

Hans Pieter Roetert Frederikse

13 juli 1920 – 6 maart 2008



Levensbericht door Johanna Levelt Sengers

Hans Frederikse, een in de Verenigde Staten gevestigde correspondent van de Sectie Natuur- en Sterrenkunde, overleed op 6 maart 2008 in de leeftijd van 87 jaar. Van 1953 tot 1988 werkte hij als vastestoffysicus aan het National Bureau of Standards (NBS) in Washington DC, sinds 1965 gevestigd in Gaithersburg MD, en sinds 1978 National Institute of Standards and Technology (NIST) geheten.

Jeugdijaren

Hans Frederikse werd geboren in den Haag op 13 juli 1920. Zijn vader, Jacobus Frederikse, was leraar Nederlandse taal en letterkunde aan een hogereburgerschool in Den Haag. Zijn moeder, Sara Molenbroek, was afkomstig uit een muzikale familie en voltooide een studie zang aan het Haagse conservatorium. Grootvader Molenbroek speelde cello en was een van de stichters van het Haagse Symfonieorkest. Hij had wis- en natuurkunde gestudeerd aan de Leidse universiteit, en hij doceerde deze vakken op een hogereburgerschool in Den Haag. Hij besteedde veel aandacht aan Hans en zijn zuster, en vertelde ze, tijdens hun wandelingen, over muziek en over zijn studietijd in Leiden. Dankzij zijn voorbeeld zou Hans een begaafde amateurpianist worden met een voorliefde voor Bach, en de fysica als zijn levensbestemming kiezen. De familie was Remonstrant, Hans' ouders waren geëngageerd in lokale zowel als nationale politiek. Zijn vader was lid van de Liberale Democratische Partij, zijn moeder was lid van de SDAP. Beide ouders volgden de omineuze ontwikkelingen van het Nazisme met grote zorg. De vader van Hans leed aan multipole sclerose die geleidelijk verergerde in de dertiger jaren. Hij bleef werken tot zes maanden voor zijn dood in 1941. Zijn oudere zuster volgde het gymnasium, waarna ze haar medische studies aanving aan de Universiteit van Leiden in 1936. Hijzelf volgde haar een jaar later, en schreef zich in aan de faculteit van wiskunde en natuurwetenschappen. Het eerste jaar was hij spoorstudent, daarna ging hij op kamers wonen en kon volop aan het studentenleven deelnemen.

Leids student tijdens de oorlogsjaren

Toen de tweede wereldoorlog uitbrak in september 1939 begon Nederland zich te mobiliseren, en Hans werd opgeroepen in januari 1940. Hij begon zijn training als reserveofficier in het zuiden van Nederland, maar op 8 mei, een paar dagen voor de inval van het Duitse leger, werd zijn eenheid zonder

wapens verplaatst naar Haarlem. Zijn eenheid patrouilleerde de duinen maar zag geen actie gedurende de vijfdaagse oorlog. Hans keerde terug naar de universiteit. Eind 1940 begon de zuivering van het ambtenarenbestand van niet-arische elementen. In november 1940 werden aan alle universiteiten professoren en staf van joodse afkomst ontslagen. Een van hen was professor Meijers, een beroemd jurist. De volgende dag nam een collega en vriend, professor Cleveringa, zijn college over. In aanwezigheid van 800 studenten, inclusief Hans, zong hij de lof van de ontslagene; dit werd gevolgd door stormachtig applaus en het zingen van het Wilhelmus. Binnen enkele uren werd de universiteit door de Duitse bezetters gesloten. De universiteit bleef de gehele oorlogstijd dicht, met uitzondering van een korte periode in het voorjaar van 1941. In die tijd konden studenten die daarvoor gereed waren hun kandidaatsexamen afleggen. Hans was een van die studenten.

Hans wilde zich verder bekwamen in experimentele fysica. Nu wilde het dat in 1940 de befaamde, door Kamerlingh Onnes gestichte instrumentenmakerschool nog volop in bedrijf was. Er waren zo'n zestigtal leerlingen en een half dozijn leraren. Professor Wander de Haas, directeur van het Kamerlingh Onnes Laboratorium, wist de bezetters te overtuigen dat deze vakopleiding en dus het ermee verbonden laboratorium niet gesloten konden worden. In 1942 werden er zelfs vier doctoraalstudenten aangenomen, waarvan Hans er een was. De volgende drie jaren waren er in totaal nog maar een paar dozijn staf, onderzoekers en studenten aanwezig in de verlaten universiteit. Van deze groep waren verschillenden actief in de ondergrondse pers en in de distributie van gestolen voedselbonnen en valse identiteitspapieren. Ook Hans nam deel aan deze activiteiten.

In juni 1943 beval de Duitse bezetting dat alle studenten zich moesten melden bij de treinstations voor transport naar Duitsland, waar ze in de oorlogsfabrieken moesten gaan werken. De meerderheid van de Nederlandse studenten dook onder, maar Hans was buiten schot omdat hij geen student was, maar een baan had in een laboratorium.

In de periode 1942-1945 woonde Hans in hartje Leiden, en had een groot aantal kennissen die illegale acties verrichtten. Hans raakte daar betrokken bij een netwerk dat onderdak vond voor joodse kinderen wier ouders gedeporteerd waren. Hans was een schakel in dit netwerk, en vond pleeggezinnen voor een vijftal joodse kinderen.

Al vroeg in de oorlogsjaren waren er groepen en individuele geëngageerden in Leiden aan het denken over het doorbreken van het zuilenstelsel dat het hele politieke en sociale leven beheerste. Vanaf 1942 nam Hans deel aan ondergrondse discussies over het vormen van een federatie van de vier

christelijke studentenorganisaties in Leiden. Na de bevrijding werd hij de voorzitter van deze federatie. Twee jaar na de oorlog, toen het antiduitse sentiment nog hevig was, organiseerde de federatie, met Hans als leider, een werkkamp van een maand in Münster voor een groep van ongeveer 70 studenten, de helft Nederlands, de helft Duits. Een van de Duitse deelnemers was de jonge Helmut Schmidt, die in 1974 kanselier van West Duitsland zou worden. Het werk bestond uit het ruimen van puin op het terrein van de Universiteit van Münster, en de avonden werden gevuld met discussies. De Britse bezetters werden ingeschakeld om met tenten voor de dag te komen. Hans vond het Internationale Rode Kruis in Den Haag bereid een vrachtauto met levensmiddelen naar het werkkamp te sturen.

In september 1945 hernam het Leidse universitaire leven zich. Studenten die hun studie niet hadden onderbroken konden bij een hoogleraar een schriftelijk of mondeling examen afleggen. Hans had van 1942 tot 1945 door zelfstudie een vijftal vakken, waaronder atoomfysica, kwantummechanica en kernfysica, onder de knie gekregen. Professor Hendrik Kramers examineerde hem mondeling in elk van die vijf onderwerpen, en Hans verkreeg zijn doctoraal. Hans deed zijn promotiewerk bij professor Cornelis Gorter, een cryogeen experimentator in de traditie van Kamerlingh Onnes. Hans mat de adsorptie en warmtecapaciteit van heliumfilms aan staal en aan juweliersrouge, een poreus poeder, bij temperaturen van 1 tot 4 Kelvin. Hij promoveerde in 1950.

Naar de Verenigde Staten

Na dertien jaar studie in Leiden was Hans klaar voor een verandering. Nu wilde het dat Willem Keesom, opvolger van Kamerlingh Onnes als directeur van het natuurkundig laboratorium, een zoon had die professor was aan Purdue University in Indiana. Piet Keesom had daar een afdeling cryogene fysica gesticht die een soort doorgangshuis werd voor Leidse fysici. Toen Hans een uitnodiging kreeg van Keesom's collega Karl Lark-Horovitz voor een positie als gastlector nam hij die met beide handen aan. En zo vertrok hij in 1950, met een Fulbright reisbeurs, naar de Amerikaanse Midwest, het begin van zijn carrière in de Verenigde Staten.

Van 1950 tot 1953 werkte Hans in het laboratorium van Lark-Horovitz aan warmtegeleiding en thermoëlectrisch vermogen van germanium éénkristallen bij lage temperaturen. De vijftiger jaren waren het begin van de halfgeleider-revolutie die vacuümbuizen zou vervangen door vastestoftransistoren en het digitale tijdperk zou inluiden. Drie *Physical Review* artikelen rapporteerden Hans' eerste werk aan een halfgeleidend materiaal, hetgeen richtingbepalend zou blijken te zijn voor zijn verdere carrière in de vastestoffysica.

Gedurende zijn verblijf op Purdue University ontmoette Hans zijn toekomstige vrouw, Yolanda Rossi, die college gaf in het Art Department. Zij trouwden op 6 juli 1952. Yolanda zou carrière maken als kunstdocente en als kunstenares: zij schildert historische stadsbeelden en natuur.

Tegen het eind van zijn tijdelijke aanstelling aan Purdue University solliciteerde Hans naar een positie in de sectie vastestoffysica op het National Bureau of Standards, en werd daar in de zomer van 1953 in dienst genomen. Hans en Yolanda verhuisden van de Midwest naar de Amerikaanse hoofdstad kort voor de geboorte van dochter Julie. Zoons Peter en Tom zagen daar later het levenslicht.

Het National Bureau of Standards

Het National Bureau of Standards (NBS), sinds 1978 National Institute of Standards and Technology (NIST) geheten, is een onderzoeksinstituut van de Amerikaanse federale regering. Het valt onder het departement van handel (DOC), en is ruim een eeuw geleden gesticht. Het beheert de internationale meetstandaards van het metrieke stelsel. Het is verantwoordelijk voor het ontwikkelen en perfectioneren van meetmethodes, standaards en technologie, als ook voor het beschikbaar maken van geëvalueerde materiaaleigenschappen ten dienste van de Amerikaanse industrie, wetenschap en economie in de ruimste zin. Het verschaft materiaalgegevens en standaardmaterialen aan regulerende organisaties en regeringsdepartementen, maar heeft zelf geen regulerende functie. Het is geen universitair instituut en heeft geen leeropdracht.

Toen Hans in dienst trad op 1 juli 1953 was dat op de oorspronkelijke campus in Washington DC, maar in 1965 verhuisde het NBS naar een nieuwe campus in Gaithersburg, een voorstad 30 km van Washington vandaan. De totale NBS/NIST staf, inclusief onderzoekers, technische en administratieve staf, fluctueert rond de 3000 personen. De staf is hiërarchisch georganiseerd: individuele onderzoekers werken in secties, nu groepen geheten, onder een sectiechef/groep leider. Secties/groepen zijn georganiseerd in divisies, onder een divisiechef, en deze weer in grotere eenheden, die herhaaldelijk werden opgeschud tijdens Hans' carrière.

Hans' werk concentreerde zich in de experimentele vastestoffysica, waar hij van 1953 tot 1956 als staf lid werkte, en daarna als sectiechef. Gedurende de grote reorganisatie in 1978, toen NBS overging in NIST, werd Hans chef van de divisie voor keramische materialen, glas en vastestofwetenschappen. Deze functie vervulde hij tot 1981, waarna hij wetenschappelijk assistent werd van de directeur van het NIST instituut voor materiaalkunde. Hij werd gepensioneerd in 1988, maar bleef daarna nog een aantal jaren aan NIST verbonden als emeritus.

De keuze van onderzoeksonderwerpen wordt bepaald door de missie en door de beschikbaarheid van fondsen. De financiering van het onderzoek komt ten dele van het departement van handel, en in dat geval zijn het de behoeften van de industrie die een leiddraad vormen. Aan het begin van Hans' carrière gaf de halfgeleiderindustrie de toon aan, terwijl in de tachtiger jaren problemen van energievoorziening en vervuiling van de atmosfeer de aandacht op andere materialen richtten. In de loop van Hans' carrière verschoof zijn aandacht geleidelijk van vastestoffysica naar materiaalkunde in de brede zin.

Een wisselende fractie van het budget komt van fondsen van buitenaf. De facto zijn dat meestal contracten voor het oplossen van specifieke problemen van departementen en instituten van de federale regering, en de divisiechef heeft de verantwoordelijkheid om geldbronnen op te sporen en onderzoeksvoorstellen te schrijven. Zo had Hans' divisie contracten met de US Navy en met het departement van energie.

Wat maakt het onderzoeksklimaat op NBS/NIST uniek? NBS/NIST heeft een zeer breed onderzoeksgebied, en in elk onderdeel hiervan werken specialisten die nationaal en internationaal erkende experts zijn in het ontwikkelen en verfijnen van meetmethodes in hun vakgebied. Hun motto zou kunnen zijn 'het beste is niet goed genoeg.' Hans' groep/divisie huisde de experts betreffende meetmethodes in de vastestoffysica, speciaal halfgeleiders. De uitwisseling van informatie tussen de NBS/NIST experts is geheel open en individuele onderzoekers hebben vrij toegang tot specialisten op alle gebieden. Hans werkte onder anderen samen met experts in de cryogene divisie en in de divisie voor optische fysica.

De staf van NBS/NIST wordt ingeprent dat ze in dienst zijn van de Amerikaanse belastingbetaler. Stafleden worden geacht ten allen tijde klaar te staan verzoeken van buitenaf om inlichtingen te beantwoorden, deel te nemen aan het bestuur van technische organisaties op hun vakgebied, en zitting te nemen op Editorial Boards. Ook verzamelen en evalueren zij meetgegevens in hun vakgebied, en maken die, onder andere in het door NIST uitgegeven *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, beschikbaar voor wetenschappers en voor de industrie. Hans zou zich ook op dit dienstverlenende gebied een waardig NIST stafflid tonen.

Halfgeleiders

Hans begon zijn werk op het NBS met het opzetten van vier projecten die te maken hadden met het meten over een groot temperatuurgebied, van 60 K tot 400 K, van elektrische, optische, thermoëlektrische en mechanische

eigenschappen van indium-, gallium -, en aluminiumantimoniden: intermetallische verbindingen gevormd uit elementen van de derde en vijfde kolom van het periodiek systeem. Kleine afwijkingen van stoichiometrie bepalen het halfgeleidend vermogen. In de mid-vijftiger jaren resulteerde dit werk in een serie publicaties in *Physical Review*. Medewerker William Hosler had onovertroffen ervaring in het prepareren van kristallen van hoge zuiverheid, en er was uitgebreide instrumentatie beschikbaar om kristallen te karakteriseren. Enkele jaren later werden deze materialen commercieel beschikbaar als detectoren van infraroodstraling.

Temidden van dit systematische experimentele werk moet het Hans grote voldoening gegeven hebben een fundamentele ontdekking te doen. In 1930 hadden de Leidse fysicus De Haas en zijn Russische medewerker Lev Shubnikov in metalen bij lage temperatuur een oscillatie ontdekt van thermische en magnetische eigenschappen als het magneetveld toeneemt. In 1956 waren Hans en Hosler de eersten die dit kwantumeffect in een halfgeleider maten. Deze ontdekking opende een nieuw gebied van onderzoek, en leidde tot een dieper begrijpen van de elektronische bandstructuur van halfgeleiders. Hans' reputatie was gevestigd, en in 1956 werd hij aangesteld als chef van de sectie vastestoffysica.

Rond 1958 rees er belangstelling in het gebruik van zekere halfgeleiders voor koeling en voor stroomopwekking op kleine schaal. Van 1958 tot 1961 verrichtte Hans' sectie een uitputtend experimenteel onderzoek aan de magnetoëlektrische, optische en diëlectrische eigenschappen van de halfgeleider titaniumdioxide, die in de natuur voorkomt als een kristal, rutiel genaamd. Rutiel heeft een zeer hoge brekingsindex en absorbeert ultraviolet licht sterk.

Supergeleidende halfgeleiders

In 1961/62 bracht Hans een jaar door bij Philips, Eindhoven, als een Guggenheim Fellow. Daar bestudeerde hij diëlectrische verliezen en relaxatiemechanismen in vaste stoffen. Toen hij terugkwam begon hij een nieuw onderzoek: van 1964 tot 1968 deden Hans en zijn sectie werk aan strontiumtitaanaat, SrTiO_3 . Dit materiaal was van bijzondere interesse. Ofschoon een isolator kan het halfgeleidend gemaakt worden door lichte reductie in een waterstofatmosfeer – de concentratie van ladingsdragers is een functie van de reductiegraad. Hosler was een expert in de reductietechniek, en de sectie bezat een unieke verzameling monsters waarvan vele eigenschappen gemeten waren. In 1964 had Hans een theoretisch fysicus in dienst genomen, Calvin Koonce, die gepromoveerd was bij Marvin Cohen aan de Universiteit van Chicago. Tot dan toe was supergeleiding, het verdwijnen van de elektrische weerstand bij lage

temperaturen, alleen aangetoond in sommige metalen. Cohen en Koonce hadden echter in 1964 een gedetailleerd artikel geschreven over de voorwaarden waaraan een halfgeleider zou moeten voldoen om mogelijk een supergeleider te worden. Kort daarna werd Cohen uitgenodigd hier een voordracht over te geven op het NBS. Tijdens dit bezoek hoorde Cohen over de eigenschappen die reeds op NBS gemeten waren aan strontiumtitanaat als functie van de ladingsdragersconcentratie. Op grond daarvan suggereerde Cohen dat dit materiaal mogelijk supergeleidend kon worden. Binnen de kortste keren had Hans een stafflid in de cryogene divisie geëngageerd om dit te helpen onderzoeken. Jim Schooley was een expert in adiabatische demagnetisatie, en had een cryostaat beschikbaar voor het bereiken van zeer lage temperaturen. Nog in hetzelfde jaar rapporteerden de onderzoekers dat gereduceerd strontiumtitanaat supergeleidend werd tussen 0.2 en 0.3 K, afhankelijk van de ladingsdragersconcentratie. Dit was het eerste halfgeleidend oxide dat een supergeleider bleek te zijn. In zekere zin was het een voorloper van de gemengde halfgeleidende koperoxiden die twintig jaar later bekend zouden worden als hoge-temperatuur supergeleiders. Maar tegen die tijd waren de halfgeleiderprogramma's in de vastenstoffysica op NBS/NIST allang beëindigd.

Drukmeting in diamantcellen

Het onderzoek van materialen onder hoge druk is van belang voor materiaal-kunde en voor het begrijpen van geologische processen. Traditioneel werd druk gegenereerd in dikwandige stalen apparaten door middel van drukpersen. Hoe hoger de gewenste druk, hoe dikwandiger de drukvaten, en hoe formidabeler de persen. De uitvinding van de diamantcel door NBS onderzoekers onder leiding van Charles Weir, die in 1959 het prototype met de hand construeerde, moet een ware doorbraak genoemd worden. Twee diamantjes worden met een vlakke kant tegenover elkaar geplaatst. De vlakken zijn van elkaar gescheiden door een dun metalen ringetje, zodat een cilindrisch volume niet groter dan een speldenknop is ingesloten. Omdat de oppervlakken zo klein zijn, is weinig kracht nodig om zeer hoge drukken te bereiken. Een met de hand bediend persje dat in een boekzak past is voldoende. De diamantcel is bovendien geschikt voor optische, raman en röntgenstudies. Het drukgebied werd door het invoeren van de diamantcel uitgebreid tot meer dan 100 GPa (ongeveer miljoen maal de atmosferische druk). Een bezwaar was echter dat de grootte van de druk in de cel niet veel meer dan een gissing was.

Stanley Block, chef van de NBS kristallografiedivisie en zijn stafflid Gasper Piermarini hadden diamantcellen in gebruik. In Hans' sectie was het de spectroscopist Richard Forman die samen met dit tweetal de drukmeting in de cel

kwantitatief zou maken. Forman vond in 1974 dat robijnkristallen, chemisch inert, een intens scherp fluorescentiedoublet vertoonden. Block, Piermarini en Forman plaatsten robijnpoeder in een diamantcel gevuld met gepoederd keukenzout, waarvan de samendrukbaarheid, die in de diamantcel met röntgenstraling gemeten kon worden, reeds bekend was uit schokgolfmetingen tot 20 GPa. De frequentie van de fluorescentielijn van robijn bleek lineair afhankelijk van de druk te zijn. Robijn kan dus gebruikt worden als een lokale drukmeter. De NBS onderzoekers bewezen hiermee een onschatbare dienst zowel aan de meetwetenschap als aan de beoefenaars van hogedrukfysica en geologie.

Magnetohydrodynamica

De Verenigde Staten waren exporteurs van olie tot voorbij het midden van de twintigste eeuw, waarna de binnenlandse productie begon terug te lopen terwijl de vraag voortdurend steeg. In 1973 trad in de VS de eerste oliecrisis op toen de Arabische producenten de kraan dicht draaiden. Opeens werd de benzine schaars, er stonden rijen auto's bij de benzinepompen, en de prijs liep op. Deze ervaring bracht een enorme schok teweeg in het land van de auto. Het departement van energie lanceerde een groot aantal programma's om bronnen van alternatieve energie aan te boren, efficiëntie te verbeteren, en schoner gebruik te maken van steenkool. Een van de mogelijkheden tot verhoging van efficiëntie betrof het gebruikmaken van magnetohydrodynamica (MHD) voor het opwekken van stroom. In deze toepassing wordt een kaliumzout geïnjecteerd in een heet gas afkomstig van verbranding van steenkool of aardgas. Typische gastemperaturen zijn 1500-1900 °C. Het zout wordt geïoniseerd, en het geleidende gas stroomt loodrecht op een sterk magneetveld dat wordt opgewekt door een supergeleidende solenoïde. Dit veroorzaakt een potentiaalverschil loodrecht op de gasstroom, dat elektrische stroom kan zenden door een uitwendig circuit zonder dat er bewegende delen aan te pas komen.

Tussen 1974 en 1982 verzamelde Hans' divisie meetgegevens en deed onderzoek aan de eigenschappen van constructiematerialen die gebruikt zouden kunnen worden voor MHD, en aan de complicaties ten gevolge van het gebruik van steenkool, zoals afzetting van sintels op de koelere wanden. De elektrodes en isolatoren waren dunne keramische materialen die de grote temperatuurverschillen aankonden. Hun elektrisch en thermisch geleidingsvermogen moesten gemeten worden als functie van de temperatuur. Het geïoniseerde gas was uiterst chemisch reactief, dus allerlei chemische processen konden zich in het gas en aan de elektroden en wanden afspelen. In hun hoofdstuk over materialen voor MHD generatoren in *Current Topics in Material Science* in 1980, compileerden Hans en zijn groep de eigenschappen van talloze keramische

metaaloxiden, metalen en alliages. Dat dit proces uiteindelijk niet technisch verwezenlijkt kon worden was voornamelijk het gevolg van de zeer hoge temperaturen en reactieve gassen waaraan materialen worden blootgesteld.

Compilatie van vaste stoffeigenschappen

Veel NIST experts verschaffen in de loop van hun carrière gecompileerde en geëvalueerde meetgegevens aan hun publiek. Hans was geen uitzondering: dankzij zijn brede ervaring in het meten van eigenschappen van vaste stoffen zagen verschillende compilaties van zijn hand het licht. In 1963 werd hij editor van de sectie vastestoffysica van het *American Institute of Physics Handbook*, en droeg een hoofdstuk bij over eigenschappen van eenvoudige anorganische verbindingen. In 1973 compileerde hij de diëlectrische constanten van vaste stoffen voor het *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. Na zijn pensioen werkte hij een viertal jaren als editor voor vaste stoffen van het *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Het eerste jaar reorganiseerde hij het vastestofgedeelte grondig. Hij schreef verschillende onderdelen, onder andere over elastische constanten en Curie temperaturen van kristallen, welke men nog in de jongste editie van het handboek kan terugvinden.

Onderscheidingen

Hans ontving een Fulbright reisbeurs in 1950, en een Guggenheim Fellowship in het jaar 1961-1962. In 1963 werd zijn werk bekroond met de gouden medaille van het departement van handel. Hij was een Fellow van de American Physical Society, en werd in 1982 verkozen tot correspondent van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.

Bronnen

In zijn imposante gestalte schuilde een innemend en bescheiden mens. Hij sprak niet over zijn ondergronds werk gedurende de oorlogsjaren. De feiten hierover vermeld in dit levensbericht zijn aan het licht gekomen dankzij zijn dochter Julie, die haar vader enkele jaren voor zijn dood er toe bracht zijn memoires te schrijven. Zij digitaliseerde dit materiaal en deponeerde het bij het Nederlands Instituut voor Oorlogsdocumentatie. Behalve Julie droegen Hans' vrouw Yolanda, zijn Leidse studiegenoot en vriend Paul Meijer, en NIST collega James Schooley bij aan dit levensbericht.