

Bijzondere bijeenkomst der Afdeling Natuurkunde

op zaterdag 30 september 1978
Uitreiking van de Lorentz Medaille aan

Professor N. Bloembergen
Harvard University, U. S. A.

Voorzitter: J. Lever
Secretaris: F. A. Stafleu

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 Bloembergen en hun dochter, de Minister voor Wetenschapsbeleid, de vertegenwoordiger van de Ambassadeur van de Verenigde Staten en de Consul-Generaal.

Hierna geeft de voorzitter het woord aan Prof. Dr. J. H. van der Waals, die de keuze van de Commissie voor de Toekenning van de Lorentz Medaille zal toelichten en de heer Bloembergen de medaille zal overhandigen.

De heer Van der Waals spreekt als volgt:

Waarde Bloembergen,

Vandaag zal aan U de twaalfde Lorentz medaille worden uitgereikt. Uw voorganger in de reeks, Van Vleck, kon zijn dankwoord nog met de volgende herinnering beginnen:

I like to recall that in 1922 I heard the three lectures he (Lorentz) gave at Harvard, and I was thrilled to have the opportunity of shaking his hand. At the time I was only a graduate student. I am now 75 years old, Lorentz was two generations older than I, and very possibly I will be the last Lorentz medalist to have ever seen him.

Ik denk dat Van Vleck's vermoeden gerechtvaardigd is en dat de kleine Nicolaas, evenmin als ik, het voorrecht heeft gehad to be thrilled when Lorentz shook his cradle.

Zoals Casimir bij de vorige uitreiking aan Van Vleck opmerkte is het feit dat de meesten hier Lorentz niet gekend hebben en dat hij voor ons "geschiedenis" is geen tragiek, ook al zullen sommigen een "faint nostalgia" voelen. Wat echter de jury bijzonder verheugt, is dat er zo'n duidelijk spoor loopt van het fundamentele werk van Lorentz naar Uw eigen bijdragen tot de natuurkunde. Een spoor waarvan U zichzelf bewust blijkt te zijn en dat gaat via het werk van voorafgaande laureaten, zoals Debye, Kramers en Van Vleck.

De biografische gegevens, die mij over het begin van Uw wetenschappelijke loopbaan ter beschikking staan, zijn schaars. Na Uw studie in Utrecht en in de ontreddeering veroorzaakt door de oorlog, blijkt de glans van de Amerikaanse fysica een grote aantrekking op U te hebben gehad. Maar net als voor de emigranten van een eeuw voordien, die door de verhalen over goud in de bodem van Californië westwaarts werden gedreven, zal voor U het begin zeker niet gemakkelijk geweest zijn. De ZWO-stipendia bestonden nog niet en U moest Uw eigen weg vinden. Van goudzoeken heb ik geen verstand, maar het lijkt mij dat daarvoor evenals in de fysica moet gelden dat wat men zo vaak "geluk" noemt, in feite de beloning is voor de enkeling die zijn speurzinn met werkelijk vakmanschap combineert. U heeft niet alleen bij Uw fortuinlijke start in de Verenigde Staten, doch ook later bij herhaling blijkt gegeven te weten waar nieuwe, rijke aders te vinden zijn.

In Amerika kwam U terecht in de groep van Purcell te Harvard. Deze had, parallel met Bloch c.s. te Stanford, vlak voor Uw komst de kernspinresonantie, of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) in het vakjargon, weten te realiseren.

Tegenwoordig is de "relevantie" van hun ontdekking, niet slechts in de fysica, maar vooral ook als machtig hulpmiddel in de scheikunde en biochemie, evident. Tengevolge van de later ontdekte "chemische verschuiving", bijvoorbeeld, geeft het vloeistof NMR spectrum van een oplossing van complexe organische moleculen een nauwkeurig beeld van de wijze waarop de individuele protonen in die moleculen gebonden zijn.

Op het moment echter, dat U in Harvard arriveerde, was de grote rijkdom van het nieuwe veld nog nauwelijks in zicht. Van Vleck, die in hetzelfde laboratorium werkte, bericht ons zelfs in een van zijn reminiscenties [⌘]):

"Purcell tells me that when he and his collaborators detected nuclear magnetic resonance he had no idea the discovery would be of any practical importance".

In verbluffend korte tijd na de ontdekking van de kernresonantie profileert U zich als fysicus in het klassieke artikel met Purcell en Pound: "Relaxation effects in nuclear magnetic resonance absorption".

Afgezien van de rijke inhoud, vind ik het mooie van dit stuk werk de synthese van theorie en experiment die U heeft weten te bereiken: verrassende verschijnselen die nu gemeengoed zijn werden door U ontdekt en vervolgens verklaard, of omgekeerd, eerst voorspeld en dan waargenomen. Speciaal deze publikatie moet een belangrijke aanzet hebben gegeven tot de grote ontwikkelingen in de NMR die zouden volgen.

Een van de fundamentele problemen bij de kernmagnetische experimenten is, dat de onderzoeker door het onderwerpen van zijn preparaat aan radiofrequente straling de kernspins uit thermisch evenwicht dreigt te brengen. Gebeurt dit echt, dan treedt er verzadiging op en verdwijnt het te detecteren signaal. Het waren moeilijkheden van deze aard die eerdere experimenten van Broer en Gorter hadden doen mislukken. Al direct bleek uit de nieuwe experimenten dat de karakteristieke tijd waarin een systeem van kernen in thermisch evenwicht met de omgeving komt en een Boltzmann verdeling over de mogelijke eigentoestanden aanneemt, heel veel korter is dan veelal verwacht.

[⌘]) "A third of a century of paramagnetic relaxation and resonance" in Magnetic Resonance, C.K. Coogan et al. Eds., Plenum Press 1970

Terwijl instelling van dit evenwicht via de interactie van het kernsysteem met het stralingsveld gegenereerd door de thermische beweging een tijd van duizenden jaren zou vergen, mat U relaxatietijden van de grootte van seconden of minuten. Voortbouwend op vroeger werk van Waller en Broer, geeft U een analyse hoe de dipool-dipoolkoppeling tussen de kernen enerzijds de lijnvorm bepaalt en anderzijds de spin-roosterrelaxatie kan verklaren.

Tengevolge van de thermische beweging van de kernen fluctueert deze dipolaire koppeling met de tijd en via een Fourieranalyse van het fluctuatiespectrum was U in staat zowel de spin-roosterrelaxatie, als de zogenaamde homogene lijnbreedte te berekenen, met andere woorden U berekent de parameters T_1 en T_2 van de Bloch vergelijkingen.

Door vergelijking van theorie en experiment kwamen uit Uw onderzoek twee belangrijke verrassingen naar voren. Ten eerste bleek dat voor ionogene kristallen zoals CaF_2 of LiF , waarin de thermische beweging tot de roostertrillingen beperkt is, in de meeste preparaten een relaxatietijd gemeten werd die veel korter is dan men op grond van Waller's model zou verwachten. U liet zien dat wat er in werkelijkheid gebeurt veelal wordt bepaald door paramagnetische verontreinigingen, zoals sporen ijzer. Van Vleck geeft dit fenomeen de elegante naam van "The Bloembergen dirt effect".

In de tweede plaats legde U de basis voor het begrijpen van de onverwacht smalle NMR signalen van niet-visceuze vloeistoffen. Hier blijkt de dipool-dipool wisselwerking vrijwel uit te middelen door de "tumbling motion" van de moleculen, die erg snel is op de tijdschaal van de NMR spectroscopie. Een spectaculair voorbeeld dat U gaf is de vergelijking tussen ijs en vloeibaar water. Voor ijs zijn de signalen breed tengevolge van de locale velden veroorzaakt door naburige protonen; in water worden ze heel smal omdat de locale velden hier vrijwel volledig uitmiddelen door de moleculaire rotatie. Desondanks bleek de relaxatietijd T_1 voor het instellen van het thermisch evenwicht tussen de kernen en hun omgeving voor beide fasen zowat gelijk te zijn en bovendien relatief lang. Gebruikmakend van een beeld ontleend aan Debye's beschrijving van de dielectrische dispersie in vloeistoffen, concludeerde U dat er in beide gevallen van een ernstige "mismatch" sprake is:

in de vloeistof is de resonantiefrequentie van 29 MHz in vergelijking met het Fourier-spectrum van de thermische beweging veel te laag voor een effectieve relaxatie, in ijs daarentegen juist te hoog.

Uw dissertatie, "Nuclear Magnetic Relaxation", die voor een belangrijk deel het onderzoek dat U samen met Purcell en Pound uitvoerde weergeeft, werd te Leiden in 1948 verdedigd. Dat Gorter, de pionier in de paramagnetische relaxatie, daarbij Uw promotor werd, lijkt in een historisch perspectief gezien welhaast vanzelfsprekend. In Uw boek slaagt U erin de principiële aspecten van de kernresonantie en relaxatie zo helder uiteen te zetten dat het, de fenomenaal snelle technische ontwikkeling ten spijt, in 1961 wordt heruitgegeven. Het is mij verder opgevallen dat de in Uw proefschrift gebruikte woordkeuze een oprechte bewondering voor Rabi ver-raadt. Ik kan mij dat goed voorstellen: evenals bij hem zijn Uw experimenten niet in de eerste plaats gericht op het verzamelen van nieuwe gegevens, maar streeft U ernaar deze uit te voeren tegen een achtergrond van fundamentele fysische vragen.

Na afsluiting van Uw eerste periode in Harvard en een kort verblijf te Leiden, werd U een positie als hoogleraar te Harvard aangeboden. U zette daar Uw studie over relaxatieprocessen in magnetische systemen met succes voort. Zoals reeds opgemerkt, werd vlak voor de oorlog speciaal in Nederland intensief gewerkt aan de manier waarop een verdund paramagnetisch zout in een uitwendig magneetveld bij lage temperatuur tot thermisch evenwicht komt. Wat de theorie betreft, hadden Casimir en du Pré laten zien hoe men het probleem thermodynamisch kan aanpakken door een spinsysteem en een roostersysteem te onderscheiden, die ieder door een eigen temperatuur gekarakteriseerd worden en waartussen thermisch contact bestaat. Verder hadden Kronig en Bouwkamp gesuggereerd dat, microscopisch gezien, het contact voornamelijk veroorzaakt wordt door een omzetting van dipolaire interactie energie van de spins in Zeeman energie in het uitwendige veld, of omgekeerd. Het bleef echter moeilijk de theoretische modellen met het uitgebreide experimentele materiaal verzameld door De Haas, Gorter en hun medewerkers tot een consistent beeld te verenigen.

In deze situatie kwam na de oorlog een grote verandering. Men was nu niet langer beperkt tot het bepalen van de totale susceptibiliteit van een preparaat als functie van de tijd in een magneetveld van wisselende sterkte, maar kon met de nieuwe resonantietechnieken in detail vervolgen wat er met de verschillende spins gebeurt. Parallel hieraan werd het duidelijk hoe men bij de theoretische discussie van de interne magnetische interacties een onderscheid dient te maken tussen spin-spin en spin-rooster relaxatieprocessen. U heeft op dit gebied veel meer bijgedragen dan ik hier kan bespreken. Met name in het artikel "Cross relaxation in Spin Systems", dat U samen met Shapiro, Pershan en Artman publiceerde, laat U erg mooi zien hoe de verschillende door de vooroorlogse pioniers ingevoerde denkwijzen kunnen worden uitgebouwd en gekwantificeerd. U komt zo tot een theorie die belangrijke aspecten van de relaxatie van systemen van inequivalente spins beschrijft en de toets van het experiment doorstaat.

Uit Uw werk aan relaxatie in spinsystemen kwam verder een heel concrete prestatie voort: de conceptie van de vaste stof MASER. Zoals praktisch allen hier zullen weten, betekent MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Verder mag men "microwaves" door "light" en MASER door LASER vervangen, want het gaat om een heel algemeen principe.

De gestimuleerde emissie van electro-magnetische straling treedt op als men van de twee niveaus waartussen de overgang plaatsvindt, het bovenste een bevolkingsoverschot weet te geven. Dit schijnbaar spotten met de thermodynamica kan in (min of meer) continue werkende "devices" op twee manieren gerealiseerd worden. Townes en Prokhorov deden het in hun oorspronkelijke ammoniakmasers door, net als Stern en Gerlach, de moleculen in een bundel als 't ware met een duiveltje van Maxwell volgens hun eigentoestand ruimtelijk te scheiden. In een vaste stof is deze techniek niet mogelijk, maar U wees erop dat de populatie-inversie óók gecreëerd kan worden via "pompen" van de overgang met de hoogste frequentie in een geschikt gekozen drie-niveau systeem.

In het laatste geval maakt men gebruik van de verschillen in relaxatiesnelheid tussen de drie paren van niveaus in het systeem, ongeveer zoals bij het Overhauser effect in de kernresonantie.

Het werken op het maser- en laserterrein in de beginjaren roept bij mij weer gedachten aan de goldrush op: men moest snel zijn of de grootste nuggets waren voor een ander. Uw artikel "proposal for a new type solid state maser" verschijnt in de Physical Review van 15 oktober 1956. Zes weken daarna reeds, wordt een manuscript door Scovil, Feher en Seidel ingezonden, waarin zij beschrijven hoe een maser gebaseerd op het door U geschetste principe en met Gd^{3+} als actief element in de Bell Telephone Laboratories gerealiseerd werd. Een paar jaar later, in 1961, was de Harvard radio telescoop reeds met robijn masers werkend in vloeibaar helium uitgerust en nam Maiman gestimuleerde emissie van zichtbaar licht uit een robijnstaaf waar ! In beide gevallen is er sprake van een praktische toepassing van Uw geniale suggestie.

Het verschijnen van de laser heeft ook voor Uzelf grote gevolgen: U begint aan Uw studie van de niet-lineaire optica. Tot mijn spijt ontbreken mij de tijd en kundigheid om Uw prestaties recht te doen wedervaren. De ontwikkeling van dit gebied, waar Nederlandse onderzoekers helaas nauwelijks toe hebben bijgedragen, is een voorbeeld van concrete fysica, waarbij men de onderzoekers vaak niet meer in "theoretici" en "experimentatoren" kan onderscheiden. Verder is het indrukwekkend hoe snel de bal tussen de verschillende spelers heen en weer gaat als eenmaal een doorbraak is bereikt.

Vóór de ontdekking van de laser kon men de meeste spectroscopische verschijnselen adequaat beschrijven met de semi-klassieke behandeling van de interactie van een moleculair of atomair systeem met het stralingsveld, zoals gegeven in het boek van Kramers. Men gebruikt de continuümtheorie van Maxwell en Lorentz voor het beschrijven van de wisselwerking tussen het stralingsveld en het preparaat en relateert vervolgens de macroscopische polarisatie aan de quantum-mechanische verwachtingswaarde van het in de moleculen of atomen geïnduceerde dipoolmoment. Deze verwachtingswaarde wordt dan via eerste-orde storingsrekening berekend, dat wil zeggen men beperkt zich tot termen lineair in de veldsterkte van de opvallende golf.

Door theoretici was, weliswaar, ook aandacht besteed aan sommige effecten die men zou mogen verwachten op grond van termen van hogere orde - de theorie van de twee-foton absorptie die Maria Meyer in haar dissertatie gaf is hiervan een bekend voorbeeld - maar voor de experimentele spectroscopie van voor 1960 waren deze effecten niet relevant. Dat niet-lineaire effecten zich in het optische gebied nauwelijks manifesteerden, vond zijn oorsprong in de beperktheid van de veldsterkte in de lichtgolven uitgezonden door conventionele lichtbronnen; "beperkt" betekent hier zwak in vergelijking tot de interne coulombvelden in het atoom. Daarbij komt verder dat, anders dan bij de twee-foton absorptie, voor het optreden van vele niet-lineaire effecten aan bepaalde fase-relaties moet worden voldaan, die vereisen dat men met coherente lichtbundels werkt.

Met de ontdekking van de laser verandert de situatie totaal. Nog in 1961 wordt twee-foton absorptie in een optisch experiment waargenomen en genereert Franken in een kwartskristal de tweede harmonische van de opvallende bundel. U speelt het klaar om reeds in 1962 in Uw artikelen met Armstrong, Pershan en Ducuing een volledige generalisatie van de semi-klassieke theorie te geven voor anisotrope, niet-lineaire media. Bovendien beschouwt U het experimenteel zo belangrijke geval dat het systeem wordt gekenmerkt door een grensvlak tussen een lineair en een niet-lineair medium. Uw theorie omvat beide daarnet aangeduide aspecten: het geven van de quantummechanische uitdrukkingen voor de geïnduceerde momenten wanneer ook termen van de tweede en derde macht in de veldsterkte moeten worden meegenomen en het oplossen van de Maxwell vergelijkingen voor media met de overeenkomstige niet-lineaire susceptibiliteiten.

Hogere orde storingsrekening bij de behandeling van de interactie tussen atomaire systemen en electro-magnetische straling was, zoals ik reeds opmerkte, niets nieuws en niet-lineaire effecten waren in andere takken van de natuurkunde, zoals de acoustiek en electrotechniek, reeds lang bekend. Maar de systematische manier waarop U de verschillende draden tot een compleet weefsel wist te verenigen en daarmee aan de niet-lineaire spectroscopie een consistente basis verschafte, is een major achievement in een gebied van de fysica waarop Maxwell, Lorentz en Kramers U voorgingen.

Dat Uw analyse reeds twee jaar later in uitgebreider vorm in de monografie "Nonlinear Optics" verschijnt, illustreert de snelheid waarmee U een heel gebied tot het Uwe maakt en ook Uw mathematisch talent; bovendien is het, krachtens Uw eigen voorwoord, een tastbaar bewijs van de "encouragement" die U van Uw echtgenote Deli heeft ontvangen.

In de jaren die volgen behoort U zelf tot degenen die met grote scherpzinnigheid profijt weten te trekken van de talrijke fascinerende mogelijkheden die de niet-lineaire spectroscopie voor experimenteel werk en theoretisch onderzoek biedt. Een van de problemen die Uw aandacht hadden is de relatie tussen de microscopische symmetrie en de verschillende macroscopische susceptibiliteiten. Van belang is hierbij na te gaan wat voor invloed de eindigheid van een experimenteel preparaat heeft en U verdiept zich, bijvoorbeeld, in de reflectie van de tweede en derde harmonische aan grensvlakken. Verder maakt U verscheidene studies op het gebied van de gestimuleerde Ramanverstrooiing. De rijke oogst die U hierbij van het in belangrijke mate door U ontgonnen terrein haalde, is te danken aan de combinatie van Uw theoretisch inzicht en fysische intuïtie bij het kiezen van het te onderzoeken systeem.

Mijnheer de voorzitter, ik besef dat dit overzicht beperkt was. Ik heb, onder meer, niets gezegd over belangrijke studies van elektrische veld-effecten in de kernmagnetische resonantie. Toch hoop ik dat ik erin geslaagd ben een indruk te geven op grond waarvan de jury gemeend heeft aan U, Bloembergen, de Lorentz medaille te moeten toekennen. Uw kwaliteit als fysicus wordt overtuigend bewezen door het opvallend grote aantal van Uw vroegere leerlingen die thans in andere laboratoria uitblinken en door het succes waarmee U op Summerschools en internationale bijeenkomsten Uw vak-kennis en inspiratie aan jongeren weet over te dragen. Vele Nederlandse fysici hebben, enkele jaren geleden, tijdens Uw verblijf te Leiden en Eindhoven hiervan geprofiteerd. Ik weet zeker dat ik namens allen spreek wanneer ik U van harte met de onderscheiding gelukwens en constateer dat wij U graag in Nederland zien.

Alvorens tot de uitreiking van de medaille over te gaan, wil ik nog een persoonlijk woord toevoegen. Mijn contacten met U in het verleden waren betrekkelijk schaars, maar de manier waarop U over fysische problemen sprak heeft mij altijd geboeid en deed mij soms aan Kramers denken. De laatste maal dat ik U zag was, geloof ik, te Harvard, waar U mij vertelde over twee-foton absorptie-experimenten aan natriumdamp. Door de twee fotonen uit tegenovergestelde richting met de juiste relatieve polarisaties te laten invallen, wist U het Doppler effect te omzeilen en de hyperfijnsplitsing van 101 MHz in de 5S toestand van ^{23}Na optisch zichtbaar te maken. Ik heb ervan genoten en wens U toe dat het U nog lang gegeven zal zijn met even groot enthousiasme Uw werk voort te zetten!

Nadat de heer Van der Waals de medaille aan de heer Bloembergen heeft overhandigd wenst de voorzitter de heer Bloembergen namens de Akademie van harte geluk met de hem toegekende onderscheiding.

Het woord is hierna aan de heer Bloembergen:

Mijnheer de Voorzitter, Excellentie, Representative of the Ambassador of the USA, Consul-General, Waarde Van der Waals, Dames en Heren Leden van de Akademie, Zeer geachte Toehoorders,

De onderscheiding die U mij heeft toegekend heeft voor mij om meer dan één reden een diepe betekenis. In de eerste plaats ben ik mij er hoe langer hoe meer bewust van geworden, hoe zeer mijn werk gegrondvest is op de fundamenteen die door Lorentz zijn gelegd. Dit is al door Professor Van der Waals aangeduid en ik wil op dit punt later terugkomen. In de tweede plaats heb ik mij altijd nauw verbonden gevoeld met mijn geboorteland, waar ik ook de eerste stappen op natuurkundig gebied heb leren zetten. Dit blijkt van waardering door mijn Nederlandse collega's stel ik bijzonder op prijs. In de derde plaats was het nieuws van deze onderscheiding in de theoretische natuurkunde voor mij een totale verrassing. Ik heb mijzelf altijd als experimentator beschouwd, en ik ben Professor of Applied Physics, d.w.z. de toegepaste natuurkunde. Dus ik dacht niet in aanmerking te komen voor een onderscheiding in de theorie.

U hoeft zich niet ongerust te maken dat ik mij nu eensklaps op een lijn zal zetten met de grote theoretici die mij zijn voorgegaan als Lorentz-medailisten.

In dit verband mag ik echter wel mijn zienswijze geven dat een strenge onderscheiding tussen theorie en experiment niet nodig en ook niet altijd wenselijk is. Evenzo is een onderscheid tussen zuivere en toegepaste wetenschap soms misplaatst. Natuurlijk heeft men de grootste bewondering voor de voortbrengers van nieuwe abstracte ideeën, zoals die in de natuurkunde bv. door Einstein, Dirac en Pauli zijn ingevoerd. Deze geniale denkers hadden nauwelijks een basis van feiten nodig, evenmin als de wiskundigen. Maar de natuurkunde kan niet in leven blijven zonder experiment, zonder vele experimenten. Deze zijn niet alleen nodig om abstracte theorieën te testen. Immers niet alles wat denkbaar is wordt in de natuur verwezenlijkt. Maar vaak worden ontdekkingen gedaan gedurende een experiment, d.w.z. niet voorspelde feiten en relaties worden zo gevonden.

Mijn voorganger Uhlenbeck heeft bij het aanvaarden van de Lorentz medaille hier acht jaar geleden uitgewijd over de vraag wat fundamenteel is in de natuurkunde. Is er een rangorde van problemen? Pauli noemde de fysica van de vaste stof 40 jaar geleden "Schmutzphysik" of "Desperationphysik". Uhlenbeck kwam na veel wikken en wegen tot de conclusie dat men zich moet verzetten tegen mode- en prestige-argumenten. Een hiërarchie van onderwerpen is ongewenst. Men moet niet trachten een rangorde vast te stellen tussen fysica van de vaste stof, van de wereldruimte of van hoge energie. Evenmin kan men stellen dat de ene wetenschap meer fundamenteel is dan een andere.

Persoonlijk heb ik mij nooit te veel zorg gemaakt of ik eigenlijk niet beter met "fundamentele deeltjes" of in de radio-astronomie had behoren te werken. Ik heb gedaan wat me interesseerde, en waar ik dacht wat te kunnen bereiken. De meer traditionele gebieden van de optica en de moleculaire chemie bleken een vruchtbare bodem te zijn. Zowel in de keuze van onderwerpen, als in de combinatie van theorie en experiment, volgde ik het voorbeeld van Debye, ook Nederlander van geboorte en voorganger in de rij van Lorentz-medailisten.

Ik herinner nog goed mijn ontmoeting met hem in Cornell University. Debye was toen al over de zeventig, maar nog zeer actief bezig met experimenten over lichtverstrooiing aan polymeren. Van de overige Lorentz-medailisten heb ik het meest contact gehad met Kramers en vooral met mijn collega Van Vleck.

Kramers ontmoette ik op dertienjarige leeftijd. Ik zat namelijk in dezelfde klas van het Utrechts Stedelijk Gymnasium als zijn oudste dochter. Een enkele keer kwam hij haar van school ophalen met de auto, en ik mocht dan mee naar huis rijden in de katebak. Er was geen natuurkundige discussie.

In de hongerwinter van 1945 las ik woord voor woord Kramers' boek "Quantentheorie des Elektrons und der Strahlung", bij het licht van een stallantaren. In plaats van petroleum gebruikten we wat achtergehouden stookolie. De lamp walmdde zo dat hij om de twintig minuten moest worden schoongemaakt. Ik had geen gelegenheid gehad om een college in de quantummechanica te volgen. Door ingreep van de Duitse bezetting werd de Utrechtse Universiteit gesloten net voordat Rosenfeld in zijn college tot de quantizatie zou overgaan, nadat hij uitvoerig de Poisson-haken van de klassieke mechanica had behandeld. Mijn zelfstudie in de quantentheorie met behulp van Uhlenbeck's collegedictaat en Kramers' boek stak wel scherp af bij de prestaties van mijn voortgangers die op die leeftijd meededen aan opwindende ontwikkelingen op dit gebied in Göttingen, Kopenhagen, Zürich en andere grote wetenschappelijke centra van de twintiger jaren. Menig Nederlander heeft in die donkere dagen aan het eind van de tweede wereldoorlog gedacht aan het motto van Prins Willem van Oranje "Nul n'est besoin d'espérer pour entreprendre, ni de réussir pour persévérer".

In het najaar van 1945 reed ik in een trein van goederenwagens naar Amsterdam om geld te wisselen in dollars voor studie in de Verenigde Staten. In die dagen van het langzame na-oorlogse herstel was het hoofdkantoor van de Nederlandse Bank, niet ver hier vandaan, de enige plaats waar dit kon gebeuren. De beambte kon zijn ogen niet geloven dat ik een vergunning had voor achttienhonderd dollars. Hij zei dat de enigen die met dollarpermissies kwamen bollenhandelaars en professoren waren en die kregen niet meer dan vijfhonderd dollar.

Ik legde uit dat ik student was en dat mijn verblijf veel langer zou duren.

Bij mijn aankomst aan Harvard University had Purcell, met Torrey en Pound, net kernmagnetische resonantie in de gecondenseerde fase ontdekt. Terwijl deze drie nog druk bezig waren om delen te schrijven voor de bekende M.I.T. Radiation Laboratory Series, had ik als Purcell's eerste student een goede gelegenheid het juist geopende gebied te ontginnen. Binnen een jaar was er genoeg materiaal voor een proefschrift over kernmagnetische relaxatie. Het was een periode van snelle groei in de natuurkunde, met toepassing van nieuwe technieken ontwikkeld in de vrije geallieerde wereld gedurende de oorlogsjaren. Mijn Nederlandse universitaire opleiding, in de isolatie van bezet gebied, bleek niettemin toch zo grondig dat ik me al gauw als een vis in het water voelde. In de zomer van 1947 was C.J. Gorter gasthoogleraar op Harvard. Terwijl ik in Utrecht gedurende de oorlog mijn doctoraal examen had afgelegd (met kwijtschelding van het tentamen quantummechanica!), had ik hem gevraagd mijn promotor te zijn, als specialist in magnetische relaxatieverschijnselen. Het was kenmerkend voor die periode dat de wetenschappelijke weg van Utrecht naar Leiden via de Verenigde Staten liep.

Gorter nodigde me uit wetenschappelijk medewerker op het Kamerlingh Onnes Laboratorium te worden. De combinatie van lage temperaturen en kernspinresonantie was veelbelovend. Met aanmoediging en steun van Gorter, door gesprekken met Kramers, met een zaterdagochtend college van Casimir en de Ehrenfest colloquia in het Lorentz-instituut waren de jaren '47-'48 wetenschappelijk ook zeer stimulerend. Op een internationaal congres in Zürich in 1948 ontmoette ik de tachtigjarige Sommerfeld, en Pauli en Peierls, alle drie Lorentz-medailisten. Pauli was, met het klimmen der jaren, wat milder geworden in zijn oordeel. Hij vertelde me niet, dat ik "Desperationphysik" deed, maar integendeel dat hij nog steeds interesse had in de kernspins. Ook herinner ik me van einde 1948 een feestavond in Leiden ter ere van Kramers, wiens werk toen met de Lorentz-medaille bekroond werd. Dit was tevens een afscheid voor mij.

Kort daarna keerde ik terug naar Harvard University op uitnodiging van Van Vleck, die toen Chairman of the Physics Department was, en wat later tot Dean of Applied Science werd benoemd.

Het toenemende internationale contact, vergemakkelijkt door de komst van straalvliegtuigen en andere communicatiemiddelen, heeft het voor mij mogelijk gemaakt de wetenschappelijke banden met Nederland aan te houden. Behalve vele kortere bezoeken herinner ik mij met genoegen een langer verblijf gedurende een "sabbatical leave" toen ik Lorentz gast-professor in Leiden was en ook gast van de directie van het Philips Natuurkundig Laboratorium in Waalre. De groei en bloei van de Nederlandse wetenschap, gepaard met de grote stijging in algemene welvaart, vormde een markant contrast met de herinneringen van 1948. De outillage van de universiteitslaboratoria in Nederland is nu beter dan in de Verenigde Staten.

De genoemde persoonlijke contacten vormen voor mij als het ware een indirecte band met Lorentz. Wij zijn in de Verenigde Staten ook bevriend met Lorentz' kleindochter Mevr. Boekede Haas, dochter van wijlen Mevr. De Haas-Lorentz en W.L. de Haas. Maar daarnaast is er voor mij een minder persoonlijke, maar meer directe band met Lorentz, gebaseerd op de relatie van ons wetenschappelijk werk. Toen ik de kernmagnetische resonantie methode toepaste als nieuwe sonde voor de magnetische structuur van de materie, was ik mij er wel van bewust dat Lorentz zo helder het diepe inzicht had dat er behalve het elektrische en magnetische veld in vacuo alleen nog bewegende ladingen nodig zijn om het electromagnetisch gedrag van de materie te beschrijven. Met behulp van de Lorentz kracht van de vacuumvelden op elementaire ladingen en stromen kunnen alle electromagnetische krachten en wisselwerkingen worden beschreven. De elektrische doorschuiving is een afgeleide macroscopische grootheid verkregen als een gemiddelde over het microscopische vacuumveld en microscopische dipoolmomenten. De kleine magnetische kernmomenten zijn ideale sondes voor het microscopische magnetische veld dat binnen een atoom, molecuul of kristal optreedt. Informatie over tijdsafhankelijke variaties kunnen via magnetische relaxatieverschijnselen verkregen worden.

De magnetische resonantie van kernspins en electronen heeft me in aanraking gebracht met vele gebieden van de atoom- en moleculaire fysica, met die van vloeistoffen en kristallen, met de statistische mechanica, en met de chemie en de electronica. Een uitbreiding van het temperatuurbegrip in magnetische systemen, voortbouwend op werk van Casimir, Gorter, Kronig, Van Vleck en Purcell, heeft geleid tot meer-niveau masers, die gebruikt worden in gevoelige microgolf antennes van de radio-astronomie, sondes van de wereldruimte, en satelliet communicatie systemen. De veelzijdige en soms onverwachte contacten met andere wetenschappen en met praktische toepassingen verstevigen mijn overtuiging dat fundamentele vooruitgang niet alleen plaats vindt in abstracte theorieën.

Bijna alle lasers werken op hetzelfde principe als deze masers, met verschillende effectieve temperaturen behorend bij verschillende paren van energie niveaus. De lasers brachten zeer hoge lichtintensiteiten binnen het experimentele bereik, en dit leidde tot een renaissance in de optica. Mijn huidige interesse in de niet-lineaire optica bracht me in nog nauwer contact met Lorentz' werk. Lorentz had vele optische eigenschappen van de materie beschreven met een eenvoudig model, waarin een electron wordt voorgesteld als een harmonische oscillator, een heen en weer schommelend deeltje met massa en lading. In 1906 gaf Lorentz een serie voordrachten aan Columbia University in New York City. Dit werk, in uitstekend Engels geschreven, werd in 1909 door Teubner Verlag gepubliceerd onder de titel "Theory of Electrons". Hier gaf Lorentz een heldere atomistische beschrijving van de breking en absorptie van licht. Tevoren had hij al een macroscopische beschrijving gegeven van de wetten van breking, absorptie en terugkaatsing. De 22-jarige Lorentz toonde in zijn Leids proefschrift van 1875 aan hoe Maxwell's vergelijkingen op natuurlijke wijze leiden tot de bekende wetten, die door Fresnel eerder op grond van een mechanisch-elastisch model waren afgeleid. Lorentz was dus een van de grondleggers van de moderne lineaire optica.

De niet-lineaire optica beschrijft, onder meer, de veranderingen en uitbreiding in deze relaties als de lichtstralen een zeer hoge intensiteit hebben. In de eenvoudigste klassieke vorm verkrijgt men deze uitbreiding door aan het gebonden electron model van Lorentz een anharmonische term toe te voegen. Deze term beschrijft hoe bij grote trillingsamplituden van het electron de frequentie verandert. Een zuiver periodisch signaal wordt vervormd en harmonische boventonen worden opgewekt. Een dergelijke anharmonische oscillator was al vóór Lorentz door Lord Rayleigh besproken in zijn boek "Theory of Sound". Hij beschrijft de boventonen in acoustische instrumenten als deze hard worden aangeslagen. Als Lorentz nu meer dan vijftig jaar na zijn dood vanmiddag in deze zaal had kunnen binnenlopen, dan zou hij geen enkele moeite hebben dit betoog te volgen en de vele consequenties van de anharmonische term te doorzien.

Zeer intense invallende lichtbundels wekken harmonische lichtstralen in reflectie en transmissie op. De wet van terugkaatsing - de hoek van inval is gelijk aan de hoek van reflectie - was al op schrift gesteld door Hero van Alexandrië in de eerste eeuw van onze jaartelling.

Deze wet werd in 1962 gegeneraliseerd, en de hoek van terugkaatsing voor boventonen is niet noodzakelijkerwijze gelijk aan de invalshoek(en). De wet van breking geformuleerd in 1623 door de Leidse hoogleraar Snellius - of bondiger in het Engels: Snell's law - ondergaat interessante variaties in het niet-lineaire gebied van hoge lichtintensiteiten. De formules van Fresnel, meer dan honderd jaar geleden door Lorentz op de thans nog algemeen aanvaarde wijze afgeleid, werden ook gegeneraliseerd. De totale reflectie, de dubbele breking, eerst door Christiaan Huygens bestudeerd, de conische refractie, ja bijna alle optische verschijnselen worden op kleurrijke wijze uitgebreid in het niet-lineaire gebied.

Lorentz had dit allemaal zonder veel moeite aan het begin van deze eeuw kunnen afleiden, door een ietwat anharmonisch oscillerend electron te beschouwen. Lorentz miste in zijn tijd evenwel de experimentele stimulans die door de gestimuleerde emissie van licht in lasers geleverd wordt. De anharmoniciteit is zo klein dat de niet-lineaire effecten experimenteel alleen met laserbundels goed bestudeerd kunnen worden.

Zo bleef er dus wat voor mij, en voor vele collega's, te doen.

De activiteit in de niet-lineaire optica neemt nog steeds toe. Tot mijn verbazing heeft dit onderwerp mij in de laatste jaren teruggeleid tot de chemie en de statistische mechanica, evenals de kernmagnetische resonantie dat eerder had gedaan. Intensieve infrarode laserpulsen kunnen een geïsoleerd meeratomig molecuule dissociëren. Dit proces, waarin vaak meer dan dertig fotonen een rol spelen, hangt samen met het temperatuurbegrip van de vibraties in één molecuul. Dit raakt aan de principiële kwestie van ergodiciteit in kleine systemen. De Lorentz medaille is voor mij een aanmoediging om met dit werk voort te gaan.

Mijnheer de voorzitter, ik hoop dat ik een indruk gegeven heb waarom deze onderscheiding een speciale betekenis voor mij heeft. Ik dank collega Van der Waals voor zijn uitvoerige en waarderende bespreking van mijn werk, en ik dank alle aanwezigen voor hun blijk van belangstelling.

De voorzitter dankt de heer Bloembergen voor zijn toespraak en sluit de bijeenkomst.