

BIJZONDERE BIJEENKOMST
DER AFDELING NATUURKUNDE

op zaterdag 27 juni 1970, des namiddags te 3.30 uur,

voor de plechtige uitreiking van de *Lorentz-medaille*
aan Prof. Dr. G. E. UHLENBECK, Rockefeller University te New York

Voorzitter: P. J. GAILLARD
Secretaris: Mw. C. H. MACGILLAVRY

Buiten een aantal leden der Akademie zijn verschillende autoriteiten en verdere genodigden aanwezig.

De voorzitter opent de vergadering en heet de aanwezigen welkom, in het bijzonder Professor en mevrouw G. E. UHLENBECK, Mevrouw Dr. G. L. DE HAAS-LORENTZ en Prof. Dr. J. D. VAN DER WAALS jr.

Hierna geeft de voorzitter het woord aan Prof. Dr. J. DE BOER, die de keuze van de Commissie voor de Toekenning van de *Lorentz-medaille* zal toelichten en de heer UHLENBECK de medaille zal overhandigen.

De heer DE BOER spreekt de aanwezigen als volgt toe:

Waarde Uhlenbeck,

De commissie van de Akademie, die U voor de toekenning van de Lorentz-medaille heeft voorgedragen, heeft mij belast U bij deze plechtige en feestelijke gelegenheid toe te spreken en de overwegingen, die de commissie tot haar besluit hebben gebracht, uiteen te zetten.

Ik doe dit met des te meer vreugde, omdat ik mijzelf bij mijn eerste stappen op het gebied van de statistische mechanica in hoge mate door U geïnspireerd heb gevoeld, zoals U zelf in het begin der twintiger jaren bij Uw opleiding geïnspireerd bent door Lorentz en vooral ook door Uw leermeester Ehrenfest.

U betrad het terrein van de fysica in een tijd, waarin de z.g. oude quantum theorie van het atoom ontwikkeld door Bohr, Sommerfeld en Kramers zijn voltooiing naderde en de toenemende complexiteit van de experimentele situatie om fundamenteel nieuwe ontwikkelingen begon te

vragen. Toen U in 1924 assistent werd bij Ehrenfest heeft U dan ook tesamen met Goudsmit energiek gewerkt om U in de problemen van de toenmalige atoomspectroscopie in te werken. Het was een zéér ondoorzichtige rijstebrijberg van regels en quantumgetallen, zoals die bijvoorbeeld in de 850 pagina's tellende vierde druk van Sommerfeld's „Atombau und Spektrallinien" uit 1924 tot ons komt, niettegenstaande de optimistische woorden van Sommerfeld, die in de inleiding de wetten, die aan het licht gekomen waren en het inzicht wat in de theorie van de complexe spectra verkregen was, „von fundamentaler Schönheit" noemde.

De optredende overgangen en bijbehorende intensiteits- en interval regels hadden Sommerfeld al in 1920 genoopt, het z.g. quantumgetal van het totale impuls-moment in te voeren, dat de resultante is van het impuls-moment van het valentie elektron en het impuls-moment van de rest van het atoom: de atoomromp.

In de daarop volgende jaren wist Landé op grond van metingen van Back met zijn beroemde g-formule het anomale Zeeman-effect te verklaren door aan te nemen, dat voor de atoomromp de verhouding van magnetisch moment tot impuls-moment tweemaal zo groot was als voor de baanbeweging van het valentie elektron het geval is.

Pauli's beroemde artikel uit 1925, waarin hij voor het eerst het uitsluitingsprincipe formuleerde, ging echter uit van de opvatting, dat het vierde quantumgetal voor de atoomromp tot ernstige moeilijkheden aanleiding gaf en Pauli stelde daar met grote stelligheid tegenover, dat zowel de doublet structuur van de alkaliën als het anomale Zeeman-effect een beschrijving van ieder elektron door 4 quantumgetallen vereist, die we nu door n , l , j en m_j zouden aanduiden. Een punt elektron zou echter niet meer dan 3 quantumgetallen voor de beschrijving vergen en dit heeft Goudsmit en U er toe gebracht een beslissende stap te doen: U hebt toen ter verklaring van doublet structuur en anomaal Zeeman-effect met Goudsmit de gedurfde hypothese geformuleerd, dat het *elektron roteert met een eigen draai-impuls van een halve quantumeenheid* en dat de verhouding van het bijbehorend magnetisch moment tot dit draai-impuls tweemaal zo groot is als voor de baanbeweging geldt. Dit draai-impuls stelt zich met het impuls-moment van de baanbeweging samen tot het totale impuls-moment, dat door Sommerfeld's z.g. inwendig quantumgetal gequantiseerd wordt.

U heeft Uw nieuwe hypothese, mede dank zij de morele steun van Uw grote leermeester Ehrenfest, in oktober 1925 gepubliceerd en met grote helderheid uiteengezet waarom U daartoe gekomen bent en hoe het nieuwe model een synthese tot stand brengt tussen de opvattingen van Landé en die van Pauli. Dat ook Kronig, geheel onafhankelijk van U beiden, deze conclusie uit Pauli's artikel had getrokken, is later pas gebleken, maar U heeft dit idee met overtuiging doorgezet. Men had met de scepsis te kampen van enkele leidende theoretici in dien tijd, zoals Pauli, Heisenberg en Bohr, die beducht waren voor klassieke begrippen

en modellen, die de zich pas ontwikkelende quantummechanica vaak op een dwaalspoor hadden gebracht. U wist echter Bohr in de herfst van 1925 van de grote betekenis van dit mechanische model te overtuigen. In een tweede artikel, dat door U beiden nog in december werd voltooid, en dat toen door Bohr van een instemmend naschrift werd voorzien, hebt U daarop nog meer in detail de consequentie van de invoering van de spin aangegeven. U gaf daarin behalve de verklaring van de doublet structuur van de alkali spectra — alhoewel hier nog een onverklaarbare factor 2 bleek op te treden — óók een essentieel nieuwe opvatting van het *niveaux-schema van de relativistische fijnstructuur van waterstof*, die naar mij voorkomt niet voldoende aandacht heeft gekregen en waardoor tevens het experimentele voorkomen van enkele spectraallijnen werd verklaard, die in de toenmalige relativistische theorie van Sommerfeld verboden waren. Twee maanden later wist Thomas ook de factor 2 op te sporen, die U in de berekening van de doublet structuur van de alkaliën moeilijkheden had bezorgd en daarmee was dan definitief het succes van de spin van het elektron verzekerd.

Uw proefschrift „*Over statistische methoden in de theorie der quanta*”, waarop U in juli 1927 promoveerde, synthetiseerde de stormachtige ontwikkeling, die de statistische mechanica in het voorafgaande jaar had ondergaan als consequentie van de doorbraak van de quantummechanica: ik bedoel de interpretatie van de Bose-Einstein statistiek door Schrödinger, de statistiek van Fermi en Pauli voor een gas dat aan het uitsluitingsprincipe voldoet, en de terugvoering van deze beide statistieken door Dirac en Heisenberg tot de twee alternatieve symmetrie eisen, die aan meer-deeltjes toestanden gesteld moeten worden.

Teruggrijpend op het beroemde Encyclopedie-artikel van Uw leermeester en promotor Ehrenfest en aansluitend aan het werk van Pauli vroeger in dat jaar wist U door systematisch gebruik van de methode van de genererende functie en van de zadelpunt-methode niet alleen de z.g. Bose-Einstein en Fermi-Dirac statistiek vanuit één gezichtspunt te behandelen, maar bovendien werd de Boltzmann statistiek als gelijkwaardige partner voor niet gesymmetriseerde meer-deeltjes toestanden ook als quantum statistiek met de andere twee onder een noemer gebracht. U hebt daarbij ook geworsteld met de problematiek van de Bose-Einstein condensatie, waarbij de betekenis van Uw stellingname naar mijn oordeel eigenlijk pas een tiental jaren later goed tot zijn recht zou komen. Ik kom hierop nog terug.

Wat uit deze gehele eerste periode van Uw leven als fysicus al direct naar voren komt is de intensieve wijze, waarop U in de voorste rijen medeleeft met de stormachtige ontwikkeling, die toen de fysica revolutioneerde. Vaak is Uw werk verbonden met belangrijk nieuw onderzoek, dat slechts enkele maanden tevoren werd gepubliceerd, waaruit dus niet alleen een actief geïnteresseerd zijn, maar ook een grote gave tot eigen creatief deelnemen aan die ontwikkeling blijkt.

Spoedig na Uw promotie vertrok U naar de Verenigde Staten, waar U een professoraat aanvaardde aan de University of Michigan in Ann Arbor.

De grote diversiteit van onderwerpen, waarop U zich in deze eerste achtjarige Amerikaanse periode wierp, toont Uw zeer brede belangstelling. De verdere uitwerking van de *consequenties van de quantummechanica* voor de verschillende gebieden van de fysica was nog in volle gang en U heeft daaraan in deze en volgende jaren in de voorste rijen deelgenomen.

In een onderzoek over de *W.K.B. methode*, met L. A. Young, onderzocht U de z.g. „klassieke” limiet van de W.K.B. oplossing van de Schrödinger vergelijking, die voor een periodiek systeem een afleiding van de oude Bohr-Sommerfeld quantiseringsregels mogelijk maakt, maar nu met halfvallige quantumgetallen. Met Dennison paste U deze methode toe op de inversietrilling van Ammoniak, waarbij U in staat was de doublet opsplitsing van grondtoestand en eerste aangeslagen vibratietoestand, die door Dennison en Hardy kort te voren experimenteel waren gevonden, kwantitatief te verklaren uit de symmetrie eisen die aan de golf functie in dit twee-minima-probleem gesteld moeten worden. Dit probleem en zijn oplossing wordt thans nog altijd als een schoolvoorbeeld van de vele successen van de quantummechanica beschouwd.

Maar Uw hart trok U toch vaak naar Nederland terug, waarbij U enkele malen bij Kramers in Utrecht verbleef. In 1930 verscheen Uw publikatie tesamen met Ornstein over de theorie van de *Brownse beweging*, dat tot de klassieke basisgeschriften over de theorie van de Brownse beweging behoort en waarin U een zeer goed doordachte synthese en uitbreiding geeft van de bestaande theorieën voor de Brownse beweging zoals die door Einstein, Fokker en Planck, Von Smoluchowski en door Ornstein en Burger waren geformuleerd.

Uw belangstelling voor *de statistische mechanica*, voerde U ook spoedig naar de problemen, die zich voordoen bij de synthese met de quantummechanica. Weliswaar hadden London, Slater, Kirkwood en Margenau rond 1930 de nieuwe quantummechanica toegepast op de berekening van de intermoleculaire krachten, maar de toepassing op de statistische mechanica was toch nog maar beperkt gebleven tot het geval van het ideale gas, waar U zelf in Uw proefschrift van 1927 grote aandacht aan wijdde. Slater had in 1931 het equivalent van de Boltzmann-factor in de quantummechanica gegeven en door U werd toen met Gropper voor het eerst de berekening van de *toestandsvergelijking voor een niet ideaal gas in de quantummechanica* aan de orde gesteld, waarbij U er terecht op wees, dat de tweede viriaal coëfficiënt voor een quanteus gas niet additief is samengesteld uit de klassieke bijdrage en de al in 1925 door Einstein gegeven bijdrage van een ideaal Bose gas. Hier maakte U reeds uitvoerig gebruik van de conceptie van „schijnbare” attractie krachten — gevolg van het symmetriseringsproces van de golf functie van een ideaal

Bose-Einstein gas — die naast de gewone intermoleculaire krachten — die ondertussen ook quantummechanisch verklaard waren — de toestandsvergelijking bepalen.

Een uitermate belangrijke nieuwe ontwikkeling was echter ook Uw werk met Uehling in 1933 over de theorie van de *transportverschijnselen van quantum gassen*. Niet alleen gaf U hier de complete generalisatie van het Chapman-Enskog formalisme voor quantum gassen, inclusief de manier, waarop symmetriseringseffecten voor Bose-Einstein en Fermi-Dirac gassen in rekening moesten worden gebracht: bovendien was de presentatie een meesterstuk door de manier, waarop de toch wiskundig nogal onoverzichtelijke methodiek van Chapman en Enskog uitermate doorzichtig en systematisch werd gepresenteerd.

Met grote interesse moet U in deze tijd ook de fundamentele ontdekkingen gevolgd hebben, die de *kernfysica* een nieuwe impuls gaven: de ontdekking van het positon door Anderson en van het neutron door Chadwick in 1932 en van de eerste „kunstmatige” radioactiviteit door Joliot en Curie in 1934. Pauli's suggestie van het bestaan van het neutrino, dat samen met een elektron zou worden geproduceerd bij de omzetting van een neutron in een proton, maakte het Fermi in 1934 mogelijk de theorie te geven voor het energie-spectrum van de elektronen, die door β -radioactieve stoffen worden geëmitteerd. De theorie werd echter niet bevestigd door het β -spectrum van RaE, het eerste uitvoerige onderzoek, dat hierover werd gedaan. Dit bracht U direct daarna met Konopinski tot de suggestie van een modificatie van de β -interactie. Later bleek echter, dat de oorspronkelijke Fermi theorie door het spectrum van vele andere β -spectra wél bevestigd zou worden en dat het geval van RaE in hoge mate anormaal was, een situatie, die ook thans nog niet schijnt te zijn opgelost. Met Rose publiceerde U in hetzelfde jaar een artikel over de vorming van elektronen paren door interne conversie van γ -stralen — een soort intern foto-elektrisch effect vanuit de Dirac-zee — en ten slotte gaf U het jaar daarop met Knipp een verklaring voor een effect, waarvan de oorspronkelijke ontdekking terug gaat op Aston in 1927 en dat als interne remstraling bij β -emissie moet worden geïnterpreteerd. Met al deze onderzoekingen heeft U niet alleen op deze oorspronkelijke ontwikkelingen in de theorie van de β -radioactiviteit blijvend Uw stempel gedrukt, bovendien heeft U aan Konopinski en Rose die bezieling weten te geven, waardoor zij zich op dit gebied later tot experts ontwikkeld hebben.

Na Uw terugkeer naar Nederland in 1935, waar U tot opvolger van Professor Kramers was benoemd aan de Rijksuniversiteit van Utrecht, bent U zowel op het gebied van de kernfysica als van de quantumstatistische mechanica actief gebleven. Met Van Lier toonde U in 1937 aan op welke elegante wijze de methode van Darwin en Fowler gebruikt kan

worden voor het berekenen van de niveaudichtheid in zware kernen en de roem van Uw college kernfysica was in staat de gebruikelijke afstand tussen de Nederlandse universiteiten met glans te overbruggen.

Toch lag het zwaartepunt van Uw werk in deze jaren bij de *quantum-statistische mechanica*. Voortbouwend op Uw Amerikaanse resultaten leidde U met Erich Beth voor het eerst de exacte uitdrukkingen af voor de *tweede viriaal coëfficiënt* uit de toestands-vergelijking van Kamerlingh Onnes, waardoor een exacte toetsing van de resultaten van de quantum statistische mechanica met de experimentele gegevens binnen het bereik van de mogelijkheden kwam te liggen. U maakte daarbij al gebruik van de methode van Ursell. De ontdekking van de grote betekenis van deze methode juist voor de statistische mechanica van quantum-systemen, is ongetwijfeld aan U te danken.

Met Boris Kahn, die in Utrecht Uw naaste medewerker werd, heeft U daarop — mede geïnspireerd door het in 1937 verschenen werk van Mayer — met zeer veel succes verder gewerkt aan de quantum statistische mechanica van *gecomprimeerde gassen en van de gas-vloeistof condensatie*. De methode van Ursell maakte het mogelijk de resultaten van Mayer in overeenstemming met de quantum statistische mechanica te generaliseren, waarbij opgemerkt dient te worden, dat ook voor klassieke systemen de methode van Ursell het principiële voordeel heeft, dat geen aannamen over intermoleculaire krachten noodzakelijk zijn.

Het zal U ongetwijfeld een grote vreugde gegeven hebben, dat het nu mogelijk bleek een *volledige integratie* tot stand te brengen tussen de quantum theorie van het ideale Bose-Einstein en Fermi-Dirac gas, waaraan U in Uw proefschrift al grote aandacht had besteed, en de zo juist ontwikkelde quantum statistische mechanica van gecomprimeerde gassen, waarbij de Bose-Einstein condensatie — resultaat van de schijnbare moleculaire aantrekking ten gevolge van de symmetrisering van de golf-functies — het pendant wordt van de gas-vloeistof condensatie — resultaat van de Van der Waals-aantrekking tussen de moleculen.

Op het Van der Waals-congres, dat in 1937 in Amsterdam werd gehouden, kwam het *gas-vloeistof condensatie probleem* en de hierbij optredende discontinuïteit van de helling van de isotherm, eerst goed centraal te staan. Een cardinale vraag was of de berekening van de toestands-vergelijking met de partitiefunctie-methode van de statistische mechanica beneden de kritische temperatuur een continue isotherm met de metastabiele en instabiele stukken in het condensatiegebied zou opleveren dan wel een niet analytische curve bestaande uit een gas en een vloeistof tak verbonden door een horizontaal gedeelte in het condensatiegebied. Een theoretische berekening met de methoden van de statistische mechanica voor een systeem met een eindig volume leek altijd een analytische functie op te moeten leveren, iets wat U in feite in Uw proefschrift tien jaar eerder m.i. volkomen terecht ook voor de condensatie van het ideale Bose-Einstein gas hebt gesteld. Het niet analytisch gedrag van de reële isotherm

kan, zoals Kramers óók terecht opmerkte, alléén verklaard worden als men overgaat tot de z.g. thermodynamische limiet van oneindig grote volumina.

De door Mayer voorgestelde *theorie van de condensatie* werd door Kahn en U aan een diepgaande analyse onderworpen, waarbij de analogie met de Bose-Einstein condensatie een grote rol speelde. De grote theoretische problemen, waarvoor men bij de condensatie staat: het verklaren van het niet analytisch gedrag van de isothermen en van de coëxistentie van de gas en de vloeistof fase, zijn problemen, waaraan U ook in de laatste jaren weer opnieuw en met veel succes aan het werk bent. Wij komen hierop nog terug.

Na Uw terugkeer naar Ann Arbor in 1939 bent U de diepe interesse voor de statistiek blijven behouden, die Uw gehele verdere oeuvre heeft bepaald. Met Nordsieck en Lamb en met Scott heeft U Uw bekwaamheid getoond in het oplossen van de statistische problemen, die zich voordoen bij het Furry-model in de kosmische straling, dat toen in het centrum van de belangstelling stond. Vlak na de oorlog verscheen Uw klassiek overzichtsartikel met Mingh Chen Wang over de theorie van de Brownse beweging, waarin U het gebruik van de z.g. Fokker-Planck methode die gebaseerd is op de distributiefunctie voor de random variabele, die aan een soort diffusie vergelijking voldoet centraal stelde, en waarin gedemonstreerd wordt hoe deze methode resultaten geeft, die volkomen identiek zijn met die welke bereikt worden door uit te gaan van de bewegingsvergelijking voor de random variabele zelf. Evenals Uw vroeger artikel met Ornstein en het bekende artikel van Chandrasekhar behoort dit stuk thans tot de standaardliteratuur over de Brownse beweging.

Tesamen met Mrs. Wang Chang publiceerde U verder ook een groot aantal rapporten over de transportverschijnselen en de geluidsvoortplanting, dispersie en absorptie in verdunde gassen.

In het begin van de vijftiger jaren raakte U in samenwerking eerst met R. J. Riddell en later met G. W. Ford diep geïnteresseerd in de combinatorische telproblemen, die voortkwamen uit Mayer's ontwikkeling van de toestandsvergelijking in termen van diagrammen. U wist de hiermede samenhangende combinatorische problemen te plaatsen in het veel bredere mathematische kader van de *theorie van de „linear graphs”*. Ook mathematici, zoals F. Harary, wist U hierbij duurzaam te inspireren met de vragen, die door de statistische mechanica werden gesteld. Met gebruik van bloemrijke benamingen — oude gevestigde zoals: gewortelde en vrije Cayley bomen, en nieuwe zoals Cactussen en Husimi bomen, sterren en sterrebomen — en van de voor de meeste fysici in de wiskunde literatuur begraven liggende theorema's, zoals dat van Pólya uit 1937, maakte U van dit combinatorisch probleem niet alleen een bijzonder fraai hoofdstuk uit de statistische mechanica, maar U deed daarbij met Riddell en met

Ford in feite ook een enorme stap voorwaarts in de oplossing van een aantal concrete problemen. U heeft daarmee een zeer fundamentele bijdrage en een duurzame stimulans gegeven aan het theoretisch onderzoek op dit gebied.

Ondertussen had U zich in de tweede helft van de vijftiger jaren geworpen op een geheel ander zeer fundamenteel probleem uit de statistische mechanica: de *afleiding van de z.g. Boltzmann vergelijking* voor de één-deeltjes-distributiefunctie. Reeds Uw leermeester Ehrenfest had in zijn beroemd Encyclopedie-artikel uit 1911 de afleiding van deze vergelijking aan een kritische analyse onderworpen op grond van de paradoxale situatie, dat deze vergelijking het *niet*-omkeerbaar proces van een willekeurige begintoestand naar de Maxwell-Boltzmann evenwichtsverdeling beschreef, terwijl zij schijnbaar gebaseerd was op de *wel*-omkeerbare kinetische wetten der mechanica. De afleiding van deze Boltzmann-vergelijking van de één-deeltjes-distributiefunctie uit de — op de basis van de mechanica afgeleide — Liouville vergelijking voor het gehele systeem, was het centrale probleem waar het hier om ging. Dieper inzicht in de afleiding en mogelijke generalisatie van de Boltzmann vergelijking moest ook een uitbreiding mogelijk maken van de theorie van de transportverschijnselen tot hogere dichtheden. Reeds had Kirkwood vlak na de oorlog een eerste poging gedaan om door een „course graining” in de tijd een rechtvaardiging van de Boltzmann vergelijking te geven. Het is aan Uw inzicht te danken dat de inhoud van een belangrijke en zeer relevante publikatie van Bogoliubov van vlak na de oorlog grotere bekendheid kreeg en dat achter ondoorzichtige mathematische opzet een fysisch perspectief duidelijk werd: Het gehele proces van de instelling van het evenwicht van een gas, werd door U gezien als een proces van drie achtereenvolgende stadia: het initiële stadium, het kinetisch stadium en het hydrodynamisch stadium gekarakteriseerd door drie karakteristieke tijden: de moleculaire interactie tijd, de gemiddelde vrije tijd tussen twee botsingen en de macroscopische relaxatie tijd. Met het doorlopen van de stadia gaat samen wat U noemde een voortdurende „contractie van de beschrijvingswijze”. Alhoewel in het initiële stadium de ontwikkeling in de tijd in feite beheerst wordt door de totale gas distributiefunctie, die van $6N$ variabelen afhangt, wordt deze in het kinetisch stadium in feite bepaald door de één-deeltjes-distributiefunctie met 6 variabelen, terwijl in het hydrodynamisch stadium een beschrijving op basis van de 5 macroscopische hydrodynamische variabelen de lokale dichtheid, snelheid en temperatuur voldoende is. U schetste hiermede de statistisch mechanische rechtvaardiging van wat U later *de nulde hoofdwet van de thermodynamica* hebt genoemd, volgens welke een geïsoleerd systeem een toestand van thermisch evenwicht benadert, waarin alle macroscopische variabelen stationaire waarden bereiken.

Tesamen met S. T. Choh heeft U een belangrijk deel van dit programma gerealiseerd, waarbij de betekenis van Kirkwood's werk kon worden ge-

interpreteerd in termen van deze nieuwe ontwikkelingen, waarbij de origine en het effect van meervoudige botsingstermen in de kinetische Boltzmann vergelijking kon worden aangegeven en waarbij tenslotte de hydrodynamische Euler-Navier-Stokes-vergelijking tot in 2e orde kon worden afgeleid.

Deze onderzoeken zijn de stimulans geweest voor het werk van een groot aantal andere onderzoekers, waaronder ik in het bijzonder ook Uw huidige collega Cohen wil noemen.

In 1961 verliet U de University of Michigan en werd U verbonden aan het Rockefeller Institute in New York. Hier bent U opnieuw geheel geabsorbeerd geraakt in de problematiek van de *gas-vloeistof condensatie*, waarbij de inspirerende samenwerking met Mark Kac, die ook aan hetzelfde instituut verbonden werd, van zeer grote invloed was. Kac had in 1958 de partitiefunctie van een ééndimensionaal harde stokjes gas bestudeerd, met een exponentieel verlopende intermoleculaire attractie potentiaal en aangetoond, dat geen fase overgang optreedt. Samen met Kac en Hemmer toonde U aan, dat, indien men na het nemen van de thermodynamische limiet de range van de potentiaal naar oneindig laat gaan, zo dat de integraal over de attractie energie eindig blijft, men dan als resultaat krijgt de ééndimensionale *wet van Van der Waals*, maar zonder de metastabiele en labiele gedeelten, d.w.z. met een gas- en vloeistof tak verbonden door een horizontaal 2-fasen stuk. In dit tussenstuk zijn de distributiefuncties lineaire combinaties van die van de vloeistof en de gasfase, terwijl in het één-fase gebied de paar distributiefunctie zich volgens de Ornstein-Zernike theorie gedraagt, die van ouds met de Van der Waals theorie geassocieerd was.

Door dit werk kwam de grote *betekenis van de wet van Van der Waals* opnieuw centraal te staan maar niet alleen dat: Er was nu een aanpak van de berekening van de partitiefunctie gegeven, die in principe verbetering en meenemen van hoger orde correctietermen toeliet.

Daarbij kwam, dat enkele jaren later ook het singulier gedrag van de thermodynamische grootheden in de buurt van het kritisch punt door het werk van Widom, Fisher, Griffith en vele anderen de grootste belangstelling wekte en ook hier werd de wet van Van der Waals en daarmee equivalente approximaties in andere systemen, bijna 100 jaar na het verschijnen van de dissertatie van J. D. van der Waals opnieuw het meest bediscussieerde en vanzelfsprekende uitgangspunt van het onderzoek op dit gebied. Uw onderzoeken en vele voordrachten op dit gebied hebben ongetwijfeld een zeer belangrijke rol gespeeld bij de huidige positie bepaling van het werk van Van der Waals in het gehele onderzoek van de fase overgangen.

Laat mij hiermede volstaan. Ik heb getracht de gang van Uw onderzoeken te volgen. Veel moest daarbij onbesproken blijven, doch ik

hoop te hebben aangetoond, hoe de hoogtepunten van Uw onderzoekingen eigenlijk ook de grote stadia van de gehele ontwikkeling van de statistische mechanica markeren en hoe U bij deze gehele ontwikkeling een stimulans van de eerste orde bent geweest.

Het is thans alreeds 45 jaar geleden, dat onze Akademie naar aanleiding van het vijftigjarig doctorsjubileum van H. A. Lorentz, de Lorentz-medaille heeft ingevoerd, waarmede zij iedere vier jaar een fysicus wegens zijn zeer bijzondere verdiensten kan eren. De generatie, die thans de fysica representeert, kan met Lorentz slechts uit zijn geschriften kennis maken, en zelfs onder de iets ouderen, waartoe ik mijzelf reken, zijn er velen, die de grote gaven van Lorentz slechts uit overlevering kennen. Toch menen wij er zeker van te zijn, dat juist die eigenschappen en gaven van U, die zo onze algemene bewondering wekken, wezenlijke trekken zijn, die ook Lorentz bezat: we eren in U de mens, de onderzoeker en de leraar, die op vele gebieden der fysica, en in het bijzonder op die van de statistische mechanica, vóór is gegaan, de weg gebaand heeft en vele perspectieven voor de toekomst heeft geopend.

Laat mij thans in naam van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen als teken van onderscheiding en symbool van onze grote waardering de Lorentz-medaille, die de beeltenis van Lorentz, tesamen met Lorentz' en Uw naam, bevat, overhandigen.

Nadat de heer DE BOER de medaille aan de heer UHLENBECK heeft overhandigd, wenst de voorzitter de heer UHLENBECK namens de Akademie van harte geluk met de hem toegekende onderscheiding.

Het woord is hierna aan de heer UHLENBECK:

Mijnheer de Voorzitter, Dames en Heren Leden van de Akademie, zeer geachte toehoorders,

Laat mij in de eerste plaats mijn diepe dank betuigen voor de hoge onderscheiding die U aan mij verleend heeft. Dat ik door deze medaille met de grote en diep vereerde naam van Lorentz word verbonden, is een eer die mij bescheiden maakt, ook al vanwege het feit dat Kramers en Debye de enige Nederlandse Lorentz-medailisten zijn geweest. Zoals ik aan Uw secretaris schreef, ik weet niet of ik in dit gezelschap thuis hoor, maar desondanks voel ik mij zeer gevleid.

In de tweede plaats ben ik er zeer erkentelijk voor dat de medaille mij toegekend is op grond van mijn bijdragen tot de statistische mechanica. Zoals ik vaak gezegd heb, ik ben er erg trots op, dat ik door Ehrenfest een „Enkelschüler” van Boltzmann ben. Dit is in alle bescheidenheid bedoeld. Ik wil er niet mee zeggen dat ik in *dit* gezelschap thuis hoor! Maar door het voorbeeld van deze twee grote leermeesters hebben de problemen van de statistische mechanica mij altijd erg geboeid. Ik ben er steeds op teruggekomen en het doet mij daarom veel genoegen te horen dat mijn werk gewaardeerd werd.

Zijn de problemen van de statistische mechanica echt fundamenteel? Ik ben over deze vraag vaak van mening veranderd en bij deze gelegenheid mag ik hierover misschien wat uitweiden.

Als jong student leek mij de kinetische theorie der materie *het* voorbeeld van een theorie die werkelijk wat verklaarde. Ik had met zorg en moeite de Vorlesungen über Gastheorie van Boltzmann en de Elementary Principles of Statistical Mechanics van Gibbs doorgewerkt. Veel was mij ontgaan, en het werd pas duidelijk toen ik het beroemde Encyclopedie-artikel van de Ehrenfest's in handen kreeg. Het was een openbaring, niet alleen door de grote helderheid maar ook door de zorgvuldige opsomming van de reeks lacunes (meer dan twaalf!) in het werk van de grootmeesters. Zij waren als het ware de grensposten van het bekende gebied en daardoor wist een jong student wat de echte problemen waren. Hoe moeilijk is het om dat tegenwoordig uit te vinden! Door de pollution van de wetenschappelijke literatuur kost het enorm veel tijd om het heldere water, de fundamentele bijdragen op te sporen en dit geldt niet alleen voor de student maar ook voor elke onderzoeker zodra hij tracht iets te leren buiten zijn gebied van expertise, zoals ik uit eigen ervaring weet.

Hoewel ik braaf mijn examens gedaan had, wist ik in die tijd heel weinig van de quanten theorie en nog minder van de theorie der spectra. Dat leerde ik pas dank zij de hulp van Goudsmit toen ik in 1925 uit Rome terugkwam en assistent van Ehrenfest werd. Over de samenwerking met Goudsmit, die ik nooit zal vergeten, en die zoals collega De Boer U vertelde heeft geleid tot de ontdekking van de elektron spin, wil ik niet verder uitweiden. Zowel Goudsmit als ik hebben onze herinneringen aan deze onvergetelijke tijd al vaak verteld. Ik spreek er alleen over omdat in die tijd mijn opvatting over de statistische mechanica helemaal veranderde. Het leek mij toen duidelijk secundair. De quanten mechanica leverde de grondslagen en daaruit zou *alles* volgen, ook het gedrag van gassen, vloeistoffen en vaste stoffen. Het leek mij bevestigd door het succes van de elektronen-theorie der metalen. Zoals Pauli en Sommerfeld (beiden Lorentz-medailisten!) aantoonde, verdwenen alle moeilijkheden in één slag als men de ware quantum-statistiek toepaste. Er bleven wel enige raadsels over, zoals de suprageleiding, maar in ons optimisme dachten wij dat dat ook wel terecht zou komen. Mijn dissertatie van 1927 over de statistische methoden in de theorie der quanta was dan ook een soort optimistische synthese van het Encyclopedie-artikel van Ehrenfest en de nieuwe quantum-mechanische ideeën. Het aantal onbewezen veronderstellingen werd tot drie herleid!

Later in Ann Arbor door de invloed van de mooie experimenten van N. H. Williams over de z.g. shot en thermische ruis, heb ik mij zeer verdiept in de theorie van de Brownse beweging, een van de mooiste toepassingen van de statistische mechanica. Ik vond het erg interessant, maar het was natuurlijk niet fundamenteel! Ik herinner me nog goed dat toen ik het aan Pauli vertelde, hij het „Desperationsphysik” noemde.

Ik vond dat niet aardig, maar ik was het eigenlijk helemaal met hem eens. Voor een fysicus uit de quantum-mechanica generatie, waartoe ook ik behoorde, waren in de dertiger jaren de echte fundamentele problemen de theorie van het positron, de quantum-elektrodynamica en de opkomende theorieën van de structuur van de atoomkern en van de β -radioactiviteit. Daaraan behoorde men te werken!

Laat mij hier reeds opmerken dat het beeld van de vooruitgang van de wetenschap als een soort verovering van een onbekend gebied met een duidelijke „frontier” en met successieve „doorbraken”, mij hoe langer hoe meer een romantische illusie toeschijnt. Ik kom er nog op terug. Het beeld was duidelijk geïnspireerd door de grote „doorbraak” van de quantum-mechanica en het heeft een lange tijd mijn oordeel en werk beïnvloed. Ja, ik mag wel zeggen: ik heb eraan gesukkeld!

Mijn mening over het fundamentele karakter van de statistische mechanica begon te veranderen in 1937-'38 toen ik samen met Boris Kahn mij verdiepte in de z.g. condensatie-theorie. De vraag waarom een gas beneden een scherp bepaalde kritische temperatuur en bij een scherp bepaalde dichtheid condenseert, was sinds Van der Waals eigenlijk nooit aan de orde gesteld, en het leek ons erg moeilijk om het precies te begrijpen. Daarbij kwam dat in de levendige discussie over deze vraag gedurende het Van der Waals congres in 1938 het zelfs betwijfeld werd dat de grondveronderstellingen van de statistische mechanica in principe een antwoord bevatten. Laat mij direct zeggen dat deze twijfel niet gerechtvaardigd bleek, maar het maakte een grote indruk op mij. Als zulke welbekende verschijnselen als het evenwicht van vloeistof en damp, en het bestaan van een kritische temperatuur nog steeds niet echt begrepen waren, dan was het gebied niet veroverd, dan was niet alles „in principe” verklaard en dan waren er fundamentele aspecten van de statistische mechanica die ik niet geapprecieerd had.

Tussen twee haakjes, omdat ik eerder Pauli noemde: toen ik het artikel van Kahn en mij over de condensatie-theorie aan Pauli toonde, keek hij het door en zei: „Ja, das musz man lesen”. En hij heeft dat ook gedaan en hoewel hij een beetje spotte over de quasi-wiskundige strengheid van ons werk, heeft hij het fundamentele karakter van het probleem geloof ik echt gewaardeerd.

Later, na de oorlog, bleef ik de nieuwe ontwikkelingen in de quantum-elektrodynamica en in de theorie der β -radioactiviteit volgen, en ik heb er soms wat toe bijgedragen. Maar mijn belangstelling ging meer en meer uit naar de fundamentele kwesties in de statistische mechanica. In de vijftiger jaren ben ik begonnen samen met mijn leerling en vriend wijlen T. H. Berlin, een boek te schrijven over de statistische mechanica. Ik hoopte dat het een gemoderniseerde en uitgewerkte editie zou worden van het Encyclopedie-artikel dat zo'n indruk op mij gehad had. Ik hoopte, dat wij op dezelfde kritische wijze als de Ehrenfest's de fundamenten van de theorie zouden kunnen vaststellen en dat wij dan duidelijk zouden

kunnen maken wat de fundamentele, nog onopgeloste problemen waren. Kortom, om een mode-woord te gebruiken, ik hoopte dat wij de *structuur* van de statistische mechanica zouden kunnen ontdekken.

Wij hebben er hard aan gewerkt en zijn niet ver gekomen. En nu, na de plotselinge dood van Ted Berlin in 1962, zal ons plan waarschijnlijk nooit gerealiseerd worden. Toch heb ik er veel van geleerd en ik heb het gevoel dat ik tenminste voor de klassieke statistische mechanica de structuur wel zowat begrepen heb. Ik geloof dat men steeds moet onthouden dat de taak van de statistische mechanica is: de bestudering van de *relatie* tussen de macroscopische beschrijving van de fysische verschijnselen en de microscopische, moleculaire beschrijving. De twee wijzen van beschrijving zijn in zekere zin autonoom, maar ze liggen zo te zeggen op een verschillend niveau en zijn daardoor zelfs kwalitatief geheel verschillend. Als men hieraan vasthoudt, dan ziet men dat door de grootmeesters Boltzmann, Gibbs, Einstein, Ehrenfest, Smoluchowski, de ware grondslagen gelegd zijn waarop men moet voortbouwen. Men ziet dan ook dat er vele onopgeloste problemen zijn, zoals het probleem van de condensatie en van andere z.g. fasenovergangen, waaraan hard gewerkt wordt. Al deze problemen zijn erg moeilijk, maar ze zijn „bien posés” zoals een wiskundige zou zeggen, en men kan dus aan de gang gaan.

De situatie ligt mijns inziens anders voor de quantum-theorie. De verhouding tussen de klassieke en de quantum-mechanische beschrijving van de moleculaire verschijnselen is wel zowat duidelijk, maar dit is *niet* het geval voor de verhouding tussen de quantum-mechanica en de macroscopische theorie. Ik ben mij bewust dat deze opvatting niet gedeeld wordt door het merendeel van mijn vakgenoten. Ik geloof dat de meest verbreide mening is dat de quantum-mechanica op een natuurlijke wijze zo te zeggen „geënt” kan worden op de klassieke statistische mechanica van Boltzmann en Gibbs, en dat dus de quantum-statistische mechanica essentieel niets nieuws vereist. Ik heb dat vroeger ook gedacht (zie mijn dissertatie!), maar ik ben er langzamerhand van teruggekomen. De recente ontdekkingen van de z.g. macroscopische quantisatie- en interferentieverschijnselen in vloeibaar Helium en suprageleiders hebben een grote indruk op mij gemaakt. Zij tonen m.i. aan, dat de bestaande theorieën van de suprageleiding en van de suprafluiditeit geen volledige verklaring geven en dat de ware macroscopische beschrijving van de z.g. supra-vloeistoffen nog steeds niet gevonden is. Het zou mij niet verbazen dat dit komt omdat de grondslagen van de *quantum* statistische mechanica nog niet voldoende opgehelderd zijn. Men behoeft slechts te denken aan de z.g. persisterende stromen om twijfel te voelen opkomen over de algemene geldigheid van de ergodische theorema's in de quantum-theorie. Zulke vragen maken de lage temperatuur fysica voor mij zo fascinerend. Het heeft een verjongende invloed op mij uitgeoefend, en ik ben ervan overtuigd dat op dit gebied of als men wil aan deze „frontier” van de natuurkunde nog veel te doen is en dat diepe verrassingen mogelijk zijn.

Omdat ik het woord frontier gebruikte, laat mij tenslotte nog even terugkomen op het romantische beeld van de vooruitgang van de wetenschap, dat ik eerder schetste. Ik geloof er niet meer aan. Er zijn vele frontiers en het komt eigenlijk neer op het feit dat in de wetenschap men *soms* van vooruitgang kan spreken. Als er vooruitgang is dan is er een frontier, niet andersom. En wat betreft de richting van de vooruitgang volgt iedere onderzoeker zijn eigen neus en hij doet wat hij kan. Dit geldt m.i. zowel voor de ruimtevaart als voor de hoge-energie-fysica en de radio-astronomie. Men doet ze omdat zij mogelijk zijn, en zolang de materiële middelen niet te exorbitant worden moet men er natuurlijk mee doorgaan. Maar ik vind dat men zich verzetten moet tegen alle moden en prestige-argumenten. Er *is* geen natuurlijke hiërarchie van problemen, en bovendien zoals Poincaré reeds opmerkte: een probleem is nooit volledig, maar altijd slechts min of meer opgelost.

Het lijkt mij beter om de vooruitgang van de wetenschap te zien als het uitbreiden van verschillende cirkels van onderzoek, ieder autonoom en vaak schijnbaar geheel onafhankelijk van elkaar. De diepe vragen zijn m.i. altijd hoe deze gebieden samenhangen, hoe men tot een grotere eenheid komt. Bijvoorbeeld het biologische en het fysico-chemische onderzoek vormen twee van zulke grote cirkels. Hun samenhang lijkt mij een van de diepste vragen die de mens zich stellen kan, een echt mysterium tremendum. Op een veel kleinere schaal vormen de macroscopische en moleculaire fysica twee van zulke cirkels en de statistische mechanica tracht hun samenhang te doorgronden.

Mijnheer de Voorzitter, ik hoop dat ik heb weten uit te drukken wat mij aangetrokken heeft tot de statistische fysica en waarom ik dus zo erkentelijk ben voor deze onderscheiding voor mijn werk in dit gebied van de natuurkunde.

En laat mij tenslotte Collega De Boer bedanken voor zijn diepgaande bespreking en waardering van mijn werk en Mevrouw De Haas-Lorentz en Professor J. D. van der Waals Jr. voor hun aanwezigheid.

Ik dank U allen zeer.

De voorzitter dankt de heer UHLENBECK voor zijn uiteenzetting en sluit, nadat hij zijn erkentelijkheid jegens de Commissie voor de toekenning van de *Lorentz-medaille* heeft uitgesproken, de bijeenkomst.