de natuurkundigen sindsdien geloofden dat het onmogelijk was een direct effect te meten, dacht Zeeman dat het de moeite waard zou zijn Faraday's proeven te herhalen met de modernere

*Een in zoutoplossing gedrenkt propje asbest (e) wordt in een gasvlam van een bunzenbrander (B) gebracht.
 Uit: Spectralanalyse van Dr. John Landauer, 1896*



optische hulpmiddelen die in zijn tijd ter beschikking waren gekomen. Hij plaatste daartoe een vlam tussen de polen van een elektromagneet van het type-Ruhmkorff - deze magneet is in het Museum Boerhaave te zien (zie afbeelding) - en bracht een stukje in keukenzout gedrenkt asbest in de vlam. De twee spectraallijnen (D-lijnen) uit het natriumspectrum werden zichtbaar gemaakt met een tralie van Rowland. Deze had in 1882 op een holle metalen spiegel een aantal evenwijdige krasjes, op gelijke afstand van elkaar aangebracht. De tralie was net als een prisma in staat het opvallende licht te splitsen in zijn componenten, waardoor het spectrum zichtbaar werd. Met behulp van een dergelijk tralie konden lichtsterke spectra uitstekend worden gescheiden. Zeeman gebruikte een Rowland-tralie met een kromtestraal van drie meter, waarop 600 lijnen per millimeter gekrast waren. Toen Zeeman de elektromagneet aanzette - het magnetveld had een sterkte van circa 10.000 Gauss - vond een verbreding van de natrium-D-lijnen plaats. Na de proef op verschillende manieren gecontroleerd te

hebben, publiceerde hij het artikel 'Over den invloed eener Magnetisatie op den Aard van het door een Stof uitgezonden Licht', waarin hij zijn proeven beschreef, en met behulp van de theorie van Lorentz verklaarde. Dit artikel werd in verschillende talen vertaald en maakte overal grote indruk. De vruchtbare samenwerking tussen Lorentz en Zeeman leidde tot een groot aantal publicaties over het Zeeman-effect en over de elektronentheorie van Lorentz, die hierna algemeen werd aanvaard. Het belang van dit werk werd onderstreept door de verlening van de Nobelprijs voor natuurkunde in 1902. Hierdoor werden zij na de chemicus Van 't Hoff de tweede en derde Nederlander die een Nobelprijs in ontvangst mochten nemen.

De elektromagneet waarmee Zeeman zijn proefnemingen deed.

Johannes Diderik van der Waals 1837-1932

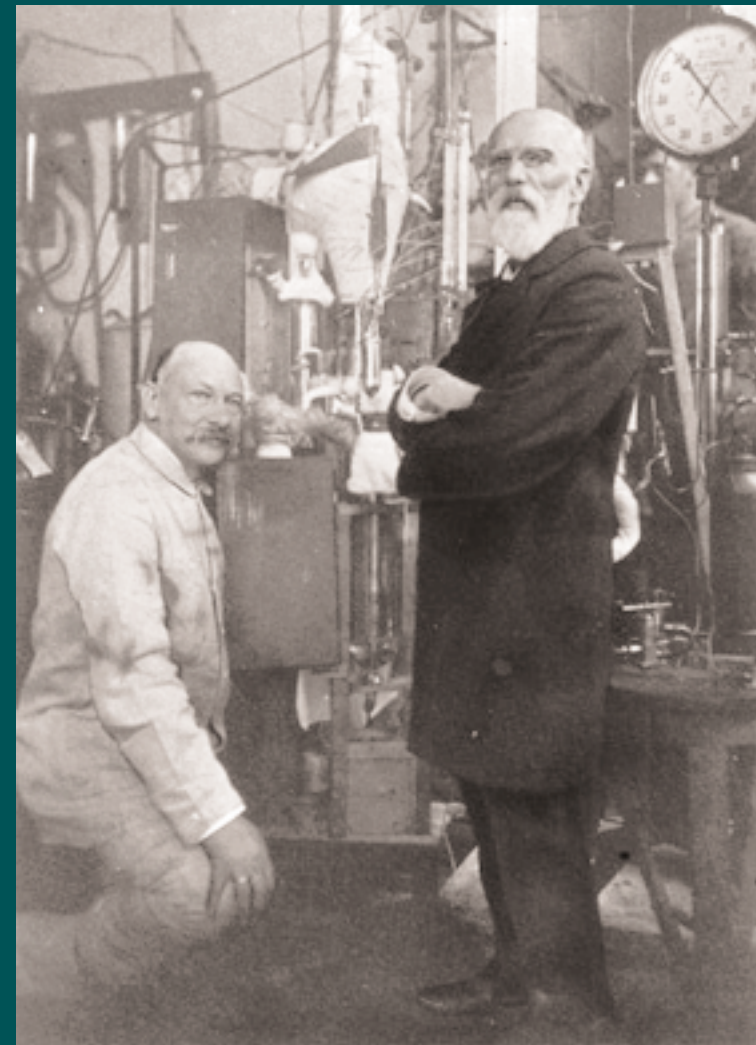
Nobelprijs voor natuurkunde 1910

Voordat sprake kan zijn van een theorie die opbouw en gedrag van een gas beschrijft, moet er heel wat gebeuren. Eeuwen lang hebben geleerden het bestaan van gassen niet onderkend. Dit is niet zo verwonderlijk, als men bedenkt hoe moeilijk gassen te hanteren zijn. Immers, hoe moet een gas gewogen, opgevangen en bewaard worden? Het heeft tot het eind van de 17e eeuw geduurd voor men lucht als een samenstel van gassen ging beschouwen en ertoe overging, deze onder een stolp boven water op te vangen. Kort daarvóór had Robert Boyle (1627-1691) ontdekt, dat bij samenpersing van lucht de druk evenredig toenam met de verkleining van het volume. Deze beroemde wet van Boyle heeft vele wetenschapsbeoefenaars gestimuleerd om 'luchten' (gassen) te gaan onderzoeken. Reeds spoedig werd het duidelijk dat het verband tussen volume en druk van een gas, zoals dat door de wet van Boyle beschreven werd, onder

bepaalde omstandigheden, met name bij zeer hoge drukken, niet opging. Daarnaast rees de vraag, of de wet uit de structuur van een gas kon worden afgeleid. Newton was de eerste, die hiervoor een model opstelde. Volgens dit model bestond een gas uit stilstaande gasdeeltjes, die elkaar onderling afstoten. De afstotende kracht zou omgekeerd evenredig zijn met de afstand tussen de deeltjes, en zij werd verondersteld niet verder te werken dan de naaste burenen.

Met behulp van dit is een statische verklaring te geven voor de druk die een gas op een wand uitoefent. Immers, aan de wand bevinden zich gasdeeltjes die aan één kant geen burenen bezitten, zodat de afstotende kracht die van deze deeltjes uitgaat rechtstreeks op de wand werkt. Bij deze theorie moet wel worden aangekend, dat Newton niet dacht dat een gas in werkelijkheid zo was opgebouwd. Hij stelde zijn model op als wiskundige

Johannes Diderik van der Waals (rechts) naast Heike Kamerlingh Onnes. Zij staan bij de heliumliquefactor in het laboratorium van Kamerlingh Onnes.





veronderstelling, die het mogelijk maakte een aantal eigenschappen van het gas te berekenen. De eerste afleiding van de wet van Boyle die van bewegende materie uitging, werd in de 18e eeuw gegeven door de Zwitserse wiskundige Euler. Hij veronderstelde dat lucht bestond uit materiewervels, en dat de druk op de vatwand een gevolg was van de centrifugale kracht van die wervels.

Kinetische gastheorie

Toen Van der Waals zich met de structuur van gassen en vloeistoffen ging bezighouden, was inmiddels de kinetische (bewegings-) gastheorie tot grote bloei gekomen. Het waren vooral Clausius, Maxwell en Boltzmann die haar, in de zeventiger jaren van de negentiende eeuw, hadden ontwikkeld. Zij veronderstelden dat een gas samengesteld was uit moleculen die met een hoge gemiddelde snelheid voortbewogen. Deze beweging was niet alleen rechtlijnig; de moleculen draaiden ook om hun as en trilden inwendig. In een vat botsten de moleculen niet alleen met elkaar, maar ook met de vatwand. Deze botsingen waren er dan de oorzaak van,

dat het gas op de vatwand druk uitoefende. Naarmate de temperatuur steeg, nam de snelheid van de moleculen toe, en daarmee het aantal en de hevigheid van de botsingen, zodat ook de druk van het gas toenam. Met behulp van deze theorie en van de aanvullende veronderstelling dat het eigen volume van de moleculen verwaarloosbaar klein was, slaagde Clausius erin de wet van Boyle af te leiden. Hierbij is het interessant, op te merken dat reeds in 1738 Daniel Bernoulli warmte had opgevat als bewegings-energie (kinetische energie) van de gasdeeltjes. Omdat men in die tijd echter warmte meestal verklaarde uit de eigenschappen van een warmte-stof, die overal kon doordringen, had hij bij zijn tijdgenoten geen gehoor gevonden.

Toestandsvergelijking

Hoewel de kinetische gastheorie een goed beeld gaf van de dynamische structuur van een gas, kon zij niet verklaren waarom de wet van Boyle bij zeer hoge drukken niet opging. Bovendien werd waargenomen dat als een vloeistofdamp condenseert, en het volume dus kleiner



OVER

DE CONTINUITEIT VAN DEN GAS- EN VLOEISTOFTOESTAND.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

TER VERBODING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE,

AAN DE HOOGESCHOOL TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

Dⁿ. M. DE VRIES,

Hoogleraar in de Faculteit der Wijsbegeerte en Letteren,

OP ZATERDAG DEN 14^{den} JUNI 1873, DES NAMIDDAGS TE 3 UREN,

IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN

DOOR

JOHANNES DIDERIK VAN DER WAALS,

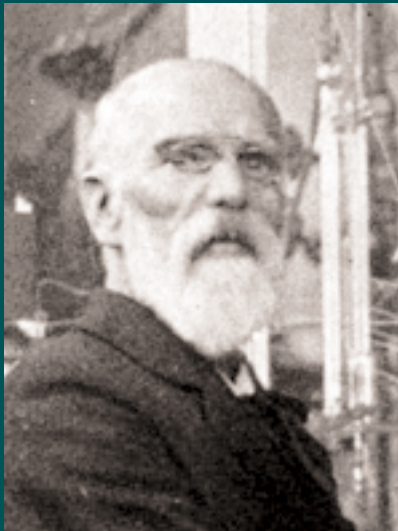
GEBOREN TE LEIDEN.

wordt, de dampdruk toch niet toeneemt, Ook tijdens de condensatie van gassen bleek de druk onafhankelijk van het volume. Die condensatie van gassen vond slechts beneden een bepaalde, per gas verschillende temperatuur plaats, die 'kritische temperatuur' genoemd werd (zie hierover verder het hoofdstuk over Kamerlingh Onnes). In zijn beroemde proefschrift uit 1873 'Over de continuïteit van den gas- en vloeistoftoestand' ging Van der Waals op al deze problemen in. De waargenomen afwijkingen ten opzichte van de wet van Boyle schreef hij aan twee omstandigheden toe. Hij hield, in tegenstelling tot Clausius, rekening met het eigen volume van de gasmoleculen, en hij zag in dat de gasmoleculen elkaar aantrekken, zodat de druk die het gas naar buiten uitoefent kleiner is dan zijn interne druk. Vanuit deze twee overwegingen formuleerde hij een gaswet die inderdaad met de experimentele gegevens klopte. De klassieke wet van Boyle werd hiermee tot een grensgeval, geldig alleen voor een ideaal gas, dat wil zeggen een gas, waarvan het eigen volume der moleculen verwaarloosbaar klein is (in de

praktijk is dit alleen bij zeer sterke verdunning het geval). De door Van der Waals afgeleide formule wordt de toestandsvergelijking genoemd. Zij verklaarde het optreden van een kritische temperatuur. Het belangrijkste resultaat was echter dat Van der Waals aantoonde dat zijn toestandsvergelijking niet alleen voor gassen maar ook voor vloeistoffen opging.

Overeenkomende toestanden

Door deze enorme prestatie van Van der Waals waren nu vele experimenten verklaarbaar geworden, maar het gevolg ervan was wel dat eik gas en elke damp beschreven moesten worden met een afzonderlijke toestandsvergelijking. In 1880 maakte Van der Waals duidelijk dat het, indien we het gedrag van één gas volledig kennen en daarbij de kritische temperatuur van een tweede gas, mogelijk is om het tweede gas volkomen te beschrijven. Deze wet, de wet van de overeenkomende toestanden, maakte het dus mogelijk, alle gassen en vloeistoffen met één set vergelijkingen te beschrijven. Hoe vruchtbaar dit werk wel was, wordt



geïllustreerd door het feit dat Kamerlingh Onnes aan de hand van deze wet erin is geslaagd, helium vloeibaar te maken, zoals in het volgende hoofdstuk beschreven staat.

Binaire mengsels

Een aantal vloeistoffen voldeed echter niet aan de wetten die Van der Waals had afgeleid, en het bleek al gauw dat deze vloeistoffen niet uit identieke moleculen bestonden. Van der Waals imiteerde nu deze stand van zaken, door het bestuderen van vloeistofmengsels (binaire mengsels). In 1890 slaagde hij erin vergelijkingen op te stellen die ook deze mengsels volledig beschreven. Van der Waals is in 1837 in Leiden geboren. Van 1877 tot 1908 was hij hoogleraar in de natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam. Zijn werk zette de kroon op de kinetische gastheorie, en maakte hem tot één van de belangrijkste theoretisch-natuurkundigen van de 19e eeuw. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat hem, in 1910, de Nobelprijs voor natuurkunde werd toegekend.

Heike Kamerlingh Onnes 1853-1926

Nobelprijs voor natuurkunde 1913

In 1882 werd Heike Kamerlingh Onnes op 29-jarige leeftijd benoemd tot hoogleraar in de experimentele natuurkunde te Leiden. In zijn intree-rede benadrukte hij de plaats van het experiment in de natuurkunde met de volgende woorden: 'Naar mijn inzicht moet bij de proef-ondervindelijke beoefening der natuurkunde het streven naar quantitatief onderzoek, (...), op de voorgrond staan. Door meten tot weten, zou ik gaarne als zinspreuk boven elk fysisch laboratorium willen schrijven'. Gedurende zijn lange hoogleraarschap, dat in 1924 eindigde wegens het bereiken van de 70-jarige leeftijd, is hij dit motto trouw gebleven. Altijd bleef het experiment bij hem centraal staan. Toen Kamerlingh Onnes zijn benoeming tot hoogleraar aanvaardde, werkten in Nederland twee zeer begaafde theoretisch-natuurkundigen.

Van der Waals in Amsterdam bestudeerde de structuur van gassen en vloeistoffen, en Lorentz in Leiden elektromagnetische

verschijnselen. Het waren de theorieën van deze twee geleerden die Kamerlingh Onnes experimenteel wilde ondersteunen. Vooral het werk van Van der Waals, in het bijzonder de 'wet der overeenstemmende toestanden', trok zijn aandacht (zie het hoofdstuk over Van der Waals). Deze wet wilde hij toetsen door het gedrag van bepaalde gassen bij lage temperatuur te bestuderen. Daarvoor was het noodzakelijk, het beschikbare temperatuurbereik uit te breiden tot nabij het absolute nulpunt (273°C onder nul). Het eerste doel dat Kamerlingh Onnes zich stelde, was het vloeibaar maken van heliumgas, en wel in zodanige hoeveelheden dat daarmee ook andere natuurkundige processen bestudeerd konden worden bij de temperatuur van vloeibaar helium. Op 10 juli 1908 slaagde Kamerlingh Onnes erin, bij 269°C onder nul helium vloeibaar te maken. Hiermee werd het terrein geopend van de lage-temperatuur natuurkunde, waarop hij gedurende zijn leven toonaangevend is geweest. Zo toonde hij

Vloeibaar helium in de thermos, klaar om te gaan showen in Engeland.





in 1911 aan dat de elektrische geleidbaarheid van enkele metalen plotseling sterk toeneemt als zij afgekoeld worden tot zeer lage temperaturen (supergeleiding). In 1913 werd hem voor zijn onderzoek naar de eigenschappen van materie bij lage temperatuur de Nobelprijs voor natuurkunde verleend.

Het vloeibaar maken van gassen

Toen Kamerlingh Onnes met zijn proeven begon, was al heel wat bekend over het vloeibaar maken van gassen. Faraday was er in de eerste helft van de 19e eeuw in geslaagd de meeste gassen tot vloeistoffen samen te persen. Zes gassen echter, waaronder waterstof, zuurstof en stikstof, kon hij zelfs bij een druk van 1000 atmosfeer niet vloeibaar krijgen. Deze zes werden daarom de 'Permanente gassen' genoemd. Faraday begreep niet waarom deze permanente gassen zich anders gedroegen dan de condenseerbare gassen. Er was immers geen enkel ander waarneembaar verschil. In 1869 liet Thomas Andrews zien dat koolzuurgas alleen beneden 31°C vloeibaar gemaakt kon worden. Spoedig bleek dit ook voor

andere gassen op te gaan: kennelijk bestond er een, per gas verschillende 'kritische temperatuur', waarboven het niet mogelijk was het in vloeibare toestand te krijgen.

In 1873 gaf Van der Waals de verklaring voor deze verschijnselen. Hij maakte duidelijk waarom eik gas een kritische temperatuur bezat, en suggereerde dat de kritische temperatuur bij permanente gassen waarschijnlijk erg laag lag. Het vloeibaar maken van gassen was dus niet een probleem van hoge druk, maar van lage temperatuur. Verschillende onderzoekers slaagden er nu in permanente gassen bij lage temperatuur te condenseren. De lage temperatuur die nodig was, werd bereikt door een reeds samengeperst gas te laten verdampen. Hierdoor daalt de temperatuur, zoals men ook kan waarnemen wanneer een vluchtige vloeistof als alcohol of ether op de huid verdampt. Door nu een tweede gas met behulp van het eerste vloeibare gas, dat verdampt, af te koelen onder de kritische temperatuur van het tweede gas, werd dit tweede gas vloeibaar. Herhaling van dit proces met

Kamerlingh Onnes met zijn assistent bij de heliumliquefactor in zijn laboratorium.



een derde, vierde en vijfde gas maakte het mogelijk tot ongeveer 220°C onder nul] te komen. Deze stapsgewijze afkoeling wordt de 'cascade-methode' genoemd.

Vloeibaar waterstof

Het bleek echter niet mogelijk waterstof en het aan het eind van de 19e eeuw ontdekte edelgas helium met behulp van de cascade-methode vloeibaar te maken. Hun kritische temperaturen lagen dus kennelijk beneden de 220°C onder nul. Er moest een andere methode worden gevonden om de temperatuur verder te verlagen. Twee Engelse onderzoekers, Joule en Kelvin, waren er in 1852 in geslaagd aan te tonen dat, wanneer een samengeperst gas onder bepaalde omstandigheden uitzet, de temperatuur ervan daalt. De Engelsman Dewar gebruikte in 1898 dit Joule/Kelvin-effect om waterstofgas af te koelen tot beneden zijn kritische temperatuur, waarna het bij 253°C onder nul vloeibaar werd.

Vloeibaar helium

Na de proeven van Dewar werd het

mogelijk om ook het laatste gas, helium, vloeibaar te maken. Ondanks herhaalde pogingen van Dewar en anderen lukte dit aanvankelijk niet. Kamerlingh Onnes slaagde erin, en wel op 10 juli 1908. Hij gebruikte hierbij de technieken van zijn voorgangers. Zuurstofgas werd vloeibaar gemaakt met behulp van de cascade-methode. Waterstof maakte hij vloeibaar door voor te koelen met vloeibare lucht en vervolgens verder af te koelen door middel van het Joule/Kelvin-effect. Helium koelde hij voor met vloeibaar waterstof, waarna hij het op zijn beurt vloeibaar maakte door afkoeling via het Joule/Kelvin-effect. Hij zorgde ervoor dat de opeenvolgende liquefactoren (toestellen om gas vloeibaar te maken) een grote capaciteit bezaten. Zoals op de foto te zien is, waren deze zuurstof- en waterstofinstallaties ware fabrieken. De capaciteit was niet het enige probleem dat Kamerlingh Onnes oploste. Een tweede probleem werd gevormd door de benodigde hoeveelheid heliumgas. Chemisch was dit gas zeer moeilijk te isoleren. Kamerlingh Onnes omzeilde het probleem door het heliumgas dat tijdens de



proef ontsnapte, op te vangen en opnieuw te gebruiken. Hoe belangrijk dit was, blijkt uit het feit dat het heliumgas 20 maal de cyclus moest doorlopen alvorens de eerste druppels vloeibaar helium werden gevormd.

Heliumliquefactor

De grootste problemen betroffen echter de constructie van de heliumliquefactor zelf. Zij waren zowel van theoretische als van praktische aard. Kamerlingh Onnes' grote kennis van de 'wet der overeenstemmende toestanden' van Van der Waals stelde hem in staat ze op te lossen. De heliumliquefactor die Kamerlingh Onnes gebruikte bij zijn proef van 10 juli 1908, is in het Museum Boerhaave tentoongesteld. Hij bestaat uit twee delen. Het bovenste deel is omwikkeld met verband om een goede warmte-isolatie te krijgen. Het onderste deel is een dubbelwandige glazen buis waarin het vloeibare helium werd opgevangen. Het is een iets gewijzigde versie van het oorspronkelijke model, dat er afzonderlijk bij staat opgesteld (zie afbeelding). Het bovenste deel bestaat uit zeven koellichamen, met hun

aansluitingen, waarin het heliumgas trapsgewijs werd afgekoeld. Het onderste deel is omgeven door twee Dewar-vaten, die gevuld werden met vloeibare lucht, respectievelijk vloeibare waterstof. Een Dewar-vat is een dubbelwandig vat waarbij de tussenruimte luchtledig is gezogen, en dient om de inhoud te isoleren van de omgeving. Hetzelfde principe wordt toegepast in een thermosfles. In de oorspronkelijke versie werd het buitenste Dewar-vat nog omhuld door een extra vat, waarin gekoeld werd met rondstromende alcohol, om beslaan van het glas te voorkomen. Met het vloeibaar maken van heliumgas sloot Kamerlingh Onnes met succes een onderzoek af, dat ruim 25 jaar geduurd had. Het Leids natuurkundig laboratorium was nu de koudste plek op aarde.

Heliumliquefactor met rechtsvoor de fles waarin zich het experiment van 10 juli 1908 voltrok.

Willem Einthoven 1860-1927

Nobelprijs voor geneeskunde en fysiologie 1924

Toen Willem Einthoven op 18 november 1902 's avonds van zijn werk thuiskwam, kon hij op een zeer geslaagde dag terugzien. Die dag had hij met zijn pas ontwikkelde snaargalvanometer zijn eerste electrocardiogrammen gemaakt, en ze zagen er precies zo uit als hij had verwacht. In 1856 was uit experimenten van Johannes Müller en Albert von Kölliker gebleken, dat bij elke samentrekking van het hart kleine elektrische stroompjes optreden. Deze stroompjes worden nu actie-stromen genoemd. De sterkte en het verloop ervan vormden, sinds de ontdekking van Müller en Von Kölliker, een nieuw onderzoeksterrein voor fysiologen. De eerste die een electrocardiogram registreerde, was Augustus D. Waller, en wel in 1887 met behulp van een capillair-elektrometer. Zo'n elektrometer bestaat in principe uit een zeer dun glazen buisje (capillair), dat gedeeltelijk met kwik en gedeeltelijk met een zwavelzuuroplossing gevuld is. Wanneer er nu een elektrische stroom, zoals die door de hartslag wordt

veroorzaakt, door de capillair loopt, gaat, als gevolg van de hierdoor ontstane verandering van de oppervlaktespanning, het kwik in de buis bewegen. Door nu die beweging van het kwik op een fotografische plaat vast te leggen, verkreeg Waller zijn electrocardiogram.

Twee jaar vóór Wallers eerste electrocardiogram, had de Universiteit van Leiden Willem Einthoven aangezocht als hoogleeraar in de fysiologie. Hij had toen zijn studie in de geneeskunde aan de Utrechtse universiteit nog niet afgerond. Hij was al wel gepromoveerd, maar had zijn arts-examen nog niet afgelegd. Dat deed hij alsnog, en wel een paar weken voordat hij in Leiden zijn intree-rede hield. Rond 1890 raakte hij erg geïnteresseerd in het onderzoek van Waller, met wie hij zijn leven lang heeft gecorrespondeerd. Typisch voor Einthovens aanpak is, dat hij zijn onderzoek begon met het uitgebreid bestuderen van de meeteigenschappen van de capillairelektrometer. Het was al



bekend, dat deze niet zo geschikt was om de snel wisselende actiestromen te meten: kwik reageert erg traag op veranderingen van de stroom, en geeft daardoor een vertekend beeld. Einthoven zocht eerst precies uit hoe groot die traagheid was. Met behulp van de resultaten van dit onderzoek kon hij uit de geregistreerde curve exact berekenen hoe de actiestroom in werkelijkheid verlopen moest zijn. In de zo berekende curves onderscheidde hij een aantal toppen, de 'P-, Q-, R-, S- en T-toppen'.

Snaargalvanometer

Juist omdat de gemeten curve zo sterk van de berekende verschilde, wilde Einthoven graag over een instrument beschikken, dat direct de werkelijke curve zou laten zien. Hij zocht daarom naar een instrument, dat erg gevoelig moest zijn voor zwakke stromen en bovendien bijzonder snel moest reageren op veranderingen in de sterkte van de stroom. Toen hij in gedachten de bestaande meetinstrumenten de revue liet passeren, beseftte hij dat zijn eisen het best gerealiseerd zouden worden door een galvanometer, die

dan zou bestaan uit een stroomgeleidingsdraad gespannen in een magnetisch veld: de snaargalvanometer. Door de interactie van de stroom in de draad met het omringend magnetisch veld zou de draad gaan bewegen, en die beweging zou des te groter zijn naarmate de stroom sterker was. Uitgaande van deze overwegingen werd in 1901 in Einthovens laboratorium begonnen met de constructie van een snaargalvanometer. Voordat Einthoven het instrument ging gebruiken om te kijken of het cardiogram er inderdaad zo uitzag als hij had berekend, bestudeerde hij eerst uitvoerig de meeteigenschappen van zijn nieuwe instrument. Maar op 18 november 1902 was het dan zo ver, en hij werd in zijn verwachtingen niet teleurgesteld.

Nuttig gebruik

Al in zijn eerste artikel uit 1893 over het elektrocardiogram had Einthoven de nadruk gelegd op het nut, dat de geneeskunde ervan zou kunnen hebben. Ziekten en aangeboren afwijkingen van het hart, zo veronderstelde hij, geven bepaalde veranderingen in de curve te zien. juist

Om zijn metingen van de hartcurve te realiseren, had Einthoven een ultra dunne stroomgeleidingsdraad nodig. Met behulp van pijl en boog trok hij deze uit gesmolten kwarts welke daarna met metaal werd opgedampt.



om dit nuttig gebruik te kunnen demonstreren, liet Einthoven in 1905 een draadverbinding aanleggen tussen zijn laboratorium en het Academisch Ziekenhuis in Leiden. Hierdoor kon hij in het ziekenhuis de cardiogrammen van hartpatiënten laten opnemen. In zijn beroemde artikel 'Het tele-cardiogram' uit 1906 legde Einthoven verband tussen bepaalde afwijkingen van het standaardpatroon van de curve en enkele veel voorkomende hartafwijkingen. Een bijzonder geval deed zich voor in 1910, toen een opgenomen cardiogram het spiegelbeeld vertoonde van het normale patroon. Einthoven concludeerde dat het hart in dit geval niet op de juiste plaats zat. En inderdaad bleek bij deze persoon het hart niet links maar rechts te zitten. Toch heeft het een aantal jaren geduurd voordat Einthovens werk door anderen werd opgenomen en voortgezet. Het was vooral door het werk van Einthovens vriend Sir Thomas Lewis, dat de elektrocardiografie in de ziekenhuizen ingeburgerd raakte.

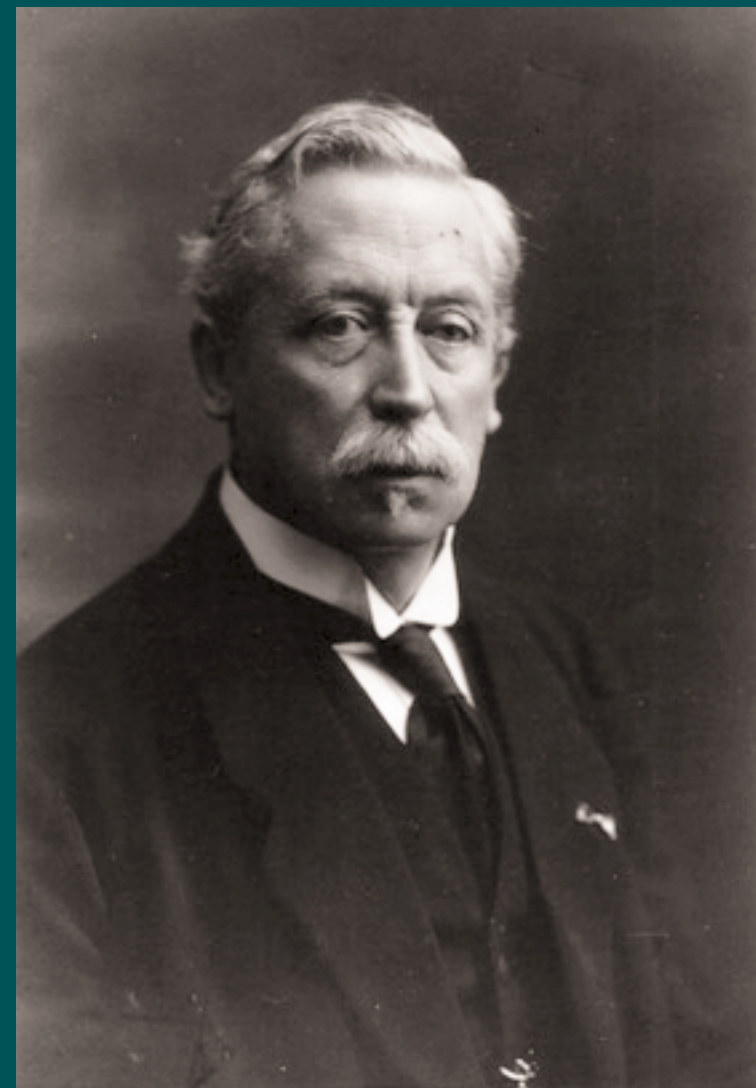
Verklaring

Toen Einthoven eenmaal dit basiswerk

verricht had, richtte zijn belangstelling zich op de verklaring van de curve. Wat gebeurt er in het hart dat maakt dat de curve er zo uitziet als ze doet? Al in de 19e eeuw was door verschillende onderzoekers vastgesteld, dat het deel van een spier dat samentrekt, negatief geladen is ten opzichte van het in rust verkerende deel. Einthoven stelde nu dat de P-top van het cardiogram veroorzaakt wordt door het samentrekken van de hartboezems. Het samentrekken van de kamers komt tot uiting in de QRST-toppen. Deze laatste scheidde hij in twee delen: het QRS-complex en de T-top. De prikkel tot samentrekken wordt voortgeplant door speciale weefsels: de bundel van His en de vezels van Purkinje (zo genoemd naar de onderzoekers die deze weefsels voor het eerst beschreven hebben). Dit verloopt zo snel, dat de hartkamer op vele punten tegelijk begint samen te trekken. De negatieve lading van een groot aantal spiervezels ten opzichte van andere, leidt op het cardiogram tot het QRS-complex. Wanneer de gehele hartkamer is samengetrokken, is er geen spanningsverschil meer en vertoont de curve een vlak ver-



loop. Ook de ontspanning begint op veel punten tegelijkertijd, met als resultaat de T-top. Voor deze verklaring van het elektrocardiogram werd Einthoven in 1924 de Nobelprijs verleend. De verklaring bevredigde niet alleen de nieuwsgierigheid van de wetenschapsbeoefenaar; zij gaf ook de arts een middel in handen om afwijkingen van de curve te lokaliseren binnen het hart.



Christiaan Eykman 1858-1930

Nobelprijs voor geneeskunde en fysiologie 1929

'Een sekere moeyelijke sieckte plagh hier de mensen te plagen, die bij de Ingelanden Beriberij genoemt wert', aldus in 1645 Jacobus Bontius, dokter, apotheker, en opzichter van de chirurgijns in dienst van de Oostindische Compagnie. Beri-beri werd door hem beschreven als een ziekte waarbij de patiënten traag en waggelend lopen, en het lijkt alsof handen en voeten slapen. Als de toestand van de patiënt niet verbeterde trad een algehele verlamming van de ledematen op, waarna in vele gevallen de dood volgde.

Nederlandse onderzoekscmissie

In de negentiende eeuw nam het aantal lijdens aan beri-beri in Nederlands-Indië sterk toe. Vooral tijdens de Atjeh-oorlog kreeg de verspreiding in legerplaatsen en interneringskampen een epidemisch karakter, maar ook onder de armen in de grotere steden vielen meer en meer slachtoffers. Uit de ziekenrapporten uit die tijd kan men deze toename goed aflezen. In 1878 stierven er 300 van de 2400

beri-beri lijdens, zeven jaar later 700 van de 10.000. Omdat door het grote aantal zieken de gevechtswaarde van het leger sterk verminderde, besloot de Nederlandse regering in 1886 een wetenschappelijke onderzoekscmissie naar Nederlands-Indië te sturen, met de opdracht, aard en oorzaak van de beri-beri te onderzoeken. De commissie bestond uit de Utrechtse hoogleraar Pekelharing, de lector Winkler, en Christiaan Eykman als assistent. Zij onderzochten een aantal mogelijke oorzaken; de gedachte dat de bodem plaatselijk vergiftigd was werd spoedig verworpen, evenals het vermoeden dat rijst een giftig bestanddeel bevatte. De suggestie dat voeding met rijst leidde tot een gebrek aan vet en eiwit werd onwaarschijnlijk genoemd, omdat niet kon worden aangenomen dat ondervoeding tot storingen in het perifere zenuwstelsel zou leiden. Nee, de commissie meende dat beri-beri veroorzaakt werd door een bacteriële infectieverwekker. In het bloed van verschei-



dene zieken werden bacteriën aangetroffen die door de commissie tot mogelijke ziekteverwekkers werden verklaard. Dit vermoeden leek te worden bevestigd doordat beri-beri meestal een epidemisch verloop had. Ondanks de geringe bewijskracht van haar experimenten adviseerde de commissie de regering een wetenschappelijk medewerker aan te stellen, met als taak de infectietheorie verder op haar juistheid te toetsen.

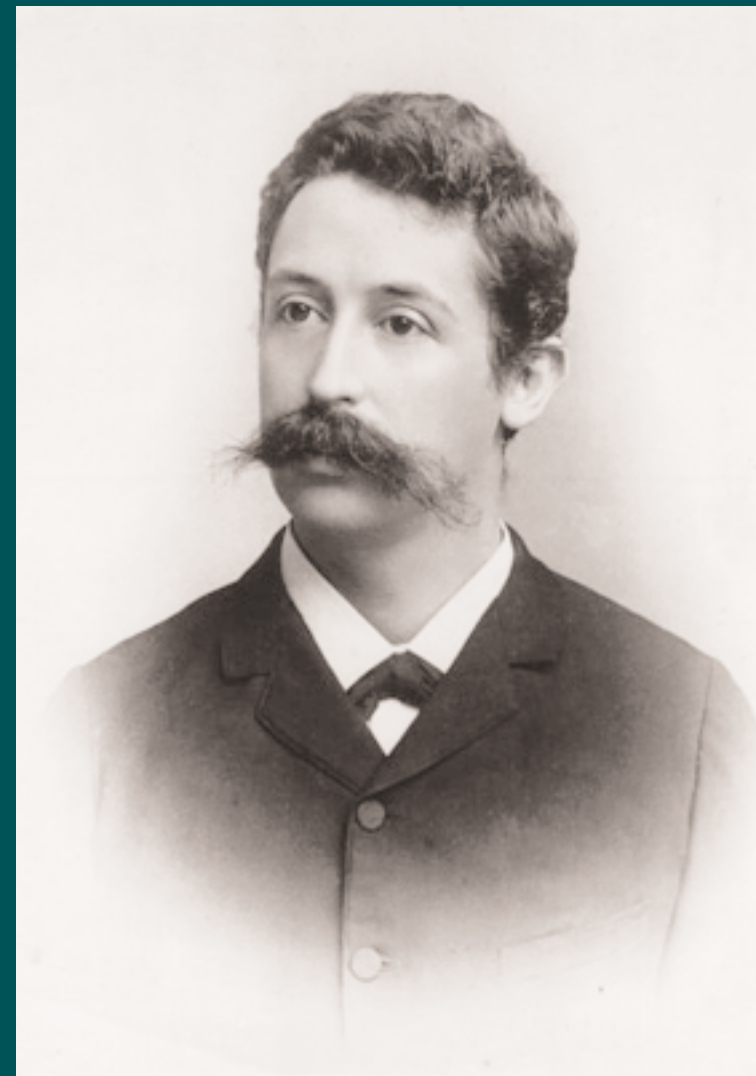
Christiaan Eykman

Zo kwam het dat, op voorstel van de onderzoekscommissie, in 1887 Christiaan Eykman werd benoemd tot directeur van het door Pekelharing in het leven geroepen laboratorium te Batavia-Weltevreden. Eykman nam van een aantal beri-beri patiënten bloedmonsters, die hij op de aanwezigheid van bacteriën onderzocht. In veel van deze bloedmonsters trof hij inderdaad de door de onderzoekscommissie opgemerkte bacteriën aan, maar als hij deze isoleerde en inspoot bij kippen, dan werden die kippen niet ziek. Ook werden ze niet ziek als hij ze direct met het bloed van patiënten infecteerde.

Natuurlijk was dit de genadeslag voor de infectietheorie. Men kan zich afvragen waarom er toch zo'n voorkeur bestond voor de infectietheorie, terwijl er maar weinig bewijzen voor waren. Dit wordt begrijpelijker als men zich realiseert dat juist in die tijd Pasteur en Koch de verwekkers van ziekten als hondsdolheid, cholera en tuberculose hadden geïdentificeerd als bacteriën. In de algemene opwinding die op deze ontdekkingen was gevolgd, was een geestdriftige jacht op ziekteverwekkende bacteriën op gang gekomen. Professor Pekelharing ging volgens sommigen in deze jacht wel eens te ver; hij werd dan ook wel spottend de 'bacillen-fanaat' genoemd.

Epidemie onder kippen

In Batavia schoot op dit moment het toeval de wetenschap te hulp: de speciaal voor Eykmans proeven gefokte kippen werden plotseling allemaal ziek. Ze vertoonden verlamningsverschijnselen aan de poten, hadden een waggelende gang en een groot deel van de kippen stierf uiteindelijk. De ziekte, welbekend in Nederlands-Indië, verdween echter even



plotseling als hij gekomen was. Oude zieke kippen werden beter en nieuwe kippen werden niet meer ziek. Nu deed Eykman zijn geniale waarneming: hij merkte op dat de kippen beter waren geworden nadat zij met rauwe rijst waren gevoed. Tot dan toe had men de kippen altijd gekookte rijst voorgezet, afkomstig uit de keuken van de legerplaats. Toen daar echter een nieuwe kok werd aange- steld, vond deze dat 'gouvernementsrijst' niet meer verstrekt mocht worden aan 'burgerkippen', waarna de overgang op ongekookte inlandse rijst het bovenver- melde resultaat gaf.

Zilvervliesje

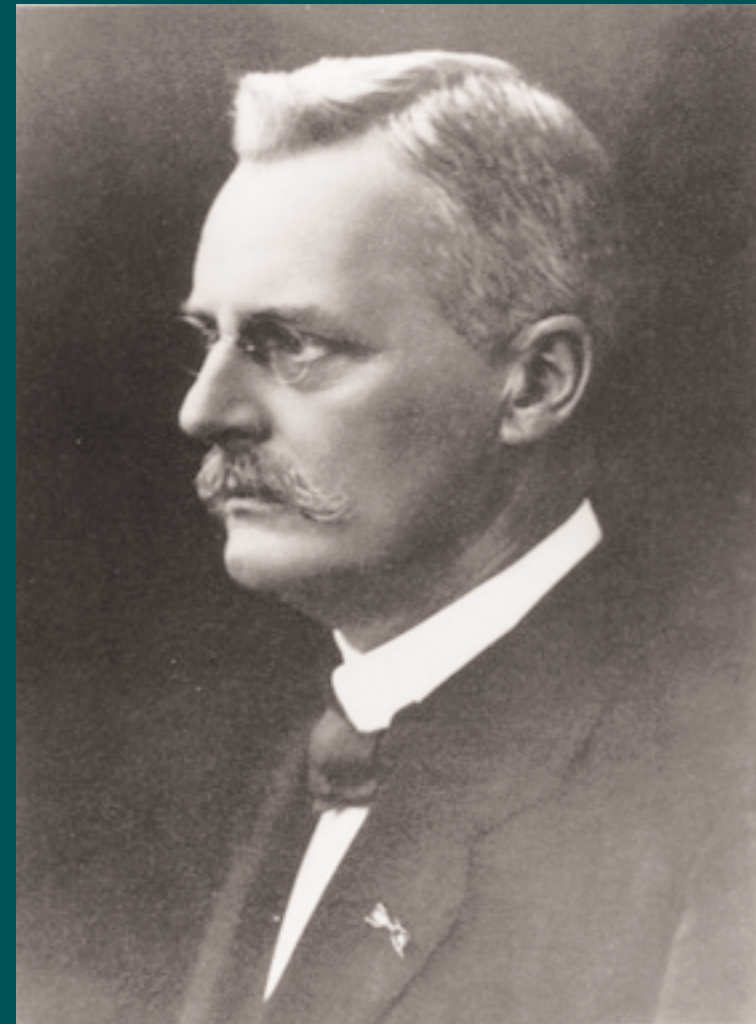
Na vele proeven met rode en witte rijst, al dan niet gekookt, kwam Eykman tot de conclusie dat de genezende werking gezocht moest worden in de aanwezig- heid van het zilvervliesje dat om elke rijst- korrel zit. Bij witte rijst laat het zilvervlies- je gemakkelijk los. Werden kippen met witte rijst zonder zilvervliesje gevoed, dan werden zij ziek. Bij voeding met rode rijst, waarvan het vliesje moeilijk te verwijde- ren is, werden zij niet ziek. Eykman dacht

dat de rijstkorrel een stof bevat die in sommige gevallen omgezet kan worden in een vergift. Deze omzetting zou kun- nen geschieden door een scheikundig proces van de stofwisseling of door lagere organismen in het darmkanaal. In het zil- vervliesje zou dan een stof aanwezig zijn, die het vergift neutraliseert dan wel het ontstaan van het vergift tegengaat. In zijn rapport van 1895 zegt Eykman verder dat, ook al is het verband tussen voeding en kippenpolyneuritis nu aangetoond, hier nog niet uit volgt dat ook het ont- staan van beri-beri bij mensen aan de voeding mag worden toegeschreven.

Vorderman

Vorderman, inspecteur van de gezond- heidsdienst op Java, dacht hier anders over. Toen hij de resultaten van Eykmans onderzoek vernam, realiseerde hij zich meteen dat hij nooit beri-beri had aange- troffen in gevangenen waar als hoofd- voedsel rode rijst werd verstrekt. Daar waar witte rijst gegeven werd kwam de ziekte wel voor. Hij schreef meteen aan alle hoofden van plaatselijk bestuur, die zijn veronderstelling bevestigden. Na een

Christiaan Eykman



grondig onderzoek kon hij in 1896 mededelen dat van de 100.000 gevangenen die onafgewerkte rijst kregen (d.w.z. met zilvervliesje), er slechts negen beri-beri hadden. Daar stond tegenover dat van de 150.000 gevangenen die geslepen rijst kregen (zonder zilvervliesje) er 4.200 ziek waren. Deze gegevens overtuigden een aantal medische autoriteiten in het geheel niet. Er moest een commissie komen om het verband tussen voeding en het vóórkomen van beri-beri te onderzoeken. Zo kwam het dat pas zes jaar later alle gevangenen onafgewerkte rijst kregen, waarna beri-beri bijna geheel is verdwenen.

Gerrit Grijns

Eén van de leden van de nieuwe commissie was Gerrit Grijns, die van 1892 tot 1894 assistent van Eykman was geweest, en nu, nadat Eykman in 1896 wegens ziekte naar Nederland was gegaan, terugkeerde naar het laboratorium in Batavia. Grijns' opdracht was de stoffen die in de rode rijst aanwezig zijn te onderzoeken op hun waarde in de beri-beri bestrijding. Op grond van zijn experimenten verwierp

Grijns eerst de mogelijkheid dat in bepaalde rijstsoorten een vergift aanwezig zou zijn. Evenmin kon hij bewijzen vinden voor de veronderstelling dat bijvoorbeeld een micro-organisme schade toe zou brengen aan de zenuwen, waarbij de voeding zou bepalen of de zenuw genoeg weerstand zou kunnen bieden. Ook vond Grijns dat de overeenkomst tussen kippenpolyneuritis en beri-beri groter was dan Eykman vermoed had. Na veel experimenten kwam hij tot de slotsom, dat beri-beri géén infectieziekte was en evenmin een vergiftigingsziekte. De oorzaak van beri-beri èn van kippenpolyneuritis was volgens hem 'een zuivere voedingsstoornis door onthouding'. In dit verband sprak hij van een 'partiële honger' van het lichaam naar bepaalde stoffen, een begrip dat later onder de naam 'vitamine' de voedingsleer en de geneeskunde drastisch zou veranderen.

Nobelprijs voor geneeskunde

Het verschil van mening tussen Grijns en Eykman over de oorzaak van beri-beri bleef in de eerste 25 jaar van de 20ste eeuw bestaan. Eykman hield stellig vast



LES PRIX NOBEL
EN 1929

ANTINEURITISCHES
VITAMIN UND BERIBERI

Nobel-Vortrag

von

CHRISTIAAN EIJKMAN

STOCKHOLM 1930
IMPRIMERIE ROYALE. P. A. NORSTEDT & FILS
249113

aan zijn eerder gedane uitspraken, en bleef zeer kritisch ten opzichte van nieuwe ideeën. Maar naarmate er meer gegevens bekend werden over andere voor het lichaam onontbeerlijke stoffen heide Eykman meer en meer naar het oorspronkelijke standpunt van Grijns over, waarbij hij echter vergat dat deze ideeën afkomstig waren van Grijns en dat hijzelf eerder een ander standpunt had ingenomen. In 1929 kreeg Eykman de Nobelprijs voor geneeskunde voor de ontdekking van het anti-neuritisch vitamine (vitamine B1). Niemand met kennis van Eykmans vroegste werk zal ontkennen dat deze prijs terecht is toegekend. Maar het blijft verwonderlijk dat hij hem niet heeft hoeven delen met Grijns, die in tegenstelling tot Eykman uit de proeven direct de goede conclusies had getrokken. Dat de Nobelcommissie Grijns vergat is merkwaardig, maar dat Eykman zelf hem vergat in zijn Nobellezing, waarin hij ook nog even het werk van Vorderman naar zich toetrok, is onbegrijpelijk. Het toont

echter wel aan dat grote geleerden niets menselijks vreemd is.

Petrus Josephus Wilhelmus Debije 1884-1966

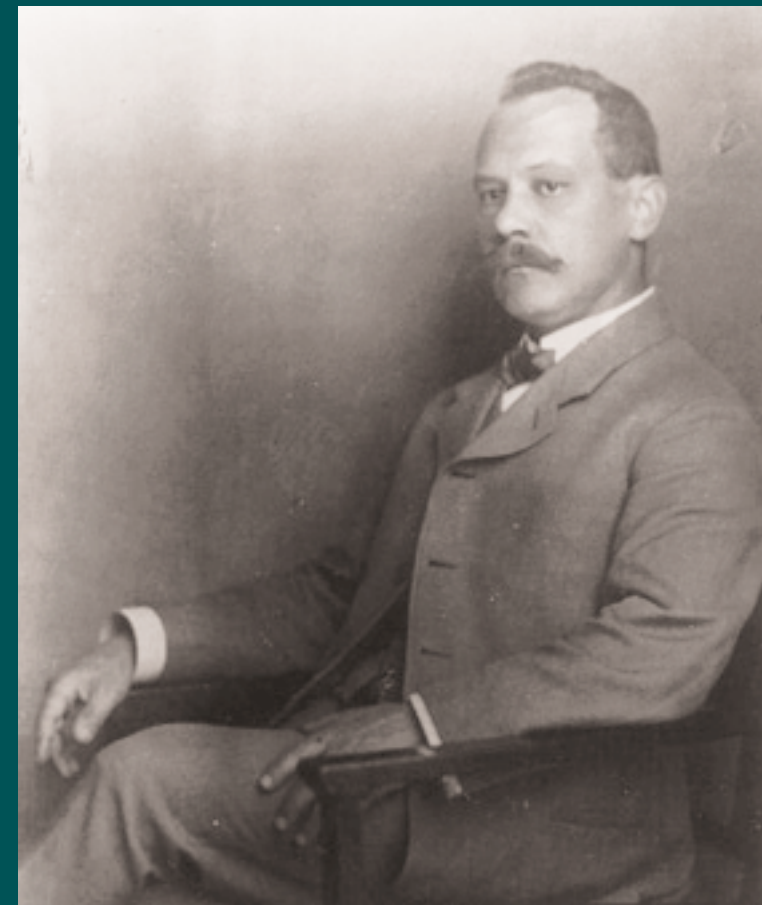
Nobelprijs voor scheikunde 1936

Typend voor Debije was zijn uitspraak: 'Aber das ist doch ganz einfach'. Peter Debije had een bijzondere gave, om ingewikkelde natuurkundige problemen te vereenvoudigen. Hij heeft verschillende problemen onder handen genomen, waarvan men al langer dacht, dat deze oplosbaar waren. Vóór Debije had echter nog niemand de oplossing kunnen vinden. Als een rode draad door zijn wetenschappelijke werk loopt Debije's belangstelling voor de structuur van atomen en moleculen. Op dit gebied heeft hij verscheidene belangrijke theoretische resultaten aan de natuurkunde toegevoegd. Deze resultaten heeft hij bovendien uitgewerkt tot meetmethoden, die vervolgens in de natuurkunde en de scheikunde veel gebruikt werden. In het eerste kwart van de twintigste eeuw vonden er grote veranderingen plaats in de natuurkunde. In die tijd werden twee belangrijke theorieën ontwikkeld: de relativiteitstheorie en de quantummechanica. Het is opvallend, dat Debije slechts een kleine bijdra-

ge geleverd heeft aan deze theorieën. Waarschijnlijk hadden ze zijn belangstelling niet zozeer. Daarvoor streefde Debije te zeer naar toepasbaarheid van zijn ideeën in de dagelijkse laboratorium-praktijk. Dat hij de ontwikkelingen wel gevolgd heeft, blijkt daaruit, dat hij ideeën uit de quantummechanica toegepast heeft in zijn eigen theoretische verhandelingen.

Moleculen

In 1936 ontving Debije de Nobelprijs voor scheikunde. Deze prijs werd toegekend voor zijn onderzoek naar de structuur van moleculen, en voor het ontwikkelen van meetmethoden voor dit onderzoek. Daarnaast heeft Debije zich nog met tal van andere zaken bezig gehouden, variërend van de soortelijke warmte van vaste stoffen, tot de verstrooiing van licht door een gas. Aan deze zaken heeft hij zowel een theoretische als een experimentele bijdrage geleverd. Het is dan ook tekenend voor zijn veelzijdigheid, dat hij als natuurkundige de Nobelprijs voor schei-



kunde heeft gekregen.

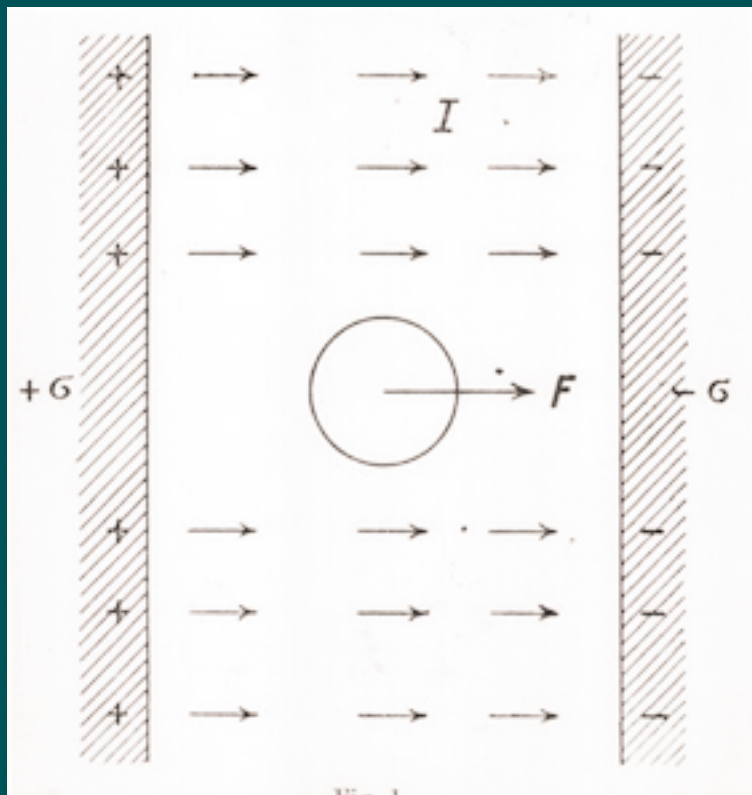
Loopbaan

Hoewel Debije Nederlander van geboorte was, heeft hij niet lang in Nederland gewerkt. Na zijn middelbare schooltijd in Maastricht ging hij studeren in het dichtbij gelegen Aken. Waarschijnlijk koos Debije om financiële redenen voor deze plaats. Het bleek een gelukkige keuze te zijn. In Aken werd hij 'ontdekt' door de beroemde natuurkundige Arnold Sommerfeld. Hij werd diens assistent, en toen Sommerfeld een beroep kreeg in München, ging Debije met hem mee. Bij die gelegenheid zei Sommerfeld: 'Debije, wir haben einen Ruf nach München'. Na München kreeg Debije aanstellingen in Zürich, Utrecht, Göttingen, Zürich, Leipzig, Berlijn en Ithaca in de Amerikaanse staat New York. Debije's benoeming in Berlijn tot directeur van het Kaiser-Wilhelm Institut für Physik vond plaats in 1934, het tweede jaar van het Nazi-bewind. Hij was daar de opvolger van Einstein. Als jood werd Einstein het leven zuur gemaakt. Debije heeft zich als Nederlander kennelijk niet verantwoorde-

lijk gevoeld voor wat er in Duitsland gebeurde. In tegenstelling tot zijn Duitse collega's hoefde hij geen loyaliteitsverklaring aan het regime te tekenen. Dat zou wel het geval geweest zijn als hij het Duitse staatsburgerschap had aangenomen. In 1940 probeerde men hem hiertoe te dwingen. Debije weigerde en week uit naar de Verenigde Staten. Na de oorlog nam Debije wel het Amerikaanse staatsburgerschap aan. In de Verenigde Staten kreeg Debije een aanstelling als hoofd van de scheikundefaculteit van Cornell University in Ithaca. Daar zou hij ook zijn verdere loopbaan blijven.

Diëlektrische constante

Zoals gezegd, is het onderzoek naar de structuur van moleculen niet het enige geweest, waar Debije zich mee bezig heeft gehouden. Toch kan dit onderzoek goed dienen, om een beeld te geven van Debije's manier van werken. Het heeft, zoals zoveel van zijn werk, zowel een theoretische als een experimentele kant. Het onderzoek hangt samen met twee totaal verschillende groepen van fysische verschijnselen, waaraan Debije gewerkt



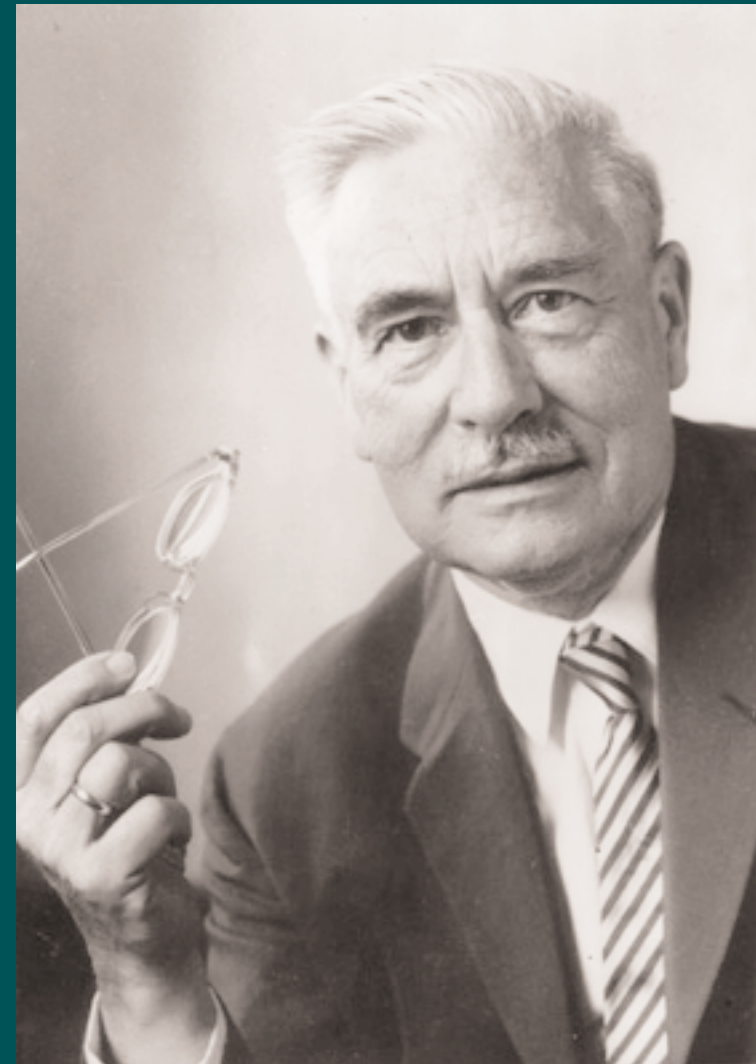
heeft. Te weten de verstrooiing van röntgenstraling en de diëlektrische verschijnselen.

De hoeveelheid elektrische lading, die men in een condensator kan opslaan, is afhankelijk van de stof (het diëlektricum) tussen de platen van de condensator. Hoe groter de diëlektrische constante van die stof is, des te meer lading kan er opgeslagen worden. De theorie van Faraday uit 1837 ging er vanuit, dat de positieve en de negatieve lading homogeen over het diëlektricum verdeeld zijn. Wanneer lading in de condensator opgeslagen wordt, worden de positief geladen deeltjes in het diëlektricum aangetrokken door de negatief geladen plaat, en andersom. Anders gezegd, de positieve en de negatieve lading in het diëlektricum worden een beetje ten opzichte van elkaar verschoven. Faraday's theorie kon echter niet verklaren waarom sommige stoffen een zeer grote diëlektrische constante hebben, die bovendien nog afhankelijk is van de temperatuur.

In 1911 heeft Debye de bovenstaande

theorie uitgebreid. Hij maakte daarbij gebruik van een analogie met de theorie over het paramagnetisme van de Franse fysicus Langevin. Debye veronderstelde namelijk, dat bij sommige stoffen de elektrische lading niet homogeen over de moleculen verdeeld is. Deze moleculen hebben een positieve en een negatieve kant of, zoals Debye het noemde, ze hebben een elektrische dipool. Wanneer in een condensator lading wordt opgeslagen, dan worden ook bij zo'n stof als diëlektricum de positieve en de negatieve lading ten opzichte van elkaar verschoven.

Maar bovendien richten de moleculen zich met de positieve kant naar de negatieve plaat en omgekeerd. Dit verklaart waarom de diëlektrische constante bij zulke stoffen zo groot is. Het verklaart ook waarom de diëlektrische constante van zo'n stof afhankelijk is van de temperatuur. Het richten van de moleculen wordt namelijk tegengewerkt door de botsingen tussen de moleculen onderling. En hoe hoger de temperatuur, hoe heftiger de botsingen.



Debye's theorie over de diëlektrische constante geeft een goede verklaring van de verschijnselen. De theorie biedt echter meer mogelijkheden. Wanneer namelijk de diëlektrische constante gemeten wordt, kan vervolgens de grootte van de elektrische dipool berekend worden. Daarmee ontstaat een nieuwe methode om iets te weten te komen over de ladingsverdeling (en de structuur) van een molecuul. Deze meetmethode is door Debye dan ook benut.

Röntgenstraling

Rond 1910 werd er onder andere door Sommerfeld in München belangrijk onderzoek gedaan naar de manier waarop atomen en moleculen in een kristal gerangschikt zijn. Daarbij liet men een smalle bundel licht door het kristal heen op een scherm vallen. De mate waarin de lichtstralen verstrooid worden, is afhankelijk van de afstand tussen de deeltjes in het kristal. Aan de hand van het verstrooiingspatroon (interferentiepatroon), dat op het scherm zichtbaar werd, konden berekeningen gemaakt worden over de structuur van het kristal. Naar aanleiding

van dit onderzoek kwam Max von Laue op het idee om in plaats van licht röntgenstraling te gebruiken. Uit dit idee ontwikkelde zich al snel een populaire analyse-methode. In de praktijk bleek het echter lastig om met kristallen te werken. In 1915 gebruikte Debye samen met zijn assistent Scherrer poeder in plaats van een kristal. Er was wel het nodige aan theoretisch werk aan vooraf gegaan, maar in de praktijk bleek de 'poedermethode' bijzonder vruchtbaar te zijn. Debye voerde dezelfde proeven ook uit met vloeistoffen en gassen in plaats van poeder. In zijn optimisme dacht hij bij deze proeven niet alleen tussen, maar ook in de moleculen te kunnen kijken. Het zou echter nog vele jaren duren voor het zover was. Pas in 1929 lukte het Debye om de afstanden van de atomen binnen een molecuul te meten door röntgenstralen door een gas te laten gaan. Bij de toekenning van de Nobelprijs is speciaal aan deze doorbraak gedacht.

Frederik Zernike 1888-1966

Nobelprijs voor natuurkunde 1953



Alsof de jojo-kampioen tot sportman van 't jaar was gekozen. Verrassend was het zeker dat de Nobelprijs voor natuurkunde in 1953 naar Frits Zernike ging. Jaar na jaar was deze belangrijke onderscheiding neergeploft tussen onderzoekers met moeilijke theorieën over het heelal of over elementaire deeltjes. Het fantastische en fascinerende veld waar de wetten van de relativiteit, van de golf- en quantummechanica gelden. Nu echter werd geen spectaculaire ontdekking beloond, evenmin een gedurfde hypothese of een fraaie wiskundige vergelijking, die alles verklaart. Nee, Zernike kreeg de prijs voor de verbetering van de klassieke microscoop. Hij had voor dit welhaast antieke instrument een optisch hulpmiddel ontwikkeld. Zijn vinding was nuttig, misschien zelfs grensverleggend ... voor anderen. Vooral biologen en geneesheren profiteerden ervan, voor fysici was het alleen maar curieus dat een vakbroeder de constructie had bedacht. Veel leek er

niet voor Zernike te pleiten. Toch verdiende hij de prijs ten volle om zijn doorzettingsvermogen, bescheidenheid en wetenschappelijk altruïsme.

Knutselaar en theoreticus

Bij zijn geboorte in 1888 had Zernike de voornaam Frederik gekregen, als Frits ging hij door het leven. Zijn ouders, bekende Amsterdamse onderwijzers met vooruitstrevende pedagogische ideeën, stimuleerden zijn brede, tegelijkertijd diepe belangstelling voor wetenschap en techniek, die zich al vroeg openbaarde. Op de HBS beschouwde hij andere vakken als ballast; zijn prestaties gaven blijk van deze overtuiging. Thuis ontwikkelde hij knutselactiviteiten die de gebruikelijke perken behoorlijk overschreden. Zo was hij een verwoed kleurenfotograaf. Gebrek aan zakgeld bracht hem ertoe zelf een camera te bouwen. Om dezelfde reden deinsde hij er niet voor terug in de ouderlijke woning ether te synthetiseren voor

F. Zernike achter de fasecontrastmicroscoop (foto: universiteitsmuseum Groningen)



experimentele doeleinden. Toch twijfelde ook toen niemand aan de brandbaarheid van deze stof. Zijn zenit bereikte hij met de vervaardiging van een telescoop. Een oude kijker, een tafelpoot, een afgedankte grammofonmotor en enig schroot veranderden daartoe van bestemming. Meer behoefte hij niet om een komeet te fotograferen. In 1905 ging Zernike in Amsterdam scheikunde studeren en het duurde niet lang voor hij de aandacht wist te trekken. Immers in 1908 al verwerfde hij een gouden medaille op een prijsvraag, die de Groningse universiteit had uitgeschreven, over kansen in het klok- en hamerspel, een toentertijd populair kaartspelletje. Vier jaar later bekroonde de prestigieuze Hollandse Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem zijn inzending over lichtverstrooiing, die enkelvoudige stoffen en mengsels in de nabijheid van de kritische temperatuur vertonen. Lorentz, Van der Waals en Haga vormden een jury van formaat. De aard van deze onderwerpen illustreert Zernikes brede kijk op een scheikundestudie. Wis- en natuurkunde verwaarloosde hij niet, integendeel, juist

de chemie hield hij na zijn afstuderen in 1913 voor gezien. Hij nam de vererende uitnodiging aan om assistent te worden van de befaamde astronoom Kapteyn en verhuisde naar Groningen. Het vervolg was toch anders dan gedacht, want bepalend voor zijn carrière werd de kennismaking daar met Leonard Ornstein, lector in de mathematische fysica. Hem dankte Zernike veel bij de bewerking van zijn proefschrift waarop hij in 1915 promoveerde. Zijn bekroonde Haarlemse prijsinzending had er de basis van gevormd. Vrijwel onmiddellijk daarna werd hij zelfs de opvolger van Ornstein, die hoogleraar in Utrecht werd. Zijn eigen benoeming als zodanig in Groningen kwam vijf jaar later. Ondanks de afstand continueerden zij hun wetenschappelijke samenwerking. Daarnaast had Zernike nog andere pijlen op zijn boog. Belangrijke theoretische bijdragen leverde hij op het gebied van de statistiek. In 1928 verscheen zijn bekendste artikel in het gezaghebbende standaardwerk *Handbuch der Physik*. Het bloed bleef echter kruipen waar het nauwelijks gaan kan. 's Avonds en vooral ook 's nachts knutselde Zernike op het labora-

*De doe-het-zelver Zernike achter de draaibank
(foto: Universiteitsmuseum Groningen)*



torium. Dat van theoretische fysica wel te verstaan! Zijn werkzaamheden resulteerden in het ontwerp van een gevoelige galvanometer, die door de Delftse firma Kipp en Zonen in productie genomen werd. Daarna verlegde hij zijn belangstelling naar de optica.

De fasecontrastmicroscop

In het begin van de 20e eeuw leek de microscoop volmaakt. Aan een verbetering zou weinig eer te behalen zijn. Zowel theoretisch als praktisch had Ernst Abbe, medewerker en later directeur van de Zeiss-fabrieken te Jena, dit instrument tot de bereikbare top gevoerd. Dit betekende niet dat elk pietepetierig object nauwkeurig kon worden waargenomen, maar de beperkingen lagen in de eigenschappen van licht, niet in het ontwikkelde systeem. Zo zijn details die minder dan ongeveer een tienmiljoenste millimeter uit elkaar liggen niet meer afzonderlijk te zien. De golflengte van het licht is eenvoudigweg te groot voor dergelijke subtiliteiten. Slechts een verandering van het medium kan uitkomst bieden. De elektronenmicroscop, die in 1933 door Ruska

ontwikkeld werd, zou daarin voorzien. Dat transparante objecten, de meeste micro-organismen, een vaag, mistig beeld leverden, vormde een ander probleem van de klassieke microscoop. Jammer, men schikte zich in dit ongemak en er was een truc. Deze doorzichtige preparaten konden gekleurd worden. Een omslachtig werk, maar erger was dat het organisme werd gedood. Het is Zernikes verdienste dat hij een andere oplossing bedacht, juist gebaseerd op het feit dat licht een golfverschijnsel is. Dit betekent dat licht voortdurend van intensiteit wisselt. De frequentie is echter zo verschrikkelijk hoog dat het oog er helemaal niets van merkt. Het stadium waarin de golf zich op een bepaald moment bevindt, wordt de fase genoemd. Lichtgolven die in gelijke fase verkeren, versterken elkaar. De fase kan ook tegengesteld zijn, wat resulteert in verzwakking en in het uiterste geval levert de combinatie van twee lichtgolven zelfs absolute duisternis op. Wat betekent dit voor de microscoop? De lichtgolven die door een microscopisch preparaat gaan worden verstrooid. De objectief-lens ver-

*Zernike test faseplaatjes op een optische bank
(foto: Universiteitsmuseum Groningen)*



zamelt ze tot een beeld. In dat beeld zijn deze golven een beetje in fase achtergegaan op de directe golven d.w.z. die langs het preparaat zijn gegaan. De laatste zijn gewoonweg sneller. Zernike manipuleerde de stralengang van de directe golven nauwkeurig door achter de lichtbron zowel een diafragma als een extra lens, de condensor, te zetten. Bovendien bracht hij achter de objectief-lens een filter aan, faseplaatje of fasering genaamd. Met dit filter verzwakte hij de intensiteit van de directe golf, maar tegelijkertijd vergrootte hij het faseverschil tussen de directe en de verstrooide golf. De fase van de één werd nagenoeg tegengesteld aan die van de ander. Het doorzichtige preparaat leverde zo een genuanceerd beeld, tot stand gekomen door lichtgolven die elkaar meer of minder uitdoven. Kort samengevat is de fasecontrastmicroscop te beschrijven als een instrument dat faseverschillen, waarvoor het oog volstrekt ongevoelig is, omzet in intensiteitsverschillen.

Miskeningen triomf

Op één van zijn werkzame avonden in 1930 kon Zernike zijn eerste faseplaatje

testen. De vervolmaking nam geruime tijd. Gepeuter, gepriegel en gepruts. In 1932 durfde hij zijn uitvinding in de openbaarheid te brengen. Vervolgens wendde hij zich tot de Zeissfabrieken, onbetwist de beste optische industrie ter wereld. Een enthousiast welkom verloopt meestal anders. Als dit ook maar enig praktisch nut heeft, dan zouden we het zelf al lang geleden hebben uitgevonden' luidde het commentaar van de verantwoordelijke ingenieurs, de heren Siedentopff en Zsigmudy. Voor de zekerheid patenteerde men de vinding toch maar. Thuis gaf hij enige fasecontrastobjectieven aan bevriende biologen. Niemand deed er iets fatsoenlijks mee. Vervelend en onverdiend; wrang was het echter dat de Wehrmacht in de jaren veertig plotseling wel belangstelling kreeg. Pas na de oorlog beleefde de fasecontrastmicroscop zijn eerste triomfen. Dat alle Duitse patenten vervallen waren verklaard, was een aardige meevaller. Met name het klinisch onderzoek profiteerde van de nieuwe methode. De Nobelprijs vormde een waardige compensatie voor zoveel gemiste kansen.

Zernike selecteert faseplaatjes (foto: Universiteitsmuseum Groningen)



Literatuur

[Over de Nobelprijs en de opbloei van de Nederlandse natuurwetenschap rond 1900:](#)

Crawford, E.,
The beginnings of the Nobel Institution. The science prizes 1901-1915. Cambridge (etc.), Cambridge University Press (etc.), 1984

Berkel, K. van,
In het voetspoor van Stevin. Geschiedenis van de natuurwetenschap in Nederland 1580-1940. Meppel (etc.), Boom, 1985

[Voor uitgebreidere biografieën met verdere literatuurverwijzingen:](#)

Gillispie, Charles Coulston,
Dictionary of scientific biography. Charles Coulston Gillispie, ed. in chief. New York, Scribner's, 1970-1980. 16 delen

Sevensma, T.P.
Nederlandsche heiden der wetenschap. Levensschetsen van negen nobelprijswinnaars. Amsterdam, Kosmos, 1946

Kox, A.J.
Van Stevin tot Lorentz. Red. A.J. Kox, M. Chamalaun. Amsterdam, Intermediair, 1980

Weber, R. L.
Pioneers of science. Nobel prize winners in physics. Ed. by J.M.A. Lenihan. Bristol (etc.), Institute of Physics, 1980
Nobel lectures. Including presentation speeches and laureates' biographies. Amsterdam (etc.), Elsevier, 1966. Physics. Chemistry. Physiology or medicine

Waart, A. de
Het levenswerk van Willem Einthoven 1860-1927 Haarlem, Bohn, 1957

Fournier. M.
Willem Einthoven. The electrophysiology of the heart. In: Medicamundi, 20(1976)p. 65-70

Reith, J.F.
Christiaan Eykman en Gerrit Grijns. In: Voeding, 32(1971)p. 180-195



Jansen, B.C.P.

Het levenswerk van Christiaan Eykman
1858-1930. Haarlem, Bohn, 1959

Brinkman, H.

Frits Zernike. Groninger nobelprijdrager
1888-1966. Onder red. van H. Brinkman.
Groningen, Universiteitsmuseum, 1988

Bovengenoemde boeken en tijdschriftarti-
kelen zijn aanwezig in de bibliotheek van
het Museum Boerhaave.




Help


De knoppen verklaren zichzelf wanneer je er met de cursor overheen komt. Aanklikken van **Museum Boerhaave Algemene Natuurwetenschappen** opent automatisch je browser en surft naar de ANW-site van het Museum Boerhaave. Daar vind je alle informatie betreffende ANW (Algemene Natuurwetenschappen). Je vind er het laatste nieuws, eventuele nieuwe publicaties, maar ook de instructies voor het maken van een werkstuk.


Het kopiëren van tekst en afbeeldingen

1. Selecteren

Toets "v". **Shift-v** verandert de cursor in respectievelijk:   en 

 dient voor het selecteren van tekst over de volle breedte van de pagina, neemt automatisch twee kolommen tegelijk mee;

 electeert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als tekst; ideaal om een (gedeelte uit een) kolom tekst te selecteren.

 selecteert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als afbeelding. Je kunt er afbeeldingen, maar ook tekst die je als fotootje wil gebruiken, mee selecteren.


2. Kopiëren

Nadat je de selectie gemaakt hebt kopieer je deze met het menu Wijzig > Kopieer, of toets Ctrl-C, of rechtsklik met de muis en kies Kopieer.

3. Plakken

Ga vervolgens naar je tekstverwerker (bijvoorbeeld Microsoft Word) en plak daar het gekopieerde in je werkstuk door middel van het menu Wijzig > Kopieer, of Ctrl-V, of rechtsklik > plak.

Terug naar normaal

Om terug te schakelen van de selectie-modus naar de normale lees-modus: toets "h" (van hand) en de cursor verandert weer in 

Tips

Gebruik Ctrl-pijltje naar links om terug te gaan naar eerder geraadpleegde pagina's en F5 om een extra venster te openen met klikbare gedetailleerde inhoudsopgave. Ctrl-1 om de weergave op 100% te stellen (dat is de beste weergavekwaliteit voor de afbeeldingen).



Index

A

abbé Nollet 6

Andrews 21

Arrhenius 6

asymmetrie 4

atomen 3, 4, 12, 33

Avogadro 6

B

bacteriën 29

beri-beri 28, 29, 30, 31

Bernoulli 17

Boltzmann 17

Boyle 6, 16, 17

Buys Ballot 4

C

cascade-methode 22

chemisch evenwicht 1, 5, 7

Clausius 17, 18

Cohen 6

condensatie 18

condensator 35

D

Debije 1, 33, 34, 35, 36

Dewar 22

Dewar-vat 23

Diëlektrische constante 1, 34, 35, 36

dipool 35, 36

druk 5, 6, 16, 17, 18, 21

E

Ehrenfest 9, 11

Einstein 9, 11, 34

Eindhoven 1, 24, 25, 26, 27, 41

elektriciteit 9

elektrocardiogram 24, 25, 27

elektromagnetisch 8, 9, 20

elektronen 8, 10, 11, 12

elektronenmicroscop 39

Elektronentheorie 1, 8, 9, 11, 15

ether 3, 8, 10, 21, 37

Euler 17

evenwichtsconstante 5

experiment 6, 12, 18, 20, 23, 24, 29, 31

Eykman 1, 28, 29, 30, 31, 32, 41, 42

F

Faraday 8, 14, 21, 35

fase 39, 40

fasecontrastmicroscop 1, 37, 39, 40

faseverschil 40

fysiologie 1, 2, 24, 28

fysische chemie 5, 7

G

galvanometer 25, 39

gas 16, 17, 18, 21, 22, 33, 36

Gay-Lussac 6

geneeskunde 1, 2, 24, 25, 28, 31, 32

gepolariseerd licht 4

golflengte 9, 39

Grijns 1, 31, 32, 41

Guldberg 5

Gunning 4

H

hart 24, 25, 26, 27

helium 1, 19, 20, 22, 23

heliumliquefactor 1, 16, 21, 23



- I
- isomeren 3
- J
- Joule** 22
- K
- Kamerlingh Onnes** 1, 10, 13, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23
- Kekulé** 3, 4
- Kelvin** 22
- Kolbe** 4
- Kölliker** 24
- koolstofverbindingen 3
- kristal 36
- kritische temperatuur 18, 21, 22, 38
- L
- Langevin** 35
- Le Bel** 5
- Le Châtelier** 6
- lens 40
- licht 8, 9, 10, 12, 14, 15, 33, 36, 39
- liquefactor 22
- Lorentz** 1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 38, 41
- Lorentz-contractie 1, 10
- M
- Maxwell** 9, 17
- melkzuur 3, 4
- Michelson** 10
- microscop 37, 39
- moleculen 1, 12, 17, 18, 19, 33, 34, 35, 36
- Morley** 10
- Müller** 24
- N
- natuurkunde 1, 2, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 33, 37, 38
- Nederlands-Indië 28, 29
- Newton** 16
- Nobel** 2, 41
- Nobelprijs 1, 2, 3, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 31, 32, 33, 36, 37, 40, 41
- O
- organische verbindingen 3, 4
- Ornstein** 38
- osmose 6, 7
- Osmotische druk 1, 6
- P
- Pekelharing** 28, 29
- Pfeffer** 6
- Planck** 11
- polarisatie 10, 12
- Q
- quantummechanica 33, 37
- R
- reactie 4, 5, 6
- reactiesnelheid 5
- relativiteitstheorie 11, 33
- rijst 28, 30, 31
- Romburgh** 6
- röntgenstraling 1, 35, 36
- S
- scheikunde 1, 2, 3, 7, 33, 38
- snaargalvanometer 1, 24, 25
- Sommerfeld** 34, 36
- spectraallijn 8, 10, 12, 13, 14, 15
- statistiek 38
- Stereochemie 1, 3



supergeleiding 21

T

temperatuur 5, 6, 17, 18, 20, 21, 22, 35

tetraëder 4

Teylers 11

Thompson 12

toestandsvergelijking 1, 17, 18

tralie 15

V

van 't Hoff 1, 3, 4, 5, 6, 7, 15

van der Waals 1, 9, 14, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 23, 38

vergift 30, 31

verlamming 28, 29

vitamine 31, 32

vloeistof 6, 17, 18, 19, 20, 21, 36

von Laue 36

Vorderman 1, 30, 32

W

Waage 5

Waller 24

Wislicenus 3

Wöhler 3

Wurtz 3

Z

Zeeman 1, 8, 10, 12, 13, 14, 15

Zeeman-effect 1, 8, 9, 10, 12, 14, 15

Zernike 1, 37, 38, 39, 40, 42

zilervliesje 1, 30, 31

Zuiderzee 11