

Fysisch onderzoek, een kostbare liefhebberij

Citation for published version (APA):

van Haeringen, W. (1998). *Fysisch onderzoek, een kostbare liefhebberij*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1998

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Fysisch
onderzoek,
een kostbare
liefhebberij

AFSCHEIDSREDE

Prof.dr. W. van Haeringen



Technische Universiteit Eindhoven

AFSCHEIDSREDE

Uitgesproken op 3 juli 1998

aan de

Technische Universiteit Eindhoven

Prof.dr. W. van Haeringen

Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en heren,

Regelmaat of willekeur ?

Bij het binnenrijden van het spoorwegstation van Breda valt op dat de perrons aan weerszijden begrensd worden door een rij betonnen panelen. Die panelen hebben drie verschillende breedtes, laten we zeggen A,B en C. Zo te zien staan ze in willekeurige volgorde. De tussenruimtes zijn gelijk.

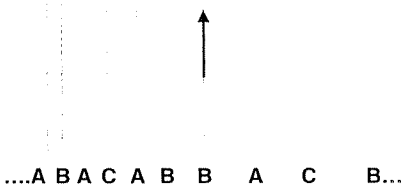
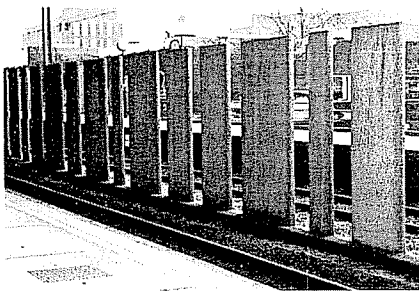


Fig. 1 Panelen op het Bredase perron.

Maar is die volgorde van de panelen wel willekeurig ? Om dat vast te

stellen moet je even de tijd nemen, dat wil zeggen uitstappen en desnoods de trein laten vertrekken, want dit is nu even zeer belangrijk. Er komt wel weer een trein.

Inderdaad, het is niet zoiets eenvoudigs als ABCABC etcetera. In dat geval zouden de panelen periodiek gerangschikt zijn, met een herhalingsafstand van 3. Ook bij iets nadere beschouwing lijkt er totaal geen regelmaat te zijn. Echt willekeurig dus ? Om het zeker te weten moet je het hele perron aflopen en de zaak in kaart brengen. Inmiddels vertrekt de trein, en niets verhindert ons om door te zetten. In de volgende trein doe ik een belangrijke ontdekking : om de 32 panelen herhaalt zich éézelfde patroon, zowel links als rechts van het perron. Dit kan geen toeval zijn. De rest van de reis besteed ik aan de vraag wat de oorzaak van dit verschijnsel is. Daarna moet ik er maar mee ophouden, want dit onderzoek heeft geen subsidiepotentie. Hier is sprake van het verwerven van onnutte kennis en dat moet met kracht ontraden worden.

Het belang van silicium-carbide

Mijn belangstelling voor de ABC-panelen op het perron van Breda heeft echter wel degelijk iets met mijn werk te maken. Reeds jaren ben ik gefascineerd door het verschijnsel polytypie in kristallen.

Wat is dat, polytypie ? Het is, zeg maar, het vermogen van een stof om in meerdere kristalvormen op te treden. Neem bijvoorbeeld SiC (spreek uit silicium-carbide), bestaande uit de elementen Si (silicium) en C (koolstof), een verbinding overigens die geen vreemde is in ons universum, want recente analyses hebben uitgewezen dat hexagonale microkristallen van SiC, gevonden in meteorieten, hun oorsprong hebben buiten ons zonnestelsel. Het was de Zweedse chemicus Jöns Jakob Berzelius die er in 1824 voor het eerst op wees dat Si en C een binding kunnen aangaan. SiC is een halfgeleider, wat betekent dat deze stof het midden houdt tussen een geleider en een isolator. Een belangrijk kenmerk van zo'n halfgeleider is de bandkloof, of "band gap" zoals we die meestal noemen, ook al wonen we in Nederland. Metalen hebben een bandkloof nul, isolatoren hebben een zeer grote bandkloof, en halfgeleiders zitten daar tussenin.

Kristallen van SiC kun je opgebouwd denken uit grote hoeveelheden opeenvolgende dubbellen bestaande uit silicium en koolstof. In de figuur staat elk bolletje voor een Si-C paar, ongeacht de manier waarop het bolletje getekend is. De paren liggen per vlak in een regelmatig driehoekig patroon met een zestellige rotatiesymmetrie. In de eerste laag liggen de bolletjes op

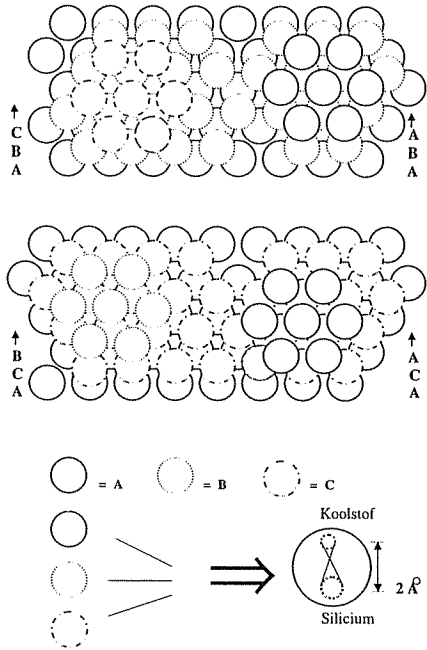


Fig. 2 Polytypie in SiC hangt samen met de vele manieren waarop bollen dichtgepakt op elkaar gestapeld kunnen worden. Elke bol in de figuur staat model voor een Si-C paar (de paarafstand is ongeveer $2 \text{ \AA} = 0,0000000002 \text{ m}$). Uitgaande van een grondlaag A wordt getoond hoe twee extra lagen op vier verschillende manieren kunnen worden aangebracht : ABC, ABA, ACB, ACA.

speciale posities, laten we zeggen op de A-posities. Het is nu in te zien dat er twee manieren zijn om er precies zo'n tweede laag bolletjes op neer te leggen : òfwel in de holtes die in de B-positie liggen òfwel in de C-positie. Als het B is

geworden, dan is de keuze voor de derde laag A of C; als daarentegen C gekozen is voor de tweede laag, dan is de derde laag van de soort A dan wel B, en dat gaat zo maar door. Polytypie heeft te maken met deze meervoudige keuzemogelijkheden.

Allerlei letterreeksen bestaande uit de letters A, B, en C zijn nu denkbaar, ook reeksen die zich periodiek herhalen. De praktijk laat zien dat in het geval van SiC veel van die reeksen ook werkelijk gerealiseerd kunnen worden, en dat leidt tot een heel scala aan kristalsoorten. Maar waarom SiC, en waarom bijvoorbeeld Si of GaAs (gallium-arsenide) niet? Dat was tot voor kort een groot raadsel. We weten inmiddels dat het te maken heeft met de energetisch meest voordelige manier waarop kristallen tot stand komen. De energieën van de diverse verschijningsvormen van SiC blijken zo extreem dicht bij elkaar te liggen dat de natuur er geen been in ziet om in het ontstaansproces nu eens de ene en dan weer eens de andere vorm te kiezen. Dat ligt bij andere kristallen meestal anders. Vandaar dat ik wel eens wilde weten hoe dat in Breda zat met A, B en C.

Te uwer geruststelling: mijn belangstelling voor silicium-carbide heeft ook een technologisch belang, want in een viertal opzichten is deze halfgeleider superieur aan Si, d.w.z.

aan de halfgeleider waaraan de industrie het hart verpand heeft. Er is een bredere bandkloof, die bovendien te regelen is door het goede polytype te kiezen. Ten opzichte van Si is er een tienmaal zo hoog doorslagveld, een tienmaal zo grote verzuigings-driftsnelheid, en een driemaal zo grote warmtegeleidbaarheid [1]. Dankzij deze superieure eigenschappen en dankzij recente doorbraken in kristalgroei- en etstechnieken zowel als in het aanbrengen van Ohmse contacten, is de belangstelling voor dit materiaal de laatste tijd sterk toegenomen, vooral in de Verenigde Staten, Duitsland, Frankrijk, Zweden, Japan en Korea, maar nog niet in Nederland, als ik mijzelf daarbij even buiten beschouwing laat. De uitstekende eigenschappen van het materiaal waren overigens al in de jaren vijftig bekend. De toentertijd gebrekkige kristalgroei- en etstechnieken in het geval van SiC hebben er echter voor gezorgd dat Si het industrieel gewonnen heeft. Daar zal in de toekomst niet veel aan veranderen, maar de rol van SiC wordt belangrijk bij de ontwikkeling van nieuwe transistoren die aan hoge eisen moeten voldoen. Si en GaAs zijn bijvoorbeeld materialen die sterk tegen hun fundamentele fysische grenzen aanzitten.

De praktijk wijst uit dat de elektrische eigenschappen van de verschillende polytypen van SiC

tamelijk wijd uiteenlopen. Ik kan niet nalaten te vermelden dat we in onze groep in de afgelopen jaren een volledige, algemeen geaccepteerde verklaring hebben weten te vinden voor de manier waarop met name de waarde van de bandkloof in SiC samenhangt met de volgorde van de A-, B- en C- lagen [2]. Ik beveel het onderwerp vanaf nu gaarne in uw blijvende aandacht aan.

Toevalligheden ?

Terug naar Breda, we spraken daar over toeval, over het waarschijnlijk niet-toevallig zijn van een volgorde. Daarom ook even aandacht voor een andere kwestie : eens in de honderd miljoen jaar wordt de aarde getroffen door een gigantische meteoroorinslag. De kraters zijn moeilijk terug te vinden, maar als je naar de maan kijkt, is het niet onredelijk te geloven dat de aarde er net zo pokdalig uitziet als de maan. Je moet dan wel even alle zeeën en bossen wegdenken. De inslag van 65 miljoen jaar geleden deed de dinosaurussen uitsterven en maakte de ontwikkeling van andere levensvormen mogelijk, waaronder die van de mens. Had de inslag tien seconden eerder of later plaatsgevonden, dan was de meteor in zee terechtgekomen, en was er geen mens ontstaan zegt Walter Alvarez uit Berkeley, Californie. Dat is natuurlijk toeval, zegt hij.

Je spreekt volgens Van Dale van toeval als het een gebeurtenis betreft, die vooraf niet te voorzien, of te berekenen was. Met de huidige kennis van de astronomie zou deze inslag reeds lang van tevoren zijn voorzien, en zou het dus geen toeval zijn, maar je kunt tegenwerpen dat deze kennis toen bij geen enkel levend wezen voorhanden was. Een ander aspect is nog, dat bij zoveel bewegende hemellichamen dit soort botsingen eenvoudig niet te vermijden is. Het is hooguit wat lastig om op langere termijn te voorspellen wanneer zo'n gebeurtenis precies zal plaatsvinden.

Inmiddels kan ik u meedelen dat ik na enige tijd in de trein tot de conclusie ben gekomen dat de panelen op het perron in Breda in een vooraf geplande volgorde moeten zijn weggezet. De relatief grote herhalingsfrequentie van 32 suggereert weliswaar willekeur, maar dat is natuurlijk precies de bedoeling geweest van de ontwerper ! De kunstenaar, want iemand die zulke panelen bedenkt is een kunstenaar, heeft zich van een truc bediend. Hij weet dat er nauwelijks verschil is tussen zijn rij en een willekeurige rij. Om er zeker van te zijn dat de panelen naar zijn wens inderdaad overal een quasi-willekeurige indruk wekken, heeft hij de volgorde op een papertje gezet. Na 32 panelen vindt hij het wel voldoende, en schrijft aan de werk-

lieden voor dat de zaak op deze wijze herhaald moet worden. Deze luiheid van hem of haar is begrijpelijk en sympathiek, en lijkt op die van een goed fysicus. De eigenschappen van een willekeurige en een Bredase verdeling zijn namelijk inderdaad vrijwel gelijk. De periodieke verdeling heeft echter soms voordelen. Zo weet een fysicus bijvoorbeeld dat de Bredase verdeling, opgevat als potentiaalprobleem een eenvoudige generalisatie is van het beroemde model van Kronig en Penney [3], door hen geformuleerd in het jaar 1931, en waaraan op speciale wijze gerekend kan worden.

Conclusie : het is niet waarschijnlijk dat de Bredase verdeling toevallig tot stand is gekomen. Er zit een onbekende auteur achter met fysisch inzicht, een kunstenaar zelfs, die deze schijnbaar chaotische verdeling in scène heeft gezet. Geen toeval dus. Ik laat het aan u over om te speculeren over de vraag of de meteorinslag van 65 miljoen jaar geleden toeval was, of in scène is gezet. Zelf kom ik diep onder de indruk van de wetmatigheden die hierbij een rol spelen, maar dat leidt niet tot een godsbewijs. De ontwerper van Breda is in beginsel te achterhalen, de verantwoordelijke voor de meteorinslag laat zich niet op soortgelijke wijze identificeren.

De meeste fysische inzichten zijn

verworven door wetenschappers die goed hebben opgelet en structuur hebben ontdekt in schijnbare chaos. Zij zijn daar veelal toevallig op gekomen, meestal niet in het kader van een gehonoreerd onderzoeksvoorstel bij één of andere geldstroombron. Dat laatste is niet geheel onmogelijk, maar de condities zijn aanzienlijk minder gunstig. Je ondervindt namelijk hinder van het feit dat je toekomstige ontdekkingen al voor een jaar of vier zijn vastgelegd; het is dus verboden aan iets anders te denken. Slechts diegenen die hun voorstellen na honorering creatief weten te vergeeten, die dus een beetje frauderen, hebben een kans om er iets moois van te maken. Voor de goede orde : de kritiek die u hier wellicht proeft richt zich niet op grote, puur technische projectvoorstellen. Bij dat soort projecten hoort een goed doordacht werkplan, waarbij het doel nauwkeurig kan worden aangegeven en beoordeeld. Mijn betoog richt zich op de vrije ontwikkeling van nieuwe ideeën, meestal in kleinschalige projecten, die overal, vooral aan technische universiteiten aan het verdwijnen zijn of reeds verdwenen zijn, die in ieder geval onder druk staan en toch zo belangrijk zijn voor de instandhouding van de kwaliteit van ons vak en voor het doorgeven ervan aan de volgende generatie. Geen dure hobby dus, want het mag om zeer goede redenen best wat kosten. Ik zal daar straks iets

meer over zeggen, maar misschien is de volgende metafoer nog behulpzaam.

Kwelwater uit de Kempen doet er duizenden jaren over, om heel diep, door klei-en zandlagen heen door te sijpelen naar onze omgeving, 3 centimeter per jaar door klei, 3 meter per jaar door zand. Op haar weg verrijkt het water zich met allerlei mineralen en voert die met zich mee. Daar waar het toevallig aan de oppervlakte komt, kunnen de meest exotische planten floreren. Echter, voor een efficiënte watervoorziening van de bevolking moet dit water van heel diep worden opgepompt. Dat water gaat vervolgens na gebruik voor een groot gedeelte door de WC. Weg met al die mooie planten. Het is deze keuzeproblematiek waar het om gaat : enerzijds de zorg voor de toegankelijkheid tot de intrinsieke rijkdom die in de natuur verborgen ligt, anderzijds het investeren in en het verwezenlijken van noodzakelijke, dure en dichtbijge doelen.

Nu volgt een klein intermezzo, met enige autobiografische elementen. Na mijn middelbare schooltijd, toen ik mij in Utrecht had ingeschreven voor de studie medicijnen werd ik reeds na twee weken teruggefloten door de commissie die rijksstudietoelagen toekende. Ik had de grens van acht gemiddeld voor alle 13 examen-vakken gemist, enkele zevens voor de talen hadden mij de

das omgedaan. Dit alles was de commissie, zij het wat laat, niet ontgaan. Zij oordeelde dat in dit speciale geval een studie in de wis- en natuurkunde de oplossing zou kunnen zijn. Deze zou aanzienlijk beter kunnen aansluiten bij mijn beperkte capaciteiten dan een studie in de medicijnen. Hoewel de logica misschien wat te wensen overliet, kon mij de beslissing van de commissie eigenlijk niet veel schelen : ik was onvoldoende gemotiveerd voor welke speciale studie dan ook, eigenlijk was alles even interessant. Het had ook geo- of theologie kunnen zijn. Ik voegde mij dan ook gewillig. Gaarne wil ik op deze plaats de commissie alsnog danken voor haar oordeel. Beslissingen waarbij niet goed wordt nagedacht behoeven namelijk niet altijd catastrofaal te zijn. Het kan soms toch nog aardig terecht komen, waarmee ik wil zeggen dat ik dankbaar ben voor het toeval dat mij aan een studie zette die ik niet zelf heb gekozen.

Over het voorspellen van onderzoekresultaten

Instanties die subsidie verlenen voor onderzoek op grond van onderzoeksvoorstellen houden zich eigenlijk op twijfelachtige wijze bezig met handel in voorkennis. Op de beurs is dat ten strengste verboden, maar in ons Nederlandse wetenschaps-en-techniek-land is dat tot op heden niet strafbaar. De

reden is dat het speculeren in wetenschappelijke opties een mooi doel dient, te weten het bereiken van de internationale wetenschappelijke top, en het versterken van de nationale industrie. Tegelijkertijd, en dat is ook uiterst heilzaam, wijst het beoordelingssysteem het niet-gehonoreerde onderzoek zijn plaats, te weten de tweede divisie of de onderbond, en dat spaart belastinggeld. Het politieke klimaat voor dit systeem is gunstig. Dat het beoordelingssysteem grote inspanningen vraagt van indieners en beoordelaars is bekend, maar er rust een taboe op de vraag of de kost wel voor de baat uitgaat.

Waar gaat het over ? Over onderzoek in de natuurwetenschappen bijvoorbeeld. In zijn artikel in APS NEWS van december 1996 [4], getiteld "Is Science a Victim of its own Success ?" citeert John Horgan de theoretisch fysisch en Nobelprijswinnaar Richard Feynman die gezegd heeft : "The age in which we live is the age in which we are discovering the fundamental laws of nature, and that day will never come again", een ietwat triomfantelijke, maar ook wel verwarrende uitspraak, al was het alleen maar omdat bij hem honderd jaren als één dag zijn. De boodschap lijkt echter duidelijk : na de relativiteitstheorie en de quantummechanica hebben we het meeste wel gehad. Zo'n eeuw van grote ontdekkingen komt nooit terug.

Onze geldstroomregelaars lijken met Feynman op één lijn te zitten, in goed gezelschap dus. Jammer, want zover wilde Feynman niet gaan. Hij zei : "we are discovering the fundamental laws", niet "we have discovered". Door geld te onttrekken aan fundamenteel onderzoek omdat het vak af is, maakt men zich schuldig aan pogingen het eigen gelijk te bevestigen. Dat gelijk is er niet. Het wordt nog dagelijks ontkracht.

De praktijk bewijst dat er, gebaseerd op de bekende natuurkundige wetmatigheden, nog steeds nieuwe toepassingen bedacht worden. Zo worden er eveneens regelmatig essentiële en ingrijpende verhelderingen aangebracht in onze inzichten in de fundamentele natuurwetten. Deze verhelderingen scherpen op unieke en aanstekelijke wijze het verstand, ze vormen de natuurlijke inspiratiebronnen voor nieuwe toepassingen. Het is goed dat er geld naar toepassingsgericht onderzoek gaat. Het is dom om onderzoek dat uit nieuwsgierigheid geboren wordt daarbij uit te sluiten. Wij dienen bovendien groot belang te hechten aan de instandhouding en uitbouw van een cultureel erfgoed dat zorgvuldig aan volgende geslachten moet worden doorgegeven.

Hoe de steun voor fundamenteel onderzoek, dat heel vaak kleinschalig is, het best aan universiteiten

gegeven kan worden ? Ik zal globaal schetsen hoe ik dat het liefst zou zien gebeuren :

Nederland heeft duizenden hoogleraren, universitaire hoofddocenten en docenten, waaronder honderden natuurkundigen. In mijn ideale systeem worden althans deze laatsten als volgt benoemd : er wordt in Nederland een bestand aangelegd van gekwalificeerde natuurkundigen waaruit toekomstige docenten aan Nederlandse universiteiten geselecteerd worden. Er wordt eveneens gewerkt aan landelijke consensus over de hoeveelheid en soort natuurkundigen die aan de diverse Nederlandse universiteiten nodig zijn. Bij de vervulling van een specifieke vacature aan een universiteit wordt in een breed samengestelde commissie gekeken naar de lokale belangen van de betreffende faculteit en naar de locatie-overstijgende belangen, dit alles tegen de achtergrond van het hierboven bedoelde meesterplan. Benoemingen geschieden zoals vroeger, d. w. z. door in overleg met de betreffende universiteit de beste kandidaat die er volgens de commissie is, te polsen. Er is een apart landelijk lichaam dat alles overziet en de bemensing van de speciale benoemingscommissie regelt. Ze bewaakt de coördinatie en fiatteert een voorgestelde polsing. FOM en andere NWO-stichtingen kunnen een belangrijke rol spelen in het

inzichtelijk maken van de kwaliteit van het kandidatenbestand. Solliciteren naar een positie is niet verboden, maar is eigenlijk overbodig.

Eenmaal benoemd krijgt een docent gedurende 6 jaar de beschikking over geld in de vorm van trekkingsrechten. De hoeveelheid hangt af van het te bewerken gebied. Voor dure technische hoogstandjes handhaven we het huidige systeem van middelenverwerving, voor het werk dat kleiner in omvang is schaffen we het af. De tijd die daardoor vrijkomt bij de FOM e.d. wordt ingezet om het lopende onderzoek in Nederland in kaart te brengen. Vastgelegd wordt onder meer wat er na de periode van 6 jaar tot stand gekomen is rondom iedere benoemde kandidaat. Afhankelijk van de rapportage stijgt of slinkt de toekenning van geldmiddelen in de volgende 6 jaar, of blijft gelijk. Er wordt uiteraard nagedacht over een pakket overgangsmaatregelen voor het reeds zittende wetenschappelijke bestand.

De voordelen van het systeem op een rij :

- (1) er komt samenhang in het Nederlandse benoemingsbeleid;
- (2) wetenschappers kunnen weer hun eigen intuïtie volgen;
- (3) zij worden beoordeeld op hun resultaten, niet op hun fantasieën;
- (4) de stichtingen richten zich op het waarnemen van wat er

feitelijk gaande is, in plaats van te gissen naar het realiteitsgehalte van ingediende voorstellen.

Fundamenteel onderzoek in de natuurkunde raakt uit de gratie. We zijn kennelijk met tevelen. Dat lag veertig jaar geleden anders, toen men veel van ons verwachtte. Die belangstelling is afgenomen. Ondernemingen zijn slechts bereid zeer gericht onderzoek te steunen; de interesse en de steun neemt af als de doelen verderaf liggen en minder concreet zijn. Is het maatschappelijk oordeel over de natuurkunde terecht? Daarop bestaat geen goed antwoord. Dat komt doodgewoon omdat voorspellen lastig is. Het is mijns inziens al strijdig als je zegt te kunnen opschrijven wat je binnen vier jaren gaat ontdekken. Zij die de opgeschreven toekomstdromen van anderen moeten beoordelen hebben het zo mogelijk nog moeilijker. Aan beide soorten waarzeggerij heb ik meegedaan, ik geef het toe, maar ik heb er geen goed gevoel aan overgehouden.

De toenemende invloed van geldstroomorganisaties wijst op onzekerheid in de maatschappij en de politiek. De situatie in onderzoeksland wordt van hogerhand als dermate ernstig beschouwd dat een selecte groep van toonaangevende fysici voor tientallen procenten van hun tijd worden ingezet om alleen maar te evalueren en te visiteren in

plaats van te werken. Daarin schuilt een tegenstrijdigheid die slechts weinigen opvalt, en zeker weinig politici. Merkwaaarderwijs hebben deze gekwalificeerde beoordelaars er zelf ook weinig last van: zijn juist zij niet bij uitstek gekwalificeerd om te doen waar we behoefte aan hebben, namelijk het verrichten van hoogwaardig onderzoek?

Het beoordelingscircuit wordt mede in stand gehouden door aan indieners van voorstellen te vragen een boekje open te doen over de ideeën van hun concurrenten. Er is daarbij een groot geloof in ieders onbevooroordeeldheid. Het volgende gedicht zet daar vraagtekens bij [5]

A fault-finding Dutch referee considered proposals with glee:
"What's new is not true,
and what's true is not new,
unless it was written by me."

Hoe dit alles ook zij, we zijn met onze handel in voorkennis gaan wennen aan een model waarin jaren van te voren bekend moet zijn wat men denkt te gaan uitvinden, en aan welke ontdekkingen de pas dient te worden afgesneden. Dit spel is tijdrovend en spannend, want enerzijds moet de onderzoeker wervende verhalen schrijven, anderzijds is het verstandig goede ideeën zo te verhullen dat er geen misbruik van gemaakt kan worden. Het kan ertoe leiden dat mensen

komen bovendrijven met een surplus aan dit soort handigheid, een interessant maar niet-bedoeld neveneffect.

Het is verder opvallend dat na toewijzing van een onderzoeksvoorstel meestal, zo niet altijd, verzuimd wordt te controleren of het beloofde doel ook bereikt wordt. Het is kennelijk veel spannender om te ontrafelen wat iemands ideeën zijn dan kennis te nemen van de eventuele realisatie ervan. Eigenlijk is dat ook wel weer een beetje mooi aan het model, want het geeft ruimte voor echte ontdekkingen. Maar, ik kan niet streng genoeg zijn : zulke ontdekkingen zijn in feite verboden en dienen beboet te worden.

In 1974, bij mijn intrede aan de TH Delft vermeldde ik dat de Amerikaanse sociologen J. R. Cole en S. Cole aanbevelen dat men zich bij onderzoek diende te richten op een beperkt aantal wetenschappelijke auteurs die volgens de Science Citation Index het vaakst geciteerd werden [6]. De rest zou men moeten vergeten, wellicht stierf die rest, door zo te handelen vanzelf wel uit. De praktijk is harder geweest dan de leer : mocht ik in 1973 melden dat de totale dikte van een jaargang Physical Review in 1950 20 cm. bedroeg en in 1973 reeds 166 cm., een recente meting in onze bibliotheek levert voor het jaar 1993 321 cm. op, voor het jaar 1996

zelfs 374 cm. De trein dendert dus door. Is dit erg ? Immers wie leest dit allemaal ? Ik ben ondanks dit veel gehoorde bezwaar geneigd te zeggen dat we er blij mee moeten zijn. Het verschijnsel wijst er op dat in toenemede mate fysici zich aan het trainen zijn in het zorgvuldig op schrift stellen van hun bevindingen, en dat is toe te juichen. In mijn beginperiode in de fysica, waarin er ook al veel te lezen was, was het niet ongewoon als een onderzoeker een harde kern van pakweg twintig stukgelezen artikelen binnen handbereik had, en slechts een fractie las van wat er verder gepubliceerd werd. Er is dus geen enkele reden om nu extra misbaar te maken.

Over theoretische natuurkunde in een technische omgeving

Het wordt tijd dat ik iets zeg over mijn ervaringen met het beoefenen van de theoretische natuurkunde. Ik heb het voorrecht gehad mijn promotieonderzoek op het gebied van de quantumelektrodynamica te mogen verrichten aan de RU Utrecht, onder leiding van professor Leon van Hove. Ik heb bijna 20 jaar onderzoek kunnen doen aan het Natuurkundig Laboratorium van de N. V. Philips. Negen jaar was ik als buitengewoon hoogleraar verbonden aan de afdeling Elektrotechniek van de TUD, en nu neem ik afscheid van de faculteit Technische Natuurkunde van de TUE, waar ik

12,5 jaar gewerkt heb. Ik heb aan uiteenlopende onderwerpen gewerkt zoals veldentheorie, supergeleiding, lasers, vloeibaar helium en halfgeleiders. Resultaten die ik het meest koester zijn een tiental van mijn publicaties, de rest mag van mij vergeten worden. Ik koester verder alle acht dissertaties [7-14] die onder mijn leiding bewerkt werden en die ik letter voor letter heb goedgekeurd. Ik heb de voldoening enkele afstudeerders te hebben afgeleverd die het goed blijken te doen. Ik heb geprobeerd op al mijn diverse werkplaatsen het vak zo te beoefenen dat het behalve voor studenten in hun opleiding nuttig, tevens dienstig was aan de omgeving waarin ik werkzaam was. Dat was echter niet altijd eenvoudig.

Neem de faculteit Technische Natuurkunde. Het zwaartepunt ligt daar, naast onderwijs, in het ontwerpen van - en het werken met hoogwaardige apparatuur, deels om deze apparatuur tot grote perfectie te brengen, deels met het doel materialen te karakteriseren of te bewerken, deels uit nieuwsgierigheid naar nieuwe fysische verschijnselen. Zonder meer een stimulerende omgeving voor een theoretisch fysicus. Enkele kanttekeningen zijn hier op hun plaats :

Theoretische Natuurkunde aan een faculteit Technische Natuurkunde is van levensbelang vanwege haar

inbreng in het onderwijs. Aangezien het de allereerste taak is om studenten op te leiden kun je niet om mensen heen die bij uitstek goed voor dat onderwijs gekwalificeerd zijn. Theoretisch fysici bijvoorbeeld. Onderzoek behoort onlosmakelijk bij onderwijs. De theoretisch fysicus heeft in het algemeen zeer gefundeerde opvattingen over de vraag welke verschijnselen de moeite van het onderzoeken waard zijn, en heeft daarbij geen last van een aanwezig instrumentarium dat uit overwegingen van doelmatigheid bespeeld moet worden. Hij of zij kan dus flexibel zijn in het kiezen van onderwerpen en bovendien van grote waarde zijn bij lopende experimentele projecten. Zij of hij dient echter vooruit te lopen in het ontwikkelen van theoretische methodieken die die projecten overstijgen, want anderen doen dat niet. Hij of zij heeft dus bij voorkeur een onafhankelijke positie. Vanwege het belang van deze inbreng zijn er meer theoretisch fysici nodig dan nu. Dat kan eenvoudig worden gerealiseerd, want ze zijn goedkoop.

De verhouding tussen experimentatoren en theoretici wordt soms vertroebeld door de opvatting dat een theoreticus pas nuttig is, als hij of zij op afroep kan worden ingeschakeld bij lopend experimenteel werk. Zo heb je er nog wat aan, we weten immers dat

hij twee linkerhanden heeft. Zo'n door experimentatoren geïdealiseerde theoretisch fysicus wordt huistheoret genoemd, een slaaf voor het moeilijke werk. Ik heb mij ook schuldig gemaakt aan soortgelijke gedachten, ik beken het. Een goede volgzaam huisexperimenterator leek me wel wat. Bij ontstentenis daarvan heb ik me in voorkomende gevallen bezighouden met technisch fysieke onderwerpen, die elders intensiever experimenteel werden bewerkt dan aan de eigen faculteit. Voor de goede orde, dat is dus ook technische fysica.

Het is mijn overtuiging dat essentiële stukken theorie bij experimentatoren soms onderbelicht blijven. Het kan ertoe leiden dat in de beschrijving en voorspelling van verschijnselen beperkingen optreden. Dat vraagt om regelmatig en respectvol contact tussen experimentatoren en theoretici. Het verdient aanbeveling dit contact een structurele vorm te geven.

Het vak is nog niet af

In het kort wil ik nog iets kwijt over mijn allerlaatste werk, waar ik tevens enkele promovendi mee heb opgezadeld. Het betreft de zogenaamde GW-theorie, opgesteld in de jaren zestig, een theorie die overigens pas eind jaren tachtig bewezen heeft de waarde van de bandkloof in halfgeleiders precies te

kunnen voorspellen. We hebben het ermee samenhangende rekenprogramma geschreven en vervolgens toegepast, hoe kan het ook anders, op enkele complexe polytypen van SiC. Er lijkt geen twijfel te bestaan, ook in deze gevallen werkt de GW-methode perfect [15]. Maar waarom eigenlijk? Dat willen we graag weten, want dat geeft inzicht in de mogelijke beperkingen van de theorie, wat weer van groot belang is voor de technisch-fysieke praktijk.

We hebben geprobeerd dit probleem aan te pakken door te rade te gaan bij Richard Feynman, de fysicus die ik hierboven reeds introduceerde. Hij heeft voor dit soort vragen een boekhoudmethode bedacht waarmee je de diverse bijdragen tot de grootte die je zoekt, en waar je in een al te eenvoudige theorie geneigd bent vanaf te zien, naar complexiteit sorteert. De hulpmiddelen die hij daarbij aanreikt zijn de zogenaamde Feynman-diagrammen, een ontelbare reeks tekeningen die steeds ingewikkelder worden.

Ieder diagram is niets anders dan een code voor de bijdrage tot de bandkloof waar het om gaat. Zo'n bijdrage wordt uitgedrukt in een wiskundige formule. Het voordeel van de diagrammen is dat je geen enkele van die formules kunt vergeten, als je eerst volgens de regels alle diagrammen hebt

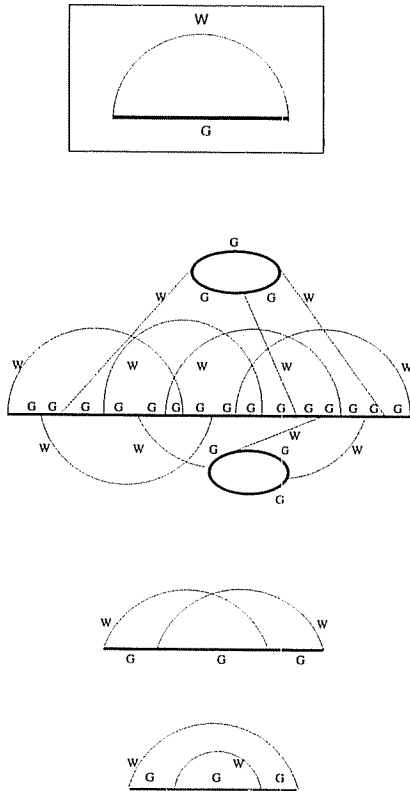


Fig. 3 Feynman-diagrammen die bijdragen tot de waarde van de bandkloof in een halfgeleider. Getrokken lijnen G hebben betrekking op elektronen, gestippelde lijnen W op de wisselwerking die elektronen met elkaar hebben. Het eerste diagram is het beroemde GW-diagram. De relevantie van de overige diagrammen is voorlopig nog onduidelijk.

getekend. Om u een indruk te geven om wat voor plaatjes het gaat zal ik u er een paar van laten

zien. Het is voor het betoog niet nodig dat u precies weet wat ze voorstellen. Een voorlopige werkhypothese is dat het belang van diagrammen afneemt naarmate ze ingewikkelder worden. Dat is natuurlijk een ideaal uitgangspunt bij het doen van berekeningen, want dan kan je het tweede plaatje bijvoorbeeld vergeten. Voor de volledigheid moet ik er wel bij zeggen dat deze opvatting over de afnemende complexiteit niet geheel onomstreden is. Het eerste meest eenvoudige plaatje in de figuur is de code voor een formule die iets minder dan één regel beslaat, maar die desondanks uren rekentijd op de computer vraagt. Het tweede plaatje vraagt qua formule maar een paar regels meer, maar het is ondoenlijk en ook onzinnig om het op een computer uit te rekenen. En dan te weten dat er nog veel ingewikkelder diagrammen bestaan. De charme van de GW-theorie is nu dat die theorie zich voor halfgeleiders beperkt tot het allereerste plaatje uit de figuur, waarin slechts één getrokken en één gestippelde lijn voorkomt. Om bepaalde redenen worden die lijnen G en W genoemd, vandaar de naam GW-theorie. Ondanks het weglaten van alle overige ingewikkelde diagrammen levert die GW-theorie verblijvend precieze resultaten op. Maar nogmaals, waarom ?

Ons idee komt er gewoon op neer dat we één stapje verder gaan in de

complexiteit van de diagrammen. We doen dat om te controleren of dat inderdaad niets meer toevoegt, en om te ontdekken waarom niet. Modelberekeningen, hier en elders, lijken aan te geven dat de bijdragen van de extra plaatjes waarvan ik er twee getekend heb, in hoge mate tegen elkaar wegvallen. Dat moet dan maar eens ondubbelzinnig worden vastgesteld voor een concreet geval van een echte halfgeleider. Het blijkt daarbij erg handig te zijn als je de vereiste extra diagrammen, nu met twee stippellijnen, opdeelt in een groot aantal subdiagrammen, die ik verder maar niet laat zien. Tientallen van die subdiagrammen zijn door de handen van mijn promovendi gegaan en gereed gemaakt voor berekening op de computer. Vele uren rekentijd zijn gebruikt met als resultaat dat er, tegen onze hoop en verwachting in, wel degelijk nog iets uitkomt [16]. Dat is een lelijke tegenvaller, want het zou leuk zijn geweest als je het succes van de GW-theorie op deze eenvoudige wijze aan het licht had kunnen brengen. Kennelijk ligt het allemaal toch nog ingewikkelder, maar ook dat is goed om te weten. Er zijn een paar vage aanwijzingen over de voortgang.

Het betekent dus dat we nog steeds met een theorie zitten die nauwkeurig reproduceert wat er in experimenten gevonden wordt, maar waarvan niemand begrijpt waarom

ze werkt. De voorspellende waarde is daarom beperkt, omdat je niet zeker weet of de theorie wel van toepassing is op, zeg maar, een nieuwe verbinding die je om bepaalde redenen zou willen synthetiseren. Het lukraak toepassen van de theorie op zo'n nieuwe onbekende situatie, hoe verleidelijk ook, is dan niet verantwoord. Het ontbreken van fundamenteel inzicht ontnemt je daarom de mogelijkheid om er een stuk technologie op te baseren. Zo hangen die dingen nu eenmaal samen.

Het is eigenlijk om een dubbele reden dat ik Feynman's diagrammen ten tonele voerde. Immers, met een parafrase op Richard Feynman's eigen woorden kan ik nu tot hem zeggen : "We are still busy discovering the laws of nature, but your diagrams are still a big puzzle, and this age is almost over". Wat ik daarmee wil zeggen is dat het vak nog niet af is.

Slot

Terugkijkend op mijn periode aan de faculteit Technische Natuurkunde aan de TUE denk ik onder meer aan de jarenlange succesvolle samenwerking met Daan Lenstra. Een van de hoogtepunten was de beschrijving van de analogie tussen het Aharonov-Bohm-effect en het Sagnac-effect. Zowel Daan Lenstra als Peter Bobbert hebben zeer sterk bijgedragen aan het gezicht van de groep dat sterk bepaald werd door halfgeleiderfysica. Het werk met promovendi gaf zeer veel voldoening. Het was geweldig ze hedenmiddag weer eens in actie te zien bij het symposium. Het aantal afstudeerders in de afgelopen jaren was beperkt, laten het er tien tot twintig zijn geweest, maar ook dat was mooi. Lesgeven deed ik graag. Het mondeling afnemen van tentamens ervoer ik als een waardevol middel om minstens één keer intensief met elke student in contact te zijn geweest. Voor besturen ben ik niet opgeleid, maar, ik word eentonig, ik vond het gewoon leuk, al liep het aantal commissies en besturen wel eens wat hoog op. Ik hoop met name dat de werkgroep Natuurkunde en Samenleving een goed vervolg krijgt ook wanneer er over enkele jaren niet meer geprofiteerd kan worden van de inzet van Bart van der Sijde. Mijn werk als voorzitter van die werkgroep stond overigens in geen enkele verhouding tot zijn bijdrage. De verhoudin-

gen binnen de vakgroep Theoretische Natuurkunde met mijn directe collega's Frans Sluijter en Boudevijn Verhaar waren uitstekend. Zowel op de twee jaren als vice-decaan als op mijn decanaat kijk ik met plezier terug. Ik zie tot mijn genoegen dat het COBRA goed gaat, ook daar heb ik nog wat sporen liggen. De contacten in het College van Decanen en met het College van Bestuur waren plezierig, de samenwerking met de directeur van de faculteit Gerard Pasmans liet ook al niets te wensen over. En dan, lest best, is daar mijn echtgenote die mij in al die jaren tot een enorme steun is geweest. Het is niet overdreven, maar zonder haar zou ik er totaal niets aan gevonden hebben.

Als ik dit alles zo overdenk is het eigenlijk jammer dat het voorbij is. Maar de trein gaat verder. Links en rechts zie ik ze weer in willekeurige volgorde passeren : de promovendi, de afstudeerders en de stagiairs, laten we ze respectievelijk A, B en C noemen. Maar nee, het is misschien beter er nu verder het zwijgen toe te doen.

Ik dank u voor uw aandacht.

Referenties

- 1 S. Tyc and C. Arnodo, "*Silicon carbide : analysis of a breakthrough*", *Revue Technique Thomson-CSF*, vol. 26, no. 2, juni 1994.
- 2 W. van Haeringen, P. A. Bobbert, and W. H. Backes, "*On the Band Gap Variation in SiC Polytypes*", *Phys. Stat. Sol. (b)* 202, 63, 1997.
- 3 R. de L. Kronig and W. G. Penney, *Proc. Roy. Soc. A* 130, 499, 1931.
- 4 J. Horgan, "*Is Science a Victim of its own Success ?*", *APS NEWS*, vol.5, no. 11, December 1996.
- 5 *Vrij naar "On What's New and True", author unknown, Limerick Contest, APS NEWS vol. 6, no. 3, p. 12, March 1997. Een Nederlandse versie zou bijvoorbeeld kunnen luiden : Een jurylid vol van venijn / vindt vitten op voorstellen fijn / "Wat goed is, is oud, / wat nieuw is, is fout, / tenzij het ontspruit aan mijn brein."*
- 6 W. van Haeringen, "*Een fysicus en zijn vakliteratuur*", *Inaugurele rede TH Delft 09-10-1974, Delftse Universitaire Pers*.
- 7 D. Lenstra, *Delft 12-09-1979, "On the theory of polarization effects in gas lasers", promotor prof. dr. W. van Haeringen*.
- 8 P. J. H. Denteneer, *Eindhoven 05-06-1987, "The pseudopotential-density-functional method applied to semiconducting crystals", promotoren prof. dr. W. van Haeringen en prof. dr. J. T. L. Devreese*.
- 9 B. Farid, *Eindhoven 21-03-1989, "Towards ab initio calculations of electron energies in semiconductors", promotor prof. dr. W. van Haeringen, copromotor dr. D. Lenstra*.
- 10 R. Daling, *Eindhoven 17-05-1991, "On second-order self-energy corrections and plasmon resonances in silicon", promotor prof. dr. W. van Haeringen*.
- 11 J. P. Cuypers, *Eindhoven 12-11-1992, "Scattering of electrons at heterostructure interfaces", promotoren prof. dr. W. van Haeringen en prof. dr. D. Lenstra*.

- 12 W. H. Backes, *Eindhoven 06-06-1996*, "On the band gap variation in SiC polytypes", promotoren prof. dr. W. van Haeringen en prof. dr. F. Bechstedt, copromotor dr. P. A. Bobbert.
- 13 H. J. de Groot, *Eindhoven 03-10-1996*, "Effects of self-consistency and vertex corrections on the GW-gap of semiconductors : a model study", promotoren prof. dr. W. van Haeringen en prof. dr. B. J. Verhaar, copromotor dr. P. A. Bobbert.
- 14 R. T. M. Ummels, *Eindhoven najaar 1998*, "GW and Beyond : Application to SiC, Si and C", promotoren prof. dr. W. van Haeringen en prof. dr. M. A. J. Michels, copromotor dr. P. A. Bobbert.
- 15 R. T. M. Ummels, P. A. Bobbert and W. van Haeringen, "Ab-initio quasiparticle energies in 2H, 4H and 6H SiC", submitted to *Phys. Rev. B.*, 1998.
- 16 R. T. M. Ummels, P. A. Bobbert and W. van Haeringen, "Investigation of the first order corrections to RPA-GW in silicon and diamond", *Phys. Rev. B* 57, 11962, 1998.

Vormgeving en druk:
Universiteitsdrukkerij
Technische Universiteit Eindhoven

Informatie:
Front Office Auditorium
Telefoon (040-247)2250/4676

ISBN 90 386 1161 7



Willem van Haeringen werd in 1933 geboren te Bergen op Zoom. Hij volgde lager- en meer uitgebreid lager onderwijs aan de School met den Bijbel aldaar, hetgeen in 1948 leidde tot de diploma's MULO A en B. Aanvullend middelbaar onderwijs aan het Moller-lyceum te Bergen op Zoom resulteerde in 1950 in het diploma HBS B. Hij studeerde vanaf 1950 theoretische natuurkunde aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. Hij promoveerde aldaar in 1960 op een onderzoek betreffende de quantumelektrodynamica. Van 1960 tot 1963 was hij wetenschappelijk ambtenaar aan de Rijksuniversiteit te Utrecht, in welke periode hij tevens 20 maanden militaire dienstplicht vervulde. Van 1963 tot 1982 was hij verbonden aan het Philips Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven en heeft zich daar beziggehouden met diverse onderwerpen uit de fysica van de vaste stof, de

optica van lasers en de theorie van vloeibaar helium. In 1973 werd hij benoemd tot groepsleider van de onderzoeksgroep Lage Temperaturen, alsmede tot buitengewoon hoogleraar in de theoretische elektriciteitsleer aan de Afdeling Elektrotechniek van de TH Delft. In 1982 werd hij benoemd tot gewoon hoogleraar in de theoretische natuurkunde aan de TUE. Van 1994 tot 1995 was hij decaan van de faculteit Technische Natuurkunde; van 1995 tot 1996 wetenschappelijk directeur van de onderzoeksschool COBRA, alsmede vicevoorzitter van het bestuur van de landelijke onderzoeksschool Theoretische Natuurkunde. Zijn onderzoek aan de TUE was in hoofdzaak gericht op de theorie van halfgeleiders en elektrische geleiding.