

Frans W. Saris

ALLES
IS
NATUURKUNDE
MAAR
NATUURKUNDE
IS
NIET ALLES



Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica, Amsterdam

ALLES IS NATUURKUNDE, MAAR NATUURKUNDE IS NIET ALLES
Frans W. Saris

© 1993 F.W. Saris

Deze stukken verschenen als column in de Wetenschapsbijlage van *NRC Handelsblad*.

Een aantal werd ook gepubliceerd onder de titel *Oververhit IJs, Dagboek van een fysicus*, Meulenhoff, 1991.

Uitgegeven door: FOM Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica, Amsterdam

Redactie: Suzanne den Exter, Louise Roos

Omslag en vormgeving: Wies Oldenziel-Werner

Illustraties: Peter Zadelaar

Druk: Febo Druk bv, Enschede

ISBN 90-801704-1-0

NUGI 812/819

INHOUD

Voorwoord	5	Wattmeter	125
Een vondst	7	Decadentie	128
Macroscopisch atoom	11	Alfa-angst of bèta-bang	133
Zonnecellen	15	Vader van het atoom	136
Rectrix	18	Postdoc	140
Kussengevecht	21	Een timmermansoog	144
Fysica van het jaar	25	Vuur	148
Een contract	29	Zappen	152
Wittgenstein	33	Freudiaans	155
Kijk op de jaren 90	37	Naïeve geleerden	158
Dagboek van een fusicus	41	Andries Miedema 1933-1992	161
Silicium promoties	45	Leve het elektron	164
Vier jaar verloofd	48	Vacuümvideo's	167
Formules voor kikkers	52	Elektrofobie	170
Science Park Holland	55	Wat is leven?	173
Wetenschappelijke nomaden	58	Super-intense lasers	177
10 jaar onderzoek en ontwikkeling	63	Ontdekkingen bij Mulish	180
Waar of niet waar?	67	IJ van Columbus	183
Oververhit ijs	70	De onzichtbare hand	187
Assistent-in-opleiding	73	Kunst van 't onderhoud	190
Een goede manager	76	Rusland, Amerika, Japan en wij	193
Onzekerheid	83		
Spion in het lab	86		
Deeltjesversneller	90		
Tsjernobyl	94		
Natuurkunde hoofdstad	98		
Schipperen naast God	101		
Tempel der wetenschap	105		
Postmodern weten	108		
Wetenschapsromans	111		
Andere natuurkunde	114		
Vacuüm	118		
Böhmisch	122		

VOORWOORD

De zomer van 1971 was koel en buiig. In die zomer sjouwde ik zes weken lang met een medestudente tussen nieuwsgierige koeien, schapen en boeren door het polderlandschap bij IJsselstein in het zuiden van de provincie Utrecht. We hadden er een aantal vierkante kilometers terrein aangewezen gekregen waar we een bodemkaart van moesten maken. Volgens een van tevoren bepaald patroon prikten we op vaste onderlinge afstanden met een grondboor tot ten minste 120 centimeter diepte in de grond, bepaalden elke tien centimeter de aard van de bodem en stelden zo per boorpunt het plaatselijke bodemtype vast. Al die punten samen leverden een globale kaart van ons gebied op. Dat was gewoon vuile handen maken. Verder moesten we ook leren letten op bijzondere dingen in het landschap. In een poldergebied kan een uitgezakte slootoever op iets bijzonders duiden en als je heel goed hebt leren kijken, kun je hoogteverschillen van een decimeter al zien (grotere verschillen komen niet zo veel voor). Beide verschijnselen kunnen wijzen op de aanwezigheid van een zandrug in de ondergrond en die verraadt weer de vroegere loop van een rivier of riviertje. Het deltagebied van Midden- en West-Nederland is sinds de laatste ijstijd opgebouwd door rivieren en zijrivieren die zand en klei aanvoerden uit het Duitse achterland. Vroeger konden die waterlopen in natte perioden ongebreideld overstromen en zo onze lage landen opbouwen. Dat was de wetenschap die we leerden. Door heel goed te kijken, nauwkeurig te karteren en verbanden te leggen hebben we in de loop van de jaren '70 met vele tientallen studenten de wordingsgeschiedenis van de bodem van een groot deel van de provincie Utrecht in detail gereconstrueerd en al doende hier en daar de bekende geschiedenis van de vroege Middeleeuwen langs natuurwetenschappelijke weg gecorrigeerd.

Nooit zal ik die vrijdagmiddag vergeten waarop we met onze boor ten midden van klei en veen plotseling op grof zand stuitten. Als gekken hebben we die plek uitgeprikt. Na een paar uur moesten we constateren dat het om een heel smalle, kennelijk geïsoleerde strook van dat materiaal ging. Een verklaring konden we niet bedenken. Maanden later, tijdens een bespreking van onze resultaten, kreeg ik een inval. Die smalle strook was

mogelijk afkomstig van de doorbraak van een natuurlijke hoge rivieroe-
ver, zoals die voorkwamen in de tijd vóórdat in Midden- en West-Nederland
de rivieren bedijkt werden. Mijn opmerking leidde tot grote opwinding bij
drs. Van Rossum, die als wetenschappelijk medewerker ons project leidde
en in de Tweede Wereldoorlog als ondergedoken Wagenings student een
haast pathetische relatie met het Utrechtse polderlandschap had ontwikkeld.
Mijn idee paste wonderwel in het toen nog jonge inzicht in het gedrag van
onbedijkte rivieren in het Hollandse laagland van de vroege Middeleeu-
wen. Het leverde me een student-assistentschap op dat in de jaren erna
uitgroeide tot een halve baan, waarmee ik het hele tweede deel van mijn
studie heb bekostigd. Een toevallige vondst, op een plek die nu ongetwij-
feld onder de nieuwbouw van IJsselstein zal zijn verdwenen, en een hel-
der moment in een zaaltje ergens in het beton van de Uithof, deden mij
voor het eerst in mijn leven financieel op eigen benen staan.

Aan deze episode moest ik denken bij het lezen van veel van de stukjes
die in dit boekje staan. Frans Saris, directeur van het FOM-Instituut voor
Atoom- en Molecuulfysica (AMOLF) in Amsterdam en buitengewoon
hoogleraar aan de Universiteit Utrecht, schrijft op vele manieren over het
avontuurlijke, het onverwachte maar ook het alledaagse in de wetenschap.
Dat geldt voor wat je als wetenschapper meemaakt, de bijzondere mensen
die je tegenkomt, de bizarre dingen die je soms beleeft, het harde werken,
beloond met dat ene moment van doorslaggevende inspiratie of die ene
bijzondere meting, het reizen, het kunnen bevredigen van je nieuwsgierig-
heid en soms het maatschappelijke nut van wat je doet. Er zijn maar wei-
nigen die daar zo boeiend en herkenbaar over kunnen schrijven als Saris.
Hij brengt de wetenschap tot leven.

Huub Eggen

EEN VONDST

6 september 1988

U te melden over de ontdekking van de maand, dat had ik mij als taak gesteld. Tot de zomer schreef op deze plaats Cees le Pair kritisch, maar geestig over wetenschapsbeleid, zijn vak. Over beleid zou ik het dus niet hebben, maar wel over het onderzoek zelf, mijn vak. Dat moet toch kunnen, eens in de maand duizend woorden. Er zijn in Nederland maar liefst 3000 fysici bezig met onderzoek ter waarde van zo'n 100 miljoen gulden/jaar bij FOM, 200 miljoen bij de universiteiten en nog eens 300 miljoen bij de industrie. Al doen de fysici voor al dit geld ieder maar een ontdekking in de drie jaar, dan nog levert dat 1000 ontdekkingen op per jaar of 80 per maand. Daarvan moet er toch een de moeite van het beschrijven waard zijn.

Plechtig had ik mij zelf beloofd niet te schrijven over de uitvindingen van Zoetermeer. De ontdekkingen van de natuur zijn veel interessanter. Ik had alvast een hele lijst klaar gelegd over atoomsplijting (geen kernsplijting) met laserstraling, over moleculen die elkaar alleen maar afstoten en toch samen een kristal vormen, over zilver dat een voorbijvliegend molecuul harpoeneert om het naar zich toe te kunnen halen. Dat is toch interessanter dan 'kies exact', de openbaarvervoerskaart, het mutatieformulier voor studiefinanciering of andere uitvindingen der bestuurskundigen? Daar ga ik die kostbare duizend woorden niet aan verknoeien en dan ook nog het risico lopen de hand te bijten die mij voedt. Toch moet ik u die natuurkunde schuldig blijven. Er is een acuut probleem in het onderwijs waar snel iets op gevonden moet worden. De vondst ligt zo voor de hand dat onze recente ontdekkingen maar een maand moeten wachten.

Jaarlijks zijn er 90 nieuwe docenten natuurkunde nodig bij het middelbaar onderwijs. De lerarenopleidingen aan de universiteiten konden deze vraag gemakkelijk aan, totdat de minister de tweefasenstructuur invoerde. Daarvoor haalden de meeste studenten naast hun doctoraal ook de onderwijsbevoegdheid. Gedurende enkele maanden een paar uur per week achterin de collegezaal en achterin de klas zitten, dat had men er wel voor over. Nu zit de lerarenopleiding in de tweede fase en moet concurreren met de onderzoekersopleiding. De keuze is: onderzoek doen op een laboratorium en daarvoor weliswaar weinig betaald krijgen of een heel jaar de

onderwijsopleiding volgen en daarvoor niets ontvangen, neen, zelfs collegegeld moeten betalen.

Voor doctorandi-nieuwe-stijl is dit geen keuze en de lerarenopleidingen blijven leeg. Vorig jaar waren er voor natuurkunde over het hele land 180 opleidingsplaatsen beschikbaar en dit jaar zelfs een onbeperkt aantal plaatsen. Vorig jaar kwamen er zegge en schrijve twee gegadigden, in Groningen naar het schijnt, maar die maakten de opleiding niet af. Dit jaar was er in het hele land geen enkele inschrijving. We bevinden ons dus in de krankzinnige situatie dat jaarlijks 90 docenten natuurkunde het vak verlaten en de universiteiten geen enkele leraar in opleiding hebben. Voor de andere faculteiten ken ik de cijfers niet, maar het lijkt me sterk dat het bij scheikunde en biologie anders is dan bij ons.

Over een paar jaar valt er op de middelbare scholen niets exacts meer te kiezen. Ik wil de neiging onderdrukken hiervan de minister de schuld te geven; zijn bestuurskundige had de catastrofale gevolgen van het beleid vast niet voorzien. Onvoorspelbaar gedrag komt al voor in de atomaire wereld, laat staan in die van de studenten. Het is wel te hopen dat men ervan leert dat niet alles vanuit Zoetermeer geregeld kan worden. Laten we daarom een oplossing zoeken voordat we de crisismanager op ons afgestuurd krijgen. Bij de meeste problemen in de natuurkunde is het stellen van de juiste vraag al het halve antwoord. In dit geval zou die vraag kunnen luiden: Hoe komt het dat een paar jaar geleden nog vrijwel iedere student naast z'n doctoraal de onderwijsbevoegdheid haalde? Niet omdat iedereen zo graag leraar wilde worden, maar gewoon omdat men die mogelijkheid open kon houden zonder daar al te veel moeite voor te hoeven doen. Daarmee is de oplossing dan meteen gesuggereerd.

Bij het invoeren van de tweefasenstructuur werden onderzoek en onderwijs formeel gescheiden. Studenten worden gedwongen al heel vroeg een keuze te maken. Kennelijk zijn alle natuurkundestudenten in onderzoek geïnteresseerd. Een fysicus die dat niet is lijkt me trouwens moeilijk voorstelbaar. Dit betekent geenszins dat men niet ook voor onderwijs belangstelling heeft. Daarom is de voor de handliggende 'vondst' aan onderzoekers-in-opleiding ook een onderwijspakket aan te bieden. Gelukkig bestaat daartoe de mogelijkheid. Degenen die voor onderzoek hebben gekozen en op een laboratorium als assistent-in-opleiding (AIO) zijn aangesteld, krijgen van de minister slechts een half salaris hoewel ze reeds een heel doctoraalexamen met goed gevolg hebben

afgelegd. Ze worden geacht toch nog de helft van de tijd in opleiding te zijn. Aan deze assistenten- of onderzoekers-in-opleiding moet nog steeds een studiepakket worden aangeboden. Wij hebben de natuurkunde-opleiding zo georganiseerd dat alle theorie reeds in de eerste fase zit. Wat er voor de tweede fase overblijft is onderzoek en onderwijs. Ik wil suggereren beide te combineren en aan AIO's naast het onderzoek ook het onderwijspakket aan te bieden. Het zou me niet verbazen als de meeste AIO's hiervoor belangstelling zullen tonen. De meeste doctorandi weten helemaal nog niet wat ze later willen gaan doen en hebben er dus baat bij zo lang mogelijk de keuze open te houden.

Dit is geen pleidooi de klok maar weer terug te draaien naar de tijd dat men zijn onderwijsbevoegdheid kreeg door een presentielijst te tekenen en achterin de collegezaal te schaken of een computerprogramma af te maken. Ook de lerarenopleidingen zijn geprofessionaliseerd. Er zijn hele nieuwe methoden ontwikkeld om verschillende onderdelen van het vak te doceren, methoden waarvoor in het buitenland grote belangstelling bestaat. Er worden ook werkcolleges aangeboden in zulke onderwerpen als: pedagogiek, media, communicatie en presentatie. Onderwerpen die niet alleen van belang zijn voor leraren, maar waar onderzoekers ongetwijfeld veel voordeel van zullen hebben en niet alleen bij het onderzoek. Jonge doctorandi die niet meteen de universiteit verlaten kunnen als assistent-in-opleiding naast het onderzoek in het laboratorium het beste de onderwijsopleiding volgen. Trouwens, dit geldt niet alleen voor fysici. De kosten zijn in feite al op hun onderzoekerssalaris ingehouden.

Zij die na het doctoraal-nieuwe-stijl gedurende twee jaar onderzoek hebben gedaan en de lerarenopleiding hebben gevolgd, zijn beter opgeleid dan de doctorandi-oude-stijl en hebben nog alle mogelijkheden open: naar de industrie, de overheid, het onderwijs of doorgaan met het promotieonderzoek (hoe lang dat nog moet duren is niet aan de minister maar aan de promotor en is voor later zorg). De bredere opleiding is ook hard nodig omdat men geen garantie heeft voor een en dezelfde functie in de latere loopbaan. In het onderwijs blijkt dat 70% van de natuurkundeleraren slechts 10 jaar voor de klas staat. Ook de meeste onderzoekers stappen na een produktieve periode van 10 jaar over naar managementfuncties en het hoger of beroepsonderwijs.

Zolang als er wetenschap is hebben onderwijs en onderzoek bij elkaar

gehoord en tussen het middelbare en universitaire onderwijs hebben altijd goede contacten bestaan. Vele beroemde hoogleraren begonnen hun carrière als leraar en leraren met onderzoekervaring hebben generaties lang voor de klas gestaan. Kortom, onderwijs en onderzoek horen bij elkaar, hun formele scheiding heeft catastrofale gevolgen voor het middelbaar onderwijs en voor de mobiliteit van afgestudeerden. Wat wetenschap aan elkaar verbonden heeft zal geen ambtenaar scheiden, ook geen bestuurskundige.

MACROSCOPISCH ATOOM

4 oktober 1988

Het idee dat de hele natuur is opgebouwd uit een aantal elementaire bouwstenen heeft geleid tot het bekende rijtje: biologie, chemie, natuurkunde. Ons begrip van complete biologische systemen, de mens of de cel, zou gereduceerd kunnen worden tot het begrijpen van de chemie van de samenstellende moleculen en atomen, die op hun beurt begrepen zouden kunnen worden uit de natuurkundige kennis van atoomkernen en uiteindelijk de quarks. Dit idee wordt expliciet gebruikt als rechtvaardiging voor de bouw van grote versnellers waarmee de elementaire bouwstenen der natuur zouden worden blootgelegd. Hoewel het ene nieuwe deeltje na het andere wordt ontdekt is het onmogelijk met deze elementaire bouwstenen het hele bouwwerk der natuur te reconstrueren. Het is onjuist te suggereren dat de werking van cellen direkt volgt uit de eigenschappen van de samenstellende moleculen. Evenmin voegt de kennis van de structuur van de atoomkern, laat staan de quark, iets wezenlijks toe aan ons begrip van het gedrag van atomen. Bovendien, stel dat we de allerkleinste ondeelbare deeltjes zouden vinden, dan is de volgende vraag toch: en waar zijn die deeltjes nu van gemaakt? Wil men het antwoord begrijpen dan zullen we alleen reeds bekende termen mogen gebruiken. Maar hoe fundamenteel is een deeltje nog waarvan de eigenschappen worden gegeven in reeds bekende termen? Het idee over de elementaire rol van de micro-kosmos heeft een verklaring voor de macroscopische wereld niet dichterbij gebracht. Geen wonder dat sommige onderzoekers een pragmatischer koers zijn gaan varen.

Op school wordt geleerd dat "een atoom het kleinste stukje stof is dat nog alle eigenschappen van die stof bezit". Als men een stuk metaal in tweeën zaagt dan zullen beide stukken de eigenschappen van dat metaal vertonen. Zou men als maar door kunnen gaan met het in tweeën splitsen van een stof dan zou men op den duur een minuscuul brokje overhouden ter grootte van een atoom, dat nog steeds eigenschappen van de stof herbergt. Splitst men echter dit atoom dan gaan deze eigenschappen verloren. Wij stellen ons een atoom voor als een wolkje elektronen met in het midden een kleine harde kern. De kern is positief geladen, en zorgt ervoor

dat de negatief geladen elektronenwolk op een bepaalde plek blijft. Verder bevat de kern de massa van het atoom, en bepaalt de kern dus het gewicht van de stof. Vrijwel alle andere eigenschappen worden door de elektronen bepaald, niet door de kern. Wat de kleur van een stof is, wordt door de elektronen bepaald, niet door de kern. Of een stof hard is of zacht, of het een vloeistof is of een gas, wordt door de elektronen bepaald, niet door de kern. Of het een metaal is, een isolator of een halfgeleider, of de stof magnetisch is of juist niet, wordt allemaal door de elektronen bepaald, niet door de kern. Atoomfysici zijn dus eigenlijk elektronenfysici, en zeker geen kerneleerden.

Het is natuurlijk de droom van de atoomfysici het gedrag van de elektronen zo goed te kennen dat daaruit alle macroscopische eigenschappen van stoffen kunnen worden afgeleid. Het is echter veel doelmatiger de zaak om te keren en uit te gaan van macroscopische atomen. Men kent macroscopische eigenschappen van een stof toe aan de atomen van die stof. Dat is strikt genomen onjuist: een atoom ijzer heeft niet dezelfde eigenschappen als een spijker. Er is dus moed voor nodig om te zeggen: Ik doe of mijn neus bloedt en beschrijf een ijzeratoom als een heel klein blokje ijzer. Dit blijkt verstrekkende gevolgen te hebben.

Als men twee verschillende soorten atomen met elkaar in contact brengt is het de moeite waard te weten hoe ze zullen reageren. Daartoe is het slechts nodig het verschil te kennen in de chemische potentiaal en de elektronendichtheid. Het potentiaalverschil tussen twee stoffen is eenvoudig te meten. Het geeft de voorkeur aan van elektronen voor een van de twee stoffen. Als de stoffen met elkaar in contact komen leidt het verschil in chemische potentiaal tot een verplaatsing van elektronen en het verschil in elektronendichtheid tot kleine vervorming van de atomen. Op basis van het macroscopische atoommodel werd in 1973 berekend of er bij het legeren van twee stoffen warmte moet worden toegevoegd of dat er juist warmte vrijkomt. De berekeningen konden worden getoetst aan reeds gemeten energie-effecten. De werkelijke waarde van het macroscopische atoommodel lag natuurlijk in het voorspellend vermogen voor al die legeringen waarvoor toen nog geen energie-effecten gemeten waren.

De geestelijke vader van het macroscopische atoommodel is prof. Andries Miedema, die er twintig jaar geleden als hoogleraar op het Natuurkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam aan begon te werken samen met enkele promovendi en met speciale steun van de

Stichting FOM. De eerste resultaten werden met argwaan en onbegrip ontvangen. Men had de grootste moeite de eerste wetenschappelijke artikelen gepubliceerd te krijgen, omdat iedereen 'wist' dat een atoom niet dezelfde eigenschappen heeft als een macroscopische hoeveelheid materiaal. De gevestigde orde in de metaalkunde en de atoomfysica vond het geen theorie en gaf geen toestemming tot publikatie in de gerenommeerde tijdschriften, zodat de eerste artikelen verschenen in het *Philips Technisch Tijdschrift* en in het *Journal of Less Common Metals*. Miedema verhuisde naar het Philips Natuurkundig laboratorium en wist zich daar van medewerking te verzekeren, een van de promovendi ging naar de Hoogovens en zo ontstond een netwerk over ons land van fysici, chemici en materiaalkundigen waarin de inspiratie en de globale aanpak van de geestelijke vader werden versterkt met typisch Hollandse behoedzaamheid en systematiek. Gaandeweg werd de pragmatische benadering naar waarde geschat en vond het ook internationale erkenning.

Inmiddels is gebleken dat het macroscopische atoommodel bruikbaar is voor de verklaring van zeer uiteenlopende verschijnselen. Zo kunnen we nu berekenen wat de warmte is die nodig is om atomen uit het oppervlak van een metaal te verdampen. We kennen de dissociatie-energie van moleculen, de energie die hoort bij defecten in een kristalrooster, de grensvlakspanning tussen een vloeistof en een metaal of tussen twee metalen. Wij kunnen voorspellen welke kristalstructuur bepaalde legeringen zullen vormen, en als ze eerst amorf zijn bij welke temperatuur kristallisatie zal optreden. Al deze eigenschappen van stoffen kunnen worden afgeleid uit slechts twee gegevens: de elektronendichtheid en de chemische potentiaal, gegevens die volgen uit macroscopische metingen.

Meestal heeft een publikatie over een natuurkundig onderzoek dat 20 jaar geleden begon alleen nog historische waarde. Onderzoekresultaten, vooral theoretische, veranderen snel. In dit geval echter bleek steeds weer dat nieuwe verschijnselen, ja zelfs hele nieuwe vakgebieden, tot evenzovele uitbreidingen leidden van de toepassingsmogelijkheden van het model. Daarom is het model nog steeds springlevend. De voorspellende waarde van het macroscopische atoommodel wordt misschien wel het beste geïllustreerd door het boek *Cohesion in Metals* dat zojuist is verschenen bij de Noord-Hollandse Uitgevers maatschappij, een afdeling van Elsevier.

Naar het boek is reikhalzend uitgezien door de materiaalkundigen die

nieuwe materialen ontwikkelen met een verhoogde weerstand tegen corrosie, slijtage en vermoeiing. De vorming van deze nieuwe legeringen en hun stabiliteit kunnen met het macroscopische atoommodel worden voorspeld. Het boek zal dus wel een bestseller worden. Toch is Elsevier niet de enige die hier winst zal boeken. Philips bezit belangrijke patenten op het gebied van de opslag van waterstof in metalen, gebaseerd op het macroscopische atoommodel. Nu cadmium-houdende batterijen uit het milieu geweerd worden blijkt er voor de Philips patenten grote commerciële belangstelling te bestaan.

Als je eerst zegt: een ijzeratoom is een blokje ijzer, dan zal niemand opkijken als blijkt dat je de eigenschappen van ijzer kan verklaren. Waar het om gaat is dat het idee wordt toegepast op mengsels van materialen, waar het niet triviaal is. Het macroscopisch atoommodel brengt verschillende grofstoffelijke gegevens op atomaire schaal met elkaar in verband. Zonder overdrijving kan gesteld worden dat het zojuist gepubliceerde boek behoort tot de grootste Nederlandse bijdragen aan de naoorlogse natuurkunde. Het enige dat eigenlijk nog ontbreekt is een verklaring vanuit het microscopisch atoommodel, vanuit de quantummechanica, waarom macroscopische atomen het zo goed doen. Wanneer wij dat begrijpen met behulp van onze fundamentele kennis van de elektronen dan zijn wij fysici pas echt gelukkig.

ZONNECELLEN

1 november 1988

Een jonge Nederlandse natuurkundige heeft vorige maand op het 20ste congres voor zonnecel specialisten, in de Amerikaanse staat Nevada, twee bijdragen gepresenteerd over Nederlands zonnecelonderzoek. Zonnecellen kunnen licht direkt omzetten in elektrische stroom, en de eerste bijdrage liet zien dat een formule is gevonden, waarmee de elektrische stroom binnenin de zonnecel te berekenen is. De tweede bijdrage aan het congres demonstreerde hoe het rendement van zonnecellen van het Nederlandse bedrijf R&S met een vol punt verhoogd werd tot boven de 10%. Hoewel significant, het waren slechts twee bijdragen uit de honderden die op dit internationale congres werden gepresenteerd. Wat bezielt Nederlanders om zich bezig te houden met onderzoek aan zonnecellen? Kan men dat niet beter overlaten aan onderzoekers uit het land van de rijzende zon? Of aan de Amerikanen die 's zomers meer energie verbruiken dan 's winters omdat in de zomermaanden alle *air-conditioners* aanstaan?

Op de vraag waarom Nederlanders zich met zonnecellen zouden bemoeien ken ik 11 + 1 antwoorden:

1. In dit land wordt vrijwel geen olie gevonden, toch is hier een van de grootste oliemaatschappijen gevestigd en is Rotterdam een van de grootste oliehavens ter wereld.

2. Ondanks de regen is het in ons land licht genoeg. Het scheelt maar een factor 2 met de Sahara. Als wij de daken van onze huizen zouden bedekken met zonnepanelen, dan kunnen wij grotendeels in onze elektriciteitsbehoefte voorzien. Voorlopig is dit echter nog onbetaalbaar.

3. De prijs van zonne-energie daalt snel en het besef groeit dat de maatschappelijke kosten van fossiele brandstof en van kernenergie hoog zijn. In opdracht van de Europese Gemeenschap is een studie gemaakt van de maatschappelijke kosten van ons energieverbruik in verband met milieuverontreiniging etc. Als deze kosten aan de consument zouden worden doorberekend dan zou de prijs voor elektriciteit verdubbelen. Windenergie zou nu reeds goedkoper zijn en zonnecellen al over een jaar of tien.

4. In West-Duitsland, toch ook niet bepaald een zonnig land, heeft de regering besloten (onder druk van de Groenen?) in de komende vijftien

jaar het gebruik van fossiele brandstof aanmerkelijk terug te dringen. Daartoe heeft men 100 miljoen DM per jaar gereserveerd voor onderzoek en ontwikkeling van zonnecellen.

5. Wind- en zonne-energie kunnen heel goed worden ingezet in combinatie met ons elektriciteitsnet, teneinde de pieken in het elektriciteitsverbruik op te vangen. Het onderzoek in deze kwestie, van de vakgroep natuurwetenschap en samenleving aan de Rijksuniversiteit Utrecht, zal een rol moeten spelen bij de beslissing over de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales in ons land.

6. Er zijn nu al produkten, gebaseerd op zonnecellen, waarin Nederlandse bedrijven gespecialiseerd zijn en een grote voorsprong hebben op de internationale concurrentie. Neem bijvoorbeeld de 'boeienkoning', Stromag, uit Noordwijk. Dit bedrijf plaatst lichtboeien op waterwegen en in havens over de hele wereld. Er is grote belangstelling voor hun nieuwste drijvende lichtboei, waarvan de batterijen niet steeds met een bootje hoeven te worden opgehaald omdat ze automatisch worden opgeladen door zonnecellen.

7. Ten behoeve van het ruimteonderzoek bouwt Fokker satellieten. Die zijn voor hun energievoorziening volledig afhankelijk van zonnecellen. Hun rendement moet zo hoog mogelijk zijn en dat lukt misschien met cellen van het soort dat aan de Katholieke Universiteit Nijmegen ontwikkeld wordt.

8. Philips Licht werkt samen met R&S, zonnecelfabrikant binnen de Shell-groep, aan lampen die niet meer op het lichtnet hoeven te worden aangesloten. Voorlopig gaat het nog om tuinlantaarns met ingebouwde batterijen, die worden opgeladen door zonnecellen die in de armaturen verwerkt zijn. Niet alleen tuinverlichting, maar vrijwel al onze elektrische apparaten worden slechts een paar uurtjes per dag gebruikt. Ze zouden dus in de resterende tijd door zonnecellen opgeladen kunnen worden, los van het lichtnet.

9. Naarmate de markt voor dit soort apparaten groeit zal de prijs van zonnecellen dalen en dat levert nieuwe toepassingsmogelijkheden op en dus weer nieuwe markten. In de nabije toekomst zullen over de hele wereld vele miljarden zonnecellen nodig zijn. Als Nederland van die markt een paar procent zou bemachtigen dan is dat economisch en technisch bijzonder aantrekkelijk. Met multinationals als Philips en Shell in deze branch moet het zelfs mogelijk zijn van de wereldmarkt een groot percentage in de wacht te slepen.

10. De grootste markten voor zonnecellen zullen liggen in zonnige landen zonder uitgebreid elektriciteitsnet, zoals in Afrika, Zuid-Amerika, India en China. Deze landen zijn te arm om zonnecellen te importeren ten behoeve van de stroomvoorziening van afgelegen dorpen. Men wil de zonnecellen daar zelf produceren. Dat kan ook best, want er komen geen strategische materialen aan te pas. De belangrijkste grondstof is *know-how*; die is in Nederland overvloedig aanwezig. De zonnecelmarkt is een exportmarkt, niet van zon en cellen maar van technische kennis.

11. Het rendement van zonnecellen is in de praktijk nog niet de helft van wat in theorie mogelijk moet zijn. In landen met minder zon zal men meer gemotiveerd zijn met onderzoek en ontwikkeling om het onderste uit de kan te halen, omdat het rendement van de cellen zich direkt vertaalt in het aantal dat voor een bepaalde toepassing vereist is. Kijk maar hoe zuinig we zijn met onze zonnige dagen.

Een doorslaggevend argument om zich met zonnecelonderzoek bezig te houden kwam van de jonge Nederlandse natuurkundige zelf, toen hij solliciteerde naar een FOM-promotieplaats, twee jaar geleden. Tijdens het sollicitatiegesprek werd mij al snel duidelijk te maken te hebben met een uitzonderlijk talentvolle kandidaat, voor wie geen probleem te moeilijk zou zijn. Ik kon niet nalaten te vragen waarom hij niet solliciteerde naar een andere vacature in ons meer fundamenteel fysisch onderzoek, in plaats van dit nogal technische werk. Zijn antwoord luidde dat onderzoek geweldig veel kost, om te beginnen van de onderzoeker zelf. Die wordt niet zelden door het onderzoek volledig in beslag genomen. Het is vaak zo absorberend dat het alle aandacht opslokt en er tijd noch belangstelling overblijft voor iets anders. Voor zonnecellen vond deze jonge fysicus de onderzoekinspanning wel de moeite waard.

RECTRIX

29 november 1988

Geachte mevrouw Wildekamp,

Even is het rustig geweest rondom de rectrixbenoeming op het Barlaeusgymnasium, omdat de zaak bij de rechter lag. Tegen de tijd dat deze brief u bereikt heeft mr. Asscher uitspraak gedaan en zal de storm wel weer aanwakkeren. Hoewel ik het oordeel van de rechter nog niet ken terwijl ik dit schrijf, en het best kan zijn dat u in het gelijk bent gesteld, wil ik u verzoeken zich uit deze zaak terug te trekken. Een school is een gemeenschap, ook al heet hij in dit geval niet zo. U kan daar niet ongestraft inbreken, ook al zijn uw bedoelingen nog zo goed.

Ik ben het met u eens dat het veel beter zou zijn als meer vrouwen op topfuncties zaten in onderwijs en wetenschap. In mijn eigen vak, de natuurkunde, zijn vrouwen helemaal erg schaars en op mijn laboratorium zit geen enkele fysica op een leidinggevende functie. Het is een mannenmaatschappij. Natuurlijk moet daar wat aan gedaan worden, maar ik moet er niet aan denken dat u dat kwam doen. U zou dat misschien ook niet in uw hoofd halen op een FOM-laboratorium maar waarom dan wel op een school? Alleen omdat in het openbaar onderwijs het bestuur van de school het gemeentebestuur is, en u in Amsterdam de wethouder voor onderwijs bent?

Onder bestuurders is het in de mode te spreken van: besturen op afstand. Daarna volgt het jargon der bestuurskundigen met: beleidskaders, beheerstaken, verantwoordelijkheidslijnen, lijnfuncties, functiebeschrijvingen, funktiewaardering, benoemingsprocedures, benoemingsadviescommissies, budgetverantwoordelijkheden, budgetbeheerders, eerstverantwoordelijken en al die andere modewoorden van mensen die denken dat je net zo goed bestuurder kan zijn van een chemische industrie als van de PTT, van een containerbedrijf of van een vliegtuigfabriek, van een universiteit of van een gemeente, van een ministerie of van een researchinstelling. En dat je daarvoor kan leren op de HEAO, Nijenrode of De Baak, of zelfs op de faculteit politicologie. Waar het allemaal op neerkomt is niet een wijs bestuur op afstand, maar de arrogantie van de macht: op grote afstand zitten en toch menen te kunnen en zelfs te moeten sturen. De schade is haast niet te overzien.

Stel u gerust mevrouw Wildekamp, ik denk hierbij niet in de eerste plaats aan u, maar aan uw ambtgenoot in Den Haag, de minister van onderwijs en wetenschappen. Ik heb er al eerder in deze kolommen op gewezen hoe de universitaire lerarenopleidingen ontvolkt zijn door het invoeren van de tweefasen-structuur en de scheiding van onderwijs en onderzoek. Het was vast niet de bedoeling van de minister het onderwijs in diskrediet te brengen, maar dat is wel het direkte gevolg van zijn ingrijpen.

Ook het wetenschappelijk onderzoek brengt hij bij brede lagen van de bevolking in diskrediet. Immers, degenen die na het VWO ook nog eens het hoger onderwijs met goede resultaten hebben gevolgd en als doctorandus wetenschappelijk onderzoek gaan doen op een universitair laboratorium, verdienen de eerste twee jaar minder dan het minimumloon. Als directeur van zo'n researchlaboratorium heb je over het salaris van je onderzoekers niets te vertellen. Dat wordt over je hoofd heen gedecreteerd door de minister en zelfs voor vier jaar vooruit. Ook de relatie promovendus-promotor heeft de minister ernstig verstoord. Een proefschrift wordt niet door de promotor goedgekeurd, maar behoeft de instemming van een hele commissie. De noodzakelijke duur van het promotieonderzoek wordt niet door de promotor bepaald, maar is door de minister vastgesteld op een maximum van vier jaar. Ongetwijfeld met de beste bedoelingen, maar de minister gaat wel op de stoel van de promotor zitten.

Laat ik niet alleen voorbeelden noemen uit eigen kring, maar in herinnering roepen dat de minister meende te moeten vaststellen waar het beste Slavische talen gestudeerd konden worden en waar Scandinavisch, waar tandheelkunde en waar psychologie. Hoewel de voorzitters van de colleges van bestuur van de universiteiten door de minister benoemd zijn, bleef hij in de hele operatie van taakverdeling en concentratie zelf de lakens uitdelen (of nog erger: zijn directeur-generaal namens hem). Ik kan zo nog wel even doorgaan en de harmonisatiewet noemen of de hele studie-financiering. Zelfs het spoorkaartje wordt voor de studenten door de minister zelf aan het loket gekocht. Terwijl zijn relatie met de studenten zo slecht is dat hij zich niet meer in het openbaar durft te vertonen, omdat hij zich door hen bedreigd voelt, meent de minister toch te weten wat goed voor studenten is.

Laten we terugkeren naar het voortgezet onderwijs, waar de laatste jaren vele docenten hun baan verloren door de daling van het aantal leer-

lingen. Welke docenten eruit moesten, werd bepaald door een ingewikkelde rechtspositieregeling van de minister samen met de vakbonden uitsluitend gebaseerd op anciënniteiten, zonder dat de kwaliteiten van de betreffende docenten, noch het beleid van de schoolleiding, een rol speelden.

In dit licht, mevrouw Wildekamp, wil ik de zaak rond de rectorixbenoeming zien. U ambieert een flinke stijging van het aantal vrouwelijke schoolhoofden in Amsterdam. Ik wed dat u snel uw zin zou krijgen als u een premie uitloofde, bijvoorbeeld in de vorm van extra leraaruren, voor scholen met een rectorix. U meende zich echter te moeten bemoeien met de individuele benoemingsprocedures op scholen en u stelde sollicitaties uitsluitend open voor vrouwen. Terwijl u als wethouder zou moeten waken over het openbaar onderwijs in de hoofdstad, kwam u voor de rechter te staan in een kort geding aangespannen door een van uw eigen scholen. Deze school moet al maanden in rep en roer zijn vanwege uw verregaande inmenging in de leiding aldaar. U denkt toch niet dat het bevorderlijk is voor het onderwijs, noch voor de aanmeldingen van nieuwe leerlingen, als er op een school zoveel commotie heerst? Daarom verzoek ik u beleefd, via deze Rotterdamse courant, u terug te trekken in de Stopera. Iedereen weet zo langzamerhand wel wat u wilt en laat het nu alstublieft aan de scholen over.

Scholen, faculteiten, laboratoria, het zijn allemaal gemeenschappen met besturen op afstand. De lokale leiding hoort in handen van mensen die op grond van hun kennis en kunde zijn aangesteld. Zij zijn verantwoordelijk en niemand anders, maar zij kunnen alleen verantwoord leiding geven zolang het bestuur hen vertrouwt en dus op een flinke afstand blijft.

KUSSENGEVECHT

27 december 1988

Bij het bespreken van het nut van ruimtevaart komen sommige mensen niet verder dan het noemen van de tefal-pan die wij aan het ruimteonderzoek te danken zouden hebben. Een ander voorbeeld is de sterrenkunde. Een van mijn leermeesters, laat ik hem Jacob noemen, vertelde in dit verband de volgende anecdote.

Jacob was een Westfrieze boerenzoon, die voor de oorlog eindexamen had gedaan en besloten had sterrenkunde te gaan studeren. Daartoe begaf hij zich naar Leiden alwaar hij op zoek ging naar de Sterrenwacht, die gemakkelijk te herkennen is aan de grote ronde koepel op het dak. Bij de sterrenwacht aangekomen bleek dat er niemand op de bel reageerde en Jacob de zware voordeur gewoon open kon duwen. Aarzelend ging hij de lege hal door en de krakende trap op. Nergens was iemand te bekennen. Het hele gebouw leek uitgestorven. Zelfs op de bovenste verdieping, bij de grote kijker onder de koepel, zat geen sterrenkundige de meetresultaten van de afgelopen nacht uit te werken. Op weg naar buiten hoorde Jacob echter toch geluiden uit het souterrain, en hij daalde de trap af. Achter een van de deuren hoorde hij gejoel en gestommel. Toen hij die deur opende zag hij met enige verbazing een slaapzaal waarin medewerkers en studenten van de Leidse Sterrenwacht bezig waren met een kussengevecht. Aldus werden de frustraties afgereageerd van weer een nacht zonder enig resultaat. Voor de zoveelste keer had de bewolking alle metingen onmogelijk gemaakt. Jacob trok vlug de deur weer dicht en klom de trap op naar buiten. Hij wist dat dit geen omgeving was voor een boerenzoon en besloot natuurkunde te gaan studeren, zoals men hem in Kolhorn al had aangeraden.

Uit het kussengevecht is een meer dan verdienstelijk fysicus te voorschijn gekomen. Misschien is er in Jacob wel een groot sterrenkundige verloren gegaan, maar hij had bepaald niet het geduld te wachten op die 12 wolkenloze nachten per jaar waarin er in Nederland sterren geobserveerd kunnen worden.

Het is verbazend dat Nederland met zo'n handicap toch zoveel uitmuntende sterrenkundigen heeft opgeleverd. Geen wonder dat na de Sputnik

de Nederlandse sterrenkundigen zich samen met vliegtuigbouwers zijn gaan inspannen voor het ruimteonderzoek per satelliet buiten onze dampkring. Vorige week werden twee pioniers, dr. Rein van Duinen, nu directeur van Fokker, en prof. Harm Habing, hoogleraar sterrenkunde in Leiden, bij de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen geëerd met de Gilles-Holstmedaille voor hun baanbrekend werk aan de IRAS satelliet. De gouden prijswinnaars bleken ook onderhoudende vertellers te zijn.

IRAS heeft de infrarode straling, warmtestraling, van hemellichamen waargenomen. Slechts een deel van die warmtestraling uit het heelal kan op aarde gedetecteerd worden. De dampkring laat alleen infrarode straling door met een korte golflengte. Die kortgolvlige infrarode straling wordt uitgezonden door relatief warme objecten: enkele honderden graden boven het absolute nulpunt. Infrarode straling met een golflengte langer dan 15 micron wordt echter tegengehouden door de dampkring. Deze golflengte komt overeen met een temperatuur van enkele tientallen Kelvin. Een interessant temperatuurgebied voor sterrenkundigen want juist bij deze temperaturen spelen zich processen af zoals de vorming van nieuwe en het uitdoven van oude sterren.

Om te voorkomen dat de warmtestraling van de infrarood telescoop zelf storend zou werken, werd het hele instrument met vloeibaar helium gekoeld tot een temperatuur van slechts 2 graden boven het absolute nulpunt. Het was dr. Borgman, thans voorzitter van NWO, die indertijd met de suggestie uit Amerika terugkwam om een satelliet met een groot vat vloeibaar helium en infrarooddetectoren uit te rusten en in een baan om de aarde te brengen. Al eerder waren ballonexperimenten mislukt, eenvoudig omdat ballonnen niet hoger komen dan 35 km en altijd door de dampkring gedragen moeten worden. Op de vensters van de sterk gekoelde detectoren bevroor het gas uit de dampkring tot dikke lagen ijs. Met een satelliet konden de infrarood detectoren tot 900 km hoogte ver buiten de dampkring worden gebracht en aldus kon voor het eerst een infraroodkaart van de hemel worden gemaakt.

Het ontwerp van IRAS dateert uit 1973. Onder leiding van Van Duinen leidden de eerste besprekingen met NASA tot een gezamenlijk project. De Verenigde Staten namen de ontwikkeling van het diepgekoelde telescoopstelsel voor hun rekening en zorgden voor de lancering en de verwerking van de meetgegevens. Nederland belaste zich met het ontwerp en de

bouw van het ruimtevoertuig, de basisconstructie, het standregelsysteem, waarmee een grote richtnauwkeurigheid mogelijk wordt overeenkomend met een dubbeltje op een afstand van 100 m, de warmtehuishouding, de zonnepanelen, de boordcomputer, het radiosysteem, het samenbouwen en testen van de complete kunstmaan. Lancering, eind januari 1983, kon alleen plaatsvinden dankzij de intensieve samenwerking tussen wetenschap en techniek. De truc was, aldus Van Duinen, aan het Nederlandse bedrijfsleven de indruk te geven dat het om een wetenschappelijk project ging ter ondersteuning van de industrie, en de astronomen voor te houden dat het een industrieel project was ten behoeve van de wetenschap. Beide partijen voelden zich dus verantwoordelijk.

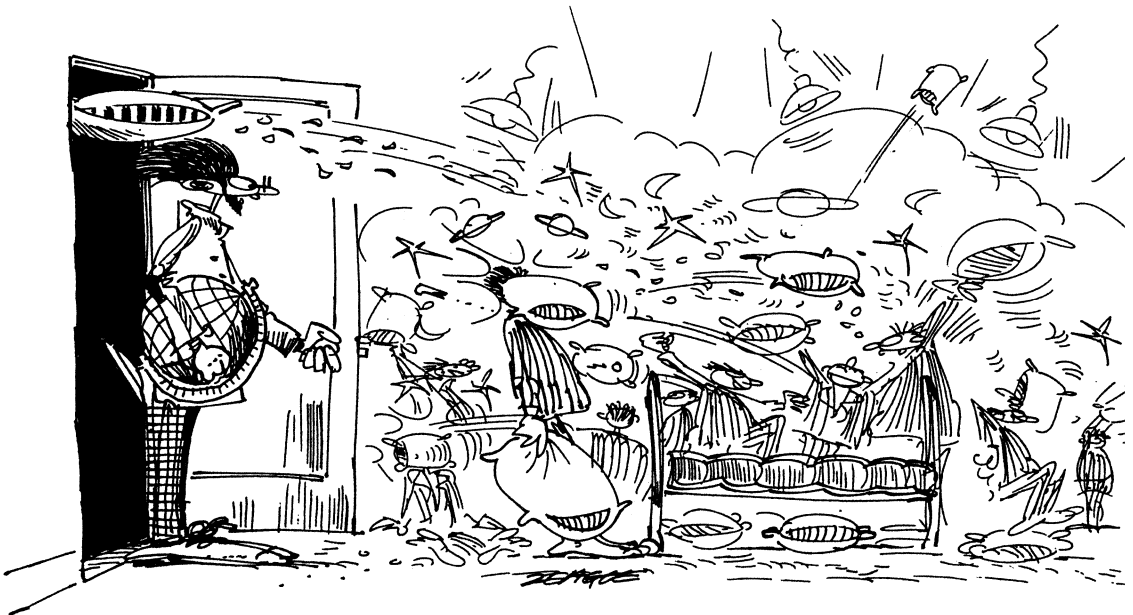
De vlucht van de IRAS is op alle fronten bijzonder succesvol geweest. Vaak werden de meest optimistische verwachtingen van de IRAS-teamleden, zowel wetenschappelijk als technisch, nog overtroffen. Dit succes werd niet zozeer bepaald door de apparatuur (de hardware) maar meer door de programmatuur (de software). Doordat hierin tijdens de vlucht nog allerlei veranderingen konden worden aangebracht was IRAS een zeer flexibele kunstmaan.

Een half jaar na de lancering was het belangrijkste karwei geklaard, nagenoeg de gehele hemel was bij vier golflengten door de IRAS detectoren waargenomen. Voor de volledigheid en om de betrouwbaarheid van het gegevensbestand te verbeteren ging IRAS in september op herhaling. Deze tweede ronde was eind november voltooid toen het koelmiddel opraakte en de telescoop te warm werd om nog waarnemingen te doen.

Prof. Habing, wetenschappelijk leider van het internationale IRAS-team, vatte de behaalde resultaten als volgt samen. Alle telescopen over de hele wereld bestuderen nu objecten die door IRAS in kaart zijn gebracht. Het onderzoek heeft wereldwijd zeker 1000 publikaties opgeleverd, 11 proefschriften en nog eens 7 te verschijnen, 3 internationale conferenties in de laatste 5 jaar waren aan IRAS gewijd. Uit een gebied rondom de ster Wega is een uitzonderlijke hoeveelheid infrarode straling waargenomen, afkomstig van gruis waarschijnlijk veroorzaakt door planeetvorming. Wega leeft te kort om een volledig planetenstelsel te hebben, maar het infraroodsignaal was het eerste teken dat naast de zon ook bij andere sterren planeten gevonden konden worden. Inmiddels zijn er veel meer herkend en daarmee wordt het steeds minder waarschijnlijk dat wij mensen alleen zijn in dit universum. Het centrum van onze eigen

melkweg werd allang geleden aangewezen door de beroemde Nederlandse astronoom Oort, maar het bleef onzichtbaar door grote gas en stofwolken. IRAS kon hier echter dwars doorheen kijken en het was komisch van Habing te horen hoe Nederlandse astronomen, belust op een primeur, de afspraken met de Amerikanen over de verwerking van de meetgegevens omzeilden en het centrum van de melkweg als eersten zichtbaar maakten. IRAS heeft ook vele gebieden in kaart gebracht waar melkwegstelsels elkaar ontmoeten en vervormen en ook waar stervorming plaatsvindt. Nogal onverwacht bleken vele sterren niet te sterven door explosies maar door langzaam uiteen te vallen en zich te hullen in wolken van mist en ijs.

De infrarood kaart van de hemel is een moderne kaart, die tot nu toe uitsluitend bestond uit grote aantallen magneetbanden, waar sterrenkundigen over de hele wereld met computers nog jaren werk aan zullen hebben. Een kopie in druk bestaat uit een grote stapel dikke geheimzinnige boeken, die zojuist op Schiphol is aangekomen en op inklaring staat te wachten bij de douane. Die wil niet geloven dat het hier om een infrarood kaart van de hemel gaat en nog wel van Nederlands fabrikaat.



FYSICA VAN HET JAAR

24 januari 1989

Als Nederland *Time Magazine* of *Newsweek* haalt, om welke reden ook, dan komt het bij ons op tv. Wij zijn er trots op. Ons 1% landje haalt de wereldpers hoogstens één keer per jaar. In de natuurkunde haalt Nederland het wereldnieuws bijna iedere week. Het toonaangevende natuurkundetijdschrift, de *Physical Review Letters*, verschijnt wekelijks en bevat 25 streng geselecteerde artikelen, 1300 per jaar. In 1988 telde ik 48 bijdragen aan *Physical Review Letters* afkomstig van Nederlandse laboratoria, ruim 3 maal zoveel als waarop men zou mogen rekenen gezien ons wetenschapsbudget. Dit is in de eerste plaats een bewijs voor het hoge niveau van de Nederlandse natuurkunde. In geen ander tijdschrift is het zo moeilijk een bijdrage geaccepteerd te krijgen. Toch kwam er van elk universiteitslaboratorium zonder uitzondering in het afgelopen jaar minstens één publikatie in de *Physical Review Letters*. Het Philips Natuurkundig Laboratorium was goed voor 4 bijdragen en de instituten van de Stichting FOM leverden er 16. De helft van de Nederlandse ontdekkingen betreffen de structuur en elektronische eigenschappen van vaste stoffen en vloeistoffen, een derde is atoom- en molecuulfysica en de rest is kernfysica.

Een van de belangrijkste criteria voor toelating tot de *Physical Review Letters* is dat het onderwerp van algemene interesse is. Toch zijn de artikelen vaak zo specialistisch en onbegrijpelijk dat ik er geen touw aan vast kan knopen. Gelukkig bestaan er bladen als *Physics Today*, *Physics World*, *Nature* en *New Scientist* waarin wetenschapsjournalisten de gespecialiseerde artikelen vertalen. Met de enorme produktie aan originele Nederlandse fysica zou het op z'n plaats zijn als de Nederlandse Natuurkundige Vereniging een wetenschapsjournalist in dienst zou nemen. Die heeft alleen als vertaler naar de eigen leden al een dagtaak. Het zou de verspreiding van onze onderzoeksresultaten bevorderen, ook buiten de eigen kring. Maar zelfs zonder 'pluggen' haalt ons natuurkundig onderzoek de journalistieke kolommen van de toonaangevende buitenlandse bladen.

Men kan bepalen wat onze belangrijkste ontdekkingen in 1988 zijn geweest door twee eisen te stellen: het werk moet in de *Physical Review*

Letters hebben gestaan en de aandacht hebben getrokken van de redakties van *Physics Today*, *Physics World* of *Nature*. Op deze manier gemeten springen drie Nederlandse onderzoeksresultaten eruit. Er is nog een vierde, dat beantwoordt aan een heel eigen criterium, waarover straks.

Het opmerkelijkste, en door zowel *Nature* als *Physics Today* opgemerkte, resultaat kwam voort uit een samenwerking tussen Delft en Philips. Zij ontdekten dat het transport van elektronen door een nauwe opening gequantiseerd is. Als men elektronen laat stromen door een kort kanaaltje waarvan de breedte instelbaar is, dan verwacht men dat de geleiding toeneemt met de breedte. Naarmate je een kraan verder opendraait gaat er meer water stromen, tenzij het leertje stuk is. Het TUD/Philips experiment laat echter iets heel anders zien: de elektrische geleiding blijkt weliswaar toe te nemen, maar op een heel bijzondere manier. Er worden plateaus waargenomen, de geleiding neemt niet continu maar sprongsgewijs toe met de kanaalbreedte. Dit kan alleen worden verklaard met de quantummechanica, die leert dat elektronen zowel een golf- als een deeltjeskarakter hebben. Als het kanaaltje waar de elektronen door moeten heel nauw is, ter grootte van de golflengte van de elektronen, dan zal er interferentie optreden. Maakt men het kanaaltje een klein beetje breder dan kunnen er niet meteen meer elektronen door. Pas wanneer de breedte gelijk is aan een geheel aantal malen de golflengte van de elektronen, neemt de stroom, sprongsgewijs, toe. Het is alsof het elektron een golf voor zich uit stuurt die het kanaaltje als radar aftast en het elektron terugmeldt of het er wel of niet doorheen zal kunnen vliegen. De vinding kan leiden tot een nieuwe klasse elektronische schakelingen, gebaseerd op het golfkarakter van de elektronen.

In het meinummer van *Physics Today* wordt in de sectie 'search & discovery' melding gemaakt van onderzoek in het Onderzoek Instituut voor Materialen aan de Katholieke Universiteit van Nijmegen en de afdeling natuurkunde van de Technische Universiteit Delft, waar men schakelingen heeft weten te maken die het effect van één elektron kunnen meten. In de meeste condensatoren wordt winst of verlies van een elektron nauwelijks opgemerkt. Maar in ultrakleine zogenaamde tunnelcontacten is de capaciteit zo gering dat de potentiaal al verandert wanneer een enkel elektron overspringt. In Nijmegen maakte men gebruik van de nieuwe scanning tunnel microscoop; in Delft van nanolithografie waarmee een reeks van superkleine aluminium tunnelcontacten werd vervaardigd. De werking ervan berust op het golfkarakter van het elektron. Tunnelcontacten kunnen

de basis worden van een nieuwe nauwkeurige standaard van elektrische stroom, maar ook van transistoren die gevoelig zijn voor één elektron.

Het decembernummer van *Physics World* meldt dat het atoommodel van Bohr uit 1912-1913, waarin elektronen als planeten om de kern bewegen, voor het eerst na 75 jaar zichtbaar is gemaakt door samenwerkende groepen in Amsterdam van het FOM-Instituut en van de Universiteit. Het beeld van het atoom als microscopisch planetenstelsel is een oversimplificatie. In het atoom hebben elektronen veel meer een golfkarakter dan dat van een deeltje. De omlooptijd van elektronen rondom de kern van het atoom is zo kort dat men alleen voor de allerbuitenste elektronenbanen mag hopen het elektron-golfpakketje te zien bewegen. Zelfs daar duurt een omloop om de kern slechts 10 picoseconde, 10×10^{-12} sec. Met moderne lasers hebben we echter flitslicht beschikbaar waarmee in minder dan een picoseconde opnamen gemaakt kunnen worden. Aldus werd de beweging van een elektron-golfpakketje in een atoom voor het eerst 'gefotografeerd'.

Deze Nederlandse ontdekkingen, evenals de andere die door *Physical Review Letters* dit jaar werden gepubliceerd, zijn alle gedaan door jonge promovendi. Vroeger werd het promotieonderzoek vooral in het proefschrift gepubliceerd. Na de promotie volgde dan nog weleens een artikel in het Nederlandse tijdschrift *Physica*.

Tegenwoordig is het onderzoek een internationale aangelegenheid geworden. De jonge Nederlandse natuurkundigen leren zich al vroeg te werven over de vaderlandse grenzen van hun werkterrein, en genieten soms al internationale bekendheid tegen de tijd dat zij promoveren. Hun proefschrift bestaat uit een bundeling tijdschriftartikelen die stuk voor stuk door internationale experts zijn beoordeeld. Het heeft ertoe geleid dat de Nederlandse natuurkunde in het buitenland hoog aangeschreven staat.

Dit wordt misschien wel het best geïllustreerd door de uitzonderlijke invitatie die een Amsterdamse hoogleraar onlangs ten deel viel. Het januari-nummer van *Physics Today* bevat altijd een overzicht van de belangrijkste ontdekkingen van het voorgaande jaar. Voor 'Physics News in 1988' werd professor Ad Lagendijk door de redactie van *Physics Today* uitgenodigd een speciale bijdrage te schrijven over lokalisatie van licht. Dit is niet een onderwerp waarin hij 'gewoon' erg goed is, neen: voor hij eraan begon bestond het niet. De natuurkundige wereld heeft zich naar

aanleiding van zijn onderzoek aan het golfkarakter van het licht onmiddellijk gestort op de race naar het 'witte gat', zoals hij dat noemt. Heeft hij deze race nu gewonnen? Is hij nu, naast de sportman en de sportvrouw, tot de fysicus van het jaar gekozen door de internationale wetenschapsjournalisten?

Die conclusie is misschien wat voorbarig. Ik ben benieuwd of hij dit moeilijke onderdeel uit de quantummechanica een beetje begrijpelijk zal kunnen uitleggen in het komende nummer van *Physics Today*. Dat lijkt mij een vereiste. Inmiddels is wel de fysica van het jaar bekend. Volgens Van Dale is dat niet de vrouwelijke fysicus maar de natuurwetenschap zelf, en voor Nederland was dat in 1988 geen deeltjes maar vooral golven.

EEN CONTRACT

21 februari 1989

Je leert een vak pas goed door er college in te geven. Daarom nam ik de uitnodiging aan voor tweedejaars studenten in Delft te spreken in het kader van hun college natuurkunde en maatschappij. Een speciaal onderwerp was mij niet opgedragen. Gelukkig bracht een kort bericht in de krant mij op een idee. Eerst zou ik iets vertellen over ons laboratorium in Amsterdam: over de wijze waarop dat georganiseerd is, over de financiering door de overheid en door contracten met de industrie, over het personeelsbeleid en de doorstroming van jonge mensen en over het recente onderzoek aan atomen en moleculen met moderne hulpmiddelen zoals laserstraling. Na deze inleiding zou ik met de studenten een rollenspel spelen waarbij zij de ondernemingsraad van het lab vormden en ik als directeur toestemming kwam vragen een contract te mogen tekenen met UCN (Ultra Centrifuge Nederland) uit Almelo voor onderzoek aan laserscheiding van uranium.

Ons lab heeft zo'n contract met UCN en in onze instituutsraad is de wenselijkheid aan de orde geweest, waarbij aspecten de revue passeerden zoals: openbaarmaking, geheimhouding, kernenergie, afvalprobleem, radioactiviteit, fundamenteel onderzoek, toepassingen, industrieel en militair. Onderwerpen die mij de moeite waard leken met studenten technische natuurkunde te bespreken.

Tot mijn grote verbazing zaten er maar liefst honderd studenten in de collegezaal, vrijwel uitsluitend jongens. Zelf ging ik vroeger bijna nooit en toen ik dat bij binnenkomst bekende was het commentaar, van een studente op de voorste rij, dat dit college verplicht was. Desondanks ontspon zich een aardige discussie nadat verschillende clausules uit het contract waren voorgelezen.

Student: Waarom doet UCN dat onderzoek niet zelf als het voor hen zo belangrijk is?

Ik: UCN is gespecialiseerd in de bouw van ultracentrifuges en in het gebruik daarvan voor uraniumverrijking. Nu blijkt dat er in Amerika en ook in Westeuropese landen met enig succes gewerkt wordt aan laserver-

rijking van uranium. Als dit procedé economisch beter is dan zal UCN straks weggeconcurrereerd worden. In ons laboratorium zijn mensen die laserscheiding begrijpen en wij worden gevraagd een fundamentele studie te maken van het laserscheidingsproces en een computersimulatie te programmeren waarmee UCN straks verder kan werken. De resultaten van het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek mogen wij publiceren, de toepassing voor uranium niet maar dat onderzoek zal niet door ons maar door UCN gedaan worden.

Student: U vraagt toch veel te weinig voor dat onderzoek? UCN maakt flinke winst en zou dus best meer kunnen betalen.

Ik: Dit contract is kostendekkend. Wij houden zelfs nog wat geld over voor algemene labkosten.

Student: En de computertijd?

Ik: Die moeten wij ook uit het contract betalen maar in dit stadium gaat het om een heel klein bedrag.

Student (heeft met z'n omgeving overlegd en is als woordvoerder aangewezen): Uit alles blijkt dat u al een jaar een contract met UCN hebt. Waarom komt u daar dan nu pas mee naar de ondernemingsraad?

Ik: Voor tijdelijke kortlopende projecten hoef ik geen toestemming te vragen.

Student: Maar dit project loopt nu al meer dan een jaar. Wilt u zeggen dat u verwacht had er maar een jaar over te zullen doen?

Ik: Ja.

Student: Dan heeft u dus een flinke beoordelingsfout gemaakt in de planning !

Ik: Onderzoek valt niet te plannen. En ook in dit onderzoek deed zich een onverwacht resultaat voor zoals zo vaak. (Deze ontdekking leg ik uit, maar dat zal ik de lezer besparen. Trouwens, de student wilde er ook niet van horen.)

Student: U geeft dus openlijk toe een flinke beoordelingsfout te hebben gemaakt?

Ik: Ja (student kijkt met een gezicht van: 1-0)

Student: Als ik het goed begrijp dan neemt u dus mensen aan op een arbeidscontract van 4 jaar, terwijl u maar werk heeft voor 1 jaar?

Ik: Werk genoeg, maar wij hebben meestal slechts zekerheid voor 1 of 2 jaar en lopen dus een risico. Helemaal op zeker spelen zou betekenen dat wij minder mensen in dienst zouden moeten nemen. Dat vind ik onverantwoord. Er is grote werkloosheid onder jonge mensen, maar niet in de

natuurkunde. Er is zelfs een grote vraag naar jonge natuurkundigen en technici die geleerd hebben onderzoek te doen, en vertrouwd zijn met de modernste technieken, materialen, computers en lasers. Zij kunnen gemakkelijk een baan vinden. Ik acht het onze maatschappelijke verantwoordelijkheid te zorgen dat zoveel mogelijk jonge mensen profiteren van deze situatie.

Student: 'Shit', dan moet je wel aan kernenergie werken.

Ik: Helemaal niet. Er zijn op ons lab nog veel meer projecten, en iedereen solliciteert vrijwillig.

Student: Intussen bevordert u toch de kernenergie.

Ik: Na de Tweede Wereldoorlog werd de Stichting FOM opgericht om te helpen de kloof te dichten die ontstaan was in vergelijking tot Amerika vooral op het gebied van de kernfysica en kernenergie. De wieg van de ultracentrifuge heeft op ons lab gestaan. Wij zijn nog steeds een overheidslaboratorium en UCN, dat ook eigendom van de overheid is, vraagt ons te helpen het inzicht te verwerven dat zij nu nodig heeft. Ik vind dat wij dan aan de overheid verplicht zijn onze expertise ter beschikking te stellen. Dat is onze taak.

Student: Toch helpt u hiermee die kernenergie, met alle problemen van grote catastrofes zoals in Tsjernobyl en de radioactiviteit die door kernenergie ons milieu besmet.

Ik: Dat is waar. Ook ik heb mijn twijfels over kernenergie. Onze regering heeft gelukkig nog niet besloten drie nieuwe kerncentrales te laten bouwen. Ons parlement heeft echter ook niet besloten kernenergie helemaal af te schaffen.

Student: Een meerderheid van de bevolking wil er vanaf.

Ik: Wij kunnen ons in dit stadium niet veroorloven de kernenergie helemaal af te schrijven. Dat zou een gigantische vernietiging zijn van vijftig jaar investering in onderzoek en ontwikkeling.

Student: Dat is toch geen reden om maar door te gaan met iets dat niet goed is?

Ik: Ik denk niet dat wij door moeten gaan met het bouwen van kerncentrales. Daar zitten nog te veel risico's aan. Maar wij mogen ook niet doorgaan met kolencentrales te bouwen. Zolang wij nog geen oplossing hebben voor ons energieprobleem moeten wij al onze opties openhouden en vooral onderzoek blijven doen.

Student: Uw argument van de overheid klopt natuurlijk voor geen menter! Uw lab hoort bij het ministerie van O&W en UCN hoort bij het ministerie van EZ.

Ik: Dat maakt voor mij geen verschil, zolang UCN ons toestaat de wetenschappelijke resultaten te publiceren, en dat staat in het contract.

Student: Maar, als het onderzoek gepubliceerd wordt dan kan iedereen toch uranium scheiden met lasers?

Ik: Nee hoor. Wasmachinefabrikanten over de hele wereld kunnen centrifuges bouwen. Toch kan bijna niemand een centrifuge maken voor uranumscheiding.

Student: (met de blik van iemand die een strikvraag heeft bedacht): Het ministerie van defensie hoort ook tot de overheid. Zou u voor hen wapens ontwikkelen als zij dat aan het lab zouden vragen?

Ik: Nee! Zij zullen vast niet akkoord gaan met volledige openbaarmaking van het onderzoek.

Student: En als 'hun' daarmee wel akkoord gaan?

Ik: Dan nog niet.

Student: Dat is niet consequent.

Ik: Dat moet ik toegeven, maar er zijn grenzen.

Student: Ook laserscheiding van uranium kan door militairen gebruikt worden om kernwapens te maken.

Ik: Dat is waar en het is moeilijk te controleren want ik denk dat een laserscheidingsinstallatie veel kleiner zal zijn dan een ultracentrifuge-fabriek en dat hoogverrijkt uranium relatief gemakkelijk verkregen zal kunnen worden. Nederland heeft het non-proliferatieverdrag getekend. Dat betekent dat in Nederland niet gewerkt zal worden aan de ontwikkeling van kernwapens noch aan de verspreiding ervan.

Student: De geschiedenis leert dat de mens alle wapens die ontwikkeld zijn ook echt gebruikt.

Ik: Toch geloof ik dat Nederland zich zal houden aan het non-proliferatieverdrag. (Natuurlijk had ik moeten herinneren aan het historische akkoord tussen Gorbatsjov en Reagan, waardoor SS-20 en kruisvluchtwapens ontmanteld zijn.)

Student: Ik vind dat niet geruststellend. Als je ziet dat vele landen bereid zijn geweest een fabriek voor chemische wapens te leveren aan Libië. Dat was toch ook tegen alle verdragen ?

Dan onderbreekt de voorzitter de discussie en er volgt een stemming. Wie voor het contract met UCN is mag zijn hand opsteken. Door de hele collegezaal gaan de handen omhoog. Dat zou in mijn tijd nooit gebeurd zijn denk ik. Het wordt niet nodig gevonden de tegenstanders te vragen de hand op te steken. De studente op de voorste rij is hierover zichtbaar ontstemd.

WITTGENSTEIN

21 maart 1989

Stel u voor, een zaal, de muren donkergrijs, de ramen geblindeerd, straatgeluiden dringen nauwelijks door, langs de wanden links en rechts zuilen, blauw. Aan de korte zijde een tribune, daar tegenover het decor: een bijna vierkante parketvloer, daarachter een groengeschilderde wand. De zaallichten doven, de parketvloer licht op. De acteur komt van achter de groene wand en gaat zitten op een rechte strandstoel bijna in het midden. Hij begint aan het eerste van drie colleges van Wittgenstein. Hij spreekt in de direkte rede maar hij beschrijft ook de sfeer in de collegezaal. De gesprekken met toehoorders, de gedachten, de meningsverschillen, de ergernissen, het onbegrip, de emoties, het inzicht, en de zaal zelf, minitueus. De regen tegen het raam, de geraniums ervoor, de bloemblaadjes op de vensterbank. Wittgenstein die ze bijeenveegt en in zijn hand neemt.

De zaal is gevuld met toeschouwers. Min of meer gearriveerde intellectuelen, zeker geen studenten. Rechts op de voorste rij zit een fysicus. Van Wittgenstein heeft hij nooit iets begrepen. In de jaren zestig kwam Wittgenstein opeens in de mode, maar de natuurkundige is nooit verder gekomen dan de eerste dertig bladzijden. Onbegrijpelijke genummerde uitspraken. Geen touw aan vast te knopen. Maar nu had hij in de krant gelezen dat deze Wittgenstein, een even moeilijke als schitterende solo was van een groot acteur. Het zou gaan over 'weten' en 'geloven' en hoe moeilijk het is daarover iets met stelligheid te beweren. "U moet zich iemand voorstellen die in het Laatste Oordeel gelooft en dit als richtlijn voor zijn leven kiest. Met alle consequenties. Het staat hem bij alles voor de geest. Overall. Altijd", zegt Wittgenstein, en: "Ik werd door een gedachte in de rede gevallen want hoe kunnen we in godsnaam weten of hij in zo'n Laatste Oordeel gelooft?"

"Hier staat een man die bereid is zijn denkproces ten toon te spreiden inclusief alle onontkoombare eigenaardigheden en intimiteiten. Schaamteloos en dwingend zal blijken", zegt de acteur die is opgestaan uit de strandstoel en langzaam zonder te acteren, zo lijkt het, over het parket beweegt. Zijn zorgvuldigheid en nauwkeurigheid verraden warmte en liefde voor de

filosoof en wat die vertelde. Naar hem kijkend, maar hem niet echt begrijpend, krijgt de fysicus langzaam een gevoel voor de situatie, voor wat hier gebeurt. Wittgenstein bouwt zijn redeneringen niet op vanuit vooraf bedachte constructies, maar haalt ze uit de omstandigheden zelf te voorschijn.

Als het eerste college voorbij is, heeft de fysicus drie kwartier zitten luisteren en kijken zonder echt te begrijpen wat Wittgenstein nu eigenlijk wil. Iemand die op het lab zo een colloquium geeft, zou geen gehoor overhouden. Waarom is het dan toch zo fascinerend? De zaal is uitverkocht, en na de pauze worden alle plaatsen weer ingenomen, geen stoel blijft leeg. Waarom komt iedereen terug, waarom blijft niemand beneden in het café van het Shaffy Theater? Omdat het gaat over de grote vragen van het geloof in God? Het leven na de dood en het Laatste Oordeel? Zekerheid van het weten? De betekenis van een woord en wat we leren als een woord voor het eerst bij onze taal wordt ingelijfd?

De natuurkundige gaat na de pauze terug naar de zaal omdat hij de sfeer van werken, van het doen van onderzoek, herkent. Het zijn eigenlijk helemaal geen colleges. Het is onderzoek. Het is een werkbespreking zoals die op het lab ook gaat, tenminste als het goed is. Hij herkent de emoties waarmee Wittgenstein zijn onderwerp en zijn omgeving te lijf gaat. “De man wekt de indruk bezig te zijn met een oefening”. “Dat is de methode... schetsen, proberen en vertrouwen op de invallen die zijn afgedwongen. Tenslotte zijn de toeschouwers slechts aanwezig bij iemand die in het openbaar nadenkt... en blijft denken” Hij weet zichzelf tot een monoloog te brengen. Zoekend... zonder veel intonatie”. “Tenslotte heeft Wittgenstein zichzelf in de juiste positie gebracht. Dat was de methode”.

De schok der herkenning wordt veroorzaakt door Wittgensteins totale overgave, dat wat telt in de wetenschap is niet zozeer intelligentie of precisie, maar wel: een totale overgave. Denken en voelen komen niet los van elkaar. Wittgenstein weet dat je door dalen moet om bergtoppen te bereiken. Het is zwoegen en ploeteren maar vooral met je hele gevoel erbij zijn, je intuïtie volgen, en via opgetogenheid en teleurstelling langzaam maar zeker tot helderheid komen.

Wittgenstein laat, vooral tijdens het tweede ‘college’, merken dat filosofie net zo min als natuurkunde een eenmans operatie is. Hij heeft duidelijk behoefte aan discussie over tegenstellingen. Hij voert twee spiegelbeeldposities ten tonele. Aan de ene kant is daar O’Hara, de gelovige. “Hij gelooft met beslistheid. Heeft een systeem waarbinnen geen twijfel

mogelijk is. Weten. Is het daarom een wetenschappelijk geloof? Zou het geen mystiek geloof kunnen zijn? Bedoelt O'Hara niet volkomen overtuigd i.p.v. weten? Want waar geen twijfel is, daar is ook geen weten." Tegenover hem staat Moore: "Versta me goed Wittgenstein. Ik ben geen gelovige" en "Houdt er rekening mee dat het geloof zich op bewijsmateriaal beroept". Wittgenstein: "Ten onrechte, dat probeer ik hier nu juist aan te tonen. Maar niet omdat ik zou weten dat er geen God bestaat, dat moet duidelijk zijn". Moore: "De zaak lijkt eenvoudiger. Als men mij van mijn ongelijk overtuigt, geef ik mijn standpunt op". Wittgenstein: "Dat betwijfel ik nu juist, Moore". En de fysicus moet lachen, immers hier zitten Popper en Kuhn, voordat hun tijd gekomen is, al tegenover elkaar.

Wittgenstein gaat niet zachtzinnig met zijn opponenten om. Soms voert hij de discussie op een ruzietoon en probeert hij zijn tegenstander te elimineren. "Men kan zelfs twifelen aan Wittgensteins onbaatzuchtigheid. De monotone uitgesproken woorden klinken autoritair. Hij moet er in toenemende mate, enigszins hooghartig van overtuigd zijn dat deze positie schaamteloos kan worden ingenomen"

De gedachten van de natuurkundige dwalen af naar zijn eigen werksprekingen op het lab. De soms heftige meningsverschillen die nauwelijks discussies genoemd kunnen worden. Ook moet hij denken aan soms emotionele taferelen tijdens conferenties, en de refereerrapporten van internationale tijdschriften waarin tegenstanders anoniem kunnen worden afgemaakt. Tijdens de tweede pauze echoën Wittgensteins adjectieven door z'n hoofd. "Grotesk", "Wartaal", "Dronkemanspraak". Aan het eind van het derde en laatste college klinkt plotseling het verlossende woord. Na het voorbereidingsproces, na de chaos, de misvattingen, de associaties, na de ondermijning van de rede, de twijfel aan het geloof, aan het weten, aan het woord, aan het denken zelf, klinkt kort en droog de constatering waar het volgens Wittgenstein op neerkomt: "Geloven dat God bestaat of dat er leven na de dood is, kan alleen geverifieerd worden door de consequenties die men er aan verbindt..." "Al het andere was filosofische aanmatiging... Dit is alles wat er over te zeggen valt... Allerlei vaagheden daargelaten". Dan klinkt het applaus en de toeschouwers verlaten de zaal.

De natuurkundige is blijven zitten en beseft wat er gebeurd is. Niet alleen gaat het er in de filosofie net zo aan toe als in de natuurkunde, in beide moet men zich tevreden stellen met een sobere conclusie. Het is ons

niet gegeven het Geloof zelf te kennen, slechts hoe de gelovige zich gedraagt. Zo ook in de natuurkunde. Het is ons niet gegeven het elektron te kennen, slechts hoe het zich gedraagt, als golf of als deeltje. Het wezen der dingen blijft voor ons ongekend, slechts het gedrag kunnen wij waarnemen. Dat was Wittgenstein. De fysicus is vol bewondering voor de filosoof, voor de acteur Johan Leysen, voor de pedagoog en regisseur Jan Ritsema, voor decorbouwer Herman Sorgeloos, voor de politicoloog, filosoof en schrijver Peter Verburgt. Zij bezorgden die wonderlijke eenheid tussen alfa, bèta en gamma, tussen wetenschap en kunst.

KIJK OP JAREN 90

18 april 1989

“De wetenschappelijke revolutie is de enige methode waarmee de mensheid zich de primaire levensbehoeften kan verschaffen (een behoorlijke levensverwachting, zonder honger, zonder kindersterfte) - primaire levensbehoeften die voor ons vanzelfsprekend zijn, en die wij nog niet zo lang geleden hebben gerealiseerd door onze eigen wetenschappelijke revolutie. De meeste mensen verlangen naar deze primaire levensbehoeften, de meeste mensen storten zich in de wetenschappelijke revolutie zodra hen daartoe de mogelijkheid wordt geboden”.

Dit citaat komt niet uit de Nota: ‘Naar een Wetenschapsbeleid voor de jaren 90’ van het Ministerie voor Onderwijs en Wetenschappen, maar uit de *Two Cultures* van C.P. Snow. Je hoeft Snow zelf niet gelezen te hebben, maar in een discussie over alfabetisme hoort naar de *Two Cultures* verwezen te worden. Men kan niet naar de aard van die twee culturen vragen zonder in intellectueel gezelschap door de mand te vallen. Dat is nog niet zo lang het geval. In de Oxford Dictionary van 1960 komt de term nog niet voor, maar in Van Dale’s Groot woordenboek Engels-Nederlands uit 1984 staat onder ‘culture’: *the two -s*; literatuur en wetenschap.

Snow bedoelde natuurwetenschap, *science*, en wees erop dat de meest geletterden geen flauw benul hebben van de 2e hoofdwet uit de Thermodynamica, terwijl dat wetenschappelijk zo ongeveer gelijk staat met het bekennen dat men geen enkel werk van Shakespeare gelezen heeft. Snow stelde zijn gehoor in Cambridge de retorische vraag of aan de High Table wel de grote ontdekking van Yang en Lee besproken is, over het niet-behouden zijn van pariteit in de elementaire deeltjesfysica. Snow vond de minachting van de geletterden voor de natuurkunde verwerpelijk. Volgens hem werd hierdoor een kans gemist de wereld van armoede te verlossen. Snow bedoelde geen culturele armoede; hij hield de elite voor dat de wetenschappelijke revolutie dient te worden aangewend om de kloof tussen arm en rijk te dichten. Wie de *Two Cultures* leest op zoek naar een betoog over de culturele waarde van de wetenschap komt bedrogen uit.

Wat het gebrek aan culturele waarde betreft, bevindt de nieuwe Nota:

‘Naar een Wetenschapsbeleid voor de jaren 90’ zich dus in goed gezelschap. Daarin wordt nog een stapje verder gegaan en staat de technologische revolutie, in de BV Nederland en in het Europa van 1992, voorop. Alle wetenschappen, niet alleen de ‘sciences’, ook de maatschappij- en geesteswetenschappen, dienen dat doel (of beter: dienen dat doel te dienen). Wetenschap in dienst van de internationale technologiewedloop, lijkt door O&W te worden uitgeleverd aan het Ministerie van EZ en aan de EG in Brussel.

Mijn wetenschapsbeleid voor de jaren 90 zou er heel anders uitzien. In mijn ‘Kijk op 90’ zou de wetenschap zelf voorop staan, niet het heil der mensen, noch de concurrentiepositie ten opzichte van de Verenigde Staten en Japan. Niet dat ik niet om politiek geef, maar het is niet de taak van de natuurkundige. Ik geloof dat een wetenschapper die zich begeeft op politiek terrein, net zo dom is als ieder ander. Aangezien de vraag naar de waarde van de wetenschap zelf geen natuurkundige vraag is, sta ik op het punt een zekere naïviteit ten toon te spreiden.

Het belang van de wetenschap is in de eerste plaats de enorme voldoening die het bedrijven van wetenschap geeft. Het gevoel van opwindning, van Archimedes in het bad, van Newton onder de appelboom, het laaiend enthousiasme dat hoort bij een creatief moment, zal een ieder kennen die zich weleens aan diepgaand onderzoek verslingerd heeft. Of het nu een zuiver wetenschappelijk of een technisch probleem betreft, als je er maar diep genoeg induikt, ontdek je vrijwel steeds fascinerende nieuwe gegevens. De esthetische kant van het onderzoek wordt niet alleen door de onderzoeker zelf ervaren en gewaardeerd. Wetenschap in het theater trekt volle zalen door het hele land. Dagbladen hebben sinds kort een wetenschapsbijlage. Resultaten van onderzoek zijn geregeld voorpaginanieuws, of onderwerp van het tv-journaal en teletekst. De volkomen onverwachte wendingen die het wetenschappelijk onderzoek kan nemen fascineren brede lagen van de bevolking.

Het resultaat, de uitkomst van wetenschappelijk onderzoek, heeft niet alleen emotionele waarde. Ook het feit dat er iets uitkomt, als men zorgvuldig zoekt en met een originele blik naar de dingen kijkt, heeft waarde. Het ‘zoekt en gij zult vinden’ is mijn tweede devies voor wetenschapsbeleid. De resultaten van speurwerk kunnen de mens het leven veraangename, maar ze kunnen het ook ten gronde richten. Van beide kennen wij

voorbeelden te over. Het vooruitgangsgeloof is langzamerhand getemperd door de schade en het menselijk leed, veroorzaakt door misbruik van onderzoeksresultaten. Het onderzoek verschaft de mens echter een keuze, die er zonder de wetenschap niet zou zijn. Dat maakt op zich al het onderzoek de moeite waard.

Naast een esthetische en een opportunistische reden om wetenschap te bedrijven, is er het opleidingsaspect. Door de koppeling van onderwijs en onderzoek wordt jonge mensen geleerd zoekend hun weg te gaan. Vele mensen kunnen niet leven zonder geprogrammeerde instructie. Wetenschappelijk onderzoek is niet te programmeren. Dat hebben de grote ontdekkingen van de laatste paar jaren weer eens aangetoond. De supernova explosie, de hoge temperatuur supergeleiding, de koude fusie en het AIDS-virus hebben wetenschappelijke programma's op hun kop gezet. Jonge onderzoekers leren zich ergens helemaal voor in te zetten, zonder precies te weten waar het toe zal leiden en wanneer. In de wetenschap leert men met onzekerheden leven zonder in paniek te raken. Met volharding en met een open vizier terrein verkennen, is een ervaring die jonge mensen later van pas zal komen, ook als men niet in het wetenschappelijk onderzoek blijft. Men kan zelfs stellen dat onze maatschappij ermee gediend zou zijn als wij allen beter bestand waren tegen onzekerheden, niet met schijnzekerheden maar gewoon met onzekerheden leren leven.

In mijn 'Kijk op 90' zouden de esthetische, de opportunistische en de opvoedkundige waarden van de wetenschap ook een prijskaartje hebben. Ik zou niet aarzelen het parlement te vragen 1% van de rijksbegroting uit te geven aan risicodragend speurwerk, fundamenteel onderzoek waarvan niet van te voren vast staat dat er iets bruikbaar uit zal komen. Dat geld zou ik à fonds perdu aan de wetenschappers zelf geven. Niet aan de colleges van bestuur van de Universiteiten, maar aan de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Onderzoekers in de alfa-, bèta- en gammawetenschappen zouden door projectaanvragen bij de Stichtingen en Werkgemeenschappen van NWO steun kunnen krijgen voor hun onderzoek in de universiteiten, en de instituten van NWO en de Akademie. Het gaat hier uitsluitend om geld voor speurwerk. Ontwikkelingen van onze economie, van technologie, van het milieu, van zonne-energie, volksgezondheid of de landbouw staan hier helemaal buiten. Ontwikkelwerk kost meestal een veelvoud van het speurwerk dat daaraan

vooraf gaat. In tegenstelling tot het onderzoek kan het ontwikkelwerk wel degelijk geprogrammeerd worden. Welke ontwikkelingen er plaats moeten vinden en hoeveel eraan moet worden uitgegeven dat zal ieder vakdepartement zelf uit moeten maken. De ministeries kunnen bepaalde gedeelten van het ontwikkelwerk uitbesteden aan universitaire laboratoria en instituten vanwege hun speciale expertise. Ook de industrie zou dat kunnen doen, en de EG in Brussel. Maar het wetenschapsbeleid staat hier buiten, en is op zich zeer eenvoudig. In mijn 'Kijk op 90' zou 1% van de totale overheidsuitgaven gereserveerd moeten worden voor het zuivere speurwerk in de alfa-, bèta- en gammawetenschappen. De onderzoekers en het onderzoek in Nederland zijn dat dubbel en dwars waard.

DAGBOEK VAN EEN FUSICUS

2 mei 1989

Vrijdag 21 april, “Er zijn neutronen gemeten”, zegt Aart Kleyn, een van onze groepsleiders, door de telefoon, “Het waren er nogal veel. Veel meer dan Fleischmann heeft gerapporteerd. Het apparaat had al een tijdje op deuterium gedraaid toen plotseling de neutronenteller op hol sloeg, 300 counts in 3 seconden. Daarop is de noodknop ingedrukt. Maar dat was toch 50 mRem, de maximale stralingsdosis voor een week.” Wij spreken af dat ik op zoek ga naar nog meer neutronentellers die op enige afstand kunnen worden uitgelezen, voor morgenmiddag 1 uur wanneer Aart z'n groep weer op het lab zal zijn.

Wij zijn vanavond naar een van de promovendi wezen luisteren die cello speelde in de Kleine Zaal. Het was heel mooi. Ik heb mijn jas nog aan en ga meteen even kijken op het lab. Het is er uitgestorven. Het lijkt net of de neutronenbom is afgegaan. Uit het boek bij de receptie blijkt dat er zeker 30 mensen in het gebouw waren toen het koude fusie experiment aanstond.

Op een originele manier: in een vacuümkamer wordt een plaatje titaan beschoten met een enorme stroom deuterium van 1 Ampere bij 100 Volt. Het apparaat is door Ron van Os gebouwd ten behoeve van het conventionele fusieonderzoek, waarop hij in mei zal promoveren. Het apparaat is dus beschikbaar voor iets nieuws en daar maakt hij samen met zijn opvolger dankbaar gebruik van. Zouden de ideeën van Fleischmann, Pons en Jones dan toch waar zijn? Ik kan het mij nog steeds niet voorstellen, maar de neutronenteller bij het apparaat staat op 371.

Bij onze burens, de kernfysici, zijn de experimenten nog in volle gang en ik vraag om neutronentellers. “Voor koude fusie zeker”, zeggen ze lachend. Als ik om half twee in bed stap hoor ik: “Hebben ze koude fusie gemeten?” “Het is niet te geloven, maar er zijn echt neutronen”, zeg ik, en probeer toch te slapen.

Zaterdag 22 april. Om 1 uur is de hele ploeg present. Een provisorisch bedieningspaneel wordt achter een betonnen muur opgesteld 10 meter van het apparaat. Daar kunnen de neutronentellers worden uitgelezen, behalve één die ze via een videocamera in de gaten houden. Er is een potmeter waarmee de deuteriumstroom wordt ingesteld, en de noodknop die de

computergestuurde opstelling kan uitschakelen. Op tafel ligt de wetenschapsbijlage van de *Volkskrant* met een groot artikel over koude fusie, en een beetje meewarige constatering dat er in Nederland nog steeds geen neutronen zijn gedetecteerd. “Wacht maar”, zegt Ron van Os, “over een kwartiertje zal je eens zien”. Terwijl ik op mijn kamer nog wat probeer te werken, merkt een collega die langs komt op dat het net lijkt op een bevalling. Het kind heeft zich al aangekondigd, de weeën zijn er maar je kunt niets doen alleen maar wachten.

We hebben het lab afgesloten. Wie erin wil moet eerst opbellen naar de fusieopstelling. Daar trekt een plotter kaarsrechte lijnen over het papier ten teken dat er geen neutronen gemeten worden. In de bibliotheek vind ik een oude publikatie uit 1948, waarin de fusiereactie gemeten is door ijs van zwaar water te beschieten met deuterium. Beneden een bepaalde versnelling werd helemaal geen signaal meer gemeten en wij zitten nog eens een factor 100 lager. Vlak achter dit artikel staat een publikatie van Edward Teller, de Sacharov van de USA, die de fusiereactie berekend heeft. Zou hij het al 40 jaar mis hebben? Ook vind ik verscheidene artikelen over deuterium implantatie in metalen, waarin concentraties van meer dan 50% worden gehaald. Zouden die mensen nooit een neutronenteller in de buurt hebben gehad? Ik kan het me niet voorstellen, vooral niet omdat dit soort onderzoek gedaan is op de grote bommenlaboratoria.

Bij de opstelling wordt nog niks gemeten, maar ik moet gewoon geduld hebben, zeggen ze, want gisteren sloeg de neutronenteller pas op hol toen het titaan verzadigd was van deuterium zodat het aan de achterkant eruit kwam. Ik ga even naar huis om te kijken of er nog geholpen moet worden bij de voorbereidingen van het feest van onze jongste zoon. Alles is al gedaan, de tussen verdieping is omgetoverd in een disco, en ik keer snel terug naar het lab. Bij de voordeur onderdruk ik de neiging de versperring te negeren en gelijk door te lopen. Ik bel naar de opstelling en zeg: “ik kan zeker wel doorlopen, he?” “Ja maar er is wel signaal!” Ongelovig voeg ik me bij de groep waar de plotter nu zenuwachtig staat te trillen en langzaam maar zeker omhoog klimt. Elke minuut loopt een van de medewerkers om de muur en leest de derde neutronenteller af. De videocamera is ermee opgehouden. Storing. Waar wij zitten is het stralingsniveau nul, maar bij het apparaat niet en op de neutronenteller, die elke minuut wordt afgelezen, klimt het signaal flink omhoog. Het gaat al gauw zo snel dat iedereen opgewonden wordt en alleen Aart nog achter de muur vandaan durft te komen om de meter af te lezen. Als hij meer dan 30.000 counts

telt wordt het hem te gortig, en drukt hij de noodknop in. Onmiddellijk stopt het apparaat en zijn ook alle neutronentellers stil.

Na het eten spreek ik nog even met de groep. We zijn er toch niet gerust op dat die videocamera zoveel last heeft van storing, terwijl de tv-monitor het gewoon doet en Hilversum goed kan ontvangen. Zou de storing uit ons apparaat komen en ook de neutronentellers op hol brengen? Ik zeg: "Als jullie nog een meting doen met waterstof en de neutronentellers blijven stil dan heb je al één bewijs meer dan Fleischmann en Jones". Ron van Os is het daar niet mee eens. Hij wijst erop dat de deuteriumontlading toch een ander stoorsignaal kan geven dan een waterstofontlading in zijn apparaat.

Ik moet naar huis. Het stroomt vol met 40 jongens en meisjes voor het feest. Ook komen mijn familie en vrienden een borrel drinken, nog voor mijn verjaardag. Terwijl boven het feest van de scholieren in volle gang is besef ik hechte vriendschapsbanden gesmeed te hebben in mijn studententijd niet op school. Om een uur of 11 knijp ik er even tussen uit en bel het lab. Aart Kleyn meldt dat hij er geen vertrouwen meer in heeft. Ze hebben de videocamera weer aan de praat gekregen en het experiment nog eens over gedaan. Toen de neutronentellers weer begonnen uit te slaan, viel ook de videocamera weer uit. Dus hebben we te maken met elektronische storing en waarschijnlijk niet met neutronen. Als om 2 uur de laatste gasten ons huis verlaten, heb ik geen puf meer om nog naar het lab te gaan. De groep zal er toch niet meer zijn. Het was immers alleen maar storing geen neutronen.

Zondag 23 april. Met alle buitenlandse gasten van het lab naar de bloemendagen in Limmen geweest. De mozaïeken en de bollenvelden zijn altijd een succes. 't Lijkt me geweldig als bollenboer 's morgens de gordijnen open te doen en plotseling al het land in plaats van groen in knalgeel of vuurrood te zien staan. Daar kan Christo niet tegenop. Bij thuiskomst belt Aart Kleyn op. Ze hebben zaterdagochtend tot 3 uur gemeten en alle resultaten reproduceren keurig. Daarna is het deuterium vervangen door waterstof en na meer dan een uur werd nog steeds geen enkel neutron gemeten. Het ziet er dus heel goed uit met die koude fusie. Gek dat die videocamera zo vreemd doet tijdens de deuteriumexperimenten. Morgen verder.

Maandag 24 april. Bij het apparaat liggen de metingen van zaterdagochtend. Het neutronensignaal van 3 detectoren loopt keurig mee met de

deuteriumstroom. Boven de grafiek staat met grote letters "CONTROLLED COLD FUSION". Ik leg deze metingen op het kopieerapparaat, stop ze in mijn tas en ga naar het FOM-bureau in Utrecht. Met onze beheerder heb ik afgesproken dat ik hem zal vervangen bij de vergadering van de overleggroep personeelszaken. Hij rust uit van al het werk voor het jazz-weekend in Schagen. De sfeer in de overleggroep bij FOM is goed. Wetenschapsbeleid is in de eerste plaats personeelsbeleid en dat is bij deze mensen in goede handen. Aan het eind van de vergadering branden de metingen in mijn tas. Wat zou ik graag zeggen: "Kijk eens mensen wat we hier hebben: *controlled cold fusion*". Ik houd me in en ga terug naar het lab voor een werkbespreking met de koude fusie mensen.

Op het bord wordt een lijst met 13 punten gemaakt van alle dingen die we nog niet vertrouwen, of die op een of andere manier verder onderzocht moeten worden. Het belangrijkste punt is de videocamera. Aart zegt: "Als die er niet was geweest, dan zouden we hier met champagne zitten". De taken worden verdeeld. Er worden videocamera's gehuurd, tv-monitors en een dieselaggregaat, zodat alle neutronentellers en de videoapparatuur storingsvrij en losgekoppeld van het lichtnet kunnen worden opgesteld. Ik zorg voor meer deuterium, dat ik nog voor mijn dispuutsavond in Leiden kan ophalen. De experimenten kunnen pas weer om half twaalf worden gestart. Voor die tijd is de Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek op bezoek om te zien hoe wij *computer aided engineering* doen. Men is vooral geïnteresseerd in de verbinding tussen de computer van de ontwerpafdeling en de computergestuurde machines in de werkplaats. Als iedereen het lab verlaten heeft, wordt het koude fusie experiment weer aangezet.

De neutronentellers zijn nog eens geïjkt en van de videocamera's weten we inmiddels dat ze niet gevoelig zijn voor neutronen. Nu de neutronentellers gevoed worden uit het dieselaggregaat dat buiten staat, zijn ze veel rustiger. Ieder uur ga ik kijken, maar de neutronentellers blijven stil en de videocamera's hebben geen last van storing. Langzaam wordt duidelijk dat wij het hele weekend alleen maar storingen hebben zitten meten en helemaal geen neutronen. Om drie uur 's ochtends weten we ook waar die elektronische storing precies vandaan komt en sluiten het experiment af.

Als ik om half vier thuis kom hoor ik: "En is er koude fusie?"

Ik antwoord: "Nee, de videocamera heeft ons gered. Door meten tot weten, door testen verpesten".

SILICIUM PROMOTIES

6 juni 1989

Wij leven in het siliciumtijdperk, waarschijnlijk nog maar in het begin daarvan. Het veertiende element uit het periodiek systeem verandert ons dagelijks leven met computers, de telefoon, de tv, de hifi-apparatuur, in auto's en vliegtuigen, in wasmachines en ovens, in fotografie en video, in ziekenhuizen, op vliegvelden en op stations. Overal dringt de micro-elektronika door. Veel eentonig en geestdodend werk wordt vervangen, geautomatiseerd, door kleine stukjes silicium, de chips. Was in 1980 de elektronische industrie nog kleiner dan de auto-industrie, volgend jaar zal hun omzet in Europa gelijk zijn. De micro-elektronika is de snelst groeiende industrie. Over tien jaar wordt verwacht dat zij de petro-chemische industrie naar de kroon zal steken.

Aan de voorraad silicium zal het niet liggen: 20% van de aardkorst bestaat uit dit element. Wij hebben het letterlijk voor het opscheppen, onze stranden bestaan uit siliciumoxide. Hieruit worden na zuivering grote staven van kristallijn silicium vervaardigd. Het bijzondere aan dit materiaal is dat het zich leent voor het maken van elektrische geleiders, maar ook voor isolatoren. Van silicium kan men condensatoren maken en weerstanden, transistoren en geheugens. Complete elektronische schakelingen kunnen worden aangebracht in het oppervlak van een klein stukje silicium. Met silicium kan licht gedetecteerd worden, druk gemeten en temperatuur. Het kan dienst doen als stralingsmeter, zuurgraadmeter en als schakelaar. Het kan gebruikt worden voor fotokopiëerapparatuur en platte tv-schermen. Misschien worden straks ook wisbare cd's van silicium gemaakt. Zonnecellen, waarmee licht direkt wordt omgezet in elektrische stroom, bestaan uit silicium.

Men zou verwachten dat van een materiaal dat zo belangrijk is voor onze technologie, een materiaal dat zo'n strategische positie inneemt in onze economie, een materiaal dat het dagelijks leven en het aanzien van de westerse wereld zo zeer verandert, dat van dat materiaal het fundamenteel onderzoek wel gedaan zal zijn. Men zou verwachten dat van silicium alles bekend is. Het grote boek over alle eigenschappen van silicium, geschreven door 70 internationale experts, bevat 1100 pagina's met 250 overzichten van alle gegevens waarop de siliciumtechnologie is gebaseerd.

Het is een indrukwekkende hoeveelheid informatie. Toch is het nog steeds mogelijk over silicium dikke proefschriften te schrijven. Dat hebben twee promovendi bewezen die deze week hun dissertaties aan de Rijksuniversiteit Utrecht zullen verdedigen. Hebben deze jonge fysici nog fundamentele ontdekkingen gedaan? Is fundamenteel onderzoek überhaupt nog mogelijk op een terrein dat reeds zover is in het stadium van toepassingen en waar het onderzoek gedomineerd wordt door de laboratoria van de elektronische industrieën? Heeft het universitair onderzoek hieraan nog wel een bijdrage te leveren?

Drs. Ando Kuypers heeft een ontdekking gedaan die van belang is voor het maken van ultra kleine structuren in silicium. In de siliciumtechnologie worden langzaam maar zeker alle natte chemische processen vervangen door droge fysica. Om kleine gaatjes te etsen in het oppervlak van een chip worden de siliciumkristallen van een masker voorzien en in een etsvloeistof gedompeld. Waar het oppervlak niet beschermd is door het masker daar etst de vloeistof een gaatje. Naarmate de structuren op de chip kleiner worden voldoet deze etsmethode niet meer en wordt er gezocht naar alternatieven. Het bewerken van het silicium met geladen deeltjes uit een gasontlading blijkt een goed alternatief te zijn. Men kan gerichte bundels maken van geladen deeltjes en daarmee plaatselijk uit het siliciumoppervlak atomen verstuiven. Hiermee kunnen vrij gemakkelijk hele kleine gaatjes geëts worden met een diameter smaller dan een micron tot een breedte van enkele tientallen atoombstanden. Er is echter een probleem met deze nieuwe etsmethode. Het silicium in de bodem van het kleine gaatje is gebombardeerd geweest met geladen deeltjes uit de gasontlading. Hierdoor wordt de kristalstructuur van het silicium beschadigd en onbruikbaar voor elektronische schakelingen. Aan de nieuwe bewerkingsmethode van silicium worden tegenstrijdige eisen gesteld. Enerzijds wil men kleine gaatjes in het oppervlak kunnen etsen door atomen te verstuiven met een bombardement van geladen deeltjes. Anderzijds mag het oppervlak dat gebombardeerd is niet beschadigd zijn.

Drs. Ando Kuypers heeft een etsreaktor ontwikkeld die aan beide eisen lijkt te voldoen. Door slim gebruik te maken van een magneetveld in de gasontlading krijgt hij een zeer hoge dichtheid van geladen deeltjes met een uitzonderlijk lage energie. Hiermee kan men in het siliciumoppervlak net zo snel gaatjes etsen als met natte chemie maar de diameter kan veel kleiner gekozen worden. Doordat de energie van de geladen deeltjes, waarmee gebombardeerd wordt zo, gering is worden de atomen laag voor

laag uit het oppervlak verstoven, terwijl de onderliggende atomen onberoerd blijven. Zelf vergelijkt drs. Ando Kuypers het door hem ontwikkelde etsprocédé met het verwijderen van een laagje vet uit een juspan met een beetje afwasmiddel onder een waterval: “de mooie machine uit dit proefschrift schuimt volop, ook nog genoeg voor de vette pannen!” schrijft hij in “een samenvatting voor mijn oma en andere niet-natuurkundigen”.

In de dissertatie van drs. Albert Polman staat een interessante vondst over siliciumkristalgroei. Men kan vloeibaar silicium kristalliseren met een fantastische snelheid. Polman groeit zelfs 15 meter silicium per seconde, en volgens hem is dat de maximale snelheid waarmee men vloeibaar silicium kan stollen. Er is iets met silicium waardoor het fundamenteel onmogelijk wordt nog sneller te gaan. Als men een vloeistof afkoelt beneden het smeltpunt van die stof dan zal het stollen. Naarmate de vloeistof verder wordt gekoeld zal het stollen sneller gaan. Dit is ook voor silicium het geval maar kennelijk is er een maximum. De metingen laten zien dat in het temperatuurgebied van 150°C tot 225°C onder het smeltpunt van silicium de stolsnelheid konstant blijft.

Drs. Albert Polman geeft ook een verklaring voor dit verschijnsel. De meeste stoffen krimpen als ze stollen. In de vaste stof zitten de atomen meestal dichter op elkaar dan in de vloeistof. Daar is een bekende uitzondering op: water zet uit als het bevriest. Daarom springen bevroren waterleidingen in de winter en zien we langs de dijken kruierende ijsschotsen. Ook silicium is in dit opzicht uitzonderlijk. Als het stolt zet het uit. Het verschil in dichtheid tussen vloeibaar en vast silicium is 10%. Tijdens het stollen duwt het bevroren silicium de vloeistof voor zich uit. Als het stollen heel snel gaat zal in de vloeistof een drukgolf ontstaan die het stolfront afremt. Daarom kan silicium, ook al is het nog zo koud niet sneller bevroren dan 15 m/s. Deze veronderstelling zal drs. Albert Polman op zijn promotie trachten te verdedigen ten overstaan van zijn oma en andere natuurkundigen

Het werk van beide promovendi is fundamenteel onderzoek der materie in optima forma. Het is zuivere fysica van een materie die het aanzien van de maatschappij fundamenteel verandert.

VIER JAAR VERLOOFD

12 september 1989

Beste Liesbeth,

Welkom op ons laboratorium. Op de dag dat jij hier begint heb ik er precies 25 jaar op zitten. Wat is er in die jaren weinig veranderd in ons hoger onderwijs, ondanks de democratisering en ondanks de tweefasestructuur. Jij bent precies zo oud als ik was toen ik hier begon te werken en ik heb precies dezelfde leeftijd als mijn baas, prof. Kistemaker, toen had.

Het lijkt net of jij een levend bewijs bent voor het succes van ons hogeronderwijsbeleid. De kreet: 'meisjes kies exact' galmt nog na en de studieduurverkorting werd nog maar kort geleden ingevoerd en jij kan over een half jaar al afstuderen tot doctoranda in de natuurkunde. Toch is het maar schijn. Jij hebt nu vier jaar gestudeerd en je hebt bijna alle theorie van ons vak gehad. Zoals je zelf zei: "het wordt tijd dat je eens kennis maakt met het wetenschappelijk onderzoek". Inderdaad, men wordt geen natuurkundige door alleen maar college te lopen en tentamens te doen. Men wordt geen chemicus, bioloog of medicus door enkele syllabi uit het hoofd te leren. Het is zelfs verbazend dat studenten de moed erin houden en na het VWO nog eens 4 jaar alleen maar onderwijs volgen zonder enig onderzoek te mogen doen. Lang niet alle studenten houden dit vol. Ik heb mij laten vertellen dat slechts de helft van alle eerstejaars uiteindelijk, na meer dan 6 jaar, doctoraal doet. Het rendement van het natuurkunde onderwijs aan de verschillende universiteiten ontloopt elkaar niet veel en is bedroevend, overal valt maar liefst de helft van de studenten af. Ik weet niet hoe het in andere faculteiten is maar in het natuurkunde onderwijs zou heel wat verbeterd kunnen worden.

Er wordt gesuggereerd dat de toelatingseisen moeten worden opgeschroefd omdat leerlingen die met hoge cijfers van het VWO komen een grotere slagingskans hebben aan de universiteit. Maar de exacte vakken zitten op het VWO waarachtig niet in het pretpakket, wie daarna op de universiteit wederom exact kiest weet waar die aan begint. De meeste natuurkunde studenten behoorden op het VWO tot de besten van de klas. Zelf vond ik het nogal bedreigend toen ik als eerstejaars ontdekte dat de

collegezaal vol zat met 200 beste jongens van de klas (meisjes waren er nog helemaal niet in die dagen). Voor mijn eerste tentamen slaagde ik ternauwernood, met de hakken over de sloot, hoewel ik er de hele kerstvakantie voor geleerd had. Dat was 'Kleine Bruins', het eerste wiskunde tentamen van de legendarische professor Bruins, die ooit hoogleraar was geweest in Libanon. Vier jaar later bleek dat bijna de helft van mijn jaargenoten met de studie was opgehouden. Nu, 25 jaar later, is daaraan nog weinig of niets verbeterd. Het is onbegrijpelijk, men maakt zich zorgen over het gebrek aan fysici en hoopt daar iets aan te doen door te bevorderen dat meisjes exact kiezen. Men zou zich echter ook zorgen kunnen maken om het grote aantal studenten dat reeds voor de exacte vakken gekozen heeft maar de studie niet afmaakt. Ik weiger te geloven dat alle studenten die afhaken 'te dom' zouden zijn. Veel reëler lijkt het mij te constateren dat ons hoger onderwijs aanzienlijk moet worden verbeterd.

In feite hebben wij van de vorige minister, Pais, een kans gehad het hogeronderwijs fundamenteel te wijzigen. Tijdens de onderhandelingen over de herprogrammering heeft men steeds gedacht dat Pais wel zou toegeven en de studieduurverkorting niet door zou gaan. De minister hield voet bij stuk en de tijd was verdaan met kibbelen. Toen werd op het allerlaatste moment de studie nog even opnieuw geprogrammeerd, door de bestaande cursus van 6 jaar als een harmonica in elkaar te schuiven tot 4 jaar en het onderzoek naar de tweede fase te verplaatsen. Daarom zitten studenten 'nieuwe stijl' net als 25 jaar geleden eerst bijna 4 jaar in de collegezalen voordat ze eindelijk het lab in mogen.

De Nederlandse Natuurkundige Vereniging heeft ooit een enquête gehouden waaruit bleek dat 80% van de eerstejaars natuurkunde voor de studie gekozen heeft omdat het onderzoek zo boeiend lijkt. En deze studenten laat men 4 jaar wachten voordat aan het onderzoek begonnen mag worden. Waar wordt in dit land nog verloofd, laat staan een verloving van 4 jaar? Trouwens, ook de anonimiteit lijkt me een groot probleem aan onze universiteiten. Studenten worden geacht massaal college te lopen en daarna eenzaam op een hokje drie hoog achter zich op de tentamens voor te bereiden. Wie houdt dat vol vier jaar lang?

Uit de statistieken blijkt dat drie kwart van de studenten-nieuwe-stijl een propaedeuse haalt. Zij zijn kennelijk serieus. Ik zou er naar willen streven dat zij ook allemaal het doctoraal examen halen. De verstandelijke capaciteiten hebben de studenten wel, ze moeten alleen beter gemotiveerd worden door ze zo snel mogelijk in contact te brengen met het werkelijke

onderzoek. Ik wil ervoor pleiten dat studenten na hun propaedeuse lid worden van een vakgroep en assisteren bij het onderzoek. Aan de universiteiten wordt het onderzoek hoofdzakelijk gedaan door promovendi. Bij ieder van deze promovendi zou plaats moeten zijn voor een of twee studenten die kunnen assisteren bij al het gewone en ongewone werk dat tijdens onderzoek moet worden verricht. Aldus snijdt het mes van twee kanten, de promovendi worden geholpen bij hun onderzoek en helpen op hun beurt de studenten door hun studie heen.

Sommige mensen denken dat je eerst tentamen quantummechanica moet hebben gedaan voordat je met laserstraling onderzoek aan atomen kan doen, of aan de nieuwe supergeleiding kan werken. Men zou eerst tentamen speciale relativiteitstheorie moeten hebben gedaan voordat men in een kern- of hoge-energiefysica laboratorium zinvol werk zou kunnen verrichten. Ik geloof dat helemaal niet. Onderzoek doen is vooral bloed, zweet en tranen: zorgen dat de apparatuur het op het juiste moment doet, spiegeltjes, spleten en detectoren repareren en weer afstellen, computers programmeren en aansluiten op het experiment. Het is ook elkaar helpen door de zure appel heen te bijten, naar elkaar luisteren en elkaar corrigeren, wedijveren en je aan de afspraken houden, ruzie maken en weer bijleggen, feestvieren als het ineens lukt. In dit krachtenveld moet de moderne wetenschapper leren laveren. De onderzoeker dient niet alleen een goed wetenschapper te zijn, maar ook strateeg, en tal van andere talenten dienen goed ontwikkeld te worden in het laboratorium.

Jaren geleden heb ik het voorrecht gehad de oude professor Kapitza te ontmoeten in Moskou. Zoals bekend hebben de Russische autoriteiten het hem onmogelijk gemaakt naar Cambridge terug te keren na een bezoek aan zijn vaderland. Kapitza kreeg een eigen laboratorium: 'The Institute for Physical Problems', maar Kapitza verlangde ook nog een eigen opleidingsinstituut. Daarin krijgen studenten tot hun propaedeuse een theoretische opleiding. Vanaf het tweede jaar werken ze halve dagen in het Institute of Physical Problems. Na 4 jaar studeren ze af en kunnen gemakkelijk een baan vinden. De studenten van, wat nu heet, de Polytechnische Instituten in Moskou en Leningrad zijn meer gevraagd dan die van de Lomonosov Universiteit. Ze studeren in werkomgeving en dat is zo motiverend dat ze naast het onderzoek de theorievakken er gemakkelijk bij doen. Kapitza zei: "Eenmaal goed gemotiveerd slorpen de studenten dikke boeken theorie als een spons op".

Liesbeth, waarom schrijf ik je dit allemaal? Jij bent met je studie al bijna klaar en je hebt al een onderzoek gevonden. Ik moest denken aan die legendarische professor Bruins die tijdens het eerste college zei: “Heren kijk maar goed naar uw buurman want over enige tijd zit een van uw beiden hier niet meer”. Ik zou tegen je medestudenten willen zeggen: Dames en heren zoek zo gauw mogelijk een onderzoek op, ook of misschien juist als je nog niet zover bent met je studie. Er zijn in Nederland vele honderden promovendi met onderzoek bezig, vraag er maar eens één of je niet kan helpen. Dat deed ik ook en het werkte bijzonder motiverend 25 jaar lang.

Frans W. Saris

FORMULES VOOR KIKKERS

10 oktober 1989

Er is opschudding ontstaan in natuurkundig Nederland. Prof. Ad Lagendijk, zelf geen onverdienstelijk natuurkundige, heeft de ongekroonde koning van de vaderlandse natuurkunde, Prof. Gerard 't Hooft, arrogantie verweten. Lagendijk had zijn boodschap slim verpakt in zijn oratie aan de Universiteit van Amsterdam. Hij vermaakte vriend en vijand met Amsterdamse humor en onderwijl las hij 'arrogante' uitspraken voor van vakgenoten, geen gewone maar briljante fysici als Hawking, Glashow, Weinberg en 't Hooft. Van deze laatste had hij het citaat: "Als we nu die deeltjes met alle daarop werkende krachten bij elkaar nemen, zullen we het geheel ook begrijpen." Lagendijk ridiculiceerde deze uitspraak met: "Het belachelijke en onhoudbare van deze stelling is gemakkelijk te demonstreren door wat analogieën te presenteren. Volgens de verstokte reductionist houdt de meest fundamentele studie van Shakespeare uitsluitend in de studie van het (Engelse) alfabet. De rest is eigenlijk voortbouwen op een paar bekende standaard procedures."

In zijn repliek in de *Volkskrant* legde 't Hooft nog eens uit waar het allemaal precies omgaat: "...door naar elementaire deeltjes te kijken vinden we de radertjes die de hele wereld gaande houden. We leren ook te begrijpen hoe die radertjes werken. En wat ik belangrijk vind is dat we tot het inzicht gekomen zijn, dat die reeks van steeds kleinere radertjes niet almaar door zal gaan, maar dat het ernaar uitzielt dat er een eindpunt is, door sommigen wordt dit eindpunt *The Theory of Everything* genoemd. Hiermee bedoelen we dan de theorie die de kleinste radertjes exact beschrijft. Het gedrag van de grotere, samengestelde radertjes volgt er dan eenduidig uit."...en... "Formeel zou zo'n theorie alle natuurkunde reduceren tot niets dan een optelsom."...en..."Nu bestaat er al iets dat heel veel lijkt op een *Theory of Everything*. We noemen dit, wat bescheidener, het Standaard Model. Dit is een beschrijving van alle ons bekende natuurverschijnselen in één hand vol formules. Het werkt buitengewoon goed, maar niet perfect. Alleen onder zeer uitzonderlijke omstandigheden, die alleen misschien te realiseren zijn in toekomstige deeltjesversnellers, loopt dit model spaak. Het werkt uitstekend voor kikkers. Dus volgens dit model is de kikker wel degelijk een optelsom."

Alles is natuurkunde volgens 't Hooft. De elementaire deeltjes zijn eindelijk gevonden en dus is de hele natuurwetenschap in principe gereduceerd tot een optelsom. Is deze som ook werkelijk te maken? Elektronen vormen de elementaire deeltjes van de atoom-en molecuulfysica, dus van de bio-chemie en dus ook van kikkers. Dat kikkers groen zijn wordt door de elektronen bepaald niet door quarks of Higgs-bosonen. Kunnen fysici nu een rekensom maken met elektronen waaruit blijkt dat kikkers noodzakelijk groen moeten zijn en niet wit of rood? Het antwoord is dat het gedrag van meer dan twee elektronen niet exact kan worden voorspeld. Kikkers bestaan net als mensen uit heel wat meer dan twee elektronen. 't Hooft ontkent dat niet: "Niemand, ook niet de allergrootste supercomputer, zal ooit de kikker exact kunnen uitrekenen uitgaande van het standaardmodel." Het gaat hier dus alleen om het principe niet om de praktijk. Volgens 't Hooft kennen we waarschijnlijk alle elementaire deeltjes en hun wisselwerkingen. In principe zijn er geen onbekende deeltjes of krachten meer. Daarmee is een basis-formule van de natuurwetenschap waarschijnlijk compleet en met onder andere deze formule heeft de evolutie zijn werk gedaan. Tenminste dat geloven wij. De grandioze rekensom, die wij evolutie noemen, heeft na vele miljarden jaren 'rekenen' noodzakelijker wijze geleid tot kikkers en tot ons mensen. Maar heeft de evolutie alleen van 'natuurkundig rekenen' gebruik gemaakt?

Ik ben lid van een dispuut. Elke laatste maandag van de maand komen wij bijeen. Wij, dat is een mathemaat, een jurist, een classicus, een historicus, een bioloog, een econoom, een theoloog, een muzikoloog, een socioloog, een medicus, van elke discipline is er wel een vertegenwoordiger. Om beurten houden wij een voordracht over datgene wat ons bezighoudt, vaak een controversieel onderwerp zodat er flink gediscussieerd kan worden. Ons dispuut is ook een plaats om nieuwe ideeën uit te proberen. Zo herinner ik mij een verhaal van Dick Hillenius over 'Hoe ontstond de kikker?', nu gepubliceerd in zijn allerlaatste bundel, *Wat kunnen wij van rijke mensen leren?*, verschenen bij Van Oorschot. Daarin staat het volgende. Naar alle waarschijnlijkheid stammen kikkers af van salamanderachtigen. De belangrijkste afwijkingen zijn: kikkers hebben geen staart, een veel kortere ruggegraat en vrijwel geen ribben. Salamanders komen nog steeds voor. Wat mag dan wel de oorzaak zijn van zo'n afwijkende vormen bij de kikker? Dick presenteerde zijn hypothese met: "Jaren geleden... maakte ik gedichten over padden. Een regel luidde: hij groef zich achterwaarts

schoffelend / met de voeten in. De poëzie (de kunst) gaat aan de wetenschap vooraf. Achterwaarts de grond in graven komt bij vertegenwoordigers van de meeste kikkerfamilies voor. Degene die het het beste doen hebben daartoe aan de duimbasis (van de voet) een schoffelvormig uitgegroeide harde knobbel, van binnen gesteund door bot. Mijn hypothese is dat het achterwaartse graven de oorzaak is van de kikkervorm.” Dick Hillenius stelde voor dat de kikkers zich ingraven om zich naast de salamander te kunnen specialiseren in een andere ecologische richting, die van de snelle prooien, insecten, spinnen. “De eerste kikkerachtigen waren net zo traag als salamanders. Om als traag dier een snelle prooi te vangen is er maar één weg: je zelf verdekt opstellen en als de snelle prooi langs komt snel happen.” Met deze hypothese werden een groot aantal onverklaarde ‘kikkerachtigheden’ opeens begrijpelijk. De staart moest natuurlijk weg en de romp werd korter bij een dier dat zich in de grond probeert te drukken, het harnas van de ribben is overbodig als je tot je kop onder de grond zit. Nog vele andere kikkerkenmerken konden plotseling worden verklaard.

Een kikker bestaat inderdaad uit ontelbaar veel elektronen en als je uit een kikker een proton haalt en je gaat er mee naar het CERN in Genève dan zal je daarin vast een quark aantreffen. Een kikker is wel degelijk een optelsom maar niet alleen van elementaire deeltjes en krachten, ook en vooral van zoölogie, anatomie, ecologie, taxonomie, en zelfs poëzie. Van mijn dispuut heb ik geleerd dat het met natuurkunde net is als met politiek. Alles is natuurkunde, maar natuurkunde is niet alles.

SCIENCE PARK HOLLAND

7 november 1989

In december 1895 stuurde Röntgen vanuit de Universiteit van Würzburg zijn publikatie in over "Eine neue Art von Strahlen". Vanwege de Kerst werd zijn colloquium met demonstratie van de geheimzinnige straling pas gehouden in januari 1896, maar het nieuws verspreidde zich snel tot over de oceaan. Op de grote elektriciteitstentoonstelling van New York in mei 1896, dus binnen een half jaar, trok Edison's Röntgenopstelling verreweg het meeste publiek. In groten getale stonden de mensen in de rij om de botjes van hun eigen hand te kunnen zien met de fluoroscoop van Edison. In zijn bedrijf in Orange, New Jersey, was daaraan de hele winter hard gewerkt. Volgens de *Electrical World* werd er op het laatst zelfs 70 uren onafgebroken gebouwd om alles klaar te krijgen en (tip voor managers) bracht Edison een straatorgel in de werkplaats om de medewerkers wakker te houden. Van fundamentele ontdekking tot commerciële toepassing binnen een half jaar, kom daar nog eens om vandaag.

Als de Colleges van Bestuur hun zin kregen dan had iedere Universiteit een modern ogend Science Park in de buurt. Tijdens de economische recessie van begin jaren tachtig raakte het in de mode een soort Legoland te bouwen in de directe omgeving van 's lands kenniscentra. Hierin moeten ondernemende 'wiskids' starten met computerbedrijfjes, laserfirma's, robotica en biotechnologie. Aldus zullen zij fundamentele kennis te gelden maken en nieuwe werkgelegenheid scheppen van hoge kwaliteit. Alles naar Amerikaans model: Silicon Valley bij Berkeley en Stanford, Route 128 nabij MIT en Harvard of het Triangle Research Park van North Carolina State University. Zichtbare alibi's voor grotere investeringen in kennisproductie.

Hoewel ik het grootste vertrouwen heb in onze jonge wetenschappers en technici geloof ik niet dat het wonder van Röntgen en Edison zich opnieuw zal voltrekken in de spiegellende Amerikaanse namaak nabij onze universiteiten. Het ontwikkelen van nieuwe producten kost enorm veel tijd en geld, meer dan de banken en de overheid bereid zijn op te brengen. Trouwens in ons land investeren banken niet in onderzoek en ontwikkeling, dat vindt men te riskant. De banken denken hier nog steeds dat hun taak gedaan is als ze de lening hebben verstrekt waarmee een Science

Park wordt gebouwd, met Gemeente Garantie natuurlijk. Omdat ons kleine landje bijna volgebouwd is, gaat er jaarlijks veel geld het land uit om elders, vooral in Amerika, te worden geïnvesteerd in onroerend goed, in dat stomme beton terwijl er in eigen land ontroerend goede ideeën blijven liggen. Natuurlijk ligt dat ook aan de jonge starters die zich soms niet realiseren hoeveel inspanning het kost een markt te veroveren en te behouden.

Toch geloof ik in het Science Park dat Holland heet. Wij zijn in de eerste plaats een natie van kooplui. Wij mogen dan misschien de Chinezen van het westen heten met onze in- en uitvoer, met onze handel, maar in wetenschap en technologie zijn wij uniek in de wereld. In een gebied ter grootte van New Jersey bevinden zich een twintigtal universiteiten en hogescholen en minstens zoveel multinationale technische ondernemingen. Voor een klein land als Nederland, met 15 miljoen inwoners, is het aantal gespecialiseerde technische bedrijven uitzonderlijk hoog. Denk naast giganten als Shell en Philips ook aan Unilever, AKZO, DSM, Fokker, Océ, Hoogovens, Stork, Holec, Daf, Elsevier, Gist-Brocades, R&S, Enraf-Nonius, Comprimo, Oldelft en ASM Int. Zij hebben alle hun hoofdkantoor hier gevestigd en ook hun research- en ontwikkellaboratoria bevinden zich in ons land. Ik ken geen klein land ter wereld met zo'n hoge dichtheid aan technische bedrijvigheid, zo'n grote verwevenheid tussen wetenschap, technologie en internationale handel.

Hoe is deze unieke situatie ontstaan? Het kan geen toeval zijn dat zowel Philips- als Shell Research precies dit jaar hun 75 jarig jubileum vieren. Hoe komt het dat buiten Japan alleen een Nederlands bedrijf op het gebied van hifi nog meedoet en op het gebied van licht verreweg de grootste is? Waarom lukt het een gat in de markt te vinden voor Nederlandse vliegtuigen en vrachtauto's? Waarom is een van de grootste wetenschappelijke uitgeverijen in ons land gevestigd? Hoe kan het dat over de hele wereld, inclusief Japan, chips vervaardigd worden met Nederlandse apparatuur? Dat er zonnecellen komen uit dit regenland, dat er een Nederlandse kopieermachine is, een katalisator en een supersterke vezel, hoe bestaat het?

Ongetwijfeld spelen hier alle mogelijke factoren een rol, van economische, financiële, sociologische, politieke en historische aard. Het lijkt de moeite waard deze factoren te kennen, ook om ze beter in de hand te kunnen houden. Het is echter buiten kijf dat het technisch wetenschappelijk onderwijs en onderzoek van doorslaggevende betekenis is. De groei van onze multinationale technische ondernemingen is alleen mogelijk zo-

lang aan de vraag naar goed opgeleide wetenschappers en technici kan worden voldaan. Onze universiteiten en hoge scholen leveren jaarlijks honderden specialisten af in de wiskunde, informatica, natuurkunde, scheikunde, astronomie, elektrotechniek, werktuigbouw etc. Zij allen vinden gemakkelijk een baan. Men moet hierbij vooral niet alleen aan de universiteiten denken. Vergeleken met het buitenland is de kwaliteit van onze mts-en en hts-en uitzonderlijk hoog. In sommige landen bestaan deze vormen van technisch onderwijs niet eens en mist men het brede midden kader van technisch goed opgeleide jonge mensen.

Science Park Holland is een grandioos succes. Niet omdat alle mogelijke ontdekkingen aan de universiteiten onmiddellijk leiden tot nieuwe producten op de markt, maar wel omdat er een enorme doorstroming is van jonge wetenschappers en technici naar de industrie. Een doorstroming die vergeleken met het buitenland volstrekt uniek is.

Thans beleven wij weer een periode van economische groei maar wie mocht denken dat de exacte wetenschappen daarvan zouden mogen, of zelfs moeten, profiteren die vergist zich. Hoewel de vraag naar bèta's flink is toegenomen is er sprake van bèta-verval. Aan de universiteiten leeft men kennelijk nog in de tijd van de zeventiger jaren en vermindert de universiteitsraad het budget van de exacte wetenschappen, dat door het ministerie is toegewezen op grond van de studenten aantallen. Ook bij de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek legt men de exacte wetenschappen een pauze in de groei op. Alle andere wetenschappen mogen flink stijgen, maar de bèta's niet. Integendeel zij moeten de groei van de andere betalen. Ik wens alle wetenschappen graag een flinke groei toe en ik ben blij dat het eindelijk weer eens kan. Het is echter volstrekt onverantwoord juist nu op de bèta-wetenschappen te bezuinigen. In deze tijd van grote werkloosheid onder jongeren voorzien de exacte wetenschappen in een werkgelegenheid van hoge kwaliteit juist voor jongeren. Er is tenminste één goede reden om bèta's in de economische groei te laten delen: Science Park Holland.

WETENSCHAPPELIJKE NOMADEN

5 december 1989

In een huurauto deinen over de Long Island Expressway, er zijn weinig dingen waar ik zo'n kick van krijg. Het gevoel van vrijheid na 9 uur opgesloten zitten in rijen mensen voor de KLM-balie, voor de douane, in het vliegtuig en weer voor de douane. De radio staat keihard aan terwijl ik door de heuvels van New York zweef, op weg naar een oud-medewerker, die na zijn promotie vertrokken is om als postdoc te gaan werken bij Brookhaven National Labs. Hij woont in een 'country mansion' in een park aan zee, nog geen uur rijden van Kennedy Airport. In het landschap waar Woody Allen filmt, als de scène niet in Manhattan speelt, huurt deze Hollandse fysicus een enorm zomerhuis van een miljonair uit Brooklyn. Bij de keukendeur staat de babyfoon waarmee zijn vrouw haar 8 maanden oude dochtertje kan horen. "Dit is toch wel wat anders dan ons flatje in Duivendrecht" zegt zij terwijl hij buiten in de sneeuw hout hakt voor de open haard, "maar je hebt hier wel twee auto's nodig". Ik ben gekomen om te vragen of hij projectleider wil worden op ons lab in Amsterdam, maar vrees dat hij en vooral zijn vrouw zullen bedanken voor de eer.

In de jaren 50 en 60 was Brookhaven National Labs het centrum van de wereld op het gebied van kern- en hoge-energiefysica. Inmiddels zijn deze fysische nomaden naar elders vertrokken en is hier de National Synchrotron Light Source. Mijn gastheer leidt me rond langs de meest intense lichtbron ter wereld. Eigenlijk zijn het twee lichtbronnen, een voor de röntgenstraling en de ander voor ultraviolet licht. Vroeger werden dit soort apparaten gebouwd voor kern- en hoge-energiefysica. Tegenwoordig worden ze speciaal geconstrueerd voor atoom- en vastestoffysici, voor chemici, biologen, medici, materiaalkundigen en elektrotechnici. In Brookhaven staat de lichtbron omringd door zeker zestig verschillende experimenten van enige honderden onderzoekers die korte of langere tijd hier doorbrengen. Ik zie opstellingen van alle grote Amerikaanse universiteiten en van de industriële en nationale laboratoria. Precies zo'n zelfde faciliteit had ook in Amsterdam kunnen staan. Een jaar of wat geleden werd daartoe een voorstel gedaan, maar het ging de verbeeldingskracht van ons Nederlanders te boven. Wij mogen dan de grootste lichtfabrikant ter wereld hebben, voor onzichtbaar licht moeten we naar het buitenland.

Mijn gastheer praat met enthousiasme over zes experimenten die hij hier in het afgelopen jaar al heeft kunnen doen, en over zijn plannen voor volgend jaar. Voordat de zon aan een vuurrode hemel in de oceaan zakt, lopen wij nog even langs het strand. Ook de wind en de golven lijken hier grootser dan aan de Noordzee. Het bulderen maakt elk gesprek onmogelijk. Thuisgekomen vraag ik hem of hij projectleider wil worden van onze experimenten met synchrotronstraling, de eerste paar jaren in Engeland en vanaf 1993 in Grenoble. Hij zegt dat hem dit als muziek in de oren klinkt. Over een of twee jaar zal het hier toch afgelopen zijn, dan trekken de 'nomaden' hier weg naar de volgende lichtbron, die reeds bij Chicago in aanbouw is. Hij wil dan graag terug naar Europa. Zijn vrouw zegt: ik zou hier wel willen blijven maar ga met hem mee. Ik haal de zak van Sinterklaas te voorschijn met chocoladeletters, speculaas en marsepein.

In *NRC Handelsblad* schreef Hofland: de toegang tot de tentoonstelling 'Picasso en Braque' kost \$ 7 plus *f* 1200 voor een vliegticket. Voordat ik naar Boston ga, rij ik de City in naar het Museum of Modern Art. Rondreizende fysici hebben een 'korting' van *f* 1200. Hofland heeft gelijk, deze tentoonstelling is zijn prijs waard, ook zonder korting. Tevergeefs probeer ik te voorspellen welk schilderij van Picasso is en welk van Braque. Toch ging Picasso indertijd met de eer strijken, cubisme werd met hem geassocieerd, en Braque voelde zich verguisd. Voordat ik het museum verlaat, ontdek ik de vouwvazen van Charlotte van der Waals. Na Rietveld staat hier weer een Nederlandse ontwerper tussen de groten der aarde. Plat gevouwen kunnen deze vazen door ieders brievenbus (dus zeker door de schoorsteen). Open behoren ze tot de mooiste bloemenvazen die ik ken. Charlotte heeft een technisch probleem met de lijmverbindingen in de hoekpunten elegant opgelost. In de museumwinkel koop ik de vouwvazen in 3 verschillende kleuren; voor wie, dat weet Sinterklaas nog niet.

Het jaarlijks congres van de Materials Research Society in Boston begint en alle nomaden zijn weer present. Twee en een half duizend deelnemers verdeeld over net zoveel symposia als er letters zijn in het alfabet. Drieduizend wetenschappelijke bijdragen, een tentoonstelling van apparatuur en boeken. Het programmaboek van dit congres is dikker en zwaarder dan het telefoonboek van Amsterdam. Het gaat allemaal over nieuwe soorten staal, elektronische toepassingen van diamant, vloeibare kristallen, polymeren hoge-temperatuursupergeleiders, nieuwe keramische materialen, het veranderen van materiaaleigenschappen met behulp van laserstra-

len, deeltjesversnellers en bundels elektronen. Alles in twee hotels bij elkaar. Het congres begint zonder plichtplegingen iedere ochtend om 8 uur met lezingen tot 's avonds laat. Tijdens de lunchpauze kan men een broodje etend kijken naar de televisie, waar moderne ontwikkelingen in materiaalkunde voor leken worden gepresenteerd en via de satelliet verspreid over de VS. Wat een allure in vergelijking tot de gemiddelde wetenschappelijke bijeenkomst in de Nederlandse retraitshuizen, waar men niet voor de koffie kan beginnen en de deelnemers na de thee al weer nodig in de trein naar huis moeten.

Van ons lab zijn we hier met 7 promovendi en 2 groepsleiders. Als rijke zigeuners bivakkeren we in twee hotelsuites voor \$ 30 p.p/dag. Gezamenlijk presenteren wij 12 conferentiebijdragen.

Om te horen wat de situatie is met de hoge-temperatuursupergeleiders luister ik naar een Nobelprijswinnaar. De zaal zit tjokvol, zeker de helft van de aanwezigen werkt nog maar recent aan supergeleiding. De meesten zijn afkomstig uit totaal verschillende vakgebieden, zoals kern- of atoomfysica. Aangetrokken door de glamour van de recente ontdekking, maar ook door de grazige weiden van een nieuw vakgebied, waarin men de eigen expertise hoopt in te brengen door middel van het vervaardigen en analyseren van deze hoge-temperatuursupergeleiders op atomaire schaal. De beste supergeleidende lagen worden gemaakt met behulp van een laser. Een methode die door een Nederlandse atoomfysicus, nu bij Philips, ontdekt is toen hij nog bij Bell in New Jersey werkte.

Vlug naar een ander symposium, waar een Amerikaanse Hollander de concurrentie verrast door arsenicum te gebruiken als zeep op een siliciumplak. Wat niemand nog gelukt is, kan nu plotseling wel: hij legt germaniumatomen één voor één op de ingezepte siliciumplak en krijgt zo keurig vlakke lagen germanium op silicium. Hiermee hoopt men een nieuwe laser te maken voor optische communicatie via glasfibers. In de koffiepauze feliciteer ik hem en informeer hem over enkele vacatures aan Nederlandse universiteiten. Hij lijkt weinig geïnteresseerd. Zit ook al 6 jaar bij het IBM-lab in New York waar hij inmiddels een eigen groep heeft. Een Australische Canadees komt bij ons staan. Hij woont al 20 jaar in Canada en heeft zojuist een verleidelijk aanbod uit Australië afgewezen. Nee, zegt hij, ik kan niet eerst mijn ouders in de steek laten en nu ook nog mijn kinderen. 's Middags geven wij met z'n vieren presentaties van ons onderzoek bij Varian / Extrion. Precies vijf jaar geleden heb ik dit bedrijf leren kennen doordat de directeur van ASM de moed had hierin te inves-

teren. In drie jaar tijd werd hier een nieuwe machine uit de grond gestampt voor het bewerken van chips. Vorig jaar werd dit stukje Nederlandse technologie voor veel geld overgenomen door Varian. Wij hebben nog steeds een samenwerkingscontract met hen en brengen nu verslag uit. Ik hoop op continuering van het contract. Men is zeer geïnteresseerd in onze resultaten. Dat mag ook wel, want de jongens hebben er keihard voor gewerkt. Tijdens de discussies wordt al duidelijk dat men graag verder wil, want er worden nieuwe suggesties gedaan voor onderzoek. Aan het diner zegt onze gastheer dat hij het contract wil verlengen, en hij kijkt met enige nostalgie naar de ASM-das die ik om heb. Van een opgetogen 'Zwarte Piet' krijgt 'Sinterklaas' deze das cadeau.

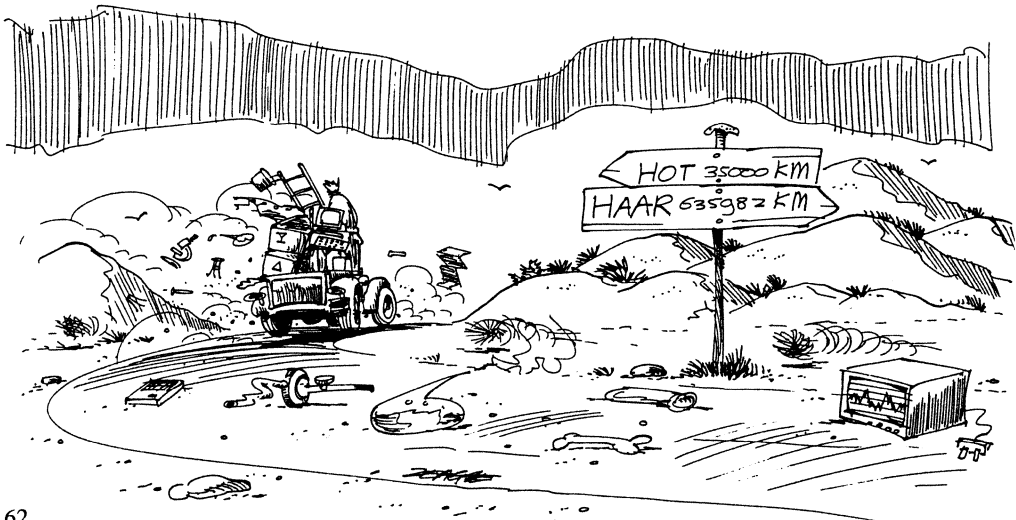
Om vier uur 's ochtends brengt brandalarm de hotelgasten in boxershorts en peignoirs op de gangen. Vals alarm, maar ik kan niet meer slapen. Over een paar uur moet ik op de conferentie een voordracht houden. Hoewel ik dat graag doe, ben ik toch nerveus. Ik weet inmiddels dat het een goed teken is: zonder plankenkoorts geen goed theater. Wij menen de temperatuur, waarbij nieuwe amorfe materialen efficiënt gemaakt kunnen worden zonder dat ze kristalliseren, te kunnen voorspellen. Het verhaal gaat erin als koek. Dat heb ik wel eens anders meegemaakt, vooral op dit congres. Hoe zit het met de tegenspraak, of gelooft men het idee?

We hebben een etentje met alle mensen die hier op het congres zijn en die ooit op het FOM-lab in Amsterdam gewerkt hebben. Naast onze eigen groep zijn er twee Indiërs die nu in Amerika wonen, drie Nederlanders waarvan er twee in de VS wonen, een Chinees en vijf Japanners. De laatsten gaan altijd allemaal terug. Een van hen vraagt: Waarom ben jij eigenlijk ooit teruggegaan naar Holland toen jullie in Canada en in Amerika hadden gewoond? "Omdat mijn wortels daar zijn", zeg ik. "Ik heb nooit de moed gehad ze door te snijden". Er is meer, denk ik. Mijn huidige baan heb ik altijd geambieerd. In het land der blinden is eenoog koning, maar in Amerika zijn zo verschrikkelijk veel goeie mensen. Bovendien is de schaal van de laboratoria veel groter, dat is niets voor mij. De Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) is een paradijs vergeleken bij de National Science Foundation (NSF). En ik moet er niet aan denken dat ik mijn hand zou moeten ophouden bij de militairen om geld voor research te krijgen. Waarom zou ik Amerikaanse studenten opleiden in plaats van Nederlandse? Trouwens, de Amerikaanse universiteiten worden overstroomd door 'nomaden' uit de Aziatische landen. Er is meer: ik voel mij gehandicapt in een land waar ik m'n emoties niet kan uiten in mijn

moers taal. Kinderen hebben daar geen moeite mee, maar ouders leren dat nooit meer. Aan tafel worden veel herinneringen opgehaald. Na de Heinken en de steak komt bij de koffie de zak van Sinterklaas op tafel met marsepein, banketstaaf en speculaas.

Dan is het tijd voor de andere groepsleden om hun werk te presenteren. In drie verschillende symposia staan ze een voor een voor het voetlicht in een zaal of bij de posterborden, waarmee de spreekwoordelijke wandelingen van internationale congressen tegenwoordig gemeubileerd zijn. Het is geweldig om deze assistenten-in-opleiding, zoals ze tegenwoordig heten, te zien opereren. Twee jaar geleden hebben we een nieuwe versneller op het lab in gebruik genomen. De resultaten van al het onderzoek moeten gecondenseerd worden in een boodschap van hoogstens 15 minuten. Zonder uitzondering redden ze het en raken aldus in discussie met hun vakgenoten van over de hele wereld, en doen ideeën op voor nieuwe experimenten. Er meldt zich een jonge Amerikaan die als postdoc in Amsterdam wil komen werken.

Als de conferentie ten einde is pakken we onze koffers. Vier gaan naar Bell labs waar een van hen zojuist als *postdoc* is begonnen, één gaat op Harvard een experiment afmaken, de anderen gaan op bezoek bij vrienden en familie in New York en Californië. Ik neem afscheid van mijn collega's hier. Sommigen ken ik al 25 jaar en zijn tot mijn beste vrienden gaan behoren. Hoewel ze aan de andere kant van de wereld wonen ontmoeten wij, wetenschappelijke nomaden, elkaar een paar keer per jaar. Als er niet zoveel gereisd werd, zou ik allang geen fysicus meer zijn. Ik stap in het vliegtuig naar huis, nog net op tijd voor surprises en gedichten.



TIEN JAAR ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

9 januari 1990

Wat wij tien jaar geleden niet wisten:

- hoeveel elementaire deeltjes er zijn
- waarvan ze gemaakt zijn
- hoe een elektron zowel golf als deeltje kan zijn
- wat er tijdens de *big-bang* gebeurde
- wat er voor de *big-bang* gebeurde
- hoe leven uit dode materie te voorschijn kwam
- of er leven bestaat buiten de aarde
- of God bestaat
- of Hij dobbelt
- waarom noord- en zuidpool en plus en min elkaar aantrekken
- wat zwaartekracht is
- of wij de warmtedood tegemoet gaan
- hoe koude fusie werkt
- hoe onze hersenen werken
- hoe kanker ontstaat
- wat de zin is van het bestaan

Wat wij tien jaar geleden niet hadden:

- een cd-speler thuis
- een pc thuis
- een video thuis
- een fax op het werk
- koude fusie
- seropositieven
- aids
- een videocamera thuis
- een Nederlandse astronaut
- twee Nobelprijswinnaars in het buitenland
- goedkope zonnecellen
- SL-lampen

- walk- en discman
- platte tv met vloeibare kristallen
- laserprinters
- glasfiber netwerken
- autotelefoons
- zorgen om zure regen en broeikas effect
- supergeleiding bij hoge temperatuur
- last van CFK's en andere drijfgassen
- kevlar kano's en squashrackets

Wat tien jaar geleden niet kon:

- een tekst maken op een pc
- eten opwarmen in de magnetron
- koude of warme fusie in het laboratorium
- veilige kerncentrales bouwen
- lasers flitsen met 1017 Watt/cm²
- lasers flitsen in 10-14 seconden
- sneller reizen dan het licht
- non-stop naar Tokio
- geld uit de muur halen
- een brief door de spellingscorrector halen
- kleuren kopiëren
- fosfaatvrij wassen
- naar de haptonoom
- euthanasie

Wat wij tien jaar geleden niet gezien hadden:

- de explosie van space shuttle
- de supernova explosie
- het centrum van de melkweg
- de komeet van Halley
- de verste planeet
- de beweging van een elektron in een atoom
- de golffunctie van waterstof
- lokalisatie van licht
- oppervlakte-smelten

- koude fusie
- keek op de week
- W- en Z-bosonen
- quarks
- quantum-hall effect
- gequantiseerde geleiding
- quasi-kristallen
- atomen in de raster-tunnel microscoop
- atomen in de val
- fractalen
- de stormvloedkering

Waarvan tien jaar geleden geen sprake was:

- meisjes kies exact
- tweefasenstructuur
- graduate school
- centers of excellence
- informatica universiteit
- m'n diskette is gecrasht
- printen en faxen
- met plastic geld betalen
- 06-nummers blokkeren
- per modem met e-mail, doei
- 100 km files
- Normaal Amsterdams Peil
- het groene hart
- groen links
- gifbelten
- junkfood en methadonbus
- bloedvaten dotteren, verplicht
- vrede en ontwapening
- koude fusie
- magneetkaart en data base
- op cd
- op de overheadprojector
- bar codes en track records
- cassette bandjes dubben

- megabits en kilobytes
- virussen in parallelle computers
- deskundologen en chaos

Wat wij tien jaar geleden niet gedacht hadden:

- dat de wapenwedloop zou aflopen
- dat Europa weer het centrum van de wereld zou worden
- dat Zwitserse horloges zouden terugkeren
- dat computers niet kunnen denken
- dat zouden computers nooit gedacht hebben
- dat er een gat zit in de ozonlaag
- dat fusie koud zou kunnen
- dat waterstof bij $3 \cdot 10^6$ atmosfeer een metaal is
- dat er niet meer op de maan geland zou worden
- dat baby's uit reageerbuizen zouden komen
- dat wij computers en lasers in huis zouden krijgen
- dat je zelfs de oven kan programmeren
- dat tien jaar onderzoek en ontwikkeling zoveel zou opleveren.

WAAR OF NIET WAAR?

6 februari 1990

Sommige wetenschappers willen beroemd worden, er zijn er die daarvoor de meest onwaarschijnlijke onderzoeksresultaten de wereld in sturen. Vorig jaar werd door Benveniste uit Parijs gemeld dat de eigenschappen van een stof nog steeds in water gedetecteerd konden worden terwijl die stof zelf, door oneindig verdunnen, niet meer in datzelfde water aanwezig kon zijn. De hoofdredakteur van *Nature* meende zijn lezers een dienst te bewijzen door op spectaculaire wijze aan te tonen dat de metingen niet reproduceerbaar waren. Benveniste hield echter voet bij stuk en meende oprecht een reëel effect te hebben waargenomen. Is er een manier om van te voren, voordat de hoofdredakteur van *Nature* met z'n 'A-team' op bezoek komt, te weten of een onderzoeksresultaat waar is of niet?

In het geval van Benveniste leek me dat niet zo moeilijk. Wanneer je in een oplossing nog steeds de eigenschappen van een stof kunt waarnemen, me dunkt, dan is dat toch het beste bewijs dat die stof er nog steeds in zit. Als na het aanlengen de soep nog steeds te zout smaakt dan komt dat niet omdat het water de eigenschap van zout heeft overgenomen. Er moet iets fout gegaan zijn bij het aanlengen, of het recept is niet in orde. Toen zijn assistente met de onwaarschijnlijke meetresultaten bij hem kwam, had Benveniste samen met haar terug moeten gaan naar het lab omdat wat zij gemeten had niet waar kon zijn. In iedere goede onderzoeker galmen, bewust of onbewust, de woorden van Eddington in het achterhoofd: vertrouw nooit een experiment waarvoor je niet tenminste één theorie hebt.

Is hiermee aangetoond dat Benveniste geen goede onderzoeker is, omdat hij de wet van Eddington niet kent? Nee, hij beschikte wel degelijk over tenminste één theorie, die van de homeopathie, en hij stuurde zijn onderzoeksresultaten in goed vertrouwen de wereld in. Helaas voor hem werd zijn geloof hem noodlottig. Hij had het criterium van Eddington niet goed geïnterpreteerd, maar daar kom ik aan het eind nog op terug.

In 1987 werd plotseling supergeleiding bij hoge temperatuur ontdekt. Hiernaar was over de hele wereld bijna tachtig jaar tevergeefs gezocht. In

die tachtig jaar was de kritische temperatuur voor supergeleiding weliswaar continu gestegen, maar slechts met ongeveer 1 graad per 4 jaar. In vele laboratoria was het onderzoek aan supergeleiding gestaakt omdat men er niet meer in geloofde. In 1987 sprong de kritische temperatuur voor supergeleiding plotseling met 60 graden in een paar maanden. Een hoogst onwaarschijnlijk resultaat, niet te geloven. Was deze vondst niet in tegenspraak met de theorie voor supergeleiding? Gold dan nog steeds de wet van Eddington? Toch wel, want die zegt: geloof nooit een experiment waarvoor je niet tenminste één theorie hebt, en de literatuur stond al gauw bol van de alternatieven. Inmiddels zijn de meetresultaten over de hele wereld gereproduceerd, zonder dat duidelijk is hoe ze precies moeten worden verklaard. Sommigen beweren dat de klassieke theorie niet overboord gezet hoeft te worden, anderen zijn met nieuwe modellen verschenen en het is allerm minst duidelijk wie gelijk heeft. Goed of fout, in zekere zin is dat een luxe probleem. Er is tenminste een theorie, en men hoeft niet bang te zijn dat de Nobelprijs voor de ontdekking van supergeleiding bij hoge temperatuur te snel is toegekend.

Na 40 jaar onderzoek en ontwikkeling in het laboratorium kunnen deuteriumkernen in een plasma eindelijk heet genoeg gemaakt worden om kernfusie te veroorzaken. Dat is zojuist voor het eerst aangetoond in het grote Europese kernfusieproject JET. Maar nu beweren Fleischmann en Pons plotseling dat het ook kan door met elektrolyse bij kamertemperatuur metaalelektrodes vol te pompen met deuterium. Is dat nu waar of niet? Fleischmann had geen enkele theorie voor zijn onwaarschijnlijke meetresultaten. Pons wel, die veronderstelde dat de elektronen in een metaal ervoor zorgen dat deuteriumkernen heel dicht bij elkaar gaan zitten zodat ze fuseren. Inmiddels is deze theorie gefalsificeerd. Uit computerberekeningen blijkt dat deuteriumkernen in een metaal zelfs verder van elkaar af zitten dan in een deuteriummolecuul. Fleischmann noch Pons bezitten nu nog een theorie en inderdaad blijkt vrijwel niemand hun werk te kunnen reproduceren. Eerdere claims zijn successievelijk teruggetrokken, behalve recente metingen uit India maar die zijn niet te vertrouwen, want: geloof nooit een experiment waarvoor je niet tenminste één theorie hebt.

Na alle vruchteloze pogingen in zovele laboratoria over de hele wereld lijkt het van weinig waarde om met de wet van Eddington te voorspellen

dat de metingen van Fleischmann en Pons geen stand zullen houden. Een voorspelling achteraf, noemen wij dat. Daarom wil ik graag de volgende voorspelling doen.

In de *Physical Review Letters* van 18 december j.l. staat een experiment beschreven van twee Japanners. Zij hebben een tol laten draaien op een weegschaal (Joost mag weten waarom ze dit experiment hebben gedaan). Als de tol rechtsom draait dan wordt hij steeds lichter naarmate de tol harder gaat draaien. Als de tol linksom draait dan gebeurt er helemaal niets. In hun artikel bespreken de Japanners maar liefst 7 verschillende mogelijke verklaringen voor deze onwaarschijnlijke meetresultaten. Die zitten dus goed, zou men denken. Een voor een blijken deze verklaringen, volgens de auteurs, niet te voldoen. Zo komen zij tot de conclusie dat hun experimenten niet verklaard kunnen worden met de gebruikelijke theorieën. En dan denk ik dus: geloof nooit een experiment waarvoor je niet tenminste één theorie hebt. Ik voorspel dat er met de Japanse experimenten met de tol iets mis zal blijken te zijn. Men kan zich nog even de moeite besparen alle ultracentrifuges in Almelo rechtsom te laten draaien.

Van Popper hebben wij geleerd dat een theorie pas een echte theorie is als hij te falsificeren is. Zo is de evolutietheorie geen echte theorie maar een geloof want hij kan niet gefalsificeerd worden, net zo min als het geloof van Benveniste in homeopathie. Het lijkt erop dat sommige onderzoekers sinds Popper denken dat hun taak gedaan is na het falsificeren van een theorie. Voor experimenteel onderzoek geldt echter ook een criterium van falsifiëring. Door het samenvoegen van Eddington en Popper kom ik tot de volgende conclusie. Een onderzoeksresultaat is pas echt als daarvoor tenminste één te falsificeren theorie bestaat. Deze stelling zal vals blijken te zijn als het Japanse experiment met de tol toch waar is.

OVERVERHIT IJS

6 maart 1990

Schaatsliefhebbers worden door de natuur oneerlijk behandeld. Ze mogen al niet over een nacht ijs gaan. Nee, ze moeten zelfs enkele dagen en nachten vorst afwachten tot de sloten voldoende koud zijn en het ijs betrouwbaar is, maar zodra het gaat dooien is het met het schaatsen gedaan. Het is merkwaardig asymmetrisch in de natuur: net als ijs beginnen de meeste stoffen onmiddellijk te smelten als je ze verwarmt tot hun smeltpunt, maar als je ze dan weer afkoelt blijft de stof vaak vloeibaar tot ver onder het smeltpunt. Je kan de meeste stoffen wel onderkoelen maar niet oververhitten. Van oververhit ijs is alleen sprake vanwege het soms oververhitte publiek bij het wereldkampioenschap schaatsen, maar in de natuur komt oververhit ijs niet voor.

Smelten is een veel voorkomend verschijnsel. Toch is het mechanisme van smelten op de schaal van de atomen of moleculen nog steeds niet goed begrepen. Tijdens het smelten van een stof zijn er twee fasen tegelijkertijd aanwezig. Als we de stof opwarmen tot het smeltpunt dan ontstaat ergens in de vaste stof de vloeibare fase. Als we warmte blijven toevoeren stijgt de temperatuur niet meer, maar groeit de vloeibare fase verder ten koste van de vaste fase, en tenslotte is er alleen vloeistof. Volgens Lindemann smelten materialen vanwege de warmtebeweging van de atomen in die materialen. Hij vond in 1910 al een verband tussen de warmtebeweging en het smeltpunt van een materiaal. Bij hoge temperaturen rammelen de atomen de vaste stof als het ware uit elkaar en aldus zou, volgens Lindemann, de kristalstructuur verloren gaan.

Als dit waar was dan is niet goed in te zien waarom de stof niet in z'n geheel uit elkaar zou rammelen. Waarom zouden dan bij het smeltpunt vast en vloeibaar naast elkaar kunnen bestaan? Het is bij het smeltpunt alsof de vloeistof op een bepaalde plek ontkiemt en dan verder groeit. Dit duidt er volgens sommige natuurkundigen op dat er in die kiemen een buitensporig hoge concentratie van kristalfouten ontstaat. Men kan denken aan ontbrekende of tussenliggende atomen. De experimenteel gevonden concentraties van dergelijke defecten zijn echter zo laag dat deze onmogelijk een rol van betekenis kunnen spelen. Waarschijnlijker is het dat smelten wordt ingezet door een opwelling van dislokaties in het kristal. In

feite wordt de vloeistof gezien als een sterk verstoorde vaste stof.

De grootste verstoring van een kristallijne stof is waar het kristal ophoudt, bij het oppervlak. Omdat de atomen aan het oppervlak hun bovenburen missen zijn ze lossier gebonden dan atomen binnen in het kristalrooster. Daarom komen ze gemakkelijker van hun plaats af. Het smelten zou dan als volgt kunnen verlopen. De loszittende atomen aan het oppervlak verlaten bij verhitting van het materiaal als eerste hun posities in het kristaloppervlak. Zo vormt zich, reeds beneden het normale smeltpunt, een wanordelijk oppervlaktelaagje dat enkele atomen dik is. Naarmate het smeltpunt dichtert wordt benaderd neemt de dikte van de wanordelijke laag toe totdat het kristal bij het smeltpunt geheel smelt vanuit dit oppervlak naar binnen toe.

De eerste aanwijzingen voor het bestaan van een oppervlakte-smelt zijn gevonden in 1842 door Faraday in een reeks proeven met blokken ijs. Uit het gemak waarmee twee ijsblokken die elkaar raken aaneengroeien, leidde Faraday af dat het ijs bedekt moet zijn met een dun waterlaagje. Als de blokken contact maken wordt het laagje aan beide zijden door ijs omgeven. De atomen op het grensvlak zitten nu ingeklemd, verliezen hun bewegingsvrijheid en vriezen vast. De blokken ijs worden als het ware koudgelast.

Sinds Faraday hebben talrijke onderzoeken aan een verscheidenheid van materialen aanwijzingen gegeven voor het verschijnsel van oppervlakte-smelten. Echter het ontbrak in deze experimenten aan een concreet bewijs, in die zin dat de smeltlaag zelf niet werd gedetecteerd. De laag is namelijk maar een paar atomen dik en vereist atoomfysische meetmethoden om zichtbaar te worden. In 1985 werd door J. Frenken en J.F. van der Veen, op het FOM-Instituut in Amsterdam, een bundel snelle protonen verstrooid aan de buitenste atoomlagen van een loodkristal. In het signaal van de teruggekaatste protonen traden geprononceerde schaduweffecten op. De atomen in het oppervlak van het loodkristal stonden keurig in gelid en beschaduwden elkaar. Zodra de buitenste atoomlaag smolt verdwenen de schaduwen uit het oppervlak, terwijl in het geordende kristal onder deze laag de schaduwen wel zichtbaar bleven. Op deze wijze kon zelfs een smeltdikte van één atoomlaag worden gedetecteerd.

Inmiddels is er een soort internationale 'smeltschool' ontstaan van fysici en chemici die het smeltgedrag van oppervlakken onder alle mogelijke

condities bestuderen. Zo heeft men gemeten dat de beweeglijkheid van de atomen in de uiterst dunne smel laag veel hoger is dan binnen in het kristal. Men heeft ook geconstateerd dat oppervlaktesmelten niet optreedt voor alle kristalvlakken. En de dikte van het gesmolten laagje blijkt niet alleen af te hangen van de temperatuur maar ook van de oriëntatie ten opzichte van het kristalrooster.

Het is met smelten als met stollen, beide hebben een kiem nodig. De ijsmeesters van de Friese Elfstedentocht plegen dan ook wakken onder bruggen te dichten door er losse ijsschotsen in te leggen, want dat is bevorderlijk voor de ijsvorming. Voor het smelten van een stof is de kiem meestal aanwezig in de vorm van de buitenkant van die stof, het oppervlak. Nu men weet dat het smelten daar begint, weet men ook hoe je het ontkiemen van de smelt kan voorkomen. Helaas zal dat schaatsliefhebbers niet helpen. Door de oppervlakte atomen af te dekken met een andere stof, met een veel hoger smeltpunt, worden de atomen op het grensvlak van een kristal op hun plaats gehouden. Aldus wordt het zelfs mogelijk vaste stoffen te verhitten tot ver boven het smeltpunt en het smelten uit te stellen. Dit toont aan dat smelten niet zoiets is als het uit elkaar rammelen van een kristalrooster. De temperatuurbeweging van de atomen in een kristalrooster dat oververhit is, zal nog groter zijn dan de temperatuurbeweging vlakbij het smeltpunt. Toch smelt het rooster niet zolang aan het oppervlak geen kiem ontstaat.

We weten nu wáár smelten begint, maar we weten nog steeds niet waarom. Het is onbekend tot welke temperatuur men vaste stoffen kan oververhitten en of er wel een maximale temperatuur is. Het is zoals prof. Van der Veen bij zijn oratie aan de Universiteit van Leiden zei: "Men is geneigd te denken dat natuurkundigen, als kenners van de natuur bij uitstek, precies weten hoe een proces als smelten zich voltrekt. Ik moet u teleurstellen. De fysici hebben een indrukwekkende hoeveelheid kennis verzameld over de bouwstenen van de materie, maar over het voegwerk tussen de stenen weten zij weinig te vertellen. Laat staan, dat ze kunnen verklaren waarom het voegwerk bij verwarming scheurt en de bouwstenen gaan schuiven. De fysicus van deze tijd kan u boeiend vertellen over quarks en over de eerste drie minuten van het bestaan van het heelal, maar moet het antwoord schuldig blijven op de vraag waarom het klontje boter smelt als de pan op het vuur wordt gezet."

ASSISTENT-IN-OPLEIDING

3 april 1990

In dit land spreekt men van een forse tegenvaller als onverwacht veel jongeren zich blijken in te schrijven voor een of andere vorm van onderwijs. Na een lange historie van onderwijsplicht moeten wij nog steeds wennen aan het idee dat er zoiets zou kunnen bestaan als onderwijsrecht. Dat geldt ook weer voor het probleem met de assistenten-in-opleiding, de AIO's. De minister verplicht afgestudeerden die promotieonderzoek doen tot het volgen van onderwijs naast hun onderzoek. Daarom wordt hun salaris als onderzoeker door de minister gekort, terwijl de AIO's het onderwijs niet krijgen waartoe de minister hen verplicht heeft. De AIO's gaan naar de rechter, maar die geeft de minister gelijk. Dat hadden de AIO's van te voren kunnen weten, want het soort onderwijsrecht dat wij kennen komt van rechters die beslissen over de beoordeling van studieresultaten op de universiteit, en die een school een schoolleider opdringen die ze daar niet willen hebben. Sinds politici zich met onderwijsvernieuwing bemoeien moet de rechter er regelmatig aan te pas komen. Dit zou voorkomen kunnen worden als wij in het onderwijs zelf orde op zaken zouden stellen, zodat de politici niet hoeven en niet kunnen inbreken.

Het probleem met de AIO's staat niet op zich zelf maar heeft alles te maken met de veranderingen in het universitaire onderwijs sinds de invoering van de tweefasenstructuur. Niemand had gedacht dat Pais zijn zin zou doordrijven en aan de universiteiten werd Pais bestreden i.p.v. dat er aan een nieuw curriculum gewerkt werd. Toen de Tweede Kamer besliste dat de studieduur toch verkort moest worden was er geen tijd meer om na te denken hoe dat zou moeten. Het bestaande onderwijsprogramma werd als een harmonica in elkaar geschoven van 6 naar 4 jaar. Het onderzoek werd naar de tweede fase overgebracht. Het resultaat is dat studenten-nieuwewijl genoeg onderwijs krijgen, maar wat ze missen is het onderzoek.

De huidige tweefasenstructuur stelt studenten en docenten voor drie grote problemen. In mijn vak, de natuurkunde, blijkt slechts 30% van de eerstejaars studenten in staat af te studeren in vier jaar. Na de maximale studieduur van zes jaar blijkt nog geen 50% van de eerstejaars de eind-

streep te halen. Ik denk dat dit lage rendement ook voor de andere studierichtingen geldt en dat het te maken heeft met de motivatie van de studenten. Een tweede probleem is dat veel afgestudeerden solliciteren naar een baan in een onderzoekslaboratorium. Omdat ze vrijwel geen onderzoekervaring hebben weten ze nauwelijks waar ze aan beginnen, terwijl er toch een contract voor 4 jaar getekend wordt als AIO. Ten derde liggen hier ook risico's voor de promotor: men kan iemand die geen onderzoekervaring heeft niet garanderen dat hij of zij in 4 jaar zal kunnen promoveren.

De oplossing voor deze problemen ligt nogal voor de hand: laat studenten in de eerste fase een flinke onderzoekstage lopen in een onderzoekschool. Dit zal ten koste moeten gaan van enkele colleges uit de eerste fase die dan zeer goed ondergebracht kunnen worden in de tweede fase. Op deze manier kunnen de AIO's het onderwijs krijgen waar ze recht op hebben. Bovendien werkt het doen van onderzoek bij veel studenten zeer motiverend, zodat verwacht mag worden dat een groter percentage de eindstreep haalt. Tenslotte kan men op de onderzoekscholen de studenten tijdens hun onderzoekstage aan het werk zien en beoordelen of ze geschikt zijn voor promotieonderzoek.

Vroeger was het in de exacte vakken gebruikelijk dat men na het kandidaatsexamen op een laboratorium ging werken tot het doctoraal. Op het laboratorium hielp je gedurende 3 jaar enkele promovendi bij hun onderzoek terwijl je daarnaast aan je tentamens werkte. Ik zou die situatie weer in ere willen herstellen voor de studenten die hun propaedeuse hebben gehaald. Als we ervan uitgaan dat ongeveer de helft van de afgestudeerden doorgaat met promotieonderzoek en dat deze periode ongeveer evenlang duurt als de studieduur tussen propaedeuse en doctoraal, dan kunnen alle studenten aan het onderzoek deelnemen indien iedere promovendus geassisteerd wordt door maximaal twee studenten. Daar hebben beiden plezier van: de promovendus heeft hulp van twee 'meetslaven' en kan op zijn beurt de studenten assisteren bij de tentamens die zij nog moeten doen maar waar hij al doorheen is.

Met dit systeem worden pas echte natuurkundigen, astronomen, matematici, informatici, chemici en biologen opgeleid. Men leert een vak niet alleen uit een collegedictaat maar vooral door het te doen onder leiding van een meester of een gezelschap. Ik verwacht dat het zo motiverend kan wer-

ken dat iedereen die een propaedeuse haalt ook afstudeert. Sommigen zullen zozeer de smaak te pakken krijgen dat ze door willen gaan in het onderzoek. Anderen zullen echter een baan zoeken bij de industrie, de overheid of het onderwijs. In alle gevallen lijkt het mij beter als men een ruime onderzoekervaring heeft opgedaan voordat deze keuze wordt gemaakt. Bovendien komt onderzoekervaring altijd van pas, ook in de industrie, de overheid of het onderwijs. (Naast de onderzoekopleiding zou ook de onderwijsopleiding in de studie verweven moeten worden).

Hoe moet het nu met het salaris van de AIO's? Dat moet in ieder geval omhoog, loon naar werk! Door aan afgestudeerden minder te betalen dan het minimumloon devalueert de minister de waarde van zijn eigen hoger onderwijs. Het is echter buiten kijf dat AIO's nog veel moeten leren. Zeker als ze, zoals ik hier voorstel, minder vaktheorie en meer onderzoekervaring hebben opgedaan. Het lijkt me dan ook gewenst van de AIO's te verlangen dat ze de vaktheorie bestuderen die hoort bij hun promotie-onderzoek en dat ze voor het onderwijs daarin collegegeld betalen.

Samenvattend stel ik voor dat alle studenten die hun propaedeuse hebben gehaald, kunnen solliciteren naar een stageplaats in een onderzoekschool. De onderzoektijd gaat af van de vaktheorie in de eerste fase. Na het doctoralexamen kan men solliciteren naar een AIO-plaats. Men krijgt dan een normaal salaris van de onderzoekschool, maar moet aan de universiteit collegegeld betalen voor de nog te volgen vaktheorie in de tweede fase. Dat lijkt mij redelijk. Het zou weleens zozeer in de smaak kunnen vallen dat onverwacht veel studenten kiezen voor de onderzoekschool en er dus wel weer sprake zal zijn van een forse tegenvaller in dit land.

EEN GOEDE MANAGER

1 mei 1990

Er heerst een wijd verbreid geloof dat zuiver wetenschappelijk onderzoek niet volgens plan kan worden opgezet en dat planmatig werken zelfs strijdig is met de aard van het echte onderzoek en de ware onderzoeker. Dit geloof berust echter op een misverstand, zoals zal worden aangetoond aan de hand van een historisch voorbeeld van grensverleggend onderzoek, dat illustreert welke management-kwaliteiten voor een ontdekking nodig zijn en hoe deze het best kunnen worden ontwikkeld. Wees gerust dit is geen pleidooi voor de moderne manager maar wel voor de ouderwetse ontdekker.

Op 16 augustus 1880 schreef Robert E. Peary aan zijn moeder: *“Ik wil niet leven en dood gaan zonder iets tot stand te brengen of zonder bekend te zijn buiten een kleine vriendenkring. Ik zou een naam willen vestigen die een open boek is in kringen van cultuur en beschaving waar dan ook, een naam die mijn moeder trots zou maken en die mij het gevoel zou geven dat ik de meerdere was van iedereen die ik zou ontmoeten”*. De 24-jarige Peary had zijn zinnen gezet op ontdekkingsreizen in het Noordpool gebied. Hij kreeg echter de leiding aangeboden over een expeditie van wel 100 man dwars door Nicaragua met als doel een traject uit te zetten voor een kanaal dat de Atlantische met de Stille Oceaan moest verbinden. Deze eervolle opdracht nam Peary aan, maar nog voor het werk was voltooid bereikte hem het nieuws dat de Noor Nansen als eerste over de ijsskap van Groenland was getrokken van de oost- naar de westkust. Prompt staakte Peary zijn werk in Nicaragua. Hoewel het plan voor het kanaal door hem helemaal was uitgewerkt, wachtte hij niet op een beslissing over de uitvoering. Hij had kennelijk een goede neus voor datgene wat de moeite waard is en al een voorgevoel dat het kanaal in Panama zou komen.

Peary stelde een nieuw plan op voor een ontdekkingsreis in het noorden van Groenland, waar de kaart in die dagen nog grote witte plekken vertoonde. Hij kreeg verlof als civiel-ingenieur bij de Amerikaanse marine met behoud van salaris, maar op voorwaarde dat hij de expedities zelf zou bekostigen en geen schadevergoeding zou claimen mocht hem iets overko-

men. Aldus begon een periode van 23 jaar waarin hij vele tochten maakte en grote delen van Groenland en van Noord-Canada in kaart bracht op weg naar zijn eigenlijke doel de Noordpool. Zijn tochten begonnen altijd per schip met een kleine bemanning, door hem zelf met zorg geselecteerd. Assistenten die verwacht werden leiding te kunnen geven aan de vele Eskimo's die onderweg aan boord werden genomen samen met hun vrouwen, kinderen en honden. Aanvankelijk had Peary gedacht over de ijsschap die Groenland bedekt naar de Noordpool te kunnen sleeën over een soort 'arctic highway'. Maar Groenland bleek een eiland, en ook het noorden van Canada bleek zich niet verder noordelijk uit te strekken dan 400 mijl van de Pool. Hier voer hij zomers naar toe, de herfst werd gebruikt om met jagen en vissen voldoende voorraden aan te kunnen leggen voor de lange winter. In het vroege voorjaar wanneer het weer licht werd begonnen de echte ontdekkingsreizen pas, met enkele blanke assistenten tientallen Eskimo's en evenzovele sleeën getrokken door meer dan honderd honden.

De expedities kostten \$60.000 tot \$80.000 per stuk, voor die tijd zeer veel geld dat Peary op verschillende manieren bijeen bracht. Om te beginnen hield hij honderden lezingen door heel Amerika waarbij hij gekleed ging als Eskimo en op het toneel verscheen samen met een slee getrokken door een span luid blaffende honden. Zo bracht een serie van 169 lezingen \$20.000 op. Vooraanstaande Amerikaanse miljonairs werden lid van de Peary Arctic Club voor \$5.000 per persoon. Een van zijn belangrijkste supporters was president Roosevelt, die Peary vergeleek met Columbus en Magelhaen, en naar wie Peary zijn schip vernoemde. Op een van zijn tochten ontdekte hij een reusachtige meteoriet, hees hem aan boord en verkocht hem voor \$40.000 aan het Natural History Museum in New York, die de klomp metaal tentoonstelde samen met 6 Eskimo's die Peary en passant ook nog had meegenomen, maar die tijdens de tentoonstelling aan longontsteking overleden.

De expedities moesten zich over het pakijns van de Noordelijke IJszee een weg banen. De sleeën van de Eskimo's waren hiervoor minder geschikt en in de loop van de tijd ontwikkelde Peary een eigen slee, met handvaten aan de punten en langere glijders zodat de sleeën over het kruiende ijs en de spleten getild konden worden. Het pakijns is door de stroming op zee en door de wind voortdurend in beweging. In zijn verslagen

beschrijft Peary hoe hij na uitputtende dagtochten in iglo's probeert te slapen terwijl het ijs aan alle kanten kraakt. Hij ligt niet in een slaapzak, bang dat het ijs onder hem zal scheuren en hij zal verdrinken. Soms moet er worden gewacht voor 'leads', grote spleten open water, totdat ze weer dicht zijn gevroren en het ijs voldoende dik is om de hele groep te kunnen dragen. Levensgevaarlijk is het als deze spleten ontstaan achter de voorste groep en deze afgesneden wordt van bevoorrading. Hierdoor moet Peary enkele malen zijn expedities staken, om te voorkomen dat men de honger-dood zal sterven. Via een omweg moet naar het schip worden teruggekeerd. Meestal is er dan geen tijd meer om voor de winter nog een keer op weg te gaan naar de Noordpool. Teneinde een fiasco te voorkomen wordt de resterende tijd gebruikt om de kustlijn verder in kaart te brengen en markante punten te vernoemen naar de sponsors van de Peary Arctic Club. Op iedere tocht weet Peary steeds een beetje verder noordelijk door te dringen tot hij op 6 april 1909 als eerste de Noordpool bereikt.

Vandaag is de Noordpool geen te ontdekken gebied meer, ook al zijn er nog steeds 'ontdekkingsreizen' naar toe. Onze globe kent vrijwel geen witte plekken meer, maar op het terrein van de wetenschap zijn er nog vele. Laten we wetenschappelijk onderzoek zien als een ontdekkingsreis. Management van een ontdekking vereist van de ontdekker financieel en economisch management, ook personeelsmanagement is onontbeerlijk want ontdekkingsreizen worden door een team gemaakt, ook in wetenschapsland. Bovenal moet de leider van het team echter een fanatiek ontdekker zijn. In de jaren 60 werden de universiteiten gedemocratiseerd en kwam het wetenschappelijk onderzoek in handen van raden. Een dif-fuus gezelschap dat het spoor al snel kwijt raakte. In de jaren 80 zijn de managers aangesteld, mensen die menen dat ze net zo goed een universiteit kunnen leiden als een gloeilampenfabriek of een ziekenhuis. Mensen die menen dat management een vak apart is dat je kunt leren op de universiteit van Nijenrode of op Stanford Business School. Niemand zal het in z'n hoofd halen om een Himalaya expeditie of een Noordpool-reis in handen te geven van een afgestudeerde van Nijenrode of Stanford Business School. Waarom dan wel de leiding van een research-organisatie of van een universiteit?

Hoe gaat het management van een ontdekking? Hoe wordt een ontdekkingsreis succesvol? Kijk naar Peary, die in zijn boek *The North Pole* een

lijst geeft van Essentials That Brought Success:

- Het varen met een schip door het ijs zover mogelijk naar het noorden tot een aanlegplaats waar vandaan het volgende jaar weer terug gevaren kan worden.
- Het jagen in de herfst en de winter om de hele expeditie te voorzien van voldoende vers vlees.
- Het hebben van genoeg honden zodat 60% verloren kan gaan door dood of anderszins.
- Het vertrouwen genieten van een groot aantal Eskimo's, in het verleden verdiend door rechtvaardige behandeling en royale beloning, zodat zij de leider zullen volgen naar elke plek die hij maar aanwijst.
- Het hebben van een intelligente en gewillige groep van beschaafde assistenten die de verschillende divisies van Eskimo's kunnen leiden, mannen wiens autoriteit door de Eskimo's geaccepteerd wordt zodra deze door de leider wordt overgedragen.
- Het van te voren transporteren naar de plek van waar de expeditie het land zal verlaten voor de sletocht van genoeg voedsel, brandstof, kleding, olie of gastoestellen, en andere apparatuur, zodat de hoofdgroep naar de pool en de andere divisies naar hun meest noordelijke punt en terug kunnen komen.
- Het hebben van een grote voorraad van de beste soort sleeën.
- Het hebben van een voldoende aantal divisies, of bevoorradingsploegen, ieder onder leiding van een competente assistent, om terug te zenden op de juiste en van te voren berekende momenten op de heen weg.
- Het hebben van apparatuur die het meest geschikt is voor het doel, grondig getest, en van het kleinst mogelijke gewicht.
- Het kennen, door lange ervaring, van de beste manier om grote spleten open water over te steken.
- Het terugkeren langs dezelfde route als de heen weg, gebruikmakend van het spoor en de reeds gebouwde iglo's om tijd en inspanning te sparen die anders nodig zou zijn om iglo's te construeren en een spoor te maken.
- Het exact weten hoe ver iedere man en hond het uithouden zonder verwondingen.
- Het kennen van de fysieke en mentale capaciteiten van iedere assistent en Eskimo.
- Als laatste, maar daarom niet minder belangrijk, het hebben van het absolute vertrouwen van elk lid van de groep, blank, zwart of bruin, zodat elke order van de leider impliciet wordt opgevolgd.

Ondanks deze lange lijst van essentialia had Peary veel minder succes dan hij verwacht had. Toen hij terugkeerde van de Noordpool vroeg men hem te bewijzen dat hij er ook werkelijk geweest was. Maar hoe bewijs je, in een grote witte wereld waar nog niemand voor jou geweest is, dat je het doel ook werkelijk bereikt hebt? Dr. Cook, een voormalig assistent van Peary, beweerde zelfs een jaar eerder dan hij de Noordpool te hebben bereikt. Van Cook werd bekend dat een foto van hem op de top van Mount Mc Kinley vervalst was. Toch maakte dit incident de bewijslast voor Peary alleen maar groter. Hij beweerde langs de 70ste meridiaan rechtstreeks naar het noorden te zijn getrokken. Maar men betwijfelde of hij in de harde wind en op het kruierende ijs wel koers had kunnen houden. Peary had een eenvoudige manier van navigeren. Om 12 uur 's middags bepaalde hij met een sextant wanneer de zon op zijn hoogste punt was, en dus precies in het zuiden stond. Vervolgens draaide Peary zich om en keek naar zijn eigen schaduw die op dat moment precies naar de Noordpool wees. Hij nam niet de moeite om vast te stellen hoeveel hij in oostelijke of westelijke richting afweek van de 70ste meridiaan. Dat vond Peary maar onnodig tijdverlies, hij wilde immers alleen maar weten waar het noorden was. Helaas was hij daardoor niet in staat op een kaart precies aan te geven welke zig-zag lijn hij over het poolijs gevolgd had. De ontdekkingsreiziger Amundsen geloofde hem wel en zei: "I know Peary reached the Pole, for I know Peary." En Amundsen adopteerde Peary's wijze van navigeren op zijn race naar de Zuidpool die hij daardoor net iets eerder bereikte dan Scott.

Tot op de dag van vandaag wordt Peary's claim in twijfel getrokken. De Engelsman Wally Herbert publiceerde vorig jaar nog een artikel in de *National Geographic Magazine* en een boek, waarin hij de vermoedelijke koers van Peary heeft uitgerekend gebaseerd op de thans bekende bewegingen van het ijs op de poolzee. Herbert komt tot de conclusie dat Peary tenminste 30 mijl van de pool in westelijke richting moet zijn beland. Daarop heeft de Amerikaanse Navigation Foundation gereageerd met een studie die laat zien dat Peary de route van Herbert niet gevolgd kan hebben. Wat Peary's claim redt is dat hij onderweg af en toe door wakken in het ijs de diepte van de zeebodem heeft gemeten. De gemeten diepten komen niet overeen met het thans bekende profiel van de zeebodem onder de route van Herbert maar zijn consistent met de diepten onder de 70ste

meridiaan. Peary deed de dieptemetingen in opdracht van president Roosevelt die hoopte op het ontdekken van land onder het poolijs. Hoewel met deze ogenschijnlijk onbelangrijke metingen geen nieuw land werd gevonden dienen ze thans ter ondersteuning van de claim dat de Stars and Stripes als eerste op de Noordpool heeft gewapperd.

In de nalatenschap heeft de Navigation Foundation ook een aantal foto's gevonden die volgens Peary zijn gemaakt in het iglo-kampement bij de pool. Uit de aantekeningen van Peary en uit de foto's zelf valt op te maken dat ze op zeer verschillende tijden moeten zijn gemaakt. De lengten van de schaduwen op de foto's verraden de hoogte van de zon. Die blijkt een etmaal lang 6° en 30' boven de horizon te staan. Dit is alleen mogelijk op de pool waar de zon zomers niet ondergaat en waar dit, volgens de almanak, precies de zonshoogte moet zijn geweest op 6 en 7 april 1909.

Keren wij terug naar het management van een ontdekking. Daarvoor is nodig:

- een goede neus bij de keuze van het onderzoek terrein
- overredingskracht om de plannen erdoor te krijgen
- ambities vertalen in algemeen belang
- het kunnen selecteren van mensen en er een team van maken
- behoedzaam navigeren
- pragmatisch te werk gaan en niet met oogkleppen op lopen
- onderweg de kansen ruiken op onverwachte ontdekkingen
- niet bang zijn voor de kou ook als al je tenen eraf vriezen
- van de fouten leren
- technieken ontwikkelen die specifiek zijn voor 't terrein
- evenwicht vinden tussen eigen belang en dat van anderen
- onverwachte tegenslagen vindingrijk oplossen
- kunnen afzien en geluk hebben
- willen winnen.

Dit alles voor één doel. Niet de eer want die is altijd omstreden en bewijs is nooit meteen voor handen. Het enige wat alles de moeite waard maakt is: echt iets tot stand brengen, echt iets nieuws ontdekken.

Hoe word je een succesvol ontdekker? Het leiden van een expeditie kun je niet leren op Nijenrode of Stanford. Daar kun je hoogstens manager worden van Nijenrode of Stanford. Hoe gaat 'management development',

niet van een manager van een gloeilampenfabriek of van een ziekenhuis, maar van een ontdekking? Voor Peary was het een kwart eeuw van vallen en opstaan, steeds weer grote fouten maken maar daarvan ook steeds weer leren en aldus stapje voor stapje verder komen. In zijn boek, *The North Pole*, vergeleek hij het met het leren winnen van een schaakspel en daarmee wil ik besluiten:

Het is misschien niet ontoepasselijk het bereiken van de Noordpool te vergelijken met het winnen van schaakspel, waarin alle verschillende zetten die tot een succesvol besluit leiden zijn bedacht, lang voordat het werkelijk spel begon. Het was een oud spel voor mij - een spel dat ik drie en twintig jaar heb gespeeld, met wisselend geluk. Telkens, en dat is waar, werd ik verslagen, maar met ieder verlies kwam nieuwe kennis van het spel, zijn gecompliceerdheid, zijn moeilijkheden, zijn subtiliteiten, en met iedere nieuwe poging kwam het succes een klein beetje dichterbij; wat eerst ofwel onmogelijk leek, of, op zijn best, buitengewoon twijfelachtig, begon tekenen te vertonen van mogelijkheid, en, ten slotte, zelfs van waarschijnlijkheid. Ieder verlies werd geanalyseerd naar de oorzaken in alle details, totdat het mogelijk werd te geloven dat deze oorzaken in de toekomst voorkomen zouden kunnen worden en dat, met een flinke dosis geluk, de verloren wedstrijd van een kwart eeuw lang toch omgezet kon worden in een uiteindelijke, complete overwinning.

Referenties:

Robert E.: Peary, *The North Pole*, Hodder & Stoughton (London), 1910.

Wally Herbert, *The Noose of Laurels*, Hodder & Stoughton (London), 1989.

Thomas D. Davies, *Robert E. Peary at the North Pole*, Navigation Foundation (Rockville, MD), 1989.

ONZEKERHEID

29 mei 1990

Als Gorbatsov in 1983 bij de stemming in het Polit-bureau één stem minder had gekregen en niet gekozen was, zouden dan de kruisvluchtwapens er nu nog hebben gestaan? Als Jan Palach zichzelf niet in brand had gestoken, zou Tsjechoslowakije dan toch een toneelschrijver als president hebben gehad? Als die Hongaarse priester in Timisoara niet was mishandeld, zouden de Ceausescu's dan nu nog in leven zijn geweest? Als een hele kleine verandering in een systeem tot onvoorspelbare consequenties leidt, dan noemen wij dat systeem in de natuurkunde: chaotisch. Omdat atomen en moleculen geen vrije wil hebben zijn wij geneigd te denken dat wij hun gedrag nauwkeurig kunnen voorspellen. Dit blijkt niet het geval en dat intrigeert de wetenschappers zo zeer dat er een nieuw vakgebied, chaologie, is ontstaan. In een poging in de krant uit te leggen wat men precies onderzoekt in dit vak, worden analogieën en metaforen gebruikt, woorden geadopteerd, van de voorpagina. Dit suggereert dat er een verband zou bestaan tussen de huidige turbulente ontwikkelingen in de politiek en recente ontwikkelingen in de fysica op het gebied van chaos, turbulentie en het ontstaan van orde. Alsof politici aan differentiaalvergelijkingen voldoen.

Een soortgelijke situatie deed zich 60 jaar geleden voor. In de onzekere jaren tussen de twee wereldoorlogen werden natuurkundigen gefascineerd door de onzekerheidsrelatie van Heisenberg. Die had niets te maken met de onzekerheid in de financieel-economische toestand in de wereld, noch met de hachelijke positie van de Joden in die tijd. Heisenberg publiceerde in 1927 een artikel over een fundamentele 'Ungenauigheid' in de nog jonge quantumtheorie. In 1929, tijdens zijn colleges in Chicago, sprak hij van 'Indeterminacy', hetgeen duidelijk een andere betekenis heeft dan onnauwkeurigheid. Geen van beide termen zou beklijven, wij spreken thans van 'Uncertainty-principle', of Heisenbergs Onzekerheidsprincipe. Waarschijnlijk onder invloed van het tijdsgewricht werd een fysisch principe populair onder een term die de lading niet dekt.

In zijn proefschrift *Measures of uncertainty and the uncertainty prin-*

ciple (Rijksuniversiteit Utrecht, 23 januari 1990) legt Jos Uffink uit dat men onderscheid moet maken tussen twee soorten onzekerheid: onnauwkeurigheid en onbepaaldheid. De mate van onzekerheid kan voor geen van beide soorten met de standaard deviatie gemeten worden. Daarom werden nieuwe criteria voor onzekerheid geformuleerd en een nieuw onzekerheidsprincipe afgeleid, onder leiding van prof. Jan Hilgevoord.

Het onzekerheidsprincipe is één van de fundamentele wetten uit de quantummechanica. Als je de plaats van een deeltje nauwkeurig meet dan beïnvloed je daarmee zijn snelheid zodanig dat deze niet meer nauwkeurig gemeten kan worden ook al is het meetinstrument nog zo goed. Omgekeerd, als je de snelheid van een deeltje heel nauwkeurig meet dan spreidt het zich uit in de ruimte zodat wij niet precies kunnen bepalen waar het deeltje zich bevindt. Het onzekerheidsprincipe zegt dat het produkt van de onzekerheden in plaats en in snelheid van een deeltje constant blijft.

In een gedachtenexperiment stelde Heisenberg zich voor hoe de plaats van een elektron gemeten wordt met een lichtmicroscop. Wij kunnen het elektron alleen waarnemen als het licht door het elektron weerkaatst wordt, maar dan zal de beweging van het elektron een klein beetje veranderen. Hier ligt de fundamentele beperking: wij kunnen het elektron niet zien zonder zijn snelheid te beïnvloeden. De precisie van de meting hangt af van het oplossend vermogen van het instrument, maar die is weer afhankelijk van de golflengte van het licht waarmee de microscoop werkt. Om de precisie optimaal te maken zou met zeer kortgolvig licht, gammastraling, gewerkt moeten worden. Maar hoe korter de golflengte van het licht hoe groter de verandering in de snelheid van het elektron. Hoe nauwkeuriger de positie van het elektron gemeten wordt des te onnauwkeuriger zal zijn snelheid bepaald kunnen worden.

Heisenberg nam aan dat de spreiding in de meting van plaats gegeven wordt door een normale Gaussische verdeling. Dan zal de snelheidsverdeling ook een Gaussische funktie zijn. De breedten van de twee waarschijnlijkheidsverdelingen worden gegeven door hun standaarddeviaties. Volgens het Heisenberg onzekerheidsprincipe zal het produkt van de twee standaarddeviaties constant zijn. Als de ene verdeling smal wordt dan wordt de ander breed en omgekeerd. Zo staat het ook in de leerboeken van vandaag.

Uffink en Hilgevoord hebben ontdekt dat deze Heisenberg onzekerheidsrelatie de lading niet dekt, en wel om twee redenen: 1) de relatie sluit helemaal niet uit dat beide waarschijnlijkheidsverdelingen zeer smal worden; en 2) de relatie is onbruikbaar in de gedachte-experimenten uit de tijd van Heisenberg, Einstein en Bohr. In de quantumtheorie wordt het elektron beschreven met een golfkarakter die alle mogelijke vormen kan aannemen. Het golfkarakter van het elektron maakt dat wij vaak een interferentie patroon waarnemen van maxima en minima. De waarschijnlijkheidsverdeling om het elektron op een bepaalde plaats aan te treffen hoeft dus helemaal niet een normale Gaussische verdeling te zijn. Het gaat immers niet om een statistische fluctuatie, maar om een meer fundamentele quantumonzekerheid, onder 'ideale' experimentele condities zonder klassieke meetfouten. Als de kansverdeling niet gelijk is aan een Gaussische functie en dat is meestal het geval, dan is de standaarddeviatie ook niet de natuurlijke maat voor onzekerheid in de quantummechanica. Dit is zo vanzelfsprekend dat het onbegrijpelijk is waarom Heisenberg, Einstein of Bohr daar niet opgekomen zijn.

In plaats van de standaarddeviatie introduceren Uffink en Hilgevoord twee nieuwe maten voor onzekerheid in de quantummechanica. Een interferentiepatroon is vaak een wild oscillerende kansverdeling met vele maxima en minima. Er zijn hiervoor twee karakteristieke maten te geven. De ene betreft de totale breedte van het patroon (de onbepaaldheid), de andere de gemiddelde piekbreedte van de maxima en minima (de onnauwkeurigheid). Uffink en Hilgevoord stellen voor deze twee maten te gebruiken voor onzekerheid in de quantummechanica. Wonder boven wonder hebben ze ontdekt dat het produkt van de totale breedte van een plaatsverdeling en de gemiddelde piekbreedte van de snelheidsverdeling, weer een constante is.

Het principe van onzekerheid is dus nog steeds correct. God dobbelt weldegelijk, maar niet zoals het hoort. Het resultaat levert geen normale verdeling op. Daarom was Heisenbergs formulering onjuist. De fysici hadden zich dat tot nu toe niet gerealiseerd, want het onzekerheidsprincipe van Heisenberg daar was men zeker van.

SPION IN HET LAB

4 september 1990

Tot mijn verbazing moest Iwan Matweïtsj nog aan Tarantjew worden voorgesteld. Natuurlijk kenden deze twee atoomfysici elkaars werk wel, maar omdat Iwan van de Akademie was en Tarantjew van de Universiteit hadden zij elkaar nooit eerder ontmoet, zo werd mij uitgelegd. Buiten het station stond een auto met chauffeur klaar en spoedig arriveerden wij achter het Kremlin in een groezelig koffiehuis. Een van de weinige die om half acht 's ochtends al open waren en koffie zou ook daar pas om negen uur te krijgen zijn. Over vieze bekers koude thee en hompen droog brood werden de plannen voor de dag besproken. In de ochtend zou Tarantjew zijn laboratorium laten zien, na de lunch was mijn colloquium, daarna weer lab bezoek en 's avonds zou er een feestje zijn bij Tarantjew thuis. Iwan zei dat hij naar de Akademie moest en mij vanavond wel in het hotel weer zou zien. "Iwan Matweïtsj" zei ik, "kom dan naar Tarantjew's huis, dan kan ik je aan de hele Moskouse groep voorstellen." Iwan pruttelde tegen maar ik drong aan, niet vermoedend in welke ernstige problemen ik mijn gastheren bracht.

De dag verliep zoals was afgesproken en na het eten ging de bel. Iwan kwam binnen maar nog voor ik hem aan de collega's kon voorstellen riep Tarantjew boven iedereen uit: "here is the spy, the spy from Leningrad." Iwan Matweïtsj zei geen woord. Verbouwereerd probeerde ik aan Tarantjew uit te leggen dat ik Iwan al jaren kende, dat hij ook in Amsterdam op ons lab had gewerkt, dat hij in Leningrad vorige week een voortreffelijke gastheer was geweest en mij nu vergezelde op reis langs verschillende laboratoria in de Sovjet-Unie. "En toch is hij een spion" schreeuwde Tarantjew weer boven iedereen uit. Het leek mij maar het beste om meteen het feestje te verlaten. Toen ik mij omdraaide stond Iwan met een grote fles wodka aan zijn mond en goot die in een keer naar binnen. Even later was hij niet meer in staat om op zijn eigen benen te staan. Tarantjew legde hem in de slaapkamer en zei dat de spion over een paar uur wel weer fit zou zijn om mee te gaan naar het hotel. Ik moest dus blijven maar begreep niet wat mij overkwam. Aan het eind van het feestje werd Iwan onder de douche gezet, weer in het pak gehesen en half versuft meegenomen naar het hotel. In de auto legde Tarantjew eindelijk uit hoe het zat.

Iedereen die een buitenlander op bezoek had was verplicht na afloop een rapport te schrijven en voor de Russische bureaucratie betekende iedereen ook letterlijk iedereen. Iedereen die mij ontmoet had moest daarover rapporteren. Al die rapporten kwamen boven ergens op een bureau terecht en konden dus maar beter gelijklopend zijn, anders kwamen er misschien problemen. Tarantjew had daarom een rapport geschreven over deze dag en al zijn groepsleden schreven dat van hem over. Van Iwan Matweïtsj kon hij dat niet verlangen en dus zou deze zelf een rapport schrijven en daarmee werd hij de spion. Iwan had het probleem kennelijk doorzien en was dronken geworden. Voor de Russische bureaucratie was hij daardoor ontslagen van de plicht een eigen rapport te schrijven en dus had Tarantjew een exemplaar van zijn rapport in Iwan's binnenzak kunnen steken.

Dit traumatische voorval gebeurde tijdens een van mijn eerste bezoeken aan de Sovjet-Unie zo'n vijftien jaar geleden. Deze zomer was ik weer op een conferentie in Leningrad en een van de meest gestelde vragen is of je kan merken dat het daar veranderd is, of je de glasnost en perestrojka kan zien. Inderdaad denk ik dat het zo is, maar niet in de Russische laboratoria. Gedurende onze vierdaagse conferentie hebben wij twee avonden een concert meegemaakt van religieuze Russische muziek en degenen onder ons die al op zondag in Leningrad waren aangekomen, hebben in de grote Isaac kathedraal ook nog de eerste kerkdienst sinds 62 jaar meegemaakt. Een kerkdienst die de rest van de week iedere avond op tv 'in de herhaling' te zien was omdat Boris Jeltsin en de burgemeester van Leningrad op de voorste rij in de kerkbanken zaten. Op dinsdagavond werden in de Smolny kathedraal de Vespers van Rachmaninov ten gehore gebracht. Sinds Lenin zijn hoofdkwartier bij de Smolny vestigde zijn de meeste inwoners van Leningrad de gouden koepel niet dichter genaderd dan Oblomow en Olga Sergejewna in hun roeibootje op de Neva. Tijdens de vespers zat de kerk bomvol. Op donderdagavond werden er in de conferentiezaal religieuze liederen voor ons gezongen door een koor van het Fysisch-Technisch Instituut. De dirigent vertelde dat zij vorig jaar door de familie Romanov waren uitgenodigd om te komen zingen. De KGB had toen verboden om van de religieuze liederen de woorden te zingen. Alleen de melodie mocht worden geneuried, maar nu kon er eindelijk gezongen worden, uit volle borst.

Glasnost en perestrojka zijn ontroerend zichtbaar in de kerken van Leningrad, maar niet in de laboratoria. In de Sovjet-Unie leven de weten-

schappers nog steeds een zeer geïsoleerd bestaan. Stalin heeft van elke buurman een verklikker gemaakt. Onder Brezjnev was elke onbekende Rus voor de ander een potentiële spion. Dit heeft gezorgd voor onvoorstelbare verzuiling en maffe hokjesgeest. De koude oorlog heeft de Russische wetenschappers van het westen geïsoleerd, maar wat veel erger is: de communistische partij, het systeem, heeft de Russische wetenschappers van elkaar vervreemd. Daarin is nog steeds geen verandering gekomen, hetgeen duidelijk werd tijdens de recente conferentie in Leningrad.

Onder auspiciën van de Europese natuurkundige vereniging was een bijeenkomst georganiseerd over de fysica en technologie van halfgeleiders, het materiaal waar de chip van gemaakt wordt. Uit alle grote laboratoria van de Westeuropese universiteiten, de overheid en de industrie (behalve Philips) waren vertegenwoordigers naar Leningrad gekomen om hun Russische collega's voor het eerst te ontmoeten. Tot onze teleurstelling bestond de Russische vertegenwoordiging echter uitsluitend uit natuurkundigen van de Russische Akademie van Wetenschappen. Onze gastheer in Leningrad was afkomstig van de Akademie en 'dus' had hij slechts mensen van de Akademie uitgenodigd. Deze waren niet alleen afkomstig uit de researchlaboratoria maar ook uit de ontwikkelafdelingen en uit de fabrieken. Want de Akademie heeft eigen fabrieken voor wetenschappelijke instrumenten. Alles wordt zelf ontwikkeld en gemaakt, van de bouten en de moeren tot en met de chips. In de ontwerpafdeling staan 300 man achter tekentafels en in de instrumentmakerij werken maar liefst 3000 mensen, allemaal alleen voor de Akademie. Chips zijn natuurlijk ook nodig in computers voor het onderwijs, in ziekenhuisinstrumentarium, in radio's, tv's, telefoons en militaire apparatuur. Rusland heeft aparte ministeries voor wetenschap, voor onderwijs, voor gezondheidszorg, voor radio en tv, voor telecommunicatie, voor defensie. Die hebben allemaal aparte ontwikkelafdelingen en fabrieken voor chips. Iedereen werkt volkomen onafhankelijk, men weet van elkaars bestaan nauwelijks af. Men kent de specialisten in het eigen vakgebied, maar werkend in de andere sector, helemaal niet. En dus waren de specialisten buiten de Akademie niet uitgenodigd op onze conferentie.

Het isolement heeft gemaakt dat men alle problemen zelf heeft moeten oplossen en ze ook zelf heeft opgelost. De Russische fysici en technici zijn volledig op de hoogte en kunnen alles zelf. Er zijn in Rusland zeer bekwame vaklieden. In de laboratoria van de Akademie kom je soms hele vernuftige apparatuur tegen. In de energie onderzoekcentra is de plasma-

fysica zeer ver ontwikkeld. Het ruimtevaart programma van de Sovjet-Unie toont aan dat ook de militaire laboratoria tot uitzonderlijke prestaties in staat zijn. Toch zie je overal zeer gefrustreerde collega's. De Russen beseffen dat ze ondanks hun kennis en kunde door hun isolement enorm achterop zijn geraakt en nog steeds verder achter raken. Dit ligt niet in de eerste plaats aan de koude oorlog en de economische boycot door het westen. Als het handels-embargo wordt opgeheven zal Rusland niet meteen een grote sprong voorwaarts maken in hoogwaardige technologie. De Russen hebben door het communistische systeem grondig afgeleerd om samen te werken. De bureaucratie maakte van elke collega een potentiële spion.

DEELTJESVERSNELLERS

2 oktober 1990

Er zijn twee soorten fysici die bij hun onderzoek gebruik maken van deeltjesversnellers. De ene groep is op zoek naar elementaire deeltjes. De andere groep maakt gebruik van deeltjesversnellers voor het vervaardigen en analyseren van nieuwe materialen op atomaire schaal. De elementaire-deeltjesfysici bouwen steeds grotere versnellers om met hogere energie dieper in de atoomkern door te dringen. De materiaalkundige fysici gebruiken versnellers waarmee vroeger atoomkernen gesplitst werden, maar die nu niet langer interessant zijn voor de kernfysica. Het aardige is dat ook de industrie met deze ontwikkeling is meegegroeid. Dezelfde firma, HVEE in Amersfoort, die vroeger deeltjesversnellers bouwde voor de kernfysici bouwt thans versnellers voor de materiaalfysici. De elementaire deeltjesfysica is langzamerhand geconcentreerd rondom gigantische versnellers in slechts enkele onderzoekcentra ter wereld. Voor de materiaalkunde zijn er in de laatste 40 jaar enkele duizenden kleine versnellers opgesteld bij de universiteiten, de overheidslaboratoria en de industrie. Van de versnellers bij CERN in Genève weet bijna iedereen dat ze gebruikt worden voor de speurtocht naar quark, gluon of Higgs-boson. Waar dienen al die andere versnellers dan voor?

Verreweg het grootste aantal deeltjesversnellers staat helemaal niet in de wetenschappelijke laboratoria maar, u raadt het nooit, in de fabrieken voor micro-elektronica, voor chips. Als geen andere industrie is de micro-elektronica de voortrekker van de moderne technologie. Er staat tegenwoordig veel negatiefs in de krant over Philips en andere chipfabrikanten, maar er is geen industrietak waar zo'n grote hoeveelheid geld wordt uitgegeven aan onderzoek en ontwikkeling. De elektronische industrie is in tien jaar tijd net zo groot geworden als de autoindustrie maar in micro-elektronica wordt aanzienlijk meer research en ontwikkeling gedaan. Dit heeft geleid tot een prijs/prestatie-verhouding die ongekend is. Ik heb wel eens de volgende vergelijking horen maken: wat er in de micro-elektronica gebeurd is, zou in de autoindustrie betekend hebben dat je thans een auto van de kwaliteit van een Rolls-Roys zou kunnen kopen voor de prijs van een doosje lucifers. Dit is vooral te danken aan de moderne materiaal-

kunde. Men heeft geleerd in het oppervlak van een schijf silicium complexe elektronische schakelingen en geheugens voor computers aan te brengen, door gebruik te maken van moderne fysische methoden zoals ionenimplantatie. De deeltjesversnellers die vroeger gebruikt werden voor kernfysica doen nu dienst als kanon, waarmee vliegensvlug en nauwkeurig een hoeveelheid vreemde atomen in het oppervlak van de chip geschoten wordt, precies daar waar deze atomen nodig zijn om de elektrische eigenschappen van het chipmateriaal te veranderen. Zo worden bepaalde plaatsen in een schijf silicium geleidend gemaakt en andere plekken juist isolerend door het implanteren van atomen met meer of atomen met minder elektronen dan silicium. Deeltjesversnellers worden hiervoor gebruikt, omdat de kernfysici hebben laten zien dat het mogelijk is uitsluitend met één specifieke soort atomen te schieten zonder dat ongewenste atomen het materiaal binnendringen. Vanwege de grote nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en uniformiteit is de techniek van implantatie zo populair geworden bij het vervaardigen van chips dat er over de hele wereld 3000 deeltjesversnellers uitsluitend voor dit doel staan opgesteld.

In andere branches is het gebruik van deeltjesversnellers nog in het stadium van research en ontwikkeling. Dat is wel zo interessant omdat er nog steeds nieuwe materiaaleigenschappen worden bereikt die allerlei toepassingen kunnen vinden. Zo heeft men ontdekt dat metaaloppervlakken keihard worden door ze met stikstofatomen te beschieten. Er ontstaat een beschermende laag die bestendig is tegen slijtage en corrosie en vaak ook een geringere wrijving geeft. Dit kan gebruikt worden in kogel-lagers. In Engeland worden de wielen van formule-I racewagens gemonteerd in hele dunne lagers. Ter bescherming worden de lagers beschoten met stikstof. Hoewel de oppervlaktelaag maar heel dun is en er in één wedstrijd weer afslijt, houden de lagers het zo tenminste een hele wedstrijd uit, hetgeen zonder stikstofimplantatie niet het geval is. Corrosiebestendigheid is ook van belang voor kunstledematen zoals knie- en heupgewrichten die vaak van licht metaal zijn. Het oppervlak van deze kunstgewrichten wordt voor het aanbrengen geïmplanteerd met stikstofionen, waardoor het oppervlak minder wordt aangetast door lichaamsvloeistoffen en het gewricht beter en langer blijft functioneren.

Ook in de chemische sector beginnen deeltjesversnellers door te dringen. In Italië heeft men ontdekt dat in polymeren zowat elke materiaal-

eigenschap gesynthetiseerd kan worden met behulp van een ionenversneller. Door hem te beschieten verliest een polymeer zijn waterstofatomen en de overblijvende koolstof vormt een laag die in bijna niets van diamant verschilt. Dit flinterdunne laagje diamant is onzichtbaar, maar goed isolerend en keihard. Als men het kanon te lang aan laat staan, dan verliest het laagje al z'n waterstof en ontstaat een wanordelijke laag grafiet. Dit is een metaalachtig geleidend materiaal. Zo kan men naar believen oppervlakken geleidend, halfgeleidend of isolerend maken, hard of zacht, doorschijnend of zwart. Ook voor technisch keramiek worden interessante effecten van ionenimplantatie gemeld. Van zichzelf is dit materiaal al hard. Na ionenimplantatie neemt de hardheid meestal nog toe terwijl de breekbaarheid afneemt. De extra atomen die in het oppervlak geschoten zijn, zorgen daar voor een spanning waarmee de eventuele breukvlakken op elkaar geperst worden. In glas wordt de brekingsindex lokaal veranderd door ionenimplantatie. Hiermee maakt men al lichtgeleiders, schakelaars, versterkers en zelfs lasers in een schijfje glas. Dit kan belangrijk worden voor telecommunicatie-doeleinden en zou kunnen leiden tot supersnelle computers die met licht werken.

Tot nu toe ging het uitsluitend om het bestralen van dode stoffen, maar deeltjesversnellers worden ook steeds vaker gericht op levende materie. Vanuit China wordt gerapporteerd dat men rijstzaden heeft geïmplantieerd en dat dit een veredelend effect heeft op sommige soorten, zodat de oogst aanzienlijk verbetert. In enkele versnellerlaboratoria heeft men reeds zoveel goede ervaring opgedaan met het behandelen van tumoren bij dieren, dat thans voorbereidingen worden getroffen om ook mensen te behandelen. Het grote voordeel van ionenbundels boven het gebruik van röntgenstraling is dat die slechts op een bepaalde plaats hun energie deponeren en daar bijvoorbeeld een tumor kunnen doden, zonder dat het omringende weefsel al te veel schade ondervindt. Helaas kan deze methode tot nu toe slechts worden toegepast voor ondiepe bestralingen, omdat de deeltjesversnellers die hiervoor beschikbaar zijn niet zo'n erg hoge energie hebben en de ionen dus niet zo diep doordringen.

Geen kernfysicus heeft kunnen voorzien dat het met de toepassing van deeltjesversnellers deze kant op zou gaan. De versnellers werden ontwikkeld en gebruikt voor fundamenteel onderzoek der materie. Hiertoe bouwden de kernfysici steeds krachtiger machines, maar de versnellers die ze

achterlieten kwamen vaak in andere handen en werden gebruikt voor onverwachte toepassingen, zowel bij het maken als het analyseren van moderne materialen op atomaire schaal. Bij de opening van het congres van de Europese fysische vereniging, begin september in Amsterdam, stelde de beroemde Nederlandse natuurkundige Casimir de vraag, of de moderne ontwikkelingen ten behoeve van de elementaire-deeltjesfysica nog wel effect zullen hebben op de visie die we op normale materie hebben. Hij meende deze vraag negatief te moeten beantwoorden. Toch hoeft het onderzoek daarom nog niet te worden gestopt. De hierboven geschetste ontwikkeling laat zien dat de kernfysica, die indertijd ook al als hemelbestormend of zelfs wereldvreemd werd gezien, heeft geleid tot revolutionaire ontwikkelingen in de materiaalkunde.

TSJERNOBYL

30 oktober 1990

De anti-kernenergie beweging heeft zichzelf deze maand een slechte dienst bewezen door te trachten met harde acties een discussie te verhinderen over plannen voor een kernenergie-eiland in zee. Bij notoire voorstanders van de bouw van meer kerncentrales, zoals Kistemaker en Dessens, werd 's nachts de voordeur dicht gelijmd en met schroeven vergrendeld en van Dessens z'n auto werden de banden lek geprikt. Het zou veel effectiever zijn indien de anti-kernenergie beweging het nieuwste boek van Zhores Medvedev: *The Legacy of Chernobyl*, cadeau zou doen aan de voorstanders van kernenergie en aan de leden van het parlement en de regering. Door de afgrijselijke verhalen vond ik het soms moeilijk om verder te lezen, maar voor wie vindt dat er in Nederland meer kerncentrales moeten komen is dit boek verplichte literatuur.

Zowel in de Sovjet-Unie als in het westen is de ramp in Tsjernobyl toegeschreven aan nalatigheid en stomiteiten van het personeel in deze kerncentrale. Aldus hoopte men de andere kerncentrales buiten schot te houden. Medvedev, geen tegenstander van kernenergie maar wel van het Sovjetregime, wil met zijn boek aantonen dat de ramp in Tsjernobyl in de eerste plaats moet worden toegeschreven aan het falen van het systeem in de USSR. Als bio-chemicus heeft hij jaren gewerkt in Obninsk waar kerncentrales ontwikkeld werden. Tegen deze achtergrond bespreekt hij de feiten en daarnaast draagt hij ook nieuw materiaal aan over de ramp zelf, de slachtoffers, de gevolgen voor het milieu en de kernenergie in de USSR en daarbuiten.

De grootste ramp in de kernenergie tot nu toe, begon als een veiligheidstest. In de nacht van 25 op 26 april 1986 werd een experiment gedaan om te meten hoelang een draaiende turbine nog stroom kan leveren voor de waterkoeling van de reaktor wanneer de stroom in de centrale uitvalt. De operator reduceerde daartoe het vermogen van de reaktor, maar net iets te ver waardoor deze dreigde te stoppen en het experiment onmogelijk werd. Door het veiligheidssysteem uit te schakelen en de controlestaven uit de reaktor te trekken begon het vermogen weer te stijgen.

Inmiddels draaide de turbine veel te langzaam toen de veiligheidstest begon en de stroomtoevoer werd uitgezet. De reaktor kreeg daardoor te weinig koelwater en binnen enkele seconden steeg de temperatuur tot ver boven de normale waarde. De kern begon te smelten en de reaktor ontplofte.

Medvedev beschrijft in detail de enorme consternatie die ontstond. De brandweer uit de wijde omgeving werd gemobiliseerd. Niet alleen stond reaktor no. 4 van Tsjernobyl in brand, maar door de explosie kwamen brandende blokken grafiet terecht op de aangrenzende turbinehal en andere gebouwen in de buurt. Drie kerncentrales op hetzelfde terrein liepen direkt gevaar. Terwijl honderden brandweerlieden aan het blussen waren, bleef de ontplofte reaktor grote hoeveelheden radioactieve deeltjes uitspugen. Alle stralingsmeters stonden tegen hun maximum aan. Speciale kleding die bescherming biedt tegen straling, was niet aanwezig en de ene brandweerman na de andere bezweek. Toch konden de branden worden geblust, behalve die in reaktor no. 4 hoewel vanuit een helikopter water naar binnen werd gespoten. De temperatuur in de kern was zo hoog dat het bluswater onmiddellijk verdampte waardoor nog meer radioactiviteit in de lucht kwam en er ook een gevaarlijke knalgasreactie dreigde. Wetenschappelijke specialisten die de volgende dag uit Moskou arriveerden, besloten dat de reaktor gebombardeerd moest worden met zand, klei en kalksteen. Het doel was de brand in de kern te smoren maar de radioactiviteit kwam er dwars doorheen, terwijl de warmte er niet uit kon en de temperatuur zo hoog opliep dat de reaktorkern wederom dreigde te smelten en door het fundament van het gebouw in het grondwater zou zakken. Onder de brandende reaktor werden gaten in de grond geboord waarin vloeibare stikstof werd gespoten om de bodem te bevriezen ter versterking. Op 5 mei, tien dagen na de eerste explosie, doofde de radioactieve vulkaan. De uitworp van radioactiviteit daalde plotseling van 8 miljoen curie/dag naar 150.000, nog steeds een waarde die hoger lag dan de totale emissie tijdens het beruchte ongeluk in Windscale in Groot Brittannië, of op Three Mile Island in de Verenigde Staten. Pas in oktober, nadat een betonnen sarcofaag om de hele reaktor was gebouwd, hield deze op de omgeving te besmetten.

Officieel heeft deze ramp aan 31 mensen het leven gekost, hoewel een getal van 300 ook in de Sovjetpers genoemd wordt. Ongeveer 600.000

mensen in de USSR, waaronder 250.000 kinderen, liepen een te hoge dosis radioactieve straling op en staan in medische dossiers geregistreerd als potentiële kankerpatiënten. Meer dan 130.000 mensen werden geëvacueerd en raakten definitief hun woonplaats kwijt; 1.000.000 mensen leven in een omgeving waar het stralingsniveau voortdurend gecontroleerd wordt, omdat hun huizen in een zwaar besmet gebied staan. Indien internationaal aanvaarde stralingsvoorschriften toegepast werden, dan zou 1.000.000 hectaren landbouwgrond in de USSR als verloren moeten worden beschouwd voor de komende 100 jaar en 2.000.000 hectaren voor de rest van deze eeuw. Volgens het Politbureau heeft de ramp aan de Sovjet-Unie 8 miljard roebel gekost. Medvedev schat dat de schade gelijk is aan de totale ontwikkelkosten voor kernenergie in de Sovjet-Unie sinds 1954. Als dat waar is, kan niemand meer claimen dat kernenergie economisch voordelig is. Ook buiten de Sovjet-Unie is de schade aanzienlijk, denk aan de rendieren in Zweden, het vlees uit Oost-Europa, groenten uit Duitsland, fruit uit Italië en de grote onenigheid die ontstond over in- en exportverboden binnen de EG. Over het effect op onze gezondheid valt nog niets met enige zekerheid te zeggen.

Medvedev schrijft de oorzaak van de ramp toe aan het verderfelijke systeem in de Sovjet-Unie. Hij komt met belangrijke gegevens, zoals de veiligheidstest die zondig moest plaatsvinden om te verbloemen dat de reaktor veel te vroeg en zonder deze test in gebruik was genomen teneinde de arbeiders aan een extra beloning te kunnen helpen. Ontwerpfouten en problemen bij de bouw werden om dezelfde reden verzwegen en omdat anders het plan van de Opperste Sovjet niet zou worden gehaald. Kernreactoren worden in de USSR gebouwd vlakbij dichtbevolkte gebieden, omdat niemand protesteert en de grond en de huizen van de staat zijn. Men houdt zich niet aan de veiligheidsnormen van het westen, omdat er geen parlementaire controle is en calamiteiten geheim gehouden kunnen worden. De ramp in Tsjernobyl was zo groot dat geheimhouding onmogelijk bleek. Daarom heeft deze ramp, volgens Medvedev, ook belangrijke politieke consequenties in de USSR. Niet alleen het vertrouwen in kernenergie is ondermijnd, maar ook het vertrouwen in de leiders en in het politiek economische systeem nam daardoor verder af. Natuurlijk is het te gemakkelijk om het personeel van de centrale in Tsjernobyl in het openbaar te berechten en in de gevangenis te stoppen. Natuurlijk is ook de Russische overheid schuldig en is het politieke systeem verderfelijk, maar

dat was al lang voor Tsjernobyl bekend en het systeem was al bezig, via glasnost en perestroika, zich te hervormen.

Een wereldwijd wantrouwen jegens kernenergie is waarschijnlijk de belangrijkste erfenis van Tsjernobyl. Niet alleen in Nederland zullen voorlopig geen kerncentrales meer worden gebouwd, de centrale van Shoreham bij New York, die 8 miljard dollar heeft gekost en waaraan 10 jaar is gewerkt, mocht niet in gebruik worden genomen. In landen met een vrije markteconomie kunnen de banken het risico niet meer dragen en dus worden er geen kerncentrales meer in aanbouw genomen en is de kernenergie-industrie op sterven na dood. Toch zal dit onherroepelijk tot problemen leiden. De USA is thans nog meer afhankelijk van olie-import dan tijdens de eerste oliecrisis van 1973. Het tekort op de betalingsbalans van de USA is in waarde gelijk aan de import van olie. Dit maakt Amerika geweldig kwetsbaar en verklaart het ingrijpen in de Golfcrisis. Zowel in Amerika als in Europa maakt men zich zorgen om de milieu-effecten van het gebruik van fossiele brandstof. Het broeikaseffect moge dan nog niet zichtbaar zijn, de zure regen heeft reeds onherstelbare schade aangericht. Energiebesparende maatregelen zullen niet voldoende zijn. Als de ontwikkelingslanden het peil van onze welvaart willen bereiken (en waarom niet?) dan zal de vraag naar energie enorm stijgen. Duurzame energie die niet vervuילend werkt, daaraan bestaat een grote behoefte. Hoewel de vooruitzichten voor zonne-energie uitstekend zijn, is het nog lang niet duidelijk dat hiermee wereldwijd in de toekomstige energiebehoefte zal kunnen worden voorzien. Het is dus ongewenst dat alle investeringen van 40 jaar onderzoek en ontwikkeling in kernenergie na Tsjernobyl zomaar worden afgeschreven. Dat kunnen wij ons niet veroorloven, niet ten opzichte van de generatie voor ons die de ontwikkeling van kernenergie tot stand heeft gebracht, en ook niet ten opzichte van de generatie na ons die kernenergie wel eens hard nodig zou kunnen hebben. Voordat kernenergie een substantiële bijdrage kan leveren aan de energiebehoefte in de wereld zal er nog veel onderzoek nodig zijn, want laten wij elkaar niets wijs maken: echt veilige kerncentrales zonder radioactief afval zijn er niet, niet in Tsjernobyl en niet bij ons.

The Legacy of Chernobyl, Zhores Medvedev, Norton, \$24.95

NATUURKUNDE-HOOFDSTAD

27 november 1990

De hoofdstad wordt geassocieerd met alfa en gamma, niet met bèta. Iedereen kent het Concertgebouw en het Muziektheater, het Rijks- en het Amsterdams Historisch museum, de Beurs en de Bijenkorf, Carré en Tuschinski en bij de UvA denkt men aan het Maagdenhuis, de Lutherse kerk en de Oudemanhuis-poort, misschien ook aan het gebouw van de Letterenfaculteit of van de Psychologie, maar niet aan de bètafaculteit op het Roeterseiland noch aan het Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer. “Studeren doe je in de Stad”, niet in de buitenwijken. Het Cultureel Supplement van deze krant wordt in Amsterdam gemaakt, maar de wetenschapsbijlage komt uit Rotterdam. Natuurkunde wordt geassocieerd met het beroemde Natuurkundig Laboratorium van Philips en dus met Eindhoven. Ook hebben veel Nederlanders wel eens gehoord van het Kamerling Onnes Laboratorium in Leiden, waar voor de oorlog enkele Nobelprijzen werden gewonnen. Sommige mensen weten dat de knapste levende fysicus in Nederland hoogleraar is aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Natuurkunde dat vinden de meeste Amsterdammers te moeilijk. Sommigen vinden het zelfs overbodig. Amsterdam zou best zonder kunnen. Ook zonder natuurkundige laboratoria zou Amsterdam nog steeds Amsterdam zijn. De faculteit Natuur- en Sterrenkunde van de UvA scoorde het slechtst bij de Verkenning Commissie Natuurkunde Onderzoek van zes jaar geleden. Het verhaal gaat dat bij het kwartetten in Slot Zeist Van Kemenaede, de toenmalige collegevoorzitter van de UvA, de faculteit natuur- en sterrenkunde heeft willen inleveren voor behoud van de politiek-sociale faculteit in Amsterdam. In het kader van taakverdeling en concentratie leek dit nog niet eens zo'n gek voorstel, maar minister Deetman weigerde.

Gelukkig maar, want “Amsterdam is het belangrijkste centrum voor natuurwetenschappelijk onderzoek in Nederland” zo schrijft de Commissie Kennisinfrastructuur Amsterdam aan burgemeester Van Thijn in een rapport dat binnenkort zal verschijnen. Voor de fysica zijn, per Nederlandse lokatie, de publikaties geteld die in de jaren 79 tot 89 door aldaar werkende wetenschappers zijn gepubliceerd in de internationale vakliteratuur. Hierbij zijn alleen tijdschriftartikelen en geen rapporten, con-

ferentiebijdragen of patenten geteld. Het rapport laat zien dat Amsterdam met 3500 publikaties veruit de grootste producent is in de Nederlandse natuurkunde. Eindhoven, met het beroemde Natuurkundig Laboratorium van Philips en de Technische Universiteit samen, is een goede tweede, vlak voor Utrecht, Groningen en Leiden. Delft met zijn Technische Universiteit, TNO en bedrijven als Oldelft, produceert nog niet de helft van de output van Amsterdam. Niet alleen in de natuurkunde is Amsterdam de andere steden de baas. In de chemie staat Amsterdam een, Utrecht twee, Leiden drie, en in de medische wetenschappen steekt Amsterdam met kop en schouders boven de rest uit.

Kwantiteit is natuurlijk niet alles. Tegenwoordig is ook kwaliteit tot op zekere hoogte te meten. Daartoe wordt gebruikt gemaakt van de Science Citation Index, die aangeeft hoe vaak een bepaald wetenschappelijk artikel wordt aangehaald in publikaties van anderen. Bovendien kan men aan elk artikel een bepaalde waarde toekennen, gemeten naar de waarde van het tijdschrift waarin het gepubliceerd staat. Op deze manier gemeten doet de Nederlandse natuurkunde het boven verwachting goed. Staan wij op de elfde plaats van de wereldranglijst waar het gaat om produktiviteit, gemeten naar kwaliteit komen wij op de zevende plaats. En binnen de Nederlandse universitaire natuurkunde staat, naar kwaliteit gemeten, Amsterdam op eenzame hoogte.

De laboratoria waar het natuurkundig onderzoek in Amsterdam plaatsvindt zijn van de faculteiten van de UvA en de VU, de FOM-laboratoria voor Atoom- en Molecuulfysica en voor Kernfysica en Hoge Energiefysica, het Nederlands Lucht- en Ruimtevaart-laboratorium en de bedrijfs-laboratoria van Koninklijke/Shell en van Fokker. Hun output is niet alleen wetenschappelijke publikaties maar ook en vooral goed opgeleide jonge mensen. Het onderzoek in de universitaire natuurkunde en bij de FOM-laboratoria in de Watergraafsmeer wordt gedaan door enkele honderden onderzoekers-in-opleiding. Voor de meesten van hen is het de eerste baan waar ze met groot enthousiasme aan beginnen zonder enig motivatieprobleem. Zij werken op contractbasis meestal voor vier jaar en moeten in die tijd voldoende resultaten boeken om op hun onderzoek te kunnen promoveren. Geen wonder dat de produktiviteit hoog is.

Bovendien komen er tegenwoordig grote aantallen onderzoekers uit het

buitenland op de Amsterdamse laboratoria werken. In de zestiger jaren was het aantal buitenlandse gasten op ons laboratorium slechts 3/jaar, in de zeventiger jaren steeg het aantal naar 9 en in de tachtiger jaren werden het 19/jaar. Op een totale laboratoriumbevolking van 80 wetenschappelijke medewerkers hebben wij dit jaar 20 buitenlanders die gemiddeld een half jaar blijven. Hun land van herkomst is in de eerste plaats de USA, de Sovjet-Unie is een goede tweede, gevolgd door Japan, pas daarna komen de Westeuropese landen. De onderzoekers uit het buitenland bevorderen de produktiviteit juist omdat zij maar voor enkele maanden op ons laboratorium verblijven. Zij willen natuurlijk niet met lege handen naar huis, dan zou alle moeite zowel voor hun als voor ons tevergeefs zijn geweest. Dus wordt er door beide partijen extra hard gewerkt zodat aan het eind van het bezoek niet alleen het onderzoek klaar is maar ook de publikatie. Zo komt het dat meer dan een derde van onze output geschreven wordt samen met auteurs uit het buitenland. Amsterdam heeft een grote aantrekkingskracht op buitenlanders. Wij krijgen jaarlijks veel meer aanvragen dan wij verwerken kunnen. Ondanks alle negatieve publiciteit over drugsverslaafden en onveiligheid, over hondepoep en verkeersopstoppen, over verloedering en hoge huren, is de hoofdstad populair en komt men liever naar Amsterdam dan naar Eindhoven of Delft.

Trouwens die grote aantrekkingskracht geldt ook voor een bepaald slag jonge mensen uit eigen land. Zij komen vanuit Utrecht, Eindhoven, Groningen en zelfs Leiden en worden op slag Amsterdamer, of eigenlijk zijn zij het al. Na hun opleiding in Amsterdam moeten zij plaats maken voor een andere promovendus en een baan vinden in een ander laboratorium meestal buiten de hoofdstad. De Commissie Kennisinfrastructuur Amsterdam beveelt burgemeester Van Thijn aan te bevorderen dat meer kennisintensieve bedrijven uit het buitenland de hoofdstad kiezen als vestigingsplaats. Waarom alleen buitenlandse bedrijven? Als mijnheer Timmer zijn Philips werkelijk wil veranderen, als hij wil winnen, dan moet hij geen mensen ontslaan maar hun produktiviteit te verhogen. In zijn beroemde Natuurkundig Laboratorium kan dat door het te verhuizen naar de natuurkunde-hoofdstad. Misschien wil Van Kemenaede, die nu burgemeester van Eindhoven is, weer bemiddelen.

SCHIPPEREN NAAST GOD

27 december 1990

In het *NRC-Handelsblad* stond een paar jaar geleden elke zaterdag een pagina-grote foto van steeds een andere beroemdheid, met een kort interview van één kolom ernaast. Ik herinner mij een man, staand bovenop een voetstuk, in zijn rechterhand iets boven zijn hoofd tilt hij een wereldbol. Hij is geen Atlas, hij staat kaarsrecht, het kost hem niet de minste moeite. De foto is in harmonie met het interview:

- De zin van zijn werk? Het gaat puur om het weten.
- Het principe van leven is te begrijpen.
- Zelfs een machine als de mens is na te bouwen.
- Wat wij uiteindelijk proberen te ontdekken is: waarom is alles zoals het is?
- Je moet als fysicus een gespleten persoonlijkheid hebben om nog in een god te kunnen geloven. Zoeken naar religieuze verklaringen is het probleem verplaatsen.
- Je zoekt naar een theorie die alles op een logische, elegante manier verklaart. Het denken dat die bestaat, misschien is dat ook een soort geloof. Het is het aller fundamenteelste wat je nodig hebt om de wereld te begrijpen.

Dit is de Nederlandse Nobelprijswinnaar Simon van der Meer ten voeten uit. Arroganter kan het niet?

Toch wel, in zijn *God en de nieuwe natuurkunde* schrijft Paul Davies: “Het lijkt misschien vreemd, maar ik heb het gevoel dat de natuurwetenschap een zekerder weg vormt tot God dan de religie”. Dit lijkt erg op Stephen Hawking die aan het eind van *Het heelal* schrijft: “Zodra we een volledige theorie ontdekken zal deze na verloop van tijd voor iedereen begrijpelijk zijn, niet alleen voor een handjevol geleerden. Dan kunnen allen, filosofen, geleerden en gewone mensen, deelnemen aan de discussie over de vraag waarom wij en het heelal bestaan. Wanneer we het antwoord op die vraag kennen is dat de bekroning van het menselijk verstand - want dan kennen we de geest van God”.

Wie is er opgewassen tegen dit geleerde geweld? Arme predikanten en priesters, arme theologen. De kerken raken leeg, het grote publiek luistert niet meer. In de boekwinkels vinden de werken over de nieuwe natuur-

kunde gretig aftrek, het zijn stuk voor stuk bestsellers.

Gelukkig is er oppositie vanuit de natuurkunde zelf. Vorig jaar stak Ad Lagendijk de draak met *De arrogantie van de fysicus*. In een even geestig als overtuigend betoog rekende hij af met de beloften van zijn vakgenoten. En nu komt prof.dr.ir. A.van den Beukel, metaalfysicus in Delft, de predikanten te hulp met een ontroerende geloofsbelijdenis: *De dingen hebben hun geheim, gedachten over natuurkunde, mens en God*.

Hij heeft een loopbaan van ruim dertig jaar onderwijs en onderzoek aan de Technische Universiteit Delft achter zich. In die zelfde tijd heeft hij getracht een gelovig christen te zijn. Nu vraagt hij zich af of het waar is dat hij een gespleten persoonlijkheid heeft, zoals Simon van der Meer beweert. In zijn boek ziet Arie van den Beukel de vraag onder ogen of natuurkunde en geloof wel samen kunnen gaan, en zo ja, hoe?

Het antwoord is even eerlijk als overtuigend. Ontwapende Ad Lagendijk zijn vakgenoten door ze belachelijk te maken, Arie van den Beukel doet het met kracht van argumenten. In korte begrijpelijke zinnen legt hij uit hoe het er in de moderne natuurkunde voorstaat. Het boek is alleen al de moeite waard omdat in het eerste deel de nieuwe natuurkunde wordt uitgelegd in gewoon Nederlands. Het wetenschappelijk bedrijf, zoals dat tegenwoordig gaat, wordt van binnenuit verteld door iemand die er middenin staat en verantwoordelijkheid draagt. Wie wil weten wat de consequenties zijn van de onzekerheidsrelatie en van het golfkarakter van materie op het wereldbeeld van de natuurkundige, die moet dit boek lezen. Het ademt bescheidenheid omdat de fysicus, van de quantummechanica en de chaostheorie, geleerd heeft dat zijn vak maar een heel beperkte voorstellende waarde heeft. Als het over de 'revoluties' in de natuurkunde gaat wordt Casimir geciteerd: "...een benaderende beschrijving van een beperkt gedeelte der fysische verschijnselen, die op hun beurt slechts een beperkt gedeelte van onze menselijke ervaringen uitmaken."

Nadat de natuurkundige op z'n plaats is gezet, klimmen we op naar God. De God van de fysici. In het tweede gedeelte van het boek wordt nagegaan welke rol God speelt in het leven en de wereldbeschouwing van een viertal prominente fysici. De God van Isaac Newton (1642-1727) is vóór alles een persoonlijke God. God is zijn Heer en Meester. Newton wist zich dienaar van God en schreef daar ook uitvoerig over in zijn

Principia, waarschijnlijk het boek dat de meeste invloed had op de hele natuurkunde. De visie van Blaise Pascal wordt het beste verwoord in een van zijn *Pensées*: “Het is niet zo eenvoudig. Als er niets op het bestaan van een God wees zou ik ongelovig worden. Als ik overal bewijzen vond voor het bestaan van God zou ik veilig en rustig geloven. Maar ik zie te veel bewijzen om te ontkennen dat God bestaat en te weinig bewijzen om helemaal zeker te zijn.” Deze moderne visie werd geuit door een man die leefde van 1623 tot 1662. Bijna iedereen kent de God van Einstein die niet zou dobbelen, maar Einstein geloofde niet in een persoonlijke God die zich met hem of de wereld bemoeit. Toch was hij religieus: “Langs de weg van het begrijpen bereikt hij een verregaande bevrijding van de kluisters van persoonlijke hoop en verlangens en bereikt zo de nederige geesteshouding tegenover de grootheid van de rede die in het bestaan zit ingebakken en die, in zijn diepste diepten, ontoegankelijk is voor de mens. Deze houding lijkt mij echter religieus in de hoogste zin van het woord.” De vierde fysicus is Stephen Hawking, maar hoe hij over de geest van God denkt dat hebben we hierboven al gezien.

In het laatste deel van zijn boek wordt het duidelijk dat de voorkeur van Arie van den Beukel uitgaat naar de visie van Pascal, die aan zijn boven geciteerde gedachte nog toevoegt: “Mijn hart streeft er naar om de waarheid te weten en die te volgen”. Het is dus een kwestie van het verstand én het hart. Volgens Arie van den Beukel is er geen sprake van concurrentie tussen God en de natuurwetten. “De natuurwetten weerspiegelen de trouw van God, die daardoor een leefbaar bestaan voor de mens heeft mogelijk gemaakt. Natuurlijk is dit een geloofsuitspraak, die niet gefundeerd is in de natuurwetten zelf. Men ziet het er om zo te zeggen niet aan af, maar krijgt er pas oog voor als men elders in de menselijke ervaringswereld de trouw van God heeft leren kennen.” Dan volgt het mooiste stuk van het boek dat ik niet zal verklappen omdat het zo spannend is omdat het zo persoonlijk is en toch niet sentimenteel maar goud eerlijk zoals hij zelf is.

Het is een prachtig boek dat ik in één adem heb uitgelezen. Toch geloof ik dat de schrijver juist datgene aantoont wat hij met dit boek hoopt te weerleggen, namelijk dat hij door de natuurkunde en het geloof in tweeën wordt gedeeld. Hij spreekt van het verstand en het hart. Het een is de zetel van de natuurkunde het andere van God. De natuurkunde vindt hij

uniek en fascinerend maar niet prettig. Voor de ontroering neemt hij ons mee naar een ander, een tweede leven na werktijd buiten het lab in de gewone wereld van zijn vader, zijn school en zijn kerk. De natuurwetten weerspiegelen voor hem wel de trouw van God, maar het ontdekken daarvan is voor hem persoonlijk geen goddelijke ervaring.

A. van den Beukel, De dingen hebben hun geheim, gedachten over natuurkunde, mens en God. (Ten Have/Baarn, 1990) 190p., f24,90.

DE TEMPEL DER WETENSCHAP

24 januari 1991

Er is een beroemde toespraak van Einstein ter ere van de 60ste verjaardag van Max Planck. Het begin is als volgt.

De tempel van de wetenschap is een veelzijdig bouwwerk. De mensen die er zich in bewegen zijn even verschillend als de geestelijke krachten die hen naar de tempel hebben geleid. Velen houden zich met wetenschap bezig in het aangename besef over een superieure geesteskracht te beschikken. Zij zien de wetenschap als hun favoriete tak van sport, die hun een gevoel van kracht geeft en hun ambities moet bevredigen. Voorts zijn in groten getale degenen aanwezig die hier om puur utilistische redenen een offer uit hun hersenpan willen brengen. Wanneer er nu een engel Gods zou verschijnen, om iedereen te verdrijven die tot één van beide categorieën behoort, dan zou de tempel opvallend leeg worden. Maar toch zou er nog een enkeling uit verleden of heden overblijven, onder wie Max Planck, die ons daarom zo dierbaar is.

In het afgelopen jaar werd professor Buck uit de tempel der wetenschap verdreven. Is hij ons daarom niet meer dierbaar? En zijn de wetenschapsjournalisten te vergelijken met de engelen van God die de tempel der wetenschap hebben gezuiverd?

Volgens zijn collega's is Buck een zeer bekwaam biochemicus. Hij heeft een methode ontwikkeld voor de synthese van een bepaald soort DNA, dat gebruikt kan worden bij de bestrijding van alle mogelijke virussen. De farmaceutische industrie vindt de methode belangwekkend genoeg om met Buck samen te werken in zijn laboratorium. Dat is nogal wat. Meestal vinden de grote industriële laboratoria in ons land dat ze het onderzoek wat echt voor de onderneming van belang is beter zelf kunnen doen en dat ze daarvoor de universiteiten niet nodig hebben. Buck moet dus wel iets bijzonders hebben gedaan. Op een avond ziet Buck op de televisie Goudsmit in een programma over AIDS en Buck komt op het idee om met Goudsmit samen te proberen of het gesynthetiseerde DNA zal helpen tegen het AIDS-virus. Ook dit is iets bijzonders want de meeste onderzoekers in dit land houden van "schoenmaker blijf bij je leest". De resultaten van het gezamenlijk onderzoek zijn positief en Buck en

Goudsmit publiceren hun werk in het Amerikaanse tijdschrift *Science*. Daarmee kiezen zij niet de weg van de minste weerstand want zij hadden het ook kunnen opsturen naar een lokaal tijdschrift met minder strenge referees, waarin de minder ambitieuze geleerden hun onderzoeksresultaten publiceren. Helaas heeft de redactie van *Science* niet de goede referees geraadpleegd, want het bij Buck gesynthetiseerde materiaal blijkt verontreinigd. Buck zou niet naar zijn medewerkers hebben geluisterd die hem gewaarschuwd hadden voor de verontreinigingen in zijn preparaten. Hij zou misbruik hebben gemaakt van zijn positie als hoogleraar en vakgroepsleider. Jaloerse collega's van Buck en Goudsmit haasten zich om beiden in diskrediet te brengen en Buck wordt zelfs uit de tempel der wetenschap verdreven.

Ik geloof niet dat Buck te kwader trouw is geweest. Ik denk dat hij echt heeft gemeend een nieuw resultaat te hebben gevonden dat de moeite waard was om te publiceren. Natuurlijk werd hij niet alleen gedreven door puur wetenschappelijke redenen, maar ook door eerzucht en hij hoopte vast dat zijn methode bruikbaar zou zijn tegen AIDS. Maar Buck moet ook zelf verontrust zijn geweest over de verontreinigingen die in zijn preparaten zo duidelijk zichtbaar waren. Als je een nieuwe stof synthetiseert volgens een nieuw procédé, dan vecht je in het begin altijd tegen verontreinigingen en heb je te weinig van de gewenste stof om geheel te overtuigen. 'The proof of the pudding is in the eating' en Buck en Goudsmit hadden de pech dat zij werden misleid door de positieve resultaten bij de proeven met het AIDS-virus. Het werkte en dáárom, zo moeten zij gedacht hebben, doen de verontreinigingen er kennelijk niet toe.

Dit is waarachtig niet de eerste keer dat wetenschappers door eigen resultaten misleid worden. Zo dachten Fleischman en Pons dat ze werkelijk koude fusie hadden ontdekt, en Benveniste meende het experimentele bewijs voor homeopathie te hebben geleverd. Bednorz en Müller dachten supergeleiding bij hoge temperatuur te hebben gevonden. Van deze recente voorbeelden, die alle drie in het centrum van de belangstelling hebben gestaan, is alleen de laatste waar gebleken. Bednorz en Müller kregen de Nobelprijs en de anderen werden uit de tempel der wetenschap verwijderd, omdat ze ten onrechte bleven geloven in hun eigen observaties, maar vooral omdat ze zijn bezweken onder de druk van de publiciteit.

In de euforie over zijn onderzoeksresultaten bevestigde Buck voor het NOS-journaal dat het AIDS-probleem weldra de wereld uit zou zijn en hij zelf een Nobelprijs naar Nederland zou halen. Toen kon de dagbladpers niet achterblijven en dus kwamen woorden van gelijke strekking op de voorpagina's terecht. Daarmee werd het grote publiek misleid en werden valse verwachtingen gewekt bij patiënten. Tot overmaat van ramp bleken de onderzoeksresultaten nog onbetrouwbaar ook. En daarmee was Buck vogelvrij. De industriële partner trok zich terug. Biochemici in Nederland waren bereid voor de krant het *Science*-artikel van Buck en Goudsmit in het openbaar te kraken op een manier die ze zelfs als anonieme referees van *Science* uit hun hoofd zouden hebben gelaten. Colleges van bestuur en universiteitsraden gingen zich ermee bemoeien. Het hoofd van Buck rolde en misschien volgen er nog meer, want deze muis heeft kennelijk een lange staart.

Het is evident dat er door Buck fouten zijn gemaakt, maar als iedere wetenschapper die fouten maakt meteen uit het ambt zou worden gezet dan was het bedenkelijk leeg in de tempel der wetenschap. Buck's fouten in het contact met de media werden hem noodlottig. Als hij zich niet samen met zijn hondje voor het NOS-journaal had laten afficheren als de nieuwe Pasteur of dokter Flemming dan was een rectificatie aan *Science* genoeg geweest om de zaak weer te sluiten.

De hele affaire had voorkomen kunnen worden als Buck bij het eerste contact met de pers tegen zichzelf in bescherming was genomen. Dit behoort tot de taken van de wetenschapsvoorlichter. Weliswaar hebben de meeste wetenschapsjournalisten na de eerste nieuwsgolf de hele zaak gerelativeerd, maar toen bleek dat het geen zuivere koffie was openden ze een ware klopjacht op Buck. Dat had best achterwege kunnen blijven, echter wetenschapsjournalisten zijn niet slechts onbaatzuchtige waarheidszoekers, zij hopen op een primeur en verlangen net als iedereen naar een snelle oplossing voor grote problemen als AIDS, kanker, olie (oorlog en vrede). In die zin verschilt de tempel der journalistiek niet van die der wetenschap.

POSTMODERN WETEN

28 februari 1991

Natuur- en scheikunde staan bekend als proefondervindelijke wetenschappen. In deze vakken is een theorie pas waar als zij toetsing door een experiment heeft overleefd. De proef leidt meestal tot een nieuw idee en dus tot een nieuwe proef. In een voortdurende wisselwerking tussen theorie en experiment is, in de moderne tijd, een indrukwekkende hoeveelheid kennis opgebouwd. Ook in andere vakken wordt veel wetenschappelijke kennis opgebouwd, maar niet proefondervindelijk. Daarin zou door de komst van de computer verandering kunnen komen.

De invoering van de computer wordt wel eens de tweede industriële revolutie genoemd. Maar computers worden in overgrote meerderheid gebruikt als schrijfmachine, als archiefkast of als naslagwerk. "Het lijkt wel de revolutie van de Dorknopers", zo schrijft Daan Frenkel in zijn *Computerspelletjes: de postmoderne wetenschap*, waarschijnlijk het eerste essay over computersimulaties (De Gids, honderdvierenvijftigste jaargang nr. 2). In de natuur- en scheikunde is de manier waarop we onderzoek doen door de computer veranderd. De consequenties van een theorie kunnen met behulp van de computer meestal gemakkelijk kwantitatief worden gemaakt. Daarmee wordt de voorspellende waarde van een theorie vergroot en de vergelijking met het experiment vergemakkelijkt. Experimenteren zonder computer is ondenkbaar geworden en dan niet alleen voor het verzamelen en verwerken van de gegevens. Tegenwoordig wordt het experiment steeds vaker door de computer bediend in plaats van door de experimentator. Net als bij de afstandsbediening van onze televisie zitten er op de moderne apparatuur in het laboratorium geen knoppen meer waaraan gedraaid wordt. De experimenten worden op afstand bestuurd via een toetsenbord van een lokaal werkstation.

Naast deze rol in het theoretische en het experimentele onderzoek wordt de computer tegenwoordig ook gebruikt op een manier die waarschijnlijk niet voorzien is geweest. In de bètawetenschappen worden bepaalde aspecten van de fysische wereld als een computerspelletje nagebootst. In zekere zin spelen we voor God: we kunnen in de computer

iedere modelwereld scheppen die we willen. In de praktijk betekent het dat we een model bedenken voor datgene wat we willen bestuderen zoals een stromende vloeistof, of de atmosfeer op aarde, of zelfs het hele universum. Daarna vertellen we aan de computer hoe de natuurwetten luiden van die vloeistof, die atmosfeer of dat universum en dan zeggen we: "O.K. dit zijn de spelregels, reken nu maar uit wat er gaat gebeuren". Daarna gaan we gewoon naar ons beeldscherm zitten kijken naar wat er terecht komt van onze schepping.

In zijn essay beschrijft Daan Frenkel verschillende computersimulaties. Het meest fascinerend is een heuse ontdekking die hij zelf deed per computer. Het gaat om vloeibare kristallen. Iedereen kent ze, want ze zitten in het beeldscherm van digitale horloges en zakrekenmachines en ook in platte tv-schermen. Vloeibare kristallen bestaan bijvoorbeeld uit langwerpige moleculen in een oplossing. De moleculaire staafjes bewegen kras door elkaar, maar kunnen onder bepaalde omstandigheden in de vloeistof geordend worden, allemaal dezelfde kant op gericht. Deze ordening wordt gebruikt bij het maken van afbeeldingen met vloeibare kristallen.

Daan Frenkel stelde de vraag of een regelmatige rangschikking kan ontstaan louter en alleen doordat de staafjes elkaar in de weg zitten, elkaar afstoten. Volgens sommige chemici zou afstoten alléén niet voldoende zijn en kan orde in het mengsel slechts ontstaan doordat de moleculen elkaar niet alleen in de weg zitten, maar ook aantrekken. Op korte afstand stoten moleculen elkaar altijd af, maar op grotere afstand vindt er meestal een aantrekking plaats. Nu kun je echte moleculen hun aantrekkingskracht niet gemakkelijk ontnemen, maar in de computer kan dat wel. Daan Frenkel simuleerde het gedrag van gewone harde staafjes, zeg maar: krijtjes. Eerst vond hij niets bijzonders. De staafjes bewegen kras door elkaar en als je meer staafjes bij elkaar stopt, dan gaan ze allemaal in dezelfde richting liggen, gewoon omdat je meer ongekoekte spaghetti in een bus kunt doen door de staafjes parallel te houden dan door ze, als mikadostokjes, door elkaar te gooien. Bij hogere dichtheid gebeurt er echter iets bijzonders met de gerichte moleculen. Als ze worden samenge-drukt, vormen de staafjes spontaan een zogenaamd smectisch vloeibaar kristal, ze gaan in lagen bovenop elkaar staan. Hieruit blijkt dat het voor het verkrijgen van orde in een vloeistof niet nodig is dat de moleculen

elkaar aantrekken. Ze vertonen collectief gedrag, terwijl ze elkaar uitsluitend afstoten. En als Daan Frenkel de vorm van zijn moleculen verandert, harde plaatjes simuleert in plaats van harde staafjes, dan vindt hij een andere ordening: kolommen in plaats van lagen. Hij meent zelfs een extra fase te hebben gevonden die experimenteel nog niet is waargenomen. De computer voorspelt een stapeling van plaatvormige moleculen die de fysisch-chemici nog moeten ontdekken.

Waarom zouden alleen fysici en chemici op ontdekkingsreis gaan per computer? Waarom niet ook sociologen of economen? Ook zij zouden de vraag kunnen stellen of orde in de maatschappij uitsluitend kan ontstaan door onderlinge aantrekking, zoals veel mensen denken, of dat ook afstoten tot ordening leidt. Niet alleen 'War-Games', maar vele aspecten uit de levens- en de maatschappijwetenschappen zouden per computer gesimuleerd kunnen worden. Natuurlijk is pac-man nooit een echt mens, net zomin als een krijtje een echt molecuul is. Toch kunnen er, in het postmoderne weten, zinvolle vragen aan de orde worden gesteld en soms komen er onverwachte antwoorden. Zo zouden we, uit een vergelijking tussen computersimulaties en de maatschappij, kunnen leren wat er terecht komt van de menselijke vrije wil. Computersimulaties maken het mogelijk om proeven te doen in wetenschapsgebieden waar tot nu toe niet geëxperimenteerd kon worden. De computer zou meer vakgebieden kunnen maken tot proefondervindelijke wetenschap.

WETENSCHAPSROMANS

28 maart 1991

Van Nooit Meer Slapen zal iedereen zich de muggen herinneren. Ik dacht dat het ook nog over God ging. Op zoek naar meteorieten wordt er onderweg door Lapland veel gediscussieerd over de schepper en als Alfred zonder resultaat uit het hoge noorden terugkeert ontvangt hij de steen uit de hemel van zijn moeder. Maar in *Vrij Nederland* zei prof. Janssen dat het een wetenschapsroman is en Jan Fontijn vermoedde dat Hermans afrekent met zijn illusie een groot wetenschapsman te worden. Dat kon ik mij niet zo herinneren, 25 jaar geleden moest ik mijn eerste onderzoek nog doen, dus ben ik *Nooit Meer Slapen* opnieuw gaan lezen en zo kwam ik enkele krasse uitspraken tegen over de wetenschap.

Hoofdstuk 1 besluit Hermans met: “Wat is wetenschap? Wetenschap is de titanische poging van het menselijk intellect zich uit zijn kosmisch isolement te verlossen door te begrijpen!” In het volgende hoofdstuk wijst een Noorse geoloog prof. Nummedal de jonge Nederlandse onderzoeker, Alfred, zijn plaats: “Maar waar blijven het diepe inzicht en de natuurlijke vertrouwdheid met de grote problemen, als iemand zijn opleiding krijgt in een laag landje van modder en klei, zonder één berg?” En even verder wordt het nog duidelijker: “Meneer! Ik zeg u, als een heel volk zich eeuwenlang specialiseert in het wonen op een stuk grond dat eigenlijk aan de vissen toebehoort, een terrein dat feitelijk niet voor mensen geschapen is, dan moet zo’n volk er op den duur een speciale filosofie op na houden die niets menselijks meer heeft! Een filosofie die uitsluitend op zelfbehoud is gebaseerd. Een wereldbeschouwing die er alleen maar op gericht is het voelen van nattigheid te voorkomen! Hoe kan een dergelijke filosofie algemene geldigheid bezitten? Waar blijven de grote problemen op die manier?” Desondanks begint Alfred aan zijn onderzoekopdracht, van zijn Nederlandse promotor prof. Sibbelee, in Lapland bewijzen te vinden voor het idee dat gaten in het Noorse landschap afkomstig zijn van meteorietinslagen. Alfred is slecht voorbereid en begaat onderweg de ene stommitheit na de andere, maar onderwijl worden de grote problemen besproken met zijn tochtgenoten. Zoals op pag. 129:

“- En toch, hakkelt Mikkelsen in gebroken Engels, toch moet God heelal

geschapen hebben, want alle volkeren hebben in die geest gedacht.

- En wat bewijst dat dan?

- Dat de mens het niet zonder een verklaring kan stellen.

- Ach, loop door. Het bewijst alleen maar dat hij tevreden is met een verklaring die geen verklaring geeft.”

En op pag. 185: “Ja. Wittgenstein heeft gezegd: de feiten horen alle alleen maar tot de opgave, niet tot de oplossing. Het mystieke is niet hoe de wereld is, maar dat zij is.” Onderwijl loopt Alfred aan de feiten voorbij, een felle lichtflits en een keiharde knal brengen hem niet uit zijn koers. Als hij uit het muggenland terugkeert in de bewoonde wereld, leest hij in de krant van een expeditie die erop uit is gestuurd om naar meteorieten te zoeken op de plaats waar de lichtflits werd waargenomen.

Alfred heeft weliswaar niet kunnen slapen van de muggen en de witte nachten, maar onderweg liep hij eigenlijk alleen maar te dromen. Kennelijk heeft hij van prof. Sibbelee nog niet geleerd waar het in het onderzoek om gaat. Terwijl hij doelloos rondwaalt en zichzelf beklagt over het uitblijven van belangwekkende ontdekkingen, zijn de leerlingen van prof. Nummedal dagelijks bezig het landschap in detail op te meten. Onderzoeken is meten, en het kost ongelooflijk veel moeite en persoonlijke inzet van de onderzoeker om enkele betrouwbare gegevens in het waarnemingenboek te krijgen. Het lijkt wel of Hermans wil zeggen dat het voor hem niet de moeite waard is zolang het niet over de schepping zelf gaat. En het is hopeloos daarover opheldering te krijgen, niet alleen onder in het kleine landje bij de zee maar zelfs boven in Lapland vlakbij de noordpool, waar onze wereld om draait.

Toch zijn het de leerlingen van prof. Nummedal die de wetenschap vooruit helpen. Door meten tot weten. Het is de grote kracht van wetenschappelijk onderzoek dat het mogelijk is om een probleem volledig van zijn omgeving te isoleren, het nauwkeurig te definiëren én op te lossen. Natuurlijk gaat het maar om hele kleine, want oplosbare, problemen. Maar het is het voorrecht van de wetenschappelijk onderzoeker dat hij in staat is kleine witte vlekken op de kaart van onze kennis te vinden en als eerste in te vullen. In die zin zijn er ook in de moderne tijd nog vele ontdekkingsreizen te maken. Het kost onwaarschijnlijk veel van de onderzoeker en zijn omgeving, maar wie eenmaal het laaiend enthousiasme heeft leren kennen van de ontdekking die raakt ervan bezeten. De ontdekking, ook al is

die nog zo klein en onbetekenend, is de grote verleiding van de wetenschap.

In *Possession*, een recente wetenschapsroman waarvoor Antonia Byatt zojuist de Booker Prize ontving, wordt het onderzoek even meeslepend beschreven als het is. De jonge literatuurwetenschapper, Roland, is gepromoveerd op een studie van een 19e eeuwse dichter Ash. In de bibliotheek ontdekt hij twee kladversies van een door Ash geschreven liefdesbrief aan een niet nader geïdentificeerde vrouw. Roland beseft de eerste te zijn die deze brieven vindt, steekt ze bij zich en gaat op zoek naar de geadresseerde. Een enerverende tocht die diep zal ingrijpen in zijn privéleven. Het blijkt te gaan om La Motte, een dichteres uit de 19e eeuw, die het idool is geworden van enkele afdelingen vrouwenstudies in Engeland en Amerika. Samen met Maud, die gespecialiseerd is in de dichteres, wordt een complete briefwisseling tussen de twee 19e eeuwse dichters gevonden. Zij blijken een korte verhouding te hebben gehad met verstrekkende gevolgen op beider oeuvre. Eerdere interpretaties van hun poëzie moeten drastisch herzien worden, nadat Roland en Maud meer details te weten komen via een speurtocht die hun beider leven volledig domineert. De twee worden gedreven door de hete adem van de concurrentie in hun nek en door het gevoel dat ze bezig zijn een geweldige ontdekking te doen. Tijdens het oplossen vergroot de puzzel zich voortdurend, ook omdat de concurrenten puzzelstukjes in handen blijken te hebben, waarvan alleen Roland en Maud weten waar ze precies op hun plaats vallen. Als het beeld compleet is zijn beiden hun idool kwijt, maar het onderzoek heeft hun tot elkaar verleid. *Possession* toont daarmee aan hoe opwindend wetenschappelijk onderzoek kan zijn.

Wie wil weten wat wetenschap is, die kan het beste op onderzoek uit gaan. Een goed alternatief is het lezen van wetenschapsromans. In *Nooit Meer Slapen* beleeft men de teleurstelling van de wetenschap indien het onmogelijke wordt verlangd. In *Possession* komt men in de verleiding van de wetenschap, die frustraties doet vergeten zodra er een ontdekking wordt gedaan, ook al is die nog zo klein.

ANDERE NATUURKUNDE

18 april 1991

Wie jarig is, die moet trakteren. Volgens vaderlands gebruik heeft het bestuur van de jarige stichting FOM de Nederlandse wetenschap getrakteerd en een bundel essays doen verschijnen over interessant fysisch onderzoek vanuit 'andere' invalshoeken.

Gedurende de eerste helft van deze eeuw heeft de Nederlandse natuurkunde internationaal een vooraanstaande plaats ingenomen. Door het uitbreken van de tweede wereldoorlog werd er, vooral op het gebied van de kernfysica, een enorme achterstand opgelopen. Om daaraan iets te doen besloot de regering in april 1946 tot het oprichten van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM), 'tot nut van het algemeen en dat van het hoger onderwijs'. Voor een georkestreerde aanpak van het natuurkundig onderzoek aan de universiteiten richtte FOM werkgemeenschappen op, een voorbeeld dat inmiddels in andere wetenschapsgebieden is nagevolgd. Voor bepaalde vakgebieden werden door FOM instituten gesticht, die onderzoekschool zijn *avant la lettre* en als voorbeeld dienen bij het concretiseren van de ministeriële plannen rondom onderzoekscholen aan de universiteiten. In de afgelopen 45 jaar heeft FOM aan zijn missie voldaan, de achterstand werd na de oorlog snel ingelopen. Volgens *Science Watch* staat Nederland thans op de vijfde plaats van de wereldranglijst en dat komt mede door de hoge kwaliteit en produktiviteit in de natuurkunde.

De richting van het natuurkundig onderzoek in Nederland vertoont een grote dynamiek. Hoewel FOM zich in de begintijd vooral met kernfysica bezighield, wordt thans nog niet de helft van het budget aan dat onderwerp besteed. Naast het onderzoek dat wordt uitgevoerd in bestaande werkgemeenschappen en instituten stelt FOM zich open voor interessante uitdagende fysica in gebieden die nú niet in FOM-verband intensief worden beakkerd. Daarvoor moet FOM de omgeving verkennen en uiteindelijk beleidsdiscussies voeren over het niet of wel inslaan van een nieuwe weg, eventueel door bekende paden te verlaten. In de essays die door FOM bij elkaar zijn gebracht geven de auteurs vanuit verschillende invalshoe-

ken een persoonlijke visie op uitdagende (fundamenteel) fysische vraagstellingen binnen het betreffende vakgebied, gevolgd door eventueel suggesties voor mogelijke activiteiten van FOM op dit gebied. De bundel is een drieluik en geeft een kijk op nieuwe fysica in: de maatschappelijke omgeving, het interdisciplinair onderzoek en de eigen fundamenteel fysische omgeving.

Zo wordt aan fysici gevraagd een relevante bijdrage te leveren aan de milieuproblematiek door methoden te ontwikkelen voor het meten van sporegassen, ozon, NO, NO₂, SO₂, NH₃, ClO, etc. in verschillende onderdelen van de atmosfeer. Daarnaast en meer algemeen bestaat behoefte aan verdieping van het theoretisch inzicht in de verspreiding van energie en stoffen in het milieu. De ontwikkeling van een veilige, schone en duurzame energievoorziening waar niet alleen de westerse wereld profijt van heeft, maar waarvan ook ontwikkelingslanden vruchten kunnen plukken, is ten zeerste gebaat bij alle mogelijke vormen van energie-opslag. Op dit terrein zou, volgens één van de essayisten, de technologie de wetenschap moeten sturen. “Een Nobelprijs zal dat waarschijnlijk niet opleveren, maar de samenleving zal u dankbaar zijn.” Telecommunicatie vormt een ander draagvlak voor vernieuwend fysisch onderzoek. Dankzij ontwikkelingen op het gebied van de moderne optica zullen de telefoon, de tv en de computer in één communicatienetwerk worden samengevoegd. Het elektron is daarvoor te langzaam en het lichtdeeltje, het foton, wordt de koerier van de informatiemaatschappij. Een ander voorbeeld hoe wetenschap de technologie stuurt vindt men in de micromechanica waarin men leert om enkele atomen te manipuleren en zichtbaar te maken.

Fundamenteel onderzoek hoeft zich niet te beperken tot de dode materie, dat is het pleidooi van de bio- en medisch fysici onder de essayisten. Met name eiwitten blijken bij uitstek geschikt om fundamentele fysische processen te bestuderen. Een eiwit kan gezien worden als een fysisch micro-laboratorium, waarin de experimentator een proces in principe onder elke door hem gewenste omstandigheid kan bestuderen. Energie-overdracht en -opslag, atoom- en molecuulfysica, quantummechanica en -dynamica, supergeleiding en milieufysica spelen hierbij een rol. Door de natuurkundige is de mens, anders dan atomen, melkwegstelsels of wervelingen in de atmosfeer, tot nu toe niet onder de natuurverschijnselen gerekend. Dat mag wel enige verwondering wekken, vooral als men zich realiseert welke

uitdagingen thans voor het oprapen liggen: de koppeling van de mens met zijn omgeving, kennis van zintuiglijk en doelgericht gedrag en misschien zelfs van structuur en functie van het brein.

Er is natuurlijk ook fysica die de menselijke maat te boven gaat en toch tot de mogelijkheden blijkt te behoren zoals de geofysica. De Aarde is de enige planeet die we letterlijk binnen handbereik hebben. Tot ver in deze eeuw werd de geofysica beoefend door natuurkundigen als Kelvin en Rayleigh. Naarmate het fundamentele onderzoek steeds meer gedomineerd werd door deeltjesfysica en de klassieke en toegepaste vraagstellingen over de evolutie van de Aarde minder fundamenteel leken, dreven beide disciplines uit elkaar. Het tegenovergestelde gebeurde met de astrofysica. Sterrenkundig onderzoek draagt in toenemende mate bij aan de ontwikkeling van de natuurkunde. In veel opzichten is de kosmos een onontbeerlijk laboratorium geworden voor het testen van fundamentele wetten, omdat druk, temperatuur, dichtheid, etc. die nooit in aardse laboratoria gecreëerd kunnen worden, in de kosmos gerealiseerd zijn en daar tot waarneembare effecten leiden.

Naast de twee bekende terreinen voor grensverleggend onderzoek, namelijk de studie van het allerkleinste en de studie van het allergrootste, tekent zich een nieuw gebied af: de studie van het meest complexe. Spontane organisatie van wanordelijke systemen in complexe patronen heeft de aandacht getrokken in vrijwel alle takken van de fysica. Complexe verschijnselen manifesteren zich vooral op een schaal die veel groter is dan de diameter van een atoom maar veel kleiner dan die van een biljartbal. Macromoleculen vertonen tientallen verschillende vloeibaar-kristallijne fasen, waarvan er enkele reeds benut worden in de beeldschermen van digitale horloges, zakrekenmachines en platte tv's. In mengsels van complexe moleculen treden verschijnselen op die in de fysica van atomen en simpele moleculen onbekend zijn: complexe moleculen kunnen zich spontaan gaan ordenen in structuren van bollen, staven of platen, zij kunnen membranen vormen of zelfs sponsachtige netwerken. Vooral voor een beter begrip van de eigenschappen van polymeren is het van belang het gedrag van langgerekte moleculen in een vloeistof te kennen. Uit ongeveer hetzelfde polyetheen worden zowel slappe boterhamzakjes als vezels sterker dan staal draad vervaardigd. Het enige verschil zit in de verwerkingsfase, in het eerste geval blijven de polymeer ketens wanordelijk door el-

kaar liggen tijdens het stollen, in het tweede worden ze door verstrekken haast volledig georiënteerd. Ook wordt het mogelijk geacht, uit een mengsel van geleidend polymeer en niet-geleidende kunststof, plastic draad te trekken dat stroom beter geleidt dan koper en sterker is dan staal. Het grote probleem is niet meer de chemische synthese van de moleculen maar de fysische verwerking.

De essays over fysisch onderzoek vanuit ‘andere’ invalshoeken schilderen een interessant en kleurig beeld van de toekomst van FOM. Het bestuur wil het budget voor kernfysica in de komende jaren verder reduceren en aldus ruimte scheppen voor ‘andere’ natuurkunde.

VACUÛM

30 mei 1991

Vacuüm is niet niks. Zelfs met de modernste technieken kunnen nog steeds niet alle atomen en moleculen uit een ruimte worden weggepompt. Bovendien is, volgens de moderne fysica, het vacuüm tussen en binnen in de atomen niet echt leeg. Wat is vacuüm dan wel?

Waarschijnlijk werd vacuüm voor het eerst zichtbaar gemaakt door Torricelli. Hij vulde een glazen buis van een meter lengte met kwik en zette hem voorzichtig omgekeerd in een bak. Het kwik zakte en boven in de buis ontstond een lege ruimte, het vacuüm. Het kwik zakte niet helemaal uit de buis. Er bleef een kolom van 76 centimeter kwik staan. Deze werd door de luchtdruk omhoog gehouden. Wij kennen dit effect ook van de afwas. Als we een glas omgekeerd uit de afwasbak trekken, hoe groot en hoog het glas ook is, dan houdt de luchtdruk het afwaswater altijd in het glas omhoog. Wij realiseren ons meestal niet hoe groot de luchtdruk is. Daarom deed Otto von Guericke de proef met de Maagdenburger halve bollen, die 16 paarden niet uit elkaar konden trekken nadat de lucht er tussen uit was gepompt. De luchtdruk op één vierkante meter vertegenwoordigt een gewicht van 10.000 kilogram. Daar merken wij niets van tot er ergens vacuüm is, zoals de vacuümverpakte koffie. De koffie wordt in elkaar gedrukt omdat er in de verpakking geen tegendruk meer is.

Bovenin de buis van Torricelli, binnenin de Maagdenburger halve bollen en in het pak vacuümverse koffie, is de druk niet nul. Er zijn nog steeds zeer veel atomen en moleculen in het vacuüm aanwezig. In de Maagdenburger halve bollen zaten na het leegpompen zeker nog 1% van alle moleculen, of 10^{17} moleculen per kubieke centimeter. Tegenwoordig noemen we dat voorvacuüm, in tegenstelling tot hoogvacuüm waarin de dichtheid van moleculen nog altijd 10^{10} per kubieke centimeter is. Voor industriële toepassingen is voorvacuüm meestal genoeg. Men moet dan niet alleen denken aan de verpakkingsindustrie maar ook en vooral aan de hoogwaardige technologie. Zoals de micro-elektronica waar dunne lagen van zeer zuivere materialen in vacuüm worden aangebracht bij het vervaardigen van chips. Of in de metaalindustrie waar gereedschapsstaal

wordt gehard en van een coating voorzien in vacuümovens. Ook in de chemische technologie wordt vacuüm steeds belangrijker omdat men met zeer zuivere materialen wil werken. Het grootste vacuümsysteem van ons land staat in Almelo bij Ultra Centrifuge Nederland, waar uranium verrijkt wordt in een cascade van gascentrifuges. Hoewel hier sprake is van vacuüm, worden er in feite gigantische hoeveelheden gas verwerkt. Bij UCN waait het in het vacuüm, het is er allerminst leeg.

Hoogvacuüm wordt gebruikt in wetenschappelijk onderzoek. Met moderne analysetechnieken kunnen de samenstelling en de structuur van stoffen op atomaire schaal zichtbaar gemaakt worden, maar dan moeten vreemde moleculen, zoals lucht en waterdamp, niet in de weg zitten. In elektronenmicroscopen, massaspectrometers en andere meetinstrumenten wordt daarom steeds beter vacuüm toegepast. De meest extreme eisen worden gesteld aan het vacuüm van moderne deeltjesversnellers die gebruikt worden bij de hoge-energiefysica. In Genève is onder de grond een vacuümbuis aangelegd met een lengte van 27 kilometer. De deeltjes die daarin worden versneld mogen onderweg niet botsen met atomen in het vacuüm. Daarom wordt de tunnel continu op ultrahoogvacuüm (dus ultralage druk) gehouden.

De beste pompen zijn eigenlijk vrieskasten, ze werken bij lage temperatuur en vriezen de meeste atomen en moleculen uit de lucht vast, maar niet alle. Een cryopomp met een temperatuur van $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ is uitstekend geschikt als waterpomp, bij $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ worden alle gassen vastgevroren behalve neon, helium en waterstof. Om de heliumdampdruk beneden 1 atmosfeer te krijgen moet de temperatuur nog verder omlaag tot vlakbij het absolute nulpunt. Daarom wordt aan een ultrahoogvacuüm systeem altijd gepompt door verschillende typen pompen. Voor het wegpompen van edelgassen worden mechanische pompen of ionisatiepompen gebruikt naast cryopompen.

Het beste vacuüm dat op deze manier op aarde gemaakt kan worden is echter nog steeds niet leeg. Men moet rekening houden met de aanwezigheid van zeker duizend atomen en moleculen per kubieke centimeter. Er moet een heleboel ruimte zijn tussen die atomen. Is die ruimte leeg? En buiten onze dampkring, in het heelal, daar zijn ongetwijfeld plekken waar hooguit één waterstof atoom te vinden is per kubieke meter. Is de ruimte

tussen die waterstof atomen dan eindelijk echt vacuüm en is dat vacuüm leeg?

Volgens Einstein is materie slechts een vorm van energie. Als we een ruimte leeg halen door alle materie weg te pompen en we zouden energie, in welke vorm dan ook, achter laten, dan kan die in een later stadium weer als materie te voorschijn komen. Met andere woorden: waar energie is, is het vacuüm niet leeg. In de moderne fysica gaat men nog een stap verder en veronderstelt men dat het vacuüm gevuld is met oneindig veel elektronen en positronen (de anti-deeltjes van elektronen, met dezelfde massa maar positief geladen). Deze veronderstelling was nodig teneinde de relativiteitstheorie en de quantummechanica met elkaar in harmonie te brengen. Hoewel de aanwezigheid van oneindig veel deeltjes intuïtief in strijd lijkt met vacuüm, zijn recente experimenten hiermee toch in overeenstemming. Een paar voorbeelden:

Een atoom in een zee van elektronen en positronen zal zich anders gedragen dan een atoom in een ruimte die leeg is. Vlakbij de positieve kern van het atoom zullen de negatief geladen elektronen uit het vacuüm worden aangetrokken en de positronen juist worden afgestoten. Deze polarisatie moet een effect hebben op de elektronen van het atoom zelf, hetgeen inderdaad wordt waargenomen. Vlakbij de kern voelen de elektronen de vacuümpolarisatie en krijgen daardoor net iets meer energie dan in de vrije ruimte. Met behulp van de moderne spectroscopische instrumenten is dit energieverschil gemeten.

Men kan zich ook afvragen of de elektronen en positronen in het vacuüm helemaal van elkaar gescheiden kunnen worden en apart gedetecteerd. In experimenten waarbij twee zware atoomkernen zo hard op elkaar geschoten worden dat de kernwanden elkaar raken, is de elektrische veldsterkte ter plaatse meer dan genoeg om positronen vrij te maken. Bij deze experimenten worden inderdaad positronen waargenomen.

In een lege ruimte zullen twee lichtstralen elkaar ongehinderd passeren, maar in een zee van elektronen en positronen zal het licht, mits het sterk genoeg is, de verdeling van positieve en negatieve lading in de ruimte beïnvloeden. Twee intense laserstralen zullen dan door elkaars vacuümpolarisatie worden verstrooid. Dit effect is al lang geleden voorspeld maar

kon bij gebrek aan lichtintensiteit tot nu toe niet worden waargenomen. Op verscheidene plaatsen in de wereld, ook in ons land, hoopt men binnenkort laserlicht te hebben van voldoende intensiteit om een botsing van licht met vacuüm waar te nemen.

Het luchtledige daar kan ik mij iets bij voorstellen, dan denk ik aan de buis van Torricelli en aan de halve bollen met de 16 paarden, maar een vacuüm gevuld met oneindig veel elektronen en positronen daar begrijp ik eerlijk gezegd niets van. Misschien is het alleen een kwestie van wennen, want zien is geloven. Dat moesten de inwoners van Maagdenburg ook.

BÖHMISCH

27 juni 1991

In 1975 hield de president van het California Institute of Technology (Caltech) een plechtige bijeenkomst toen hem het nieuws bereikte dat een van de hoogleraren van Caltech benoemd was tot lid van de Akademie van Wetenschappen van Roemenië. Dit bracht een andere professor, James Mayer, op een idee en samen met een aantal collega's van de Faculteit Elektrotechniek ging hij over tot het oprichten van de "Kaiserliche Königliche Böhmische Physical Society". Oorkondes werden gedrukt op rijstpapier, voorzien van een zwarte adelaar, een groot rood lakzegel en de handtekeningen van H. H. Küllen (president) en B. Manfred Ullrich (secretaris). Enkele tientallen collega's van prof. Jim Mayer, verspreid over de hele wereld, kregen zo'n oorkonde toegestuurd met een begeleidend schrijven erbij, waarin werd meegedeeld dat hij of zij benoemd was tot lid van de Böhmische Society vanwege de grote verdiensten in ... (en dan volgde het specialisme van betrokkene). Tegelijkertijd werden brieven verstuurd aan de directies van de researchlaboratoria van deze onderzoekers of aan de rector van hun universiteit, met inderdaad het beoogde effect. In verscheidene laboratoria en universiteiten over de hele wereld werden collega's van Jim Mayer door hun bazen in het zonnetje gezet. Het verhaal doet de ronde dat in het grote IBM Research Center in New York het werk werd stil gelegd en drie medewerkers in het openbaar werden gehuldigd voor hun baanbrekend onderzoek aan Ook is er een foto van medewerkers van Bell Labs, die lachend hun oorkondes tonen aan hun directeur.

In 1975 werd, tijdens het congres over Ion Beam Analysis in Karlsruhe, ook de eerste Böhmische bijeenkomst gehouden. De leden luisterden naar een voordracht over 'Wine Analysis with Ion Beams'. Na een korte voordracht hieven de leden van de Böhmische Society het glas. Dit zette scheve ogen bij de overige congresgangers in Karlsruhe, niet vanwege de wijn maar om het exclusieve karakter van dit vreemde gezelschap. Prof. Jim Mayer omringde zich met een raad van wijze mannen, die de zorg kreeg voor het aannemen van nieuwe leden. Thans is het ledental reeds gestegen tot boven de driehonderd; de meesten zijn voorgedragen door

vrienden en collega's, sommigen hebben zichzelf aangemeld. Een lid van de raad heeft de moeite genomen een dikke brief te schrijven om te verhinderen dat één van zijn eigen collega's lid zou worden van de Böhmsche Society. Inmiddels zijn er vijftien Böhmsche bijeenkomsten geweest, waarbij voordrachten gehouden werden over zulke onderwerpen als het gebruik van ionenbundels in de archaeologie, in de astrofysica, in de moderne materiaalkunde, bij de analyse van kunstvoorwerpen, etc. De jaarvergadering van de Böhmsche Society wordt volgende week gehouden aan de Technische Universiteit Eindhoven tijdens het tiende internationale congres over Ion Beam Analysis. Dit maal zal de voordracht gaan over Ionenbundels op het Toneel.

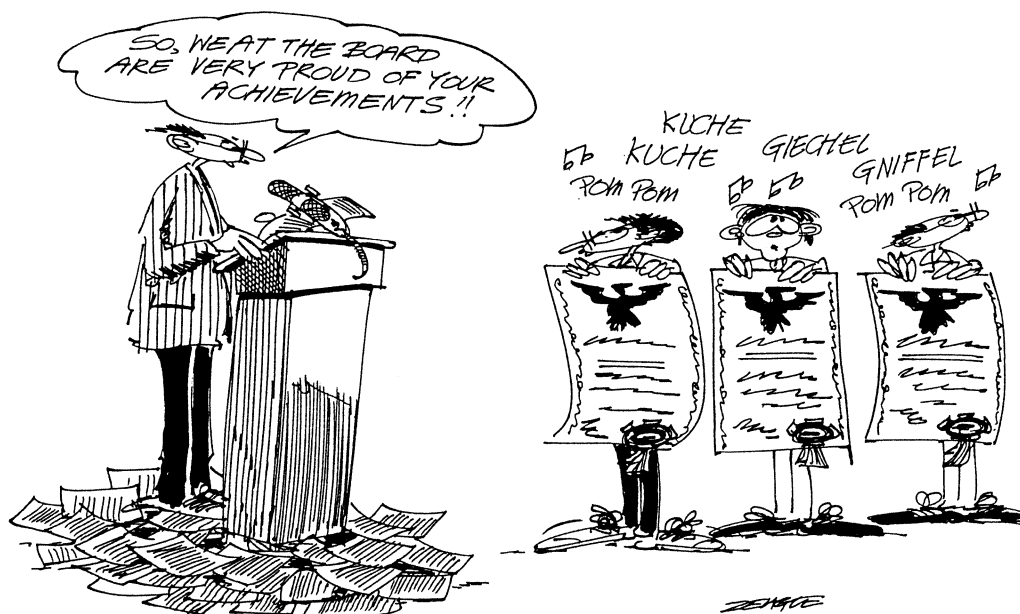
Een paar jaar geleden kwam een collega uit Uganda in ernstige moeilijkheden. Hij was kennelijk in ongenade gevallen bij Idi Amin. De ledenlijst van de Böhmsche werd gebruikt voor een oproep om brieven te schrijven en wetenschappelijke publikaties te sturen naar deze collega in Uganda, die volledig geïsoleerd dreigde te raken. Tot grote vreugde van iedereen was hij er op de laatste Böhmsche bijeenkomsten weer bij. Canadese collega's waren bang dat ze hun research-budget kwijt zouden raken. De ledenlijst van de Böhmsche werd gebruikt en uit de hele wereld stroomden de aanbevelingen binnen. Daarop kon de hele groep verhuizen naar een nieuw laboratorium in Canada.

Op het visitekaartje van Liu Bai-Xin staat achter zijn naam vermeld: Member of the Böhmsche Physical Society. Grijnzend legt hij uit: "ik had niets anders om achter mijn naam te zetten, sinds de culturele revolutie is de doctorsgraad afgeschaft". Liu Bai-Xin is thans *associate-professor in engineering physics* aan de Tsinghua Universiteit van Peking. In 1981 was hij een van de eersten die van de nieuwe 'open policy' in zijn land gebruik maakte en hij werkte een jaar in Caltech. Nu is hij waarschijnlijk de enige Chinees die lid is van de Kaiserliche Königliche Böhmsche Physical Society; tussen een miljard Chinezen heeft hij toch iets bijzonders.

Wie de computer van de universiteitsbibliotheek om de publikaties vraagt van B. Manfred Ullrich, krijgt een lange lijst van meer dan honderd wetenschappelijke artikelen over ionenbundels en hun toepassingen, allemaal verschenen sinds 1975. In navolging van prof. Jim Mayer hebben vele vakgenoten B. Manfred Ullrich als co-auteur van hun wetenschappelijke publikaties toegevoegd. De meesten deden dit gewoon voor de grap, sommigen omdat ze wilden laten zien ook tot het illustere gezelschap te

behoren, een enkeling koos B. Manfred Ullrich om tenminste een co-auteur te hebben, zodat in de publikatie niet steeds het woordje 'ik', maar 'wij' komt te staan. B. Manfred Ullrich is niet alleen een veelschrijver geworden, wie de Science Citation Index erop naslaat, zal zien dat hij ook een van de meest geciteerde fysici is sinds 1975. Onlangs is er een dik boek verschenen bij Elsevier Science Publishers, met op de kaft als enige verantwoordelijke auteur: B. Manfred Ullrich. Het gaat hier om een bundeling van driehonderd bijdragen aan een groot internationaal congres over het gebruik van ionenbundels, dat door prof. Jim Mayer georganiseerd werd. Het heeft hem heel wat overredingskracht gekost bij Elsevier zijn zin te krijgen en zijn eigen naam van de kaft te houden. In zijn voorwoord legt B. Manfred Ullrich uit dat dit boek het resultaat is van de gezamenlijke inspanning van alle vakgenoten, die allen hebben bijgedragen als onderzoekers, congresgangers, auteurs en referees, met een resultaat waarop allen trots kunnen zijn en waarvoor B. Manfred Ullrich hen hartelijk bedankt.

Vorig jaar werd prof. Jim Mayer opgebeld door een collega die bij een sollicitatie te horen had gekregen dat hij onmogelijk een expert in het opgegeven vakgebied kon zijn want z'n naam kwam niet eens voor op de ledenlijst van de Böhmsche Society. Ik vraag mij af of illustere gezelschappen als de Hollandse Maatschappij voor Wetenschappen, of de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen heel anders tot stand zijn gekomen dan de Kaiserliche Königliche Böhmsche Physical Society.



WATTMETER

26 september 1991

“Er moet een Wattmeter komen.” zegt directeur Rob de Lange van PT. R&S in Jakarta als ik hem vraag wat wij op het lab voor hem zouden kunnen meten. Eerst begrijp ik helemaal niet wat een wattmeter zou moeten meten, dan legt hij het uit.

PT. R&S is een dochter van Shell en Philips die in Indonesië zonnecellen verkoopt waarmee huizen in afgelegen dorpen van elektriciteit worden voorzien. Het bedrijf is gespecialiseerd in kleine systemen die een gezin net voldoende stroom geven voor een paar lampen, een radio en een televisie. Men verwacht dit jaar een omzet te halen van 5000 tot 7000 systemen en daarmee zal het bedrijf kostendekkend kunnen werken. In de toekomst wordt een geweldige groei voorzien want 125 miljoen Indonesiërs zijn nog steeds niet aangesloten op het lichtnet. In een reclamefolder van PT. R&S wordt een vergelijking getrokken met de beginjaren van het moederbedrijf Shell: Men ziet een kopie van een advertentie uit het jaar 1890, waarin 1300 aandelen à f 1000.- worden uitgegeven door de Koninklijke Nederlandse Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Een van de grondleggers van Koninklijke Olie had een licentie gekregen om te mogen boren op Noord-Sumatra. Reeds bij de tweede boring, in het dorpje Telega Said, werd olie gevonden. Het ging om kerosine, lampolie, die over heel Zuid-Oost Azië werd verkocht. Terwijl de Koninklijke/Shell Groep groeide tot een der grootste ondernemingen ter wereld, droogde de oliebron in Telega Said op en ging daar het licht uit, want het dorp was nog steeds verstoken van elektriciteit en er is geen behoorlijke weg naar toe om olie aan te voeren. Vorig jaar, ter gelegenheid van het eeuwfeest van Shell, werden op de daken van de huizen in Telega Said zonnecellen geplaatst en zo kregen de bewoners weer licht.

In 1988 zijn in Indonesië de eerste 100 zonnecelsystemen geïnstalleerd in het dorpje Sukatani, een klein paradijs op de hellingen van de Gunung Salak twee uur rijden van Jakarta (het eerste uur tot aan het eind van de autoweg, daarna nog een uur over de keien tot het dorp). Hier hebben de meeste gezinnen nu elektriciteit uit zonnecellen, langs de paden tussen de rijstvelden staan lantaarnpalen met een zonnepaneel erboven, de plaatse-

lijke moskee heeft elektrische verlichting en een geluidsinstallatie werkend op zonnecellen, op school staat het centrale televisietoestel van het dorp en 40 gezinnen hebben tv thuis. De inwoners van Sukatani kijken trouwens niet alleen naar de tv, dankzij de zonnecellen kan er 's avonds ook gewerkt worden en zo gaan er meer hoogwaardige produkten naar de markt dan vroeger en is het aantal winkeltjes in het dorp aanzienlijk gegroeid. Omdat het er veel prettiger is dan in andere dorpen in de omgeving is het inwonertal gestegen. Sukatani heeft zijn ontwikkeling te danken aan zonnecellen uit Eindhoven Holland, zoals men duidelijk kan lezen op de lantaarnpalen tussen de rijstvelden en op de houten banken in het schooltje, want de kisten waarin de zonnecellen aankwamen uit Eindhoven Holland zijn omgetoverd tot schoolbanken.

Op de hele Indonesische archipel zijn een paar honderdduizend dorpen zoals Sukatani voor 1988 was. 25 Miljoen gezinnen zijn niet aangesloten op het lichtnet en zullen voorlopig ook niet aangesloten kunnen worden omdat zij in zulke afgelegen gebieden wonen. In principe is Indonesië dus een geweldige markt voor de zonnecellen van PT. R&S en samen met de BPPT, het TNO van Indonesië, is ook al een financiering bedacht. De gezinnen moeten zelf de zonnecellen kopen maar kunnen daarvoor geld lenen van de coöperaties, die in alle dorpen aanwezig zijn. Het is de bedoeling dat de rente betaald wordt door de overheid, die zal immers verlost zijn van de noodzaak om een lichtnet aan te leggen over alle 13.000 eilanden. De aflossing hoeft per gezin niet meer te zijn dan 10.000 roepia (*f* 10) per maand en dan is men in tien jaar eigenaar van het systeem, terwijl het een levensduur heeft van 20 jaar. De meeste gezinnen kunnen dit betalen, want men geeft thans per gezin minstens 12.000 roepia per maand uit aan olie voor lampen en dieselaggregaten.

“Mensen die hun dieselgenerator weg doen en hun batterij opladen met zonnecellen, willen natuurlijk graag weten hoeveel stroom ze in voorraad hebben”, zegt Rob de Lange, “Daarom moet er een Wattmeter komen, waarop ze kunnen zien hoeveel uur de batterij nog stroom zal blijven leveren. Ik heb daar al een paar maal om gevraagd maar het schijnt te moeilijk te zijn voor de technuten”. En passant vertelt hij ook nog dat de geleerden hem altijd hebben voorgehouden dat zonnecellen naar de evenaar gericht moeten staan voor een optimaal rendement. Maar in Indonesië hebben zij uit ervaring geleerd dat de zonnecellen veel beter iets naar het oosten kunnen kijken. Waarschijnlijk omdat de zon 's ochtends helderder is dan 's middags, vanwege al het water dat overdag door de hitte verdampt.

Er zijn trouwens wel meer voorbeelden van niet-klantgericht denken. In Indonesië zou men graag een TL-lampje hebben van 2 Watt, maar het kleinste lampje dat Philips maakt is 5 Watt. Zo'n lampje geeft wel meer licht op tafel, maar daarmee raakt de batterij ook veel eerder leeg. Het verschil tussen licht en donker is oneindig veel groter dan het verschil tussen 2 en 5 Watt. Toch schijnt men daarvan bij Philips niet te willen horen. "In mijn organisatie", zegt Rob de Lange, "moet ik twee giganten omturnen, want in de ogen van Shell en Philips vraag ik ze om hun kernactiviteiten, olie en licht, om zeep te helpen voor een nieuw produkt". Toch is dat geen onmogelijke opgave. Hoe 't moet dat heeft hij gedurende 10 jaar gedoceerd aan de faculteit economie van de Universiteit van Amsterdam. Nu kan hij deze kennis in praktijk brengen.

Nederlandse ontwikkelingshulp zou kunnen helpen een markt te creëren. Aan Indonesië geeft ons land jaarlijks 200 miljoen gulden ontwikkelingshulp. Men zou toch denken dat hierin een flink pakket Nederlandse zonnecellen zit. Dat is niet zo. In plaats daarvan doet onze minister, voor 25 miljoen gulden per jaar, dieselaggregaten cadeau aan Indonesië. Met dat bedrag zouden ieder jaar weer 25.000 gezinnen in Indonesië blijvend van elektriciteit kunnen worden voorzien uit zonnecellen, terwijl het veel werk zou verschaffen in Eindhoven Holland, maar daarvoor schijnt de ontwikkelingshulp niet bedoeld te zijn.

In Indonesië moet PT. R&S zijn eigen markt creëren en dat begint al aardig te lukken. Deze zomer heeft men (overigens in samenwerking met de PEN uit Noord-Holland) zonnecellen geplaatst in Lebak op West Java, de streek die bekend is dankzij Multatuli. Hier kregen 500 woningen een paneel zonnecellen op het dak. De panelen zijn half zo groot als die in Sukatani, omdat daar gebleken is dat in de dorpen in Indonesië het stroomverbruik 's avonds nog zo gering is dat de batterijen meestal om half elf 's morgens al weer opgeladen zijn. Wat een verschil in welvaart met ons, als men bedenkt dat de PEN in een proefproject in Heerhugowaard op de daken van tien eengezinswoningen zonnepanelen plaatst die zestigmaal zo groot zijn als in Lebak om in het stroomverbruik te kunnen voorzien. Voor een gedenkplaat bij de officiële opening van het zonnecelproject in de streek van Max Havelaar werd een citaat gehaald uit zijn toespraak tot de hoofden van Lebak: "Want niet in het snyden der padi is de vreugde: de vreugde is in het snyden der padi die men geplant heeft".

DECADENTIE

24 oktober 1991

Wij leven in een decadente wereld. En wij weten het. In de politiek, in de sport, op de televisie, in de kunst en in de wetenschap, overal bloeit de decadentie alsof zij weet dat deze eeuw al weer bijna ten einde is. In het 'Fin de Siècle' leed mijn vak, de natuurkunde, allerminst aan decadentie maar thans is het ook voor de natuurkunde onmiskenbaar. Met het jaar 2000 zal dat niets te maken hebben, maar laat ik het naderen van dit kroonjaar gebruiken om mij af te vragen waar de alles overheersende decadentie in de natuurkunde vandaan komt, terwijl er bij de vorige eeuwwisseling toch geen sprake van was.

Ook de natuurkunde is uiteen gevallen in een groot aantal specialisaties als: elementaire deeltjesfysica, kernfysica, atoom- en molecuulfysica, statistische fysica, vaste-stoffysica, bio- en medische fysica. De meeste natuurkundigen brengen hun hele leven door in een zo'n vakgebied. Omschakelen is ook bijna onmogelijk omdat men meestal jaren moet studeren eer men in een bepaald specialisme een creatieve bijdrage kan leveren. Bovendien vereisen de meeste vakgebieden enorme financiële investeringen om internationaal op peil te blijven. Zijn de investeringen eenmaal gedaan dan is het zaak om zo produktief mogelijk te zijn en dus wordt een publikatie-machine op gang gebracht die bijna niet meer te stuiten is. Een produktie van tien wetenschappelijke publikaties per vakgroep per jaar is eerder regel dan uitzondering. Zo haalt Nederland een output in de natuurkunde van ruim 3000 wetenschappelijke publikaties per jaar, goed voor een elfde plaats op de wereldranglijst. Er is geen mens die deze wetenschappelijke diarree kan verwerken, behalve Elsevier Science Publishers die zijn omzet en zijn winst tot recordhoogte ziet stijgen. De bibliotheken staan vol ongelezen tijdschriftartikelen. Geen wonder dat men een Science Citation Index heeft ingevoerd waarmee al het wetenschappelijke werk enigszins naar waarde kan worden geschat. Het gemiddelde aantal citaties dat de computer registreert is 1, dus gemiddeld wordt elk wetenschappelijk werk slechts een keer aangehaald, maar omdat het goede werk vaak geciteerd wordt is er veel onderzoek dat door niemand de moeite waard wordt gevonden om er zelfs maar een keer naar

te verwijzen. Nederland scoort op de citatie index goed, wetenschappelijk behoren wij tot de G7. Hoewel deze score met enige trots aan de overheid wordt getoond is dat evenzeer een illustratie van decadentie want scoren lijkt in de wetenschap al even belangrijk te zijn geworden als op het voetbalveld.

De hedendaagse natuurkundigen vormen teams met een captain (de groepsleider), een coach (de labdirecteur), en een sponsor (de financier). Zij koersen gezamenlijk op een doel af in competitie met soortgelijke teams. Wie het eerst aankomt wordt gehuldigd en de beloningen liegen er niet om. Wie het niet bij kan houden, ondanks verwoed trekken en duwen, die probeert de nummer één te diskwalificeren. Lukt ook dat niet, dan nemen de ambitieuze slimmerds een zijweggetje, laten de publiciteitsmachine een nieuwe finishlijn trekken en gaan over deze zelfgemaakte meet onder ingeblikt applaus. Want wie wil de beloningen missen: publieke achting, een goed salaris, een heel team van waterdragers en soigneurs, en natuurlijk ook een nieuwe sponsor voor de volgende koers. De geïndustrialiseerde natuurkunde van na de oorlog is het spoor kwijt. Het gaat niet meer om 'atoms for peace', (als het daar ooit om gegaan is). Waar gaat het dan wel om tegenwoordig?

In de elementaire-deeltjesfysica hebben de theoretici het voor het zeggen. Zij hebben de moed om de GUTs (grand unified theory) te beloven, de ultieme theorie die volgens hen alles omvat. Deze theoretici voorspellen het ene elementaire deeltje na het andere. Voor de experimentele deeltjesfysici rest slechts de ondankbare taak om de reeds voorspelde deeltjes te vinden. Geen wonder dat zij er een wedstrijd van hebben gemaakt. Wie in het CERN in Genève gaat kijken naar de grootste deeltjesversneller ter wereld, raakt onder de indruk van dit huzarenstuk van moderne techniek. Aan deze versneller is door honderden technici jaren gebouwd en hij heeft de hegemonie van de Europese deeltjesfysici over de Amerikaanse en Japanse concurrenten voor jaren zeker gesteld. Prompt hebben de Amerikaanse natuurkundigen aan het congres een bedrag gevraagd ter grootte van 8 miljard dollar, alleen om een nog grotere versneller te kunnen bouwen. Zij beloven daarmee het door de theoretici allang voorspelde 'Higgs-boson' te zullen vinden en Amerika weer de eerste plaats terug te geven in deze prestigieuze tak van de natuurkunde.

De deeltjesfysica is een dochter van de kernfysica die haar moeder overvleugelt en binnenkort misschien opslokt. De kernfysici hadden zichzelf veilig kunnen stellen door het contact niet te verliezen met de kernenergie. Dat was voor de kernenergie ook beter geweest. Nu zijn beide vakgebieden na veertig jaar investeren op dood spoor gekomen. De atoomkern is letterlijk aan gruzelementen geschoten en onze illusies ook want het wereld-energieprobleem is niet opgelost. Ook niet door degenen die aan kernfusie in plaats van kernsplijting doen. Al veertig jaar beloven de kernfusici een duurzame en schone energiebron, maar het enige dat wij thans met zekerheid kunnen stellen is dat deze bron nog veertig jaar op zich zal laten wachten. Dat wordt niet graag hardop gezegd omdat men bang is de subsidies (alleen in Europa al meer dan 1 miljard per jaar) te zullen verliezen.

In mijn eigen vak, de atoom- en molecuulfysica, zijn er twee symptomen van decadentie gemakkelijk te herkennen. Ten eerste wordt het vak gedomineerd door militaire subsidies, zowel in de USA als de USSR, ten behoeve van het ontwikkelen van laserwapens. Ten tweede begeven wij ons van de ene *gee-whiz* naar de ander (een *gee-whiz* is een ontdekking waarvan iedereen zegt: *gee...* wat geweldig, maar daarna gaat het *whiz...*, als een nachtkaaars uit, omdat niemand er iets mee kan beginnen). Wij zijn met z'n allen lid van de 'mutual-admiration-society'.

De statistische fysica is het terrein dat door de grote Van der Waals veroverd werd en hij bezorgde ons land een wereldnaam. Achter dikke gesubsidieerde dijken zijn de polderfysici nog decennia lang door gegaan met het kurkdroog bemalen van hun lage landje aan de zee. Alles wat meetbaar was dat werd gemeten, ongeacht of iemand er belangstelling voor had. Thans blijkt dat de methoden en technieken uit de statistische fysica toepasbaar zijn bij de studie van complexe systemen als polymeren en vloeibare kristallen. Tot nu toe wensten de fysici zich met deze 'chemie' niet in te laten. Daar zal wel verandering in komen nu de Nobelprijs voor natuurkunde in 1991 juist in dit vak is gevallen.

De vaste-stofffysica is een van de meest levendige en grootste vakgebieden geworden in de moderne natuurkunde, vooral dankzij de research laboratoria van AT&T Bell, van IBM en van Philips. Er is een hele reeks schitterende ontdekkingen gedaan en er zijn hele nieuwe vakgebieden, als

oppervlaktefysica en mesoscopische fysica, ontstaan. Het onderzoek heeft geleid tot een reeks van producten die op de markt worden gebracht. Toch ligt ook hier de decadentie op de loer zoals bleek toen supergeleiding ontdekt werd bij hoge temperatuur. Werkelijk duizenden fysici stortten zich toen op dit onderwerp. Wat zij op dat moment aan het doen waren mag Joost weten, het was kennelijk van ondergeschikt belang, want zij konden zo overstappen op supergeleiding. Een zelfde effect had de vermeende ontdekking van de zogenaamde koude fusie. Nu het de bedrijven in de micro-elektronica even niet zo goed gaat en men op de betreffende laboratoria aan de medewerkers vraagt een grotere bijdrage te leveren aan de technologie van de onderneming, nu klagen de geleerden verontwaardigd over het vernietigen van hun zo fundamentele onderzoek, dat echter voor de onderneming niet zo fundamenteel blijkt te zijn. Men heeft nog niet geleerd dat in vrijwel elke technologie een interessant fysisch probleem zit, als je maar diep genoeg graaft.

De bio- en medische fysici lijden aan een minderwaardigheidscomplex. Door de andere fysici worden deze vakgebieden meestal niet voor vol aangezien omdat men geen fundamenteel onderzoek zou doen en te veel empirisch bezig is.

Hoe heeft het zover kunnen komen? Tijdens het 'Fin de Siècle' was er van decadentie in de natuurkunde niets te merken. Rondom de eeuwwisseling maakte het vak een van de spannendste tijden door uit zijn geschiedenis. Er heerste een verwoede discussie tussen atomisten en degenen die niet in het bestaan van atomen geloofden. De laatsten waren aanvankelijk in de meerderheid want zeker voor die tijd was het atoom te klein om het waar te nemen. De atoomtheorie verklaarde echter in één klap zowel de chemische als de natuurkundige observaties van toen. Op basis van de atoomtheorie werd in het begin van deze eeuw duidelijk waar de wetten van Boyle en Gay-Lussac vandaan komen, wat het getal van Avogadro precies voorstelt, hoe het periodiek systeem van Mendelejeff geïnterpreteerd dient te worden, waarom het theorema van Van 't Hoff exact geldt, hoe de soortelijke warmte van gassen verklaard moet worden, wat Brownse beweging is, wat dit te maken heeft met Smoluchowski's theorie over fluctuaties, hoe de Raileigh verstrooiing van licht moet worden geïnterpreteerd, de absorptiewetten van Stefan en Boltzmann en de zwarte straler, de röntgenstraling, de constante van Planck en het fotoelektrisch effect. Verschijnselen die onbegrepen waren en ogenschijnlijk weinig met

elkaar te maken leken te hebben, bleken plotseling op atomair niveau verklaard te kunnen worden. De euforie over deze ontdekking was enorm en heeft de natuurkunde van de twintigste eeuw gedomineerd. Albert Einstein, de grootste natuurkundige van onze eeuw, heeft zich door de triomf der atoomfysica laten misleiden. Hij was nauw betrokken bij het reduceren van macroscopische verschijnselen tot eenvoudige atoomfysica. Het moet voor hem zo'n openbaring zijn geweest dat hij meende in het reductionisme de goddelijke opdracht der fysici te hebben gevonden. Einstein heeft toen de rest van zijn leven gewijd aan het zoeken naar het diepste niveau waarop alle natuurkundige verschijnselen zouden samenkomen, waar de grote formule te vinden zou zijn waarmee God de wereld had geschapen. De gevolgen voor de natuurkunde zijn desastreus geweest. Omdat Einstein het deed, dacht iedere fysicus dat het echte fundamentele onderzoek der materie op reductionistische manier bedreven moest worden. Al het op toepassing gerichte onderzoek werd inferieur gevonden tegenover een hoger doel: het vinden van de steen der wijzen. Tevergeefs, wij weten inmiddels dat in het atoom een oneindige wereld van fysische verschijnselen is waar te nemen. Einstein's ideaal is als een wijkende horizon, steeds als men denkt op het diepste niveau te zijn aangeland blijkt er weer een nieuwe fysische wereld achter te zitten. De fundamentele zijn niet te vinden. De fundamentele opdracht die alle fysici van de grote Einstein geërfd lijken te hebben, en die de natuurkunde van de twintigste eeuw heeft gemonopoliseerd, is een onmogelijke opdracht gebleken. Er moet een hele nieuwe filosofie van de natuurkunde komen want die van Einstein voldoet niet meer. Bij gebrek aan de juiste filosofie zijn de natuurkundigen van de twintigste eeuw het goede spoor kwijt geraakt en dus bloeit de decadentie.

ALFA-ANGST OF BETA-BANG

21 november 1991

U kent ons nog wel van de schoolbanken. Wij zaten voor u terwijl u zat te keten op de achterste rijen. U keek naar onze vieze vette haren, de roos op onze stinkende trui, altijd dezelfde met de hand gebreid. Wij keken niet achterom, met onze bleekgezichten vol knal rode puisten staarden wij liefst op het papier voor ons. In de pauze zaten wij nooit bij u in de groep. In een hoekje alleen aten wij ons pakje brood van thuis. Wij konden niet voetballen. Wij deden geen sport. Alleen schaken, diep voorover gebogen naar het bord turend zonder iets te hoeven zeggen. Wij hadden geen vriendinnetje. Wij deden nooit onze mond open. In de wiskundeles hadden wij de sommen af en voor het proefwerk haalden wij een negen. U had daar de pest in want het was slecht voor het gemiddelde. De talen lieten wij zo gauw mogelijk vallen, net als geschiedenis. Tekenen konden wij alleen met een liniaal. Wij kwamen nooit op feestjes en wij wisten niet wat een tongkus was, zelfs niet in de eindexamenklas. Toen gingen wij studeren, u in de stad maar wij moesten naar dat kille Roeterseiland of die gure Uithof. U werd lid van een dispuut of jaarkring, wij niet, ja van de faculteitsvereniging. Wij hadden nog steeds geen vriendin. Meisjes waren er bijna niet in onze collegezalen. Wij zaten dag in dag uit alleen op een klein kamertje, of nog bij moeder thuis. U woonde op een huis. Wij kwamen nooit op feesten, alleen op de mensa. Terwijl U ging samenwonen moesten wij trouwen. Inmiddels zijn wij allemaal afgestudeerd. U heeft een echte baan en wij werken op een laboratorium. Als u een keer op onze Open Dag komt dan ziet u hoe ongezellig onze studeerkamers zijn. Geen planten, een computer en overal papieren en boeken. Een poster van Einstein aan de muur. Het liefst zien wij eruit zoals hij. Wij zijn nog steeds wereldvreemd. Maar, wij doen echte harde wetenschap, objectief en deskundig. Wij kennen de enige echte wetenschappelijke methode. Wij ontdekken de bouwstenen der natuur. Wij begrijpen de Big Bang en de hele evolutie die daarop volgde. Wij lossen het wereld-energieprobleem op. Wij bezorgen nieuwe elektronica, computers en telecommunicatie. Wij maken reageerbuis-baby's. Wij lossen het AIDS probleem op. Wij winnen de Nobelprijs. En u gelooft dat, want u was altijd, om met Kees van Kooten te spreken, bèta-bang.

Buiten ons laboratorium blijken wij bèta's slecht te functioneren. Hier van ontving ik een goed voorbeeld toen ik vorig jaar een stukje schreef over het ongeluk in Tsjernobyl. Pieter Winsemius, die minister van VROM was toen het ongeluk gebeurde (en ook fysicus is), schreef mij het volgende.

“Interessant voor jouw overweging is waarschijnlijk een aantal punten. In de eerste plaats dat de officiële waarschuwingssystemen van geen kant werkten en onze beste informatiebron de pers was. In de tweede plaats dat alle inschattingen van radioactieve besmetting gebaseerd waren op korte afstanden, in de orde van 5 tot 10 km, en daar bleef na Tsjernobyl niet veel van over. In de derde plaats, dat in een land als Nederland met een heel vooraanstaande export van landbouwprodukten de landbouwsector, met zijn superieure infrastructuur, een fantastische informatiebron bleek voor metingen en dergelijke. Alle melk wordt op de melkontvang-stations gemeten op een aantal parameters, die tezamen een verbluffend goede indicator vormden voor wat er gebeurde. In de vierde plaats, dat in geval van nood het ambtelijk apparaat van het goede vaderland een verbazingwekkend snelle reactie kan plegen, al improviserend en met medewerking van velen. Zoals mijn vader het toentertijd uitdrukte: je betaalt er wat meer voor, maar als je ze nodig hebt dan staat er ook wat. En in de laatste plaats, en voor jouw doeleinden mogelijk van grote relevantie, dat de ‘brotherhood’ van internationale deskundigen op het gebied van kernenergie onder normale omstandigheden weliswaar prima funktioneert als basis voor uitwisseling van informatie, maar dat dit contactennetwerk in geval van nood veel te zwak is. In feite kon ik mij niet aan de indruk onttrekken, dat in de ontstane crisissituatie de deskundigen naar de nationale crisiscentra werden gehaald, waardoor ze niet meer voor elkaar bereikbaar waren via de normale telefoonlijnen en meteen van ‘deskundig’ tot ‘reddeloos’ en ook in belangrijke mate ‘radeloos’ werden.”

Aldus Pieter Winsemius die in het televisieprogramma ‘Bij Tineke’ is ingebroken om daar de boeren dringend te verzoeken de koeien van het land te halen. Dit had achteraf een uiterst positief effect omdat de radioactieve besmetting van onze melk beperkt is gebleven. Het is duidelijk wie de professionals waren in deze zaak: de pers, de politiek en de boeren. De professoren waren misschien niet redeloos maar wel reddeloos en radeloos.

Hoe komt het dat knappe koppen maatschappelijk vaak zo slecht functioneren? Volgens Jona Oberski (zelf een fysicus) kiezen de meeste na-

tuurkundigen voor dit vak omdat ze bang zijn voor mensen. Wij fysici zijn bang voor de waan der zinnen. Vandaar onze hartstocht om elke hartstocht buiten te sluiten. Zo ver mogelijk verwijderd van de werkelijke wereld creëren de fysici hun eigen veilige objectieve werkelijkheid, gevuld met problemen die alleen zij kunnen oplossen. Dat niemand anders deze vraagstukken begrijpt dat doet er niet toe. Het komt goed uit, dan worden wij tenminste met rust gelaten. Aldus kunnen wij ongestoord bezig blijven met zelfgecreëerde puzzels oplossen, met onze moderne rederijkerij. Het is zonde van de moeite en het is verkwisting van talent, maar erger is de radeloosheid die ons overvalt wanneer er een beroep op ons gedaan wordt vanuit de maatschappij. Wij hebben alfa-angst.

Hoe komt u af van uw bèta-bangheid en wij van onze alfa-angst? De wetenschapsjournalistiek kan hierin een belangrijke rol spelen. Informatie over wetenschap is niet alleen nieuws maar kan ook boeiend, spannend en zelfs geestig zijn. Journalisten kunnen aan het grote publiek laten zien dat wetenschap mensenwerk is en het hierboven geschilderde beeld van de gemiddelde bèta een karikatuur. Aan de andere kant kunnen wetenschapsjournalisten met kritische vragen voorkomen dat wetenschappers vakidioten worden. Maar journalisten hebben vaak een alfa- of gamma-opleiding. Zij weten dat je aan een ander niet kan uitleggen wat je zelf niet begrijpt en daarom aarzelen zij om wetenschap in het nieuws te brengen. *Wetenschap in het Nieuws* van Piet Hagen, een boek over 'journalistiek schrijven over natuur en techniek, medisch onderzoek en milieu' (zojuist verschenen bij Wolters-Noordhoff) is bedoeld als leerboek en naslagwerk voor (wetenschaps)journalisten. Het boek zal hen helpen de bèta-bangheid te overwinnen en aan de wetenschapper kritische vragen te stellen. Wie een onbegrijpelijk antwoord krijgt moet niet in de eerste plaats aan zichzelf twifelen, maar meer aan de wetenschapper die onduidelijk is. Want ook voor hem geldt: je kan aan een ander niet uitleggen wat je zelf niet begrijpt. Daarom zou het goed zijn als ook bèta-wetenschappers dit boek lezen, zodat zij leren hoe normale mensen over hun vak denken, zodat zij leren als normale mensen over hun werk te spreken, zodat er een beroep op hen gedaan kan worden indien het nodig is, zodat zij leren omgaan met hun hartstocht en met hun zinnen, ter alfabetisering.

VADER VAN HET ATOOM

19 december 1991

De belangrijkste theorieën in de natuurkunde begrijp ik niet. Op de universiteit heb ik Maxwell-theorie gehad en geleerd hoe je het magneetveld kunt uitrekenen dat hoort bij een elektrische stroom, maar waarom noord- en zuidpool elkaar aantrekken, of wat een magnetische monopool is, dat begrijp ik nog steeds niet. Ik heb relativiteits-theorie gedaan en ben indertijd geslaagd voor het tentamen, maar waarom twee atoomklokken ongelijk gaan lopen als men er één met een raket mee stuurt, dat begrijp ik nog steeds niet. Ik kan zelfs niet onthouden welk van de twee klokken achter gaat lopen. Het is die klok in de raket, geloof ik, maar om het zeker te weten zou ik het moeten uitrekenen. Dat is toch een beetje vreemd voor een fysicus, daarom koop ik boeken als: *Subtle is the Lord*, de biografie van Einstein geschreven door onze landgenoot Abraham Pais. Het begin van dit boek is uitermate fascinerend, ondanks enkele pedanterieën over privé-wandelingetjes van Pais met Einstein. De fysica van het eind van de vorige en het begin van deze eeuw wordt meesterlijk beschreven. Voor mij was Einstein's werk en $E=mc^2$ uit de lucht komen vallen. Nu blijkt dat Einstein worstelde, net als zijn tijdgenoten, met de ethertheorie. Al worstelend komt de relativiteitstheorie naar boven. Ether verdwijnt naar de achtergrond zonder dat hij netjes wordt afgedaan. Einstein's eerdere werk vooral in de statistische fysica was me onbekend en zijn onderzoek aan het getal van Avogadro is buitengewoon interessant. Wat daarna komt, het eigenlijke onderwerp van het boek, is voor mij onbegrijpelijk gebleven. Teveel formules, teveel impliciete beweringen en conclusies. Pais is een typische theoret die mathematisch kan denken en associëren, voor wie de schoonheid der wiskunde in een oogopslag duidelijk is. Ik lees door een berg formules heen, soms pagina's overslaand waar 'niets' in staat. Toch lees ik door, want de passages over de persoon van Einstein en zijn collega's boeien. En ik hoop toch iets meer te leren over het wezen van de relativiteitstheorie. Dit lukt niet. Het is een troost dat ik niet alleen ben, hetgeen ook uit het boek van Pais blijkt. De *London Times* van 7 november 1919 schrijft over een bijeenkomst van de Royal Society naar aanleiding van de experimentele bevestiging van Einstein's voorspelling: "No speaker succeeded in giving a clear non-mathematical statement of the theoretical

question”. Uitgebreid wordt aandacht besteed aan de grote aantrekkingskracht van het werk van Einstein, niet alleen op zijn collegae maar ook op het grote publiek, dat er niets van begrijpt maar zich toch verdringt om de laatste ‘paper’ te lezen.

Ik voel een zekere boosheid opkomen en een verwijt aan Pais dat de relativiteitstheorie niet echt wordt uitgelegd. Dan ineens staat daar een uitspraak van Hertz: “Maxwell’s theorie is Maxwell’s systeem van vergelijkingen”. Pais noemt deze uitspraak geestig, maar een zinloos commentaar op het beste dat de fysica van die tijd heeft voortgebracht. Voor mij is deze uitspraak juist van grote betekenis omdat ik steeds meer het gevoel krijg dat de ‘grote’ fysica niet méér is dan een stel mathematische vergelijkingen waarmee experimentele resultaten voorspeld kunnen worden, maar waarvan ons de diepere betekenis ontgaat. Dit geldt niet alleen voor de vergelijkingen van Maxwell, ook voor de relativiteitstheorie van Albert Einstein en evenzeer voor de quantummechanica van Niels Bohr. Om te zien of Abraham Pais het inmiddels hiermee eens is, ben ik gretig begonnen aan zijn nieuwste biografie: *Niels Bohr’s Times in physics, philosophy and polity* (eveneens uitgegeven bij Oxford University Press).

Niels Bohr’s filosofie wordt al in het eerste hoofdstuk door Pais samengevat. “Quantummechanica maakt de vraag zinloos: bestaat licht of materie uit deeltjes of uit golven? In plaats daarvan moet de vraag luiden: gedraagt licht of materie zich als deeltjes of als golven? Deze vraag kan alleen beantwoord worden, indien men de experimentele condities specificeert waaronder de waarnemingen worden gedaan”. Of met Bohr’s eigen woorden: “Onze taak is niet om in het wezen der dingen door te dringen, waarvan wij de betekenis toch niet kennen, maar om concepten te ontwikkelen waarmee wij produktief kunnen spreken over verschijnselen in de natuur”. Daarna volgt een tekst die al even fascinerend is als de biografie over Einstein, misschien wel fascinerender want als geen ander combineerde Niels Bohr drie eigenschappen. Hij was een schepper van wetenschap, hij maakte school, en hij was pleitbezorger voor de wetenschap bij het grote publiek en in de politiek.

Het beeld dat wij allen hebben van het atoom, een kern waar elektronen in vaste banen omheen cirkelen, danken wij aan Niels Bohr die hiermee de Nobelprijs verdiende. Toch is dit beeld vreemd want als men een elektron in een vaste baan in een deeltjesversneller laat rondcirkelen dan straalt het

licht uit en zal het steeds langzamer gaan draaien omdat het energie kwijt raakt en dus moeten wij het elektron blijven versnellen om het in een vaste baan te houden. Atomen bezitten geen kleine deeltjesversnellers, toch bevinden de elektronen zich daar in stabiele banen. Dit is alleen te verklaren door aan te nemen dat in het atoom de elektronen zich als golven gedragen, maar dat is toch vreemd? Inderdaad, dat is het vreemde aan de quantummechanica.

Deze vreemde ontdekking van Bohr had een geweldige aantrekkingskracht op zijn tijdgenoten. Het instituut in Kopenhagen dat naar hem vernoemd werd en het kasteel dat hij van de Carlsberg Stichting kreeg aangeboden als woning werden het centrum van de moderne natuurkunde. Tussen 1916 en 1961 verbleven hier maar liefst 444 geleerden uit 35 landen. Gezamenlijk publiceerden zij 1200 wetenschappelijke artikelen, waaronder 200 van of met Bohr. Hij bepaalde de sfeer in zijn omgeving. Als geen ander ging hij tot de bodem van alles. Hij bezat de energie om tot het eind toe vol te houden. Bovendien kon hij genieten van het leven als geheel. Dit maakte hem tot de vader van de atoomfysica en als een vader ging hij om met zijn leerlingen. Maar als een vader kon hij ook zijn omgeving tot wanhoop brengen, zoals Slater (I had a horrible time in Copenhagen) of Heisenberg (in tears because I could not stand this pressure from Bohr) en Mott (I wish Bohr would let me get on with it without examining everything). Voor de meeste bezoekers was Kopenhagen echter een keerpunt in hun leven, een legendarische tijd, ook voor Abraham Pais die met kennelijk genoegen de vele anekdotes uit zijn herinnering opdiept of uit de archieven tevoorschijn haalt en eloquent beschrijft. Soms koket, met woorden als: polity, unbeknownst, bequeathed, largesse, ventripotence, cognoscenti, opine. Daar staat tegenover dat in dit boek, geheel in stijl met Niels Bohr zelf (we are suspended in language), vrijwel geen formules staan.

Niels Bohr werd steeds beroemder. Hij verkeerde met regeringsleiders en staatshoofden, eerst in eigen land maar na de oorlog over de gehele wereld. Zo kon hij in Denemarken fondsen verwerven voor de natuurkunde en verscheidene instituten oprichten. Tijdens de oorlog mobiliseerde hij zijn hele instituut en maakte in een week tijd 6000 neus-catheters die nodig zouden zijn in geval van een aanval op Denemarken met gifgas. Daarna moest Bohr (hij was half-joods) vluchten, via Zweden naar Engeland en de VS, waar hij adviseur werd van het kernwapenproject. Na de oorlog werd Niels Bohr een pleitbezorger voor volledige openheid op het gebied van kernenergie en

kernbommen om de koude oorlog te voorkomen. Maar de heren politici vonden hem naïef of begrepen hem niet. Churchill “would always be honored to receive a letter from Professor Bohr but hoped it would not be about politics”. Eisenhower liet hem op 24 oktober 1957 de eerste Atoms for Peace Award overhandigen, maar op 1 november ontplofte de eerste waterstofbom in de Stille Oceaan.

Als politicus en strateeg in de wetenschap had Niels Bohr dus het meest succes. Toch was ook deze overwinning “bittersweet” of zoals Hendrik Kramers, Bohr’s naaste medewerker in die tijd, het eens gezegd heeft: “De quantumtheorie is als elke overwinning, je lacht de eerste maanden en daarna huil je nog jaren”. Bohr bracht weliswaar een wonderlijke synthese tot stand tussen atoomspectroscopie en chemie, maar de wijze waarop en de consequenties ervan betekenden een ware revolutie in de exacte wetenschappen. Het principe van oorzaak en gevolg ging verloren. Deze prijs moest betaald worden voor de quantummechanica die ons helpt waar de klassieke fysica het af laat weten. De quantummechanica vertelt ons van radioactieve atomen: dat vandaag een atoom zal vervallen, morgen een ander en overmorgen weer een ander, maar welk atoom het zal zijn dat zal geen berekening kunnen voorspellen, want de quantumtheorie berekent alleen een kans. Abraham Pais beschrijft in detail de rol van alle spelers bij het ontstaan van dit nieuwe kansspel. Planck, Pauli, Einstein, Sommerfeld, Schrödinger, Heisenberg, Born, de Broglie, zij allen droegen een steentje bij maar het was vooral Bohr die als architect/aannemer optrad en de fundamenten in de gaten hield. Vandaar dat wij thans spreken van de Kopenhagen-interpretatie van de quantummechanica. Dit is een pragmatische interpretatie: de enige reden dat de quantumtheorie standhoudt, is dat zij de juiste voorspellingen doet van onze experimenten. Dit betekent niet dat er een quantumwereld is. Er is alleen een abstracte mathematische beschrijving. De quantumtheorie, dat is de golfvergelijking. Waarom? Omdat die werkt. Veel fysici, inclusief Pais, zijn daar ongelukkig over. Bohr had er vrede mee, want zijn voorganger op het kasteel van de Carlsberg Stichting was de pragmatische filosoof Höfdding. Bovendien zal Bohr Steno gelezen hebben, de Deense geleerde uit de zeventiende eeuw, die schreef (vert. Pais):

Beautiful are the things we see

More beautiful those we understand

Much the most beautiful those we do not comprehend.

POSTDOC

23 januari 1992

Wie vandaag een promotiedatum probeert af te spreken zal van de pedel te horen krijgen dat alle data tot de zomer al zijn vol geboekt. Wat dat betreft heeft het beleid van de vorige minister van O&W succes gehad. Vijf jaar geleden dreef hij zijn zin door en startte een nieuwe onderzoekersopleiding voor studenten die de eerste fase achter de rug hebben. Aan alle faculteiten werden assistenten of onderzoekers-in-opleiding aangesteld op een contract voor vier jaar. Sindsdien is het aantal promoties aan de Nederlandse universiteiten in alle faculteiten gestegen. De hoogleraren staan 's morgens om 11 uur al aan de jus d'orange, om 1 uur aan de sherry en om 3 uur aan de borrel. Decanen zullen binnenkort een speciale leverkeuring moeten ondergaan alvorens zij geschikt bevonden kunnen worden voor hun functie. Er gaan stemmen op om de promotieplechtigheid, het enige ritueel dat de jaren zestig heeft overleefd, af te schaffen omdat het niet meer op te brengen is zoveel promoties als er zijn. Verdient drs. Deetman nu een eredoctoraat van de Nederlandse universiteiten? Alvorens daarover een judicium uit te spreken zou ik nog wat in overweging willen geven.

1. Bij het invoeren van het systeem van assistent-in-opleiding heeft de minister gedecreteerd dat degenen die aan deze onderzoekersopleiding beginnen slechts een half salaris krijgen, omdat ze voor de helft van de tijd nog in opleiding zijn. In mijn eigen laboratorium betekent dit dat inmiddels de helft van 50 promovendi die bij ons onderzoek doen, een inkomen heeft dat beneden het minimum loon ligt. De opleiding die de promovendi krijgen vindt vooral plaats in het laboratorium zelf want in de eerste fase is er nauwelijks tijd om kennis te maken met het onderzoek, de eerste vier jaar van de studie zitten tjok vol met de theorie van het vak. In de tweede fase ligt de klemtoon dus op de praktijk van het onderzoek en dat is goed te merken, want de meeste promovendi publiceren verscheidene wetenschappelijke artikelen, al voor dat zij promoveren. Uit recent onderzoek is gebleken dat dit geldt voor de meeste promovendi in alle faculteiten. De onderzoekers-in-opleiding dragen produktief bij aan het onderzoek en zouden daarnaar betaald moeten worden. Volgens mij is hun bijdrage aan het onderzoek aanzienlijk meer waard dan het minimum

loon. Maar het geringe salaris is niet het grootste probleem.

2. De minister heeft gedecreteerd dat de onderzoekersopleiding niet langer mag duren dan 4 jaar. Het systeem werd 5 jaar geleden ingevoerd en thans blijkt dat in de meeste faculteiten nog niet de helft van degenen die in '86/'87 zijn aangesteld inmiddels is gepromoveerd. Weliswaar is het aantal promoties aan de universiteiten gestegen, maar het rendement van de onderzoekersopleiding heeft niet aan de verwachting van de minister beantwoord. Op ons laboratorium hebben inmiddels 16 assistenten in opleiding de doctorstitel gehaald. Hun gemiddelde promotietijd was 4,3 jaar.

3. Gelukkig heeft de minister niet gedecreteerd dat de doctorsbul automatisch overhandigd moet worden aan assistenten die 4 jaar in opleiding zijn geweest. Dat kan ook niet want promoveren is het recht van de promotor. De minister heeft echter niet aangegeven wat er dient te gebeuren indien het promotieonderzoek langer dan vier jaar gaat duren. Ik zou zeggen: iemand die 4 jaar onderzoeker-in-opleiding is geweest die is klaar met de opleiding en kan aangesteld worden als onderzoeker, om in een tijdelijke aanstelling netjes zijn proefschrift af te maken. De praktijk is anders: de meeste aanstellingen worden niet verlengd en de onderzoekers komen in de WW terecht. Veel onderzoeksresultaten dreigen verloren te gaan omdat de onderzoekers gefrustreerd raken en hun baan en begeleiding kwijt zijn. In sommige faculteiten worden al gelden bij elkaar gebedeld om de drukkosten van de proefschriften te betalen van die promovendi die inmiddels in de bijstand zitten. In andere faculteiten worden de promovendi slechts voor 3 jaar aangesteld. In het vierde jaar wordt van hen verwacht dat zij toch alleen maar bezig zijn met het schrijven van hun proefschrift en dat kan wel in de WW, zo vindt men, want dat spaart geld uit voor het onderzoek. Opvallend is dat men het niet zo nauw neemt met de WW in die faculteiten waar men toch al een grote kans loopt na de opleiding werkloos te blijven. Sinds kort moeten de universiteiten zelf de wachtgelden en uitkeringen betalen. Dat zal een rem zetten op het achtereenvolgens in de WW stoppen van jonge onderzoekers. Er gaan stemmen op om een plaatsingscommissie in het leven te roepen die vaststelt hoeveel onderzoekers er aangesteld mogen worden in de verschillende faculteiten. Dat lijkt mij overbodig als men de simpele regel aanhoudt dat er pas weer nieuwe promovendi mogen worden aangesteld als de voorgaande lichting

gepromoveerd is en een baan heeft gevonden.

Er moet snel een oplossing komen voor degenen (de meesten) wiens promotieonderzoek langer duurt dan 4 jaar. Het is te gemakkelijk en ongewenst om te zeggen dat de promotoren hun eisen aan de proefschriften maar moeten bijstellen. Dat zou een verlaging betekenen van het onderzoekpeil in ons land. Veel recent-gepromoveerden hebben al laten zien dat zij net zulke goede proefschriften kunnen produceren als de promovendi-oude-stijl. De onderzoekers-in-opleiding hebben echter meer begeleiding nodig dan vroeger, vooral in de beginfase, omdat men aanzienlijk jonger is en vrijwel geen onderzoekservaring heeft. Die extra begeleiding kan gegeven worden door pas-gepromoveerden: postdocs. Met de hulp van postdocs kan voorkomen worden dat de opleidingen te lang duren en veel onderzoekresultaten onnodig verloren gaan.

Door het beleid van de minister komen er thans uitzonderlijk veel gepromoveerde onderzoekers in de leeftijd van 26 tot 30 jaar op de markt. Sommigen maken zich zorgen dat het er teveel zouden zijn. Pas-gepromoveerden willen meestal graag nog een aantal jaren doorgaan met onderzoek. Zij hebben de smaak te pakken gekregen en staan, zo vlak na hun promotie, op de toppen van hun kunnen in hun vakgebied. Zij zouden een aanstelling kunnen krijgen als postdoc voor twee jaar. Als er één postdoc wordt aangesteld op elke twee promovendi dan zou jaarlijks het complete contingent gepromoveerden een postdoc-plaats kunnen krijgen. Het postdoc-circuit is echter groter dan Nederland. Voor de meeste onderzoekers zou het heel goed zijn om ervaring op te doen in het buitenland en te laten zien dat men ook in een andere omgeving in staat is goed onderzoek te doen. De doctorsgraad is internationaal erkend en Nederlandse onderzoekers staan in het buitenland goed aangeschreven. Het moet voor de meesten geen enkel probleem zijn om een interessante plaats in het buitenland te vinden. In de onderzoekcentra in Nederland zouden wij dan vooral buitenlanders als postdoc moeten aanstellen. Dat kan de internationale samenwerking in de wetenschap alleen maar ten goede komen.

Het postdoc-circuit zou ook uitgebreid moeten worden naar de industrie en de overheid. Pas-gepromoveerde onderzoekers zouden een baan moeten kunnen krijgen als postdoc bij: Shell, Philips, Unilever, AKZO, Elsevier, ABN-AMRO, de Nederlandse Bank, op de ministeries, bij de

gemeentelijke instellingen, TNO, ECN, Rijkswaterstaat, Schiphol, etc., in een tijdelijke aanstelling voor een of twee jaar om onderzoek te doen en kennis te maken met deze bedrijven en instellingen. Deze kunnen hierdoor meer onderzoek laten doen door hoog gekwalificeerde medewerkers die nog niet zo duur zijn, waar ze nog niet aan vast zitten en die men enige tijd in eigen omgeving kan zien functioneren. Degenen die bezwaar maken tegen een tijdelijke aanstelling zou ik willen vertellen van de genus *Ascidia*, een bepaald soort zee-anemoon. Als jong diertje trekt het door het water op zoek naar een geschikte rots of koraalrif om zich aan vast te klampen en voor de rest van zijn leven een woonplaats te hebben. Hiertoe bezit het een begin van een zenuwstelsel. Wanneer het diertje eenmaal zijn plek gevonden heeft, zijn de hersenen overbodig en dus eet deze zee-anemoon z'n eigen hersenen op.

EEN TIMMERMANSOOG

30 januari 1992

Goede onderzoekers stellen de goede vragen. Zij verknoeien hun tijd niet met problemen die reeds opgelost zijn. Zij laten zich evenmin verleiden door de romantiek van de onbeantwoorbare vragen. Goede onderzoekers hebben er kijk op. Zij weten welke vragen oplosbaar zijn, zij hebben daarvoor een timmermansoog.

Onze wetenschappelijke kennis kan men opvatten als een wijd vertakt netwerk. De goede onderzoeker weet de klitten te vinden, ze van hun omgeving te isoleren en alle belangrijke draden in handen te krijgen om de knoop te ontwarren zodat het verband met de omgeving duidelijk wordt. Het is geen kunst om draden die niet (meer) in de knoop zitten te ontwarren. Het is niet produktief om aan Gordiaanse knopen te werken, of op plaatsen te gaan zoeken waar nog geen enkel stukje ontward is. Goede onderzoekers doen grensverleggend onderzoek. Aan het gedeelte van het netwerk dat wij reeds kennen voegen zij een stukje toe.

Meestal is het maar een heel klein en onbetekenend knoopje dat zij ontwarren. Soms bevindt zo'n knoop zich op de grens van een heel nieuw vakgebied en kan er plotsklaps een groot stuk aan onze kennis worden toegevoegd. Zo ontstond uit de spectroscopie de atoomfysica en daaruit de kernfysica en daaruit weer de elementaire-deeltjesfysica. Soms gaan de ontwikkelingen in één richting zover dat het tijd wordt andere klitten elders in het netwerk te ontwarren. Zo beleven wij thans in de natuurkunde, na de studie van het allerkleinste (de elementaire deeltjes) en die van het allergrootste (de oerknal) een opeleving in de studie van het meest complexe. De verklaring van het gedrag van macro-moleculaire systemen, zoals polymeren, vloeibare kristallen en colloïden maakt een snelle ontwikkeling door, sinds onderzoekers het aandurven om de gedetailleerde moleculaire structuur te vergeten en op andere parameters, zoals globale vorm en flexibiliteit, te letten. Zo heeft men de draden in handen gekregen waarmee de knopen in complexe vloeistoffen ontward kunnen worden.

Soms gaan de koersveranderingen systematisch en geleidelijk, soms

schoksgewijs. Denk maar aan de ontdekking van supergeleiding bij hoge temperatuur. Tachtig jaar gebeurt er weinig en de meeste onderzoekers hebben het vakgebied al verlaten, dan komt iemand op het idee om het eens te proberen met oxyden in plaats van metalen en plotseling is de voortgang enorm.

Hoe ontstaat nu zo'n nieuw idee? Dat creatieve moment bij die ene onderzoeker, dat timmermansoog dat plotseling ziet hoe het moet, hoe werkt dat? Voor elke onderzoeker die wel eens de goede vraag heeft gesteld en van moeder natuur plotseling antwoord kreeg, is het een brandende kwestie waar die goede vraag precies vandaan kwam. Zelf heb ik lang geloofd dat de vraag naar de oorsprong van creativiteit een fascinerende maar onbeantwoorbare vraag is, net als die andere onbeantwoorbare vragen (naar de oorsprong van de oerknal of van het leven). Onze hersenen kunnen toch niet zichzelf begrijpen? Maar bij Dick Hillenius las ik: "zo goed als ik in de spiegel naar mijn eigen ogen kan kijken, zo goed kan ik met mijn eigen hersens over mijn hersens denken".

Een idee vond Dick het belangrijkste wat je van tijd tot tijd kunt leveren. "Natuurlijk niet een platonisch idee - een door onwillige zintuigen noodgedwongen oppervlakkig beeld van de werkelijkheid - maar, integendeel, een door de botsing van zo scherp en zo uiteenlopend mogelijke zintuigindrukken ontstane flits, een verbinding van zaken die tevoren nooit verbonden waren". Dick Hillenius dacht dat het ideeën krijgen zo gaat: "net zolang de zintuigen laten zwelgen in de gegevens van de werkelijkheid tot de aangeboren patronen gewekt worden". De aangeboren patronen zijn het resultaat van 3000 miljoen jaar evolutie van het leven op aarde dat geleid heeft tot de hersenen waarmee wij het moeten doen. "Dit zou ook kunnen verklaren waarom soms goede ideeën gebouwd werden op geen, te weinig of zelfs verkeerde feiten. We zijn dus zeker geen passieve camera obscura. Wat er aan beelden binnenkomt wordt geconfronteerd met alles wat we zelf hebben geleerd en met alles wat in drie miljard jaar natuurlijke selectie aan kennis, aan programma, in onze computer is aangebracht".

Een goed idee is nooit weg. Het kan in vergetelheid raken, wanneer het idee is ontstaan bij iemand die zijn tijd ver vooruit is, maar vroeg of laat komt het toch weer boven. De poëzie gaat aan de wetenschap vooraf. De computer, de metafoer van onze dichter/bioloog, is zojuist een nieuw leven

begonnen bij Daniel C. Dennett wiens boek *Consciousness Explained* door de *New York Times* werd gekozen tot de toptien non-fiction van 1991.

Om te beginnen herinnert Dennett ons er nog eens aan dat ons bewustzijn tot de fysische werkelijkheid behoort en niet als een ziel daarboven zweeft. Wij beïnvloeden immers die fysische werkelijkheid en dus moet ons verstand aan diezelfde fysische wetten voldoen, er deel van uit maken, anders kan het niet. Onze geest kan niet ons lichaam besturen zonder dat het energie kost, 't is geen perpetuum mobile. Lichaam en geest voldoen beide aan de wet van behoud van energie. Onze geest is dus niet IETS anders of hogers, maar wat is onze geest, ons bewustzijn, dan wel?

Dennett vergelijkt de werking van ons verstand met die van een computer. Beide bestaan uit elementen die signalen verwerken en opslaan. De meeste computers zijn zo geprogrammeerd dat er keuze is uit verschillende menu's: tekstverwerking, rekenen, tekenen, spelen, etc. Door verschillende keuzes te maken lijkt het net of we aan het werk zijn met zeer verschillende machines: een typemachine, een rekenmachine, een tekenbord of een speeltuig. Toch zijn we nog steeds op dezelfde computer bezig, maar steeds in verschillende gedeelten van de programmatuur. Men kan ons bewustzijn vergelijken met net zo'n programmatuur, maar dan in onze hersenen. De programmering maakt zeer verschillende functies mogelijk met onze hersencellen. De functies zijn deels afhankelijk van de hardware, de hersencellen die vooral genetisch bepaald zijn en deels afhankelijk van de software, de verschillende menu's in het programma, die ons vooral zijn aangeleerd.

Net zoals een programma van de ene computer naar de andere kan worden overgezet, zo is het mogelijk de software van onze eigen hersenen over te dragen naar die van een ander. In deze zin blijft ons bewustzijn in principe voortbestaan na onze dood, in onze kinderen, in onze leerlingen, in onze collega's, in de generatie die na ons komt en die wij mede hebben opgevoed.

Terug naar de nog onbeantwoorde vraag: hoe ontstaat een goed idee? Sommige wetenschappers zweren bij een soort Dorknopergebruik van computers, waarmee vragen beantwoord kunnen worden van het soort: wat is de stof met de grootste treksterkte, of het sterkste magneetveld, of het hardste oppervlak? Zulke 'expert-systemen' weten alles wat je altijd had willen weten maar niet durfde vragen omdat je bang was voor dom te worden versleten. Zulke computers hebben een superieur geheugen en zij

weten daardoor precies wat er allemaal niet meer onderzocht hoeft te worden. Zij zijn een meester in het beantwoorden van reeds beantwoorde vragen. Heel nuttig, maar zij hebben nooit een goed idee.

Computersimulaties zijn een hele andere manier om van de mogelijkheden van de computer gebruik te maken (zie Frenkel, De Gids, 1991). In principe kunnen we in de computer iedere modelwereld scheppen die we willen. In de praktijk betekent dit, dat we een model bedenken voor het systeem dat we willen bestuderen: bijvoorbeeld een stromende vloeistof, of de atmosfeer van de aarde, of zelfs het hele universum. Daarna vertellen wij aan de computer hoe de natuurwetten er uit zien. Niet de grondwet, maar de wet die van toepassing is op de verschijnselen die we willen bekijken. En dan zeggen we tegen de computer: "Okay, dit zijn de spelregels, reken nu maar uit wat er gaat gebeuren". En daarna gaan we gewoon zitten kijken wat er gebeurt met onze schepping. Men kan zich voorstellen dat het in de hersenen van een onderzoeker ook zo gaat: het zo precies mogelijk aflezen van de zintuigafdrücken, het zo goed mogelijk verwerken ervan, het wakker houden van de herinneringen en ervaringen, het bewust worden van zo veel mogelijk zaken die in de 3000 miljoen jaar van de geschiedenis van het leven op aarde toegang hebben gekregen om het leven mogelijk te maken. Daarvan een model maken en dan met onze hersenen kijken naar onze hersenen, zo krijg je als onderzoeker toch een timmermansoog?



VUUR

20 februari 1992

De heetste plek op aarde vindt men in Engeland. In het kernfusie experiment aldaar is het een stuk warmer dan op de zon. Niet iedereen realiseert zich dat het met de verovering van het vuur in de geschiedenis van de mensheid al zover is gekomen. In het "30 mannen nummer" van *NRC-Handelsblad* (30-1-92) vergelijkt H.B.G. Casimir de pioniers van de kernfusie met de succesvolle lage-temperatuurfysici. Een lage temperatuur van 1 millikelvin is 300.000 maal koeler dan kamertemperatuur (300 kelvin). Wil men een temperatuur bereiken die 300.000 maal hoger is, dan moet men naar 90 miljoen kelvin. Ten onrechte meent Casimir dat dit meer is dan wij voor kernfusie nodig hebben. Nabij Oxford, in het Europese kernfusie experiment, JET, wordt een temperatuur gehaald van 140 miljoen kelvin. Het is er tien maal zo warm als in het hart van de zon. Dit is noodzakelijk omdat de dichtheid en opsluittijd van het fusieplasma lager zijn. De kernfusici dragen momenteel de fakkel op de lange weg van vuurbeheersing die de mens is gegaan.

In de loop van de geschiedenis is de mens gaan behoren tot de pyrofyten, vuurgroeiërs, die hun voortbestaan aan het vuur te danken hebben. Hiervan heeft de socioloog professor J. Goudsblom een indrukwekkende studie gemaakt die zojuist is gepubliceerd in een 'koel' boek: *Vuur en beschaving* (Meulenhoff, Penquin en Suhrkamp, 1992). Het vermogen om met vuur om te gaan behoort, evenals de taal en het gebruik van werktuigen, al sinds prehistorische tijden tot de verworvenheden van alle menselijke samenlevingen. Het is bovendien in sterkere mate nog dan taal en werktuigen behalve een algemene ook een exclusief menselijke verworvenheid. Aanzetten tot taal en het gebruik van werktuigen komen ook voor bij apen en andere dieren; maar de mens is de enige soort die geleerd heeft vuur te beheersen. Het leren beheersen van vuur was en is een vorm van beschaving. Doordat de mensen het vuur hebben getemd en het hebben ingelijfd in hun samenleving, zijn die samenlevingen ingewikkelder en zichzelf meer geciviliseerd, beschaafder geworden. Zo stelt Goudsblom.

In 1720 stelde Boerhave nog dat de grootste uitdaging voor de natuur-

wetenschap lag in het doorgronden van de aard van het vuur: "Als u zich bij de uitdaging van het vuur vergist, zal uw vergissing zich over alle takken der natuurkunde verbreiden, daar in alle voortbrengselen van de natuur het vuur steeds het voornaamste werkbestanddeel is". Dit was nog ten tijde van de klassieke wetenschappelijke leer dat vuur een van de vier elementen vormde, samen met lucht, water en aarde. De eerste aanslag op deze leer werd gepleegd met de verbreiding van de zogenaamde flogistontheorie, volgens welke verbranding een proces was waarbij een onzichtbare stof, het flogiston, vrijkwam. Toen in 1777 Lavoisier aantoonde dat bij verbranding een verbinding met zuurstof plaatsvindt moest de leer van de vier elementen wel opgegeven worden. Het begrip vuur verdween uit het centrum van de belangstelling, niet alleen bij de natuurwetenschappen. Vuur en vuurgebruik vormen nog slechts onderwerp van gespecialiseerd toegepast onderzoek. In de algemene theorieën van de natuur- en de sociale wetenschappen komt het begrip vuur bijna niet meer voor.

Des te indrukwekkender is de theorie van Goudsblom, waarin natuurbeheersing, sociale beheersing en zelfbeheersing samengaan met de ontwikkeling van vuurbeheersing. Goudsblom onderscheidt drie stadia van 'domesticatie' van het vuur, in chronologische volgorde: 400.000 jaar geleden, de overgang van passief naar actief vuurgebruik; 10.000 jaar geleden, het ontstaan van landbouw door hakken en branden; rond 1800, de eeuw van de stoommachine en de lucifer.

Tijdens de eerste fase is de mens veranderd van een ecologisch secundaire soort in een ecologisch dominante soort. Het vuur kon alleen aan blijven als ervoor gezorgd werd. Vele andere dieren kennen de voordelen van een vuur, en ze maken er gebruik van als de gelegenheid zich voordoet. Geen van deze dieren heeft echter geleerd het vuur te beïnvloeden, het brandende te houden. Dit vergde aandacht en overleg. Er moest hout gesprokkeld worden en dat moest bewaard worden voor natte tijden; activiteiten die niet door een aangeboren instinct bepaald waren maar waarvoor leren en zelfdwang nodig waren. Goudsblom steekt de draak met Freud volgens wie vuurbeheersing pas mogelijk werd toen de mannen geleerd hadden niet telkens wanneer zij vuur zagen het te blussen door erop te urineren. Er zijn aanwijzingen dat ook chimpansees in staat zijn om een vuur enige tijd brandend te houden. Wat heeft hen dan verhinderd op deze weg voort te gaan? Volgens Goudsblom kan de exclusieve vuur-

beheersing door de mens gezien worden als de uitkomst van eliminatiestrijd tussen soorten, vergelijkbaar met de binnen de menselijke soort gevoerde oorlogen. Het is ook denkbaar dat het vuur geholpen heeft om banden te scheppen tussen groepen mensen die elkaar in geval van nood een vuurtje leenden. Goudsblom vindt dit waarschijnlijker dan de hypothese van Levi Strauss dat de oudste band tussen groepen was gebaseerd op de ruil van vrouwen.

In de tweede fase leerde de mens dat hakken en branden een zeer produktieve manier is om het land te ontginnen. Leefde 100.000 jaar geleden de mens voor 100% van verzamelen en jagen, 500 jaar geleden was dat nog maar 1%. Intussen werden er meer vuren gestookt, geconcentreerd in haarden, stoven, ovens, lampen. De arbeid werd verdeeld over boeren, ambachtslieden, priesters en krijgers, die elk heel eigen toepassingen van vuur ontwikkelden. De behoefte aan brandstof nam toe en de bevoorrading vereiste een organisatie. Men deed de dramatische ontdekking dat een hard en weerbarstig stuk rots veranderd kon worden in een plooibaar en vormbaar metaal. Tegelijkertijd nam het brandgevaar toe hetgeen grote eisen stelde aan de gevestigde agrarische samenlevingen. De verplichting om voorzichtig te zijn met vuur verschijnt als een sociale plicht, ondersteund door sociale sancties. Het beoefenen van landbouw en veeteelt stelde de mensen ook voor de vraag: wat te doen met de overvloed? Het is onwaarschijnlijk dat van meet af aan alle leden van de agrarische gemeenschap steeds bereid waren voorraden aan te leggen, meer voor de hand ligt dat enkele invloedrijke personen hierover de leiding genomen hebben. Zulke leiders kunnen heel goed priesters zijn geweest die rituele feesten organiseerden om een ingetogen houding bij de bevolking te versterken. Goudsblom kent aan de priesters een belangrijke rol toe in de beschavingscampagnes zoals hij die beschrijft over het oude Israel, de Grieks-Romeinse oudheid en het pre-industriële West-Europa.

De industrialisering bracht de derde fase van vuurbeheersing op gang die vooral gekenmerkt wordt door de afhankelijkheid van fossiele in plaats van organische brandstof. Voor de domesticatie van het vuur kon de mens slechts beschikken over weinig meer dan zijn eigen lichaamsenergie, 10 megajoule per dag. In de agrarische samenleving kon dit worden opgevoerd tot 100 megajoule per dag, maar het paleis van Versailles was nog zo pover verwarmd dat daar tijdens de winter van 1695-96 bij een

diner in de grote Spiegelzaal de wijn en het water op tafel in de glazen bevroren. Thans benadert in de VS de beschikbare energie per persoon een waarde van 1000 megajoule per dag. De afhankelijkheid van natuurkrachten is minder direct geworden en tegelijkertijd is de afhankelijkheid van culturele en maatschappelijke hulpbronnen toegenomen. Er is nu een ingewikkeld apparaat nodig om de energievoorzieningen continu te laten werken. Dit apparaat bevindt zich echter grotendeels achter de coulissen van de industriële samenleving, buiten het zicht van de meeste consumenten, zodat de toename van het verbruik niet door directe overlast wordt geremd. Zoals wij thans beginnen te beseffen, heeft dit vergaande ecologische consequenties. Een energieheffing zou de bewustwording en zelfbeheersing kunnen stimuleren en het ontwikkelen van alternatieven helpen financieren.

De theorie over vuur en beschaving heeft ook een voorspellende waarde. In het eerste deel van zijn boek geeft Goudsblom een fascinerende beschrijving hoe volgens hem de ontwikkelingen van de menselijke beschaving in de eerste 400.000 jaar moeten zijn verlopen. Daarom zal dit boek een geweldige uitdaging vormen voor archeologen, ecologen, antropologen, sociologen, psychologen en historici. Ook voor fysici bevat dit boek een les. Het is zonneklaar dat er een nieuwe fase van vuurbeheersing moet komen, maar het invoeren van alternatieven is niet alleen een technisch maar ook en vooral een mentaal probleem. In dit verband is het interessant te constateren dat de Europese kernfysici steen en been klagen over gebrek aan geld, terwijl ze toch zo succesvol bezig zijn daar in Engeland. Het Europese parlement heeft echter besloten de onbeschaafd grote financiële eisen van Euratom pas goed te keuren als er net zoveel geld wordt uitgetrokken voor onderzoek aan zonne-energie. Men zou dus zeggen dat de fysici er onderling snel uit moeten kunnen komen als ze zo beschaafd waren de collega's in de zonne-energie ook een kans te geven.

ZAPPEN

19 maart 1992

Uit kijkcijfers blijkt dat wij ongeveer even vaak naar alle twintig kanalen op onze tv kijken en meestal niet langer dan een paar seconden per kanaal. Wie van Nederland 1 naar CNN, BBC of Super Channel overschakelt gebruikt daarvoor de *zap-button* op de afstandsbediening van de tv, de knop waarmee je van kanaal naar kanaal springt en steeds even kan kijken wat voor programma er aan de gang is. Als het niet bevalt dan gaat het *zap* naar het volgende kanaal. Volgens sommigen zal *zap* ook de dienst uit maken in de wetenschap. Op twee manieren: om zich door de rijstebrijberg van publikaties heen te eten zal steeds meer *zap* gebruikt worden, en de producenten van wetenschappelijke informatie, de onderzoekers, zullen steeds meer moeite doen om op te vallen en niet *gezapt* te worden.

Er bestaat een computerbestand, *Physics Abstracts*, waarin van alle publikaties op het gebied van de natuurkunde een korte samenvatting wordt opgeslagen. In 1991 kwamen er 170.000 samenvattingen bij. Om ze allemaal te kennen zou ik in 200 werkdagen en 8 uur per dag meer dan 100 samenvattingen per uur hebben moeten lezen. Ik zit in de redactie van *Journal of Applied Physics* en van *Applied Physics Letters*. Eigenlijk vind ik dat ik daarvan alles zou moeten lezen, maar vorig jaar verschenen er in deze twee tijdschriften meer dan 4000 publikaties. Ik zou iedere werkdag het hele jaar door ten minste 20 publikaties hebben moeten lezen, maar ik ben geen snellezer, zoals Maarten 't Hart of Boudewijn Büch, en heb nog iets anders te doen ook. Hoe kan je nou in je eigen vak geïnformeerd blijven als je niet eens in staat bent om 2% van alles wat er gepubliceerd wordt te lezen?

Natuurlijk zijn 'e-mail', 'expert-systemen' en 'computer-search' deel van onze cultuur geworden en sommigen geloven dat hierdoor de effectiviteit van onze publikaties verhoogd wordt. Men kan immers wetenschappelijke publikaties gericht versturen vanaf de eigen tekstverwerker via computernetwerken over de hele wereld. En met bepaalde trefwoorden en de *zap-button* kan men snel zijn weg vinden in computerbestanden. Maar dit betekent niet dat de fysicus nu meer kennis tot zich neemt door

dag in dag uit teksten van een tv-scherm te gaan zitten lezen. Niemand haalt het in zijn hoofd om de hele dag op tv naar teletekst te kijken. Als er toch naar een beeldscherm gekeken wordt, en dat gebeurt natuurlijk ook in het laboratorium steeds vaker, dan weet ik wel iets beters voor de wetenschappelijke communicatie in de toekomst.

Stel u voor een video-clip: 'Doping for no defects', de meest recente ontdekking op het FOM-Instituut in Amsterdam (de camera toont ons betonnen gebouw aan het water langs de Kruislaan met vriendelijk bloeiende narcissen voor de deur). Terwijl een stem in vloeiend amerikaans uitlegt dat wij ontdekt hebben onder welke condities dislokaties ontstaan in silicium, hetgeen van belang is voor de fabricage van de micro-chip, gaat de camera naar onze deeltjesversneller. Daar is Simon druk bezig met ionen-implantatie (doping) in silicium. Wij horen de pompen reutelen en de kleppen open- en dichtslaan, de versneller staat aan. De camera scant langs de blinkende metalen constructie. Als *High Voltage Engineering* uit Amersfoort deze video sponsort dan toont de camera hun embleem op de versneller, anders niet. Op de muur boven de versneller hangt het periodiek systeem der elementen. De stem op de achtergrond legt uit dat wij reeds een derde van alle elementen hebben versneld. Het volgende beeld toont Rob, die zal promoveren op het ontstaan van dislokaties in silicium. Het schrijven van een wetenschappelijke publikatie valt hem zwaar maar dat is voor deze video geen probleem. Rob is een expert in elektronen-microscopie en hij laat aan de camera zien hoe er in sommige plakken silicium structuren zichtbaar worden nadat de plakken een kwartier in een oven zijn verwarmd naar 900 °C. Het volgende beeld toont Wu-Xing, onze Chinese gastmedewerker die geen engels schrijft noch spreekt. Maar ook dat is voor deze video geen bezwaar, want de Amerikaanse stem op de achtergrond zegt dat Wu-Xing precies gemeten heeft hoeveel atomen door de ionen-implantatie uit hun oorspronkelijke roosterpositie zijn gestoten, terwijl onze Chinees met een brede lach voor de deeltjesversneller staat. Het volgende beeld toont de Amerikaan die bij de stem hoort. Het is Jonathan, onze postdoc uit Cornell, die uitlegt dat steeds wanneer Wu-Xing een kritische hoeveelheid silicium-atomen meet, Rob dislokaties ziet en zo is voor het eerst ontdekt onder welke condities dislokaties in silicium ontstaan. Als u de zap-knop nog niet heeft ingedrukt dan krijgt u nu Reinoud te zien. Hij is een ingenieur uit Twente die onze kennis probeert toe te passen bij de fabricage van micro-chips (Philips wilde er niet aan,

het was immers niet daar ontdekt). Grijnzend toont Reinoud zijn opbrengst aan chips, 100% defectvrij terwijl normaal een opbrengst van 30% gehaald wordt. Zelf blijf ik tijdens deze video-clip vriendelijk lachend op de achtergrond en haal af en toe mijn hand van de kin om een enkele aanwijzing te geven. Dan is de video klaar en een mooie blonde dame zegt: "Thank you for watching 'Doping for no defects'. This is an ELVISIER © production, you will be charged 2 ECU, which is deducted automatically from your account".

Misschien ziet u er iets in, ondanks dat deze video-clip niet bedoeld is voor leken. Dit is zoals ik in de toekomst de communicatie tussen onderzoekers zie gebeuren zodra de telefoon, de tv en de computer geïntegreerd zijn in één netwerk waarmee over de hele wereld dit soort bewegende beelden, live of op video, voor iedereen direkt toegankelijk zijn. Deze manier van wetenschappelijke communicatie werkt misschien nu nog op de lachspieren, maar heeft toch evidente voordelen boven geschreven teksten die als wetenschappelijke publikaties in ongelezen tijdschriften op onze bibliotheekplanken terecht komen. Bovendien zijn wetenschappers ook mensen die zo trots zijn op hun meest recente ontdekking dat ze er maar wat graag mee op tv komen. Dus zodra het kan zal het gebeuren, maar voorlopig kan het nog niet. Als het via de wetenschappelijke publikaties niet (meer) gaat en via de tv (nog) niet werkt, hoe verloopt de wetenschappelijke communicatie nu dan?

Onderzoekers zijn lid van kleine gemeenschappen van mensen die in het zelfde vakgebied werken. Zij houden intensief contact met elkaar per brief, via de telefoon en vooral via laboratoriumbezoek en conferenties. Sommige van mijn vakgenoten wonen in de USA, Australië en Japan. Toch zijn zij tot mijn beste vrienden gaan behoren en weten wij van elkaar precies waar wij mee bezig zijn want wij zien elkaar meerdere malen per jaar. Ook al wonen wij ver van elkaar, toch is het alsof wij continu met elkaar in gesprek zijn. Voor het uitwisselen van wetenschappelijke informatie gaat er niets boven het persoonlijk contact. Buiten het eigen vakgebied zijn onderzoekers, net als andere leken, afhankelijk van wetenschapsvoorlichters en journalisten. Wij moeten het hebben van een paar technische tijdschriften en verder halen wij onze informatie uit bladen als *Nature*, *Science*, *New Scientist*, *Scientific American*, van de tv en uit de wetenschapsbijlage van de krant.

FREUDIAANS

16 april 1992

De president van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen versprak zich. Het was een Freudiaanse vergissing maar het klonk zo natuurlijk dat het haast niemand was opgevallen, behalve de minister zelf. Minister Ritzen was naar de Akademie van Wetenschappen gekomen om een conferentie te openen over 'Equipping Science for the 21st Century'. Toen de president van de Akademie aan de minister het woord gaf, noemde hij Ritzen de minister voor Wetenschap en Onderwijs. De minister merkte op dat hij van Onderwijs en Wetenschappen was en stelde expliciet dat de conferentiegangers niet hoefden te rekenen op extra geld voor wetenschappelijke apparatuur. Hij vindt wetenschap heel belangrijk en maakt zich zorgen over de deplorabele toestand van het instrumentarium aan de universiteiten, maar zijn prioriteit ligt bij onderwijs. De minister wenste het congres veel succes toe en vertrok weer naar Den Haag, waar hij de barricade op zou gaan voor het onderwijs.

De meeste congresgangers begonnen braaf aan hun *zero-sum-game* een kwamen met verhalen over de noodzakelijke verbetering van het instrumentarium voor het universitair onderzoek, die bereikt zou kunnen worden door verschuivingen in de begroting aan te brengen. Zelf vatte ik de woorden van de minister op als een uitdaging om met zulke goede argumenten te komen dat hij overtuigd zou raken van de noodzaak om te investeren in wetenschappelijke apparatuur. Die argumenten heb ik in de wandelgangen van het congres wel gehoord, en die zal ik hier ook geven, maar eerst wil ik het hebben over de rol van technici in de researchlaboratoria van vandaag.

Technici ontwerpen, bouwen, onderhouden en bedienen de meest moderne apparaten in het laboratorium. Voor grensverleggend onderzoek is het kopen van kant en klare apparatuur uit den boze. Als er al een apparaat gekocht wordt dan zal er altijd een innovatie aan worden toegevoegd om de onderzoekers in staat te stellen iets nieuws te ontdekken. In de meeste gevallen is de apparatuur die gebruikt wordt voor wetenschappelijk onderzoek absoluut uniek en 'in huis' ontworpen door een team van

onderzoekers en technici. Internationale samenwerking is aan de orde van de dag en dit stelt hoge eisen aan de technici. Om het eigen instituut een rol te kunnen laten spelen in internationaal verband, wordt van de technici verwacht dat men komt met echte innovaties, dat men zich houdt aan de afgesproken budgetten en tijdschema's en toch flexibel is. Bovendien is apparatuur voor wetenschappelijk onderzoek voortdurend aan vernieuwing toe door uitvindingen als ultra-hoog vacuüm, lasers, chips, supercomputers, nieuwe materialen, micro-mechanica, etc., innovaties die ten dele ook door het wetenschappelijk onderzoek worden gegenereerd. Tegen deze achtergrond zou men verwachten dat de technische staf van onze laboratoria belangrijk is uitgebreid. Het tegenovergestelde is het geval. In vrijwel alle moderne laboratoria is in de laatste tien jaren het aantal onderzoekers vergroot ten koste van het aantal technici. Dit kon alleen gebeuren dankzij een significante verandering in de rol van de technici.

Zonder twijfel is de mogelijkheid tot het uitbesteden van de bouw van apparatuur bij grote en kleine specialistische firma's aanzienlijk gegroeid en het is een gouden regel geworden: niets zelf maken wat beter elders gekocht kan worden. Een van belangrijkste taken van onze technische experts is om precies te weten wat er in de wereld te koop is. Op grond hiervan worden nieuwe instrumenten voor wetenschappelijk onderzoek ontworpen en gespecificeerd. Daarna is het de taak van de technicus om als projectleider de bouw te coördineren, eerst van de verschillende componenten en daarna de assemblage van het hele instrument. Het zal duidelijk zijn dat deze werkwijze hele nieuwe eisen stelt aan onze technici.

Er is echter nog een tweede taak weggelegd voor de technisch specialist en dat betreft het opleiden van jonge mensen. Zoals men jonge onderzoekers opleidt, door ze in teamverband te laten meewerken aan het onderzoek van een senior onderzoeker, zo kent men in het laboratorium ook de meester/gezel verhouding onder de technici. Pas afgestudeerden van de MTS of HTS vinden vaak hun eerste baan in een van onze research-laboratoria en raken zo vertrouwd met de meest moderne technieken. Het is ook buitengewoon motiverend om betrokken te zijn bij het ontwerpen en in bedrijf brengen van apparatuur voor grensverleggend onderzoek. Zo kweekt men toegewijde technici die, na enkele jaren in het laboratorium te hebben gewerkt, gemakkelijk een baan vinden in de Nederlandse industrie en dus plaats maken voor een nieuwe schoolverlater.

De technische infrastructuur van wetenschappelijke researchlaboratoria bestaat dus uit een kleine vaste kern van echte specialisten, op het gebied van vacuümtechniek, lasers, micro-elektronica, computers en fijn-mechanische techniek. Zij zijn niet alleen verantwoordelijk voor het wetenschappelijk instrumentarium, maar hebben ook een belangrijke taak bij de training van toegewijde technici waaraan onze maatschappij zo'n grote behoefte heeft.

Nu terug naar minister Ritzen en de conferentie met die pompeuze titel. In de wandelgang hoorde ik een directeur van het CERN in Genève het volgende zeggen: "Onze produktiviteit wordt aanzienlijk vergroot door mensen te vervangen door machines. Dit geldt niet alleen voor de productie van goederen maar ook van kennis. Daarom kunnen sommige industriële researchlaboratoria grote investeringen doen zonder dat het hun extra geld kost, want men reduceert het aantal medewerkers. Men schaft steeds meer apparatuur aan voor steeds minder onderzoekers. Wetenschappelijke, in tegenstelling tot industriële, researchlaboratoria hebben echter niet alleen de taak om onderzoek te doen, maar moeten ook en vooral veel hooggekwalificeerde mensen opleiden. In de wetenschappelijke research mogen de noodzakelijke investeringen niet ten koste gaan van het aantal medewerkers want dan gaat het opleidingskarakter verloren en dus is er extra geld nodig."

Alles goed en wel, maar als minister Ritzen zegt dat hij prioriteiten moet stellen en eerst iets wil doen aan de salarissen van onderwijzers en leraren dan heeft hij natuurlijk gelijk. Vooral in de bèta-vakken kiest vrijwel geen van de pas afgestudeerden voor het beroep van leraar. Van degenen die wij in de afgelopen tien jaar in ons lab hebben opgeleid en afgeleverd aan de maatschappij, koos er geen een voor het onderwijs. Men kijkt wel uit, bij de industrie kan je zeker 30% meer verdienen. Zelfs als ambtenaar, bijvoorbeeld op het ministerie van O&W, verdien je aanzienlijk meer dan als docent. Dat moet nu eerst veranderen. Er moet dus meer geld komen voor onderwijs en wetenschap, maar onderwijs gaat voor.

NAIEVE GELEERDEN

14 mei 1992

Eminente geleerden zijn soms in politiek opzicht naïef. Anderen zijn realistisch of weten zelfs op politiek terrein gewiekst te manoeuvreren. Bohr en Kramers waren naïef, Sacharov en Teller gewiekst. Nu de koude oorlog ten einde is lijkt mij de vraag interessant welk gedrag van atoomgeleerden wij maatschappelijk verantwoord vinden?

Uit het sensationele verhaal over 'De zaak Kr.', in *NRC* van zaterdag 2 mei, blijkt dat de Nederlandse, Britse en Amerikaanse geheime diensten prof. Kramers ervan verdachten een atoomspion van internationale allure te zijn. Gelukkig was hem dit niet bekend toen hij in 1952 overleed als een van de meest prominente geleerden van zijn generatie. Het is onvoorstelbaar dat Kramers een spion voor de Sovjet-Unie zou zijn geweest, maar in die tijd was het al verdacht om met Jan Romijn bevriend te zijn en, in het kader van de internationale broederschap van onderzoekers, contacten met Oost-Europeanen te onderhouden. De BVD voelde zich kennelijk geroepen om het westen te beschermen tegen de naïviteit van Kramers, terwijl hij meende de wereldvrede te bevorderen door openheid te betrachten toen in feite het ijzeren gordijn al was neergelaten en de koude oorlog was uitgebroken.

In 1946 werd Kramers gekozen tot voorzitter van het wetenschappelijk subcomité van de eerste atoomenergiecommissie der Verenigde Naties. Hoewel de tegenstellingen in het comité soms hoog opliepen is het Kramers gelukt een rapport op te stellen dat met algemene stemmen werd aangenomen. De belangrijkste conclusie luidde: effectieve controle over atoomenergie is technisch mogelijk. Hiermee hoopte Kramers te bereiken dat de kennis op het gebied van kernenergie en kernwapens, die tijdens de oorlog vooral in Amerika was opgebouwd, in alle openheid en volgens goed wetenschappelijke traditie verder ontwikkeld zou worden voor vreedzame toepassingen en het welzijn van de gehele mensheid.

Volledige openheid over wetenschappelijk onderzoek behoorde voor Kramers tot de ethiek van de wetenschappelijke onderzoeker. Het moet

voor hem een gruwel zijn geweest om van nabij mee te maken hoe de politici zijn idealen om zeep hielpen, eerst in de atoomenergiecommissie en daarna in de veiligheidsraad van de Verenigde Naties. In 1947 keerde Kramers onverrichter zake terug naar Nederland, waar hem een koninklijke onderscheiding wachtte als troost.

Min of meer hetzelfde overkwam Niels Bohr. Al tijdens de oorlog, toen hij naar Engeland gevlucht was, daarna naar Amerika ging en kennis maakte met de ontwikkeling van kernwapens, spande hij zich in om een wapenwedloop te voorkomen. Daartoe bepleitte Bohr openheid over kernenergie en kernwapens te verschaffen aan alle partijen, inclusief de Sovjet-Unie. Met deze boodschap reisde hij langs hoog-geplaatste diplomaten en politici in Engeland en Amerika. In zijn biografie over Bohr noemt Pais hem een 'pionier van glasnost', maar Churchill en Roosevelt vonden hem naïef of begrepen hem niet. Op 6 en 9 augustus 1945 werden Hiroshima en Nagasaki door uranium- en plutoniumbommen verwoest en op 11 augustus publiceerde *The Times* een artikel 'Science and civilization' van Niels Bohr. Hij gaf het niet op en bleef pleiten voor openheid. De ontwikkeling van kernenergie en kernwapens moest onder internationale controle komen. Dit was naïef, want de koude oorlog had de Amerikaans-Russische relatie al vergiftigd. De politieke hysterie vergrootte de oost-west tegenstellingen en Niels Bohr werd ervan verdacht in zijn naïviteit gevoelige informatie door te zullen geven aan zijn Russische collegae.

“Natuurlijk besepte ik met wat voor verschrikkelijke, onmenselijke dingen we bezig waren” schrijft Sacharov in *Mijn Leven* (Meulenhoff, 1990.) “Maar de recente oorlog was ook een oefening in barbaarsheid geweest; hoewel ik in dat conflict niet gevochten had, zag ik mezelf als een soldaat in deze nieuwe, wetenschappelijke oorlog”. Hier spreekt een fysicus over de ontwikkeling van kernwapens vanuit een heel ander perspectief dan Kramers en Bohr. Sacharov maakte voor Stalin de waterstofbom net als Teller dat deed voor Eisenhower. Beiden rechtvaardigden dit door erop te wijzen dat de kernwapens de grote mogendheden in evenwicht hielden waardoor een derde wereldoorlog voorkomen werd. Daaraan voegt Sacharov nog toe: “Aanvankelijk was onze ijver echter meer emotioneel dan intellectueel gekleurd. De reusachtige vernietigingskracht, de enorme inspanningen die ons werk vergde en de prijs die ons arme, hongerige en door de oorlog verwoeste land ervoor moest betalen, de slachtoffers als

gevolg van onvoldoende veiligheidsmaatregelen en het gebruik van dwangarbeid bij de winning en verwerking van grondstoffen, dit alles versterkte voor ons de dramatiek van het werk en bracht ons ertoe een topinspanning te leveren, opdat de offers - die wij onvermijdelijk achtten - niet tevergeefs zouden zijn. Wij waren door een ware oorlogspsychologie bevangen”.

Sacharov begrijpt ook het gedrag van zijn tegenspeler, Edward Teller, in dit lugubere spel met de wereldvrede en als een goed veldheer neemt hij hem in bescherming tegen ‘onfatsoenlijke’ verwijten van vakgenoten: “Teller had aan den lijve de communistische revolutie van 1919 in zijn geboorteland Hongarije ondervonden, en hij koesterde een diepgeworteld wantrouwen tegen het socialistische systeem. Hij hamerde erop dat alleen Amerika’s militaire kracht het socialistische kamp kon weerhouden van een expansie die de beschaving en de democratie zou bedreigen”. In de ogen van velen hebben zowel Sacharov als Teller tijdens de ontwikkeling van de waterstofbom de heersende ethiek van de wetenschap aan hun laars gelapt. Zij hebben de natuurkunde opgezadeld met het ‘Doctor Strangelove syndroom’, een schuldgevoel over een krankzinnige wapenwedloop.

Vinden wij thans dat Sacharov en Teller maatschappelijk onverantwoord gehandeld hebben? Ik denk het niet. De koude oorlog is over, zonder een grote wereldbrand. Alle kernwapens zijn nog lang niet de wereld uit, desalniettemin is het zover gekomen dat kernwapens die nog nooit gebruikt zijn ontmanteld worden. Dit is in de eerste plaats te danken aan de politici, maar zij zijn daartoe in zekere zin in staat gesteld door de gewiekste manoeuvres van de atoomgeleerden Sacharov en Teller, niet door de naïviteit van Kramers en Bohr. Toch gaat onze sympathie uit naar de laatsten. Zijn wij dan toch maar liever naïef?

ANDRIES MIEDEMA 1933-1992

11 juni 1992

Plotseling is Nederland zijn leider in de natuurkunde kwijt. Op hemelvaartsdag overleed Andries Miedema volkomen onverwacht. In de goede traditie van Philips, was hij zowel directielid van het Natuurkundig Laboratorium, als toonaangevend onderzoeker in de natuurkunde en beleidsmaker in de nationale en Europese onderzoek- en onderwijswereld. In die zin loopt er een directe lijn van Casimir, via Rathenau naar Miedema. Toch is Miedema nooit zo beroemd geworden als Casimir en nooit zo'n baas als Rathenau. Daarvoor is een aantal redenen te geven die samenhangen met zijn persoonlijkheid en met veranderingen in de industriële research. Miedema was geniaal, hij hield van zijn vak en hij hield van mensen, hij was vasthoudend, bescheiden en integer, daarom was hij op het moment van overlijden de meest invloedrijke fysicus van ons land.

Na zijn promotie in Leiden in 1960 werd hij al in 1965 benoemd tot hoogleraar in Amsterdam als opvolger van Rathenau, die het kantoor van Casimir kreeg en directeur werd op het Philips Nat Lab. Miedema was pas 31 toen hij in Amsterdam hoogleraar werd en het onderzoek startte op het gebied van metalen en magnetische materialen, waarom hij eerst verguisd werd maar dat op den duur over de hele wereld gebruikt en naar hem vernoemd zou worden.

Om de vormingswarmte van een metaallegering te verklaren stelde Andries Miedema zich de legering voor als opgebouwd uit atomaire blokjes van de zuivere metalen, die elk voor zich nog een duidelijke gelijkenis vertonen met een brok van dat metaal. Miedema kende aan het atoom macroscopische eigenschappen toe. Dat is strikt genomen onjuist: een atoom ijzer heeft niet dezelfde eigenschappen als een spijker. Er is dus moed voor nodig om te zeggen: ik doe net of mijn neus bloedt en beschrijf een ijzeratoom als een heel klein brokje ijzer. Deze aanpak bleek verstrekkende gevolgen te hebben. Als men twee verschillende soorten atomen met elkaar in contact brengt is het de moeite waard om te weten hoe ze zullen reageren. Daartoe is het slechts nodig het verschil in chemische potentiaal en elektronendichtheid te kennen, zo stelde Miedema. Het potentiaalverschil tussen twee stoffen geeft de voorkeur aan van elektronen voor een van de twee stoffen en is gemakkelijk te meten. Als de

stoffen met elkaar in contact komen leidt het verschil in chemische potentiaal tot een verplaatsing van elektronen en het verschil in elektronendichtheid tot kleine vervormingen van de atomen.

Op basis van dit macroscopisch atoommodel werd in 1973 berekend of er bij het legeren van twee stoffen warmte moet worden toegevoegd of dat er juist warmte vrijkomt. De berekeningen konden worden getoetst aan reeds gemeten energie-effecten. De werkelijke waarde van het Miedema-model lag natuurlijk in het voorspellend vermogen voor al die legeringen waarvoor toen nog geen energie-effecten bekend waren. De eerste resultaten werden met argwaan en onbegrip ontvangen. Miedema had de grootste moeite zijn eerste wetenschappelijke artikelen gepubliceerd te krijgen, omdat iedereen 'wist' dat een atoom niet dezelfde eigenschappen heeft als een brokje metaal. Dit onderzoek zou zeker in de *Physical Review* thuis hebben gehoord, maar de gevestigde orde in de metaalkunde en de atoomfysica gaf geen toestemming tot publikatie. Inmiddels was Andries Miedema adjunct-directeur geworden op het Philips Nat Lab zodat het eerste artikel in het *Philips Technisch Tijdschrift* kon verschijnen. Zonder overdrijving kan gesteld worden dat deze publikatie behoort tot de grootste Nederlandse bijdragen aan de naoorlogse natuurkunde.

Philips bezit talrijke patenten op het gebied van de opslag van waterstof in metalen en op het terrein van magnetische materialen, gebaseerd op het Miedema-model. Nu cadmium-houdende batterijen uit het milieu geweerd worden, blijkt er voor de Philips patenten grote commerciële belangstelling te bestaan. Over magnetische materialen schrijft Karel Knip, in het allerlaatste interview met Andries Miedema (*De mond vol tanden*, Prometheus 1992): "Zo zijn er de laatste jaren nieuwe magnetische materialen ontwikkeld die een ongekende miniaturisering van elektromotoren of opnamekoppen mogelijk maken". Miedema voegde daar nog aan toe: "Philips heeft zich door de jaren heen op twee terreinen geconcentreerd: de ontwikkeling van nieuwe materialen voor permanente magneten in elektromotoren, dynamo's, luidsprekers en dergelijke en de toepassing van magnetisch materiaal ten behoeve van al die gegevens-registratie die met de term recording wordt aangeduid". Het onderzoek naar materialen voor permanente magneten is voor Philips een groot succes geworden. Miedema: "Ik mag wel zeggen dat de Japanners ons dat dubbel en dwars terugbetalen".

In het zelfde interview schrijft Karel Knip: "Zo schitterend is het licht dat hoge-temperatuur supergeleidende materialen, lasers, geïntegreerde

elektronische schakelingen en nieuwe fotonische materialen om zich heen werpen, dat het de buitenstaander bijna zou ontgaan dat in de diepe slagschaduw ook nog ander werk wordt verricht”. Inderdaad, Miedema was zo bescheiden dat zijn licht onder de korenmaat bleef. Casimir en Rathenau werden opgevolgd door degenen die een rol hadden gespeeld bij de ontwikkeling van de kleuren-tv en de compact-disc, terwijl Miedema's rol bij het Philips Nat Lab beperkt bleef tot adjunct-directeur van de sector 'Basic Physics and Materials Science'.

Andries Miedema ontving de Hewlett Packard prijs van de European Physical Society in 1980 en de Hume-Rothery onderscheiding in 1981. Hij was voorzitter van de natuurkunde-kamer van de KNAW en eredoctor van de TUD. Miedema was veel meer dan een excellente wetenschapper. Hij was een vraagbaak voor velen. Zo was hij adviseur van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie en haar laboratoria in Amsterdam en Delft en lid van de programmaraad van het Max Planck Instituut in Stuttgart. Hij was lid van de Verkenning Commissie Natuurkunde Onderzoek en van de commissie "Onderzoekscholen" van minister Ritzen. Ook vertegenwoordigde hij ons land in Europese onderzoeksprogramma's.

Andries was de steun en toeverlaat voor velen vanwege zijn sociale gevoel en zijn oprechtheid. Hij was loyaal, nooit hoorde men hem klagen. Toch moet hij problemen hebben gehad met de recente reorganisaties bij Philips. In het Nat Lab was hij verantwoordelijk voor het aannemen van wetenschappelijk personeel; mensen die hij zelf een baan had aangeboden moest hij persoonlijk de wacht aanzeggen. Ook het fundamenteel onderzoek dat onder zijn leiding stond moest meer gericht worden op directe toepassingen in de eigen industrie.

Onder leiding van Casimir kwam het fundamenteel onderzoek op het Nat Lab tot stand. Onder Rathenau beleefde het een flinke bloeiperiode. Onder Miedema werd er op grote schaal geoogst. Terecht maken velen zich zorgen dat er na hem bij Philips niet meer wordt ingezaaid en het fundamenteel onderzoek teloor zal gaan. Leiderschap in fundamenteel onderzoek, in industriële research en in onderwijs- en onderzoekpolitiek, verenigd in één persoon is na de oorlog buitengewoon vruchtbaar gebleken voor Philips en voor de Nederlandse natuurkunde. Thans wordt deze symbiose bijna doodgedrukt door het geweld van Centurion en Customer Day. Het is haast niet te geloven dat Philips en de Nederlandse natuurkunde kunnen overleven zonder mensen als Andries Miedema.

LEVE HET ELEKTRON

24 september 1992

Binnenkort zullen wij de honderdste verjaardag vieren van het elektron. Volgens sommigen viel de geboorte samen met de oerknal, 15 miljard jaar geleden, maar wij fysici kennen het elektron pas sinds de experimenten met kathodestraalbuizen van J.J. Thompson. In 1897 toonde hij aan dat in wat wij tegenwoordig een tv-buis zouden noemen een stroom deeltjes loopt van de negatieve kant (de kathode) naar de positieve. Thompson bepaalde hun lading en massa en doopte deze dragers van elektrische stroom 'elektronen'. Deze experimenten toonden niet aan dat alle elektronen identiek zijn en sommige anti-atomistische fysici hielden vol dat het elektron geen uniek deeltje is en de gemeten lading slechts een gemiddelde waarde vertegenwoordigde. Daarop deed Millikan experimenten met druppeltjes olie die hij van een lading voorzag en in een elektrisch veld liet zweven. Zo kon hij vaststellen dat de druppeltjes steeds geladen waren met een geheel aantal malen (2x, 3x, 4x) de lading van Thompson's elektron. Door een rooster in de elektronenbuis aan te brengen kon Lee De Forest de elektronenstroom regelen en zelfs versterken. Dit leidde tot de geboorte van de moderne elektronica en de ontwikkeling van radio, tv, radar, rekenmachine, elektronenmicroscop, etc.

Toen iedereen er van overtuigd was dat het elektron een deeltje was, een fundamentele bouwsteen der natuur, strooide de atoomfysica roet in het eten. Om het gedrag van het elektron in het atoom te verklaren moest men aannemen dat het geen deeltje is maar een golf. Het bewijs voor het golfkarakter van het elektron werd geleverd door Davisson en Germer die elektronen verstrooiden aan een nikkelkristal en dezelfde interferentieringen konden waarnemen als bij de diffractie van röntgenstralen. Toch is het vreemd dat in het ene experiment het elektron zich gedraagt als een deeltje en in het andere als een golf. Het werd nog vreemder, want het elektron bleek te roteren om zijn eigen as waardoor het in een magneetveld rechtop kan staan of op z'n kop. Ook werd voorspeld en gevonden dat het elektron een anti-deeltje heeft, een positron, met dezelfde massa als het elektron maar positief geladen. Als een elektron botst met een positron verdwijnen beide en blijft er slechts een lichtflits over.

Het beeld dat wij thans hebben van het atoom bestaat uit een positieve kern met een wolk negatief geladen elektronen daar omheen. De kern bepaalt slechts de massa van een stof en de positieve lading trekt de negatieve elektronen naar een bepaalde plaats in een stof. Vrijwel alle andere eigenschappen van materie worden door de elektronen bepaald, niet door de kern. Of een stof hard is of zacht, gasvormig, vloeibaar of vast, blauw, geel of rood, een isolator of een geleider, wat de structuur is van de materie om ons heen wordt door de elektronen bepaald. Het is de droom van de atoomfysici om het gedrag van de elektronen zo goed te kennen dat op basis daarvan alle mogelijke macroscopische eigenschappen van materie verklaard worden. Atoomfysici zijn dus eigenlijk elektronenfysici en geen kerneleerden.

In 1948 leerden fysici van AT&T Bell Labs het gedrag van elektronen in een kristal net zo goed beheersen als in de elektronenbuis van Lee De Forest. Zij bouwden een miniatuur elektronenbuis, de transistor, waaruit de micro-elektronica, een compleet nieuwe industrie, zou ontstaan. Thans domineert de micro-elektronica de moderne technologie. Geen enkele industrie is zo innovatief en besteedt zoveel geld aan research en ontwikkeling als de micro-elektronica. Geen wonder, want de transistor, computer, radio, tv, telefoon, radar, cd, magnetron, supergeleider, zonnecel, video, walkman, discman, autotelefoon, e-mail, fax en alle mogelijke medische en wetenschappelijke apparaten en technieken kun je niet als olie uit de grond halen. Ze zijn allemaal ontwikkeld in de researchlaboratoria van de elektronische industrie. Op dit moment is deze industrie al net zo groot als de hele autobranche. Tegen het jaar 2000 zal de omzet in micro-elektronica over de hele wereld gelijk zijn aan die van de olie of de chemische industrie.

Op het eeuwfeest van het elektron zal Philips ongetwijfeld zijn nieuwste vinding laten zien: de *high-definition television*. Er zullen echter ook enkele verrassingen uit het wetenschappelijk onderzoek in Nederland te bewonderen zijn. In een samenwerking tussen Philips en de Technische Universiteit Delft is ontdekt dat het transport van elektronen door een nauwe opening gequantiseerd is. Als het kanaaltje waar de elektronen door moeten heel nauw is, ter grootte van de golflengte van de elektronen, zal er interferentie optreden. Maakt men het kanaaltje een klein beetje breder dan kunnen er niet meteen meer elektronen door. Pas wanneer de

breedte gelijk is aan een geheel aantal malen de golflengte van de elektronen, neemt de stroom sprongsgewijs toe. De vinding kan leiden tot een nieuwe klasse elektronische schakelingen, gebaseerd op het golfkarakter van elektronen. Dezelfde groep in Delft heeft ook een soort draaideur voor individuele elektronen ontwikkeld. In een speciale schakeling worden elektronen, als of het deeltjes zijn, een voor een doorgegeven van de ene plaats in de schakeling naar de andere. Het FOM-Instituut in Nieuwegein zal zijn 'Free Electron Laser' demonstreren, een versneller waarin elektronen door een sterk wisselend magneetveld worden gejaagd zodat afstembare laserstraling in het infrarood wordt opgewekt. Het Nationale Instituut voor Kernfysica en Hoge Energie Fysica in Amsterdam toont een 900 MeV elektronenversneller, een soort elektronen-microscoop voor atoomkernen, waarmee het gedrag van quarks in verschillende atoomkernen met elkaar vergeleken zal kunnen worden. Bij het FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica ziet men elektronen rondom de kern vliegen binnen in het atoom.

Het is mogelijk dat het eeuwfeest van het elektron ruw zal worden verstoord door een nieuwe meting van de Amerikaanse Nobelprijswinnaar Dehmelt. Terwijl iedereen 'weet' dat het elektron oneindig klein is, is Dehmelt op zoek naar de straal van het elektron. Hij heeft een val gebouwd waarin hij het deeltje kan opsluiten en rustig voor lange tijd bestuderen. Voorlopige meetresultaten laten zien dat de magnetische eigenschappen van het elektron afwijken van de theorie voor een oneindig klein deeltje. Hieruit concludeert hij dat het elektron een straal zou kunnen hebben ter grootte van $1/100.000.000.000.000.000.000$ cm.

Ook al is het elektron nog zo klein, waarvan zou het gemaakt zijn? Hoe is het mogelijk dat het zich als deeltje en als golf kan gedragen? Hoe kan het elektron wel massa hebben maar geen grootte? Is het anti-deeltje, het positron, net zo groot of klein? Hoe kunnen ze elkaar annihilieren tot een lichtflits terwijl ze allebei uit materie bestaan? Dit zijn vragen voor de volgende eeuw. Zonder de antwoorden te kennen is de micro-elektronica van deze eeuw ontstaan. Het is toch gek dat onze moderne technologie zo afhankelijk is van het elektron terwijl wij niet eens weten hoe groot het deeltje is.

(In afwachting van het eeuwfeest rondom het elektron, dat ongetwijfeld in 1997 gaat plaatsvinden, zijn Nederlandse ontdekkingen met elektronen alvast te zien tijdens de nationale wetenschaps- en technologieweek van 11 tot 18 oktober a.s.)

VACUÛMVIDEO'S

22 oktober 1992

Wat is de overeenkomst tussen Nederland en een ultra-hoog vacuüm-systeem? Met dit raadseltje opende de voorzitter van de Nederlandse Vacuümvereniging het twaalfde Internationale Vacuüm Congres. De 1200 experts uit 50 verschillende landen, bijeen gekomen in het Haagse Congrescentrum, hoefden niet lang te raden. Op het projectiescherm verscheen een dia van het monumentale gemaal de Cruquius en de voorzitter zei: "aan Nederland en aan een ultra-hoogvacuümsysteem moet voortdurend gepompt worden om het in stand te houden".

Deze vergelijking was niet zo ver gezocht als hij op het eerste gezicht misschien lijkt. De eerste vacuümpomp, gebouwd in het midden van de zeventiende eeuw door Von Guericke uit Maagdenburg, was niets anders dan een omgekeerde waterpomp zoals door de brandweer gebruikt werd in die tijd. Boyle en Hooke bouwden hun versie van de vacuümpomp in 1658-1659 in Engeland en Christiaan Huygens volgde in 1661 in Holland, met een eigen ontwerp maar volgens hetzelfde eenvoudige principe: het isoleren van een hoeveelheid lucht en het verwijderen ervan. De vacuümpomp werd een van de vier belangrijke nieuwe fysische instrumenten uit de 17de eeuw, de andere zijn de microscoop, de telescoop en de pendule.

In hun congres in Den Haag vonden de deelnemers een verrassing: *Adventures in Vacuums* een boekje in opdracht van de congresorganisatie geschreven door dr M.J. Sparnaay en uitgegeven bij Elsevier. Hierin worden 17 verschillende proeven met vacuüm beschreven die alle in de 17de eeuw werden gedaan. Een reuze idee, want nu kunnen de natuurkundige vragen en experimenten met vacuüm uit het verleden vergeleken worden met die van vandaag.

In de 17de eeuw dachten veel geleerden dat het kwik in de buis van Torricelli blijft staan omdat de natuur het vacuüm zo zeer verafschuwt dat zij zich verzet tegen het ontstaan van vacuüm boven in de buis. Deze 'horror vacui' zou het kwik in de buis omhoog houden. Pas toen Pascal de proeven van Torricelli gereproduceerd had en ook nog op de top van de

Puy de Dome een lagere kwikkolom werd waargenomen dan onderaan de berg, wilde men geloven dat het kwik in de buis omhoog gedrukt wordt door de luchtdruk. Thans wordt Pascal geëerd doordat de eenheid van druk naar hem vernoemd is (1 atm. is ongeveer 100.000 Pa).

Met de buis van Torricelli en met de eerste vacuümpompen werden spectaculaire demonstraties gegeven. Proeven die vooral bedoeld waren om het vacuüm zelf te bestuderen en om de eerste metingen te doen van de luchtdruk, waarbij ook reeds de invloed van het weer op de gemeten luchtdruk ontdekt werd. Barometers werden al voor het eind van de 17de eeuw commercieel verkrijgbaar. De wet van Boyle (voor een bepaalde hoeveelheid gas blijft het produkt van druk en volume constant, mits de temperatuur niet verandert) stamt uit die tijd. De proef met de Maagdenburger halve bollen maakte duidelijk dat paardenkrachten verborgen lagen in de atmosfeer. Huygens stelde voor die te mobiliseren ter verlichting van menselijke arbeid en hij ontwierp een explosiemotor waarmee gewichten konden worden opgetild. Chemische en biologische proeven toonden aan dat een kaars uitgaat en planten en kleine dieren het niet overleven als ze onder een klok worden geplaatst die daarna wordt leeggepompt. Ook experimenteerde men met de voortplanting van licht, geluid en warmte in vacuüm en met elektriciteit en zwaartekracht. De meeste proeven werden in het openbaar gedaan of voor collegae op de speciaal voor dit doel opgerichte academies voor wetenschappen. Dit was de begintijd van de proefondervindelijke wetenschap. Het was niet altijd ongevaarlijk. In de Academie van Parijs evacueerde Huygens een glazen cylinder acht maal zonder dat hij brak, maar een vierkante glazen stolp brak al na de vierde keer en stukken glas vlogen meters door de zaal.

Na een aanvankelijke bloeiperiode tot in het begin van de 18de eeuw is er honderd jaar weinig opzienbarends te melden over het onderzoek met vacuüm. Wel werden er veel proeven in het openbaar gedaan, maar het ging steeds vaker om het spektakel in plaats van het oplossen van een wetenschappelijke vraag. De vragen die gesteld werden, daarvan kon men niet verwachten een oplossing te vinden: wat is het wezen van de zwaartekracht, van warmte, koude, magneten, licht en kleur, wat is de samenstelling van lucht, water en vuur? Men vroeg zich af waarom dieren ademen en hoe metalen, stenen en planten groeien? In deze periode van 100 jaar bleef men nog steeds vacuümpompen gebruiken die volgens hetzelfde principe werkten als de pompen uit de 17de eeuw. Daarom kon men geen beter vacuüm bereiken dan 100 Pa. Pas in het midden van de 19de eeuw

werden nieuwe typen kwikpompen ontwikkeld waarmee een druk van 0,001 Pa bereikbaar werd. Dit maakte de weg vrij voor de ontwikkeling van de gloeilamp in 1879 en de ontdekking van het elektron in 1897.

Op de conferentie in Den Haag werden vacuümsystemen gepresenteerd die zo goed als leeg zijn. Men kan er één atoom of één elektron in opslaan en ze ongestoord uren blijven bestuderen. Om zo'n ultra-hoog vacuüm te bereiken zijn er nieuwe cryo-pompen ontwikkeld die vrijwel alle atomen en moleculen vastvriezen op een koude plek in de pomp. Het vacuüm-systeem moet gebouwd worden van hele nieuwe materialen die weinig ontgassen en er moet zeer gevoelige meetapparatuur beschikbaar zijn om de enkele atomen en moleculen die nog in het vacuüm aanwezig zijn te herkennen.

De ontwikkeling van ultra-hoog vacuüm is vooral gestimuleerd door de micro-elektronica. De verdere miniaturisering maakt het noodzakelijk om alle processtappen bij het maken van de chip in een superschone omgeving, d.w.z. in een ultra-hoog vacuümsysteem, uit te voeren. Met bundels atomen en moleculen in ultra-hoog vacuüm worden de nieuwste elektronische schakelingen atoom voor atoom opgebouwd. Met bundels snelle deeltjes worden de elektrische en optische eigenschappen van de atoomlagen naar believen aangepast. Door atoom voor atoom uit een oppervlak weg te schieten worden er minuscule gaatjes geëtst en ook worden deze weer gevuld met andere atomen. Zo werken de moderne fysici, chemici en ingenieurs samen bij het vervaardigen van ultra-snelle elektronica, miniatuur lasers, micro-motoren, kunstmatige diamantlaagjes en magnetische materialen van enkele atomen dik voor de opslag van informatie.

De micro-elektronica stimuleert niet alleen de onderwerpen van onderzoek maar ook de wijze van presenteren. In elke zaal van het congrescentrum in Den Haag werden video's vertoond waarop men de beelden kon zien die met de moderne microscopen kunnen worden gemaakt van de beweging van moleculen in chemische reacties, of het stapelen van atomen bij de bouw van nieuwe schakelingen, of het wegschieten van atomen bij het etsen van gaatjes in een oppervlak, of het schrijven van nullen en éénen in enkele atoomlagen magnetisch materiaal. De congreszalen van vandaag zijn de academies van vroeger waar de geleerden hun proeven doen terwijl de vakgenoten er met hun neus bovenop staan.

ELEKTROFOBIE

19 november 1992

Soms ben ik weleens bang dat wij fysici een tijdbom hebben gecreëerd. Dat gevoel had ik heel sterk tijdens de koude oorlog, toen men zei dat de mens altijd alle wapens gebruikt die hij ontwikkeld heeft. Gelukkig worden de grootste kernwapens thans vernietigd. Toch merk ik dat mijn bangheid niet weg is, de kerncentrales in Oost-Europa zijn een gevaar, er wordt hoog-radioactief uranium gesmokkeld en plutonium wordt zelfs over de hele wereld verscheept, maar het meest bang ben ik voor gevaren die we nog niet onderkennen.

In *New Scientist* van 31 oktober staat dat kinderen die in de buurt wonen van hoogspanningsleidingen een verhoogde kans hebben op leukemie. Maria Feychting en Anders Ahlbom van het Karolinska Instituut in Stockholm hebben de gegevens bestudeerd van 500.000 mensen die in de periode van 1960 tot 1985 gewoond hebben binnen een afstand van 300 meter van hoogspanningskabels. Van hen ontwikkelden 142 kinderen kanker, 39 kregen leukemie. Vergeleken met gegevens over alle kinderen in Zweden jonger dan 15 jaar, was de kans op leukemie 2,5 keer zo groot voor kinderen die in een omgeving woonden met een stralingsveld van 0,2 microtesla en 3,8 keer zo groot in een veld van 0,3 microtesla. Ik schrik daarvan, want zoiets had ik helemaal niet verwacht.

De wisselstroom in een hoogspanningskabel wekt een elektromagnetisch veld op dat stromen in ons lichaam zou kunnen induceren. In principe is dat mogelijk. Aangezien het zenuwstelsel en de spieren in ons lichaam voortdurend van elektrische stromen gebruik maken, is het denkbaar dat stromen die van buiten af in het lichaam geïnduceerd worden de boel in de war kunnen sturen. Als ze tenminste van dezelfde grootte zijn als de stromen die normaal in ons lichaam aanwezig zijn.

Men kan een schatting maken van de stroomdichtheid die in ons lichaam opgewekt wordt door een uitwendig veld. Bij een magnetische veldsterkte van 0,2 microtesla, waarvan sprake is in Zweden, ontstaat een maximale stroomsterkte van 0,6 microampere per m^2 . Dit is volkomen verwaarloos-

baar ten opzichte van de stromen die men normaal in ons lichaam waarneemt. Als voorbeeld hiervan kan de stroomdichtheid dienen die samengaat met het depolarisatieproces binnen de hartspierwand. Deze bedraagt ongeveer 55 ampère per m^2 , dus 100 miljoen keer zo groot. De prikeldrempel op onze huid ligt 50 miljoen maal hoger dan die 0,6 microampere per m^2 .

Toch bestaat er sinds 1979 bezorgdheid over de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van elektromagnetische velden veroorzaakt door hoogspanningsleidingen. Toen rapporteerden onderzoekers een zwakke relatie tussen het elektriciteitsnet in de VS en sterfte door leukemie bij kinderen. Dit heeft tot gevolg gehad dat er nogal wat onderzoek is gedaan naar het effect van elektromagnetische velden op weefsels, bloed, cellen, DNA-structuur, hormonen en neurotransmitters. In bijna alle gevallen werden duidelijke effecten waargenomen, zowel in gekweekte cellen als in hele organismen. Zo wordt het transport van ionen door celmembranen bevorderd door een elektrisch veld. Biosynthese van eiwitten wordt geactiveerd door een wisselend magneetveld met een frequentie van 50 Hz. De effecten zijn lang niet altijd negatief. Zo kunnen beenbreuken sneller gerepareerd worden door botgroei te bevorderen met een elektrische stroom van 10 tot 100 milliampère per m^2 .

De experimenten hebben een ding gemeen: de veldsterkten die nodig zijn om waarneembare effecten te verkrijgen zijn vele malen groter dan in een normale woon- of werkomgeving voorkomen. In de *Physical Review A* 43 (1991) p. 1039 rekent Robert K. Adair voor dat de beweging van ionen in celmembranen ten gevolge van velden veroorzaakt door hoogspanningsleidingen vele ordes van grootte kleiner is dan de warmtebeweging van ionen in een cel. Hij hekelt ook de vermeende relatie met leukemie door te wijzen op gegevens uit de staat Connecticut. Daar is tussen 1940 en 1980 het aantal gevallen van leukemie gelijk gebleven terwijl het elektriciteitsverbruik vertienvoudigd is. Toch is de bezorgdheid niet weggenomen en ook overgeslagen naar andere landen.

Op 26 augustus 1991 verzocht onze minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Gezondheidsraad om advies uit te brengen over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden. Op 8 april 1992 bracht de Gezondheidsraad rapport uit en concludeert dat er onvoldoende wetenschap-

pelijke grond is om aan te nemen dat blootstelling aan velden met een frequentie van 50 of 60 Hz en met veldsterkten die in de woon- of werkomgeving voorkomen, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt.

Deze conclusie wordt onderbouwd met een overzicht van alle voorkomende bronnen en veldsterkten, de wisselwerking met en de effecten op biologische systemen, het epidemiologisch onderzoek en suggesties voor verder onderzoek. In het rapport wordt erop gewezen dat onder elektrische dekens het magneetveld kan oplopen tot 2,5 microtesla, gelijk aan het veld op 30 meter afstand van een 150 kV-hoogspanningskabel. Er is echter geen associatie aangetoond tussen het gebruik van elektrische dekens en leukemie, kanker aan de testis of borstkanker. In het rapport staat dat weliswaar in enkele epidemiologische onderzoeken in de VS een relatie is gevonden tussen de configuratie van de bovengrondse draden van het elektriciteitsnet en het voorkomen van leukemie bij kinderen, maar deze relatie is, volgens het rapport, onvoldoende aanleiding voor het aannemen van een oorzakelijk verband, omdat een relatie met de gemeten sterkte van de velden niet is gevonden.

Het recente onderzoek van Feychting en Ahlbom in Zweden heeft, volgens *New Scientist*, nu juist dit verband tussen de veldsterkte en het risico van kanker voor het eerst aangetoond. Als je op de leukemiekaart van Zweden het stroomverbruik in het land kan aflezen, dan krijg ik toch het bange vermoeden dat er iets mis is, ook al kan ik uitrekenen dat het haast onmogelijk is. Lijd ik dan aan elektrofoobie?

WAT IS LEVEN?

17 december 1992

De levende natuur wordt meestal niet gerekend tot het domein van de natuurkundige. Daar hebben wij het zelf naar gemaakt. Ik wil dit illustreren door hier twee boeken met elkaar te vergelijken: *What is life?* geschreven door Erwin Schrödinger in 1944(!) en *Schrödinger, life and thought* geschreven door Walter Moore in 1989 (beide zijn uitgegeven door Cambridge University Press, het tweede in 1992 als paperback). In het ene boek geeft Schrödinger de beperkte visie van een fysicus op wat leven nu eigenlijk is. In het andere boek kan men lezen dat deze natuurkundige toch alle facetten van het leven heeft gekend.

Geïnspireerd door een mysterieuze vriendin uit Wenen, met wie hij op Kerstvakantie was in Arosa, heeft Erwin Schrödinger in 1925 de golfvergelijking opgesteld waarmee de quantumtoestanden in het waterstofatoom berekend konden worden. In vier opeenvolgende publikaties, alle vier verschenen in de eerste helft van 1926, breidde hij zijn werk uit tot twee-atomige moleculen, het effect van elektrische velden op het spectrum van atomen en de emissie en absorptie van straling door atomen en moleculen. Thans is de ‘Schrödinger-vergelijking’ de basis van de quantummechanica.

Hoewel zeer begaafd in de wiskunde en ook een goed docent, was Schrödinger geen wonderkind en misschien zelfs geen genie. Zijn grote ontdekking deed hij in zijn veertigste levensjaar. Tot zijn dood, in 1961, weigerde hij de interpretatie van de quantummechanica volgens Bohr te accepteren, maar een alternatief kon hij niet bedenken. Ook probeerde hij één theorie te formuleren waarin zwaartekracht en elektro-magnetisme onder één noemer worden gebracht. Tegenover de pers beweerde hij zo’n theorie-van-alles reeds ontdekt te hebben, maar Einstein bestreed dit en zette hem in het openbaar op zijn nummer.

In de winter van 1943 probeerde Schrödinger een nog hoger doel te bereiken en werkte aan een serie lezingen: *What is life?* Een uitdagende titel die garant stond voor volle zalen, zeker ook omdat hij als Nobelprijswinnaar een beroemdheid was geworden. Schrödinger stelde de vraag aan

de orde hoe de verschijnselen in ruimte en tijd, die in een levend organisme plaatsvinden, in overeenstemming te brengen zijn met de inzichten van de moderne fysica en chemie. Zijn antwoord luidde: hoewel het duidelijk is dat leven nog niet op fysische en chemische gronden verklaard kan worden, is er geen enkele reden om eraan te twijfelen dat dit in principe toch mogelijk is.

Schrödinger reduceerde levensvragen tot twee natuurkundige problemen. De eerste vraag die hij aan de orde stelde betrefte de erfelijkheid, geen onbelangrijke kwestie ten tijde van de rassewaan in Europa. Het grote probleem, volgens Schrödinger, was dat de erfelijkheid ligt opgeborgen in een molecuul bestaande uit niet eens zo'n groot aantal atomen. Statistische fluctuaties zouden aanleiding moeten geven tot het voortdurend veranderen van erfelijke eigenschappen. Echter de quantummechanica heeft volgens Schrödinger geleerd dat de chemische binding gequantiseerd is zodat mutaties slechts sprongsgewijze kunnen optreden als daarvoor voldoende energie geleverd wordt, bijvoorbeeld in de vorm van radioactieve straling. Anders blijft het molecuul dat de erfelijkheid draagt stabiel.

Schrödinger's tweede brandende kwestie betrefte de entropie: hoe kunnen levende organismen geordend blijven en niet steeds wanordelijker worden? De entropiewet uit de thermodynamica, die zegt dat de wanorde van een systeem zal toenemen, leek tijdens de tweede wereldoorlog zelfs op te gaan voor de politiek, waarom dan niet voor levende materie? Schrödinger gaf als antwoord dat orde uit orde ontstaat, een levend organisme voedt zich met gestructureerde materie en bouwt daarmee verder. Voor het ontstaan van orde uit wanorde verwees hij naar Gods eigen quantummechanica. Aldus de zeer beperkte 'levensvisies' van deze fysicus.

Het is haast niet te geloven maar biologen en biochemici van naam, zoals Crick, Watson en Wilkins, zeggen dat Schrödingers boekje van revolutionaire betekenis is geweest op hun werk. Als dat zo is dan heeft Schrödinger er kennelijk toe bijgedragen dat sommige biologen de kennis van het leven reduceren tot de genen plus enkele eenvoudige wetmatigheden. Hoewel het noodzakelijk is dat de biologie consistent is met de fysica, is dat lang niet voldoende.

Er gaapt bij Schrödinger een geweldige kloof tussen theorie en praktijk, tussen wat hij van leven vindt als hij erover filosofeert en de wijze waarop hij zelf geleefd heeft. Uit zijn dagboeken blijkt wat hij met zijn leven deed. Zijn favoriete sporten waren wandelen in de bergen, skiën en zwemmen. Hij genoot van zijn studententijd in Wenen maar keek neer op zijn collegae toen hij daar na zijn afstuderen als docent benoemd werd. Daarom verliet hij Oostenrijk en maakte carrière via Jena, Stuttgart, Breslau en Zürich naar Berlijn als opvolger van Max Planck. Hij overleefde twee wereldoorlogen, de eerste als soldaat aan het front, de tweede als vluchteling in het buitenland. Erwin Schrödinger was geen jood, maar ging toch in 1933 op de vlucht voor de nazi's van Berlijn naar Oxford. In 1936 keerde hij terug naar Graz, waar hij de Duitsers in een open brief bedankte voor de bevrijding van Oostenrijk. Toch werd hem zijn vlucht uit Berlijn kwalijk genomen en viel hij in ongenade bij de autoriteiten, daarom vluchtte hij via Rome naar Oxford, maar na de openlijke adhesie aan de Führer was hij daar niet meer welkom en ging naar Gent om tentoonstellingen in Dublin te belanden, waar hij van 1939 tot 1956 de leiding had over het Institute of Advanced Studies. Pas na het vertrek van de communisten in 1956 keerde hij terug in zijn geboorteland Oostenrijk.

Hij was veertig jaar getrouwd met Annemarie, maar bleef zijn hele leven op vrouwen jagen en hield de namen van zijn prooien nauwkeurig bij in zijn dagboek: Ella, Felicie, Lotte, Irene, Erika, Ithi, Barbara, Lucie, Hansi. Het huwelijk bleef kinderloos maar hij verwekte drie dochters bij Hilde, Sheila en Kate. Hij had een antipathie tegen alles wat christelijk was; toch werd hij wegens grote eruditie en onberispelijk gedrag door Pius XI benoemd tot lid van de Pauselijke Academie voor Wetenschappen, samen met Bohr, Debye, Keesom, Millikan, Planck, Rutherford en Zeeman. Hij geloofde in Vedanta en Upanishads en las alles wat Schopenhauer geschreven heeft over Oosterse filosofie.

Hij maakte zich continu zorgen om geld. Niet dat hij zo weinig verdiende, maar hij was bang dat hij zijn vrouw achter zou moeten laten zonder een behoorlijk weduwenpensioen. Hoewel het aanbod van Princeton (\$10.000) hoger was dan wat hij in Oxford verdiende, was het lager dan Einstein in Princeton kreeg (\$15.000) en zou het weduwenpensioen voor Anny niet genoeg zijn (\$2.000). Hij had zijn Nobelprijs veilig op de bank staan in Zweden en hoorde daardoor tot de welgestelden; toch was hij voortdurend

bang door inflatie aan de bedelstaf te zullen raken. Terwijl zijn collegae nachtclubs en bars frequenteerden, vooral Debye en Scherrer in Zürich worden in dit verband genoemd, gaf Schrödinger de voorkeur aan het theater. Hij hield niet alleen nauwgezet een dagboek bij, maar schreef ook vele gedichten over zijn emoties vooral aan zijn geliefden. Hij was daar trots op en publiceerde een dichtbundel, ook al schreef Stefan Zweig dat hij hoopte dat Schrödinger's fysica beter was dan diens poëzie.

Wie wil weten wat leven is, kan ook bij de fysicus te raden gaan. Men moet dan wel zijn dagboeken lezen en niet zijn reductionistische filosofieën.

SUPER-INTENSE LASERS

14 januari 1993

Lasers zijn er in alle soorten en maten, zo klein als een speldeknop of zo groot als een flatgebouw, zo flonkerend als in een disco of zo onzichtbaar als in een cd-speler. Sommige lasers stralen continu als een zoeklicht, andere flitsen als een vuurtoren. Laserbundels worden gemaakt in alle kleuren van de regenboog en meer want infrarode lasers en röntgenlasers zijn er ook al. Men kan er mee lezen en schrijven, bommen mee sturen, lassen, boren, analyseren of telefoneren. De meest intense lasers worden gebruikt voor fundamenteel onderzoek der materie.

Sinds kort is het mogelijk om onderzoek te doen met laserlicht met een intensiteit van 10^{17} watt/cm². Een flinke elektriciteitscentrale heeft een vermogen van een gigawatt, dat is 10^9 watt. Het totale geïnstalleerde productievermogen voor elektriciteit in Nederland is ongeveer 15 gigawatt. Hoe kan het dan dat wij in het laboratorium toch laserlicht met een intensiteit van 10^{17} watt/cm² ter beschikking hebben? Dat kan alleen omdat het licht maar een hele korte tijd aan staat, de flitstijd is gelijk aan 100 femtoseconden, dat is 10^{-13} seconde. Uit de laser komt maar een heel klein beetje energie, minder dan een 0,1 joule. Een joule is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid warmte die vrijkomt als je één keer in je handen wrijft. Als 0,1 daarvan uitgestraald wordt in een lichtflits van 100 femtoseconden dan is 't toch 10^{12} watt en als dat licht gefocusseerd wordt tot een bundel van 30 micrometer doorsnede dan is de lichtintensiteit gelijk aan 10^{17} watt/cm².

Het gebruik van super-intense lasers heeft onze visie op het aloude foto-elektrisch effect, het feit dat licht elektrische verschijnselen teweegbrengt, revolutionair gewijzigd. De ontdekking van het foto-effect, in de vorige eeuw, heeft de geboorte van de natuurkunde van deze eeuw ingeluid. J.J. Thomson was in 1899 de eerste om vast te stellen dat het foto-effect van een metalen plaatje, dat bestraald wordt met ultraviolet licht, veroorzaakt wordt door de emissie van elektronen. In 1902 deed Philip Lenard de cruciale ontdekking dat de intensiteit van het licht de hoeveelheid elektronen bepaalt die geproduceerd wordt, niet hun energie. De

energie van de elektronen bleek alleen afhankelijk te zijn van de kleur van het ingestraalde licht. Het duurde tot 1905 voor Einstein een verklaring gaf voor het foto-effect.

Einstein ging ervan uit dat licht uit deeltjes bestaat, fotonen. In het foto-effect neemt het elektron alle energie van het foton over, dat daarmee ophoudt te bestaan. Het elektron komt alleen uit het metaal te voorschijn als het foton voldoende energie heeft. Rood licht heeft dat niet, maar violet licht wel. Als er veel violet licht op het metaal valt dan komen er veel elektronen te voorschijn, als er weinig licht op valt dan zullen er ook weinig elektronen vrij gemaakt worden. Voor deze verklaring van het foto-effect kreeg Einstein in 1921 de Nobelprijs.

Onder condities van super-intense laserstraling gedraagt het foto-effect zich geheel anders. Atomen die zich in het laserfocus bevinden, kunnen gemakkelijk meer dan 1 foton opnemen. Aldus kan via 'multi-foton absorptie' van rood licht, dat per foton niet genoeg energie heeft voor het foto-elektrisch effect, toch een elektron vrij gemaakt worden.

Voor atomen als argon of xenon is het nodig dat er maar liefst 8 of 9 rode fotonen geabsorbeerd worden voordat het buitenste elektron zich uit deze atomen kan verwijderen. Toch gebeurt dat via multi-foton absorptie en wordt de elektronen-emissie inderdaad waargenomen. Eerst werd alleen de productie van geïoniseerde argon- of xenon-atomen gemeten. Toen men de uitgeworpen elektronen zelf ging detecteren bleek dat de energie van de elektronen wél afhangt van de intensiteit van het ingestraalde laserlicht. Er is nóg een verrassing: het energiespectrum van de vrije elektronen vertoont een groot aantal pieken van elektronen die 8, 9, 10, 11, 12....fotonen hebben geabsorbeerd. Kennelijk worden de elektronen versneld door absorptie van meer fotonen dan strikt noodzakelijk is om vrij te komen van het atoom. Dit is alleen mogelijk omdat de lichtflits zo intens is dat het elektron zich nauwelijks van het atoom verwijdert terwijl het steeds meer fotonen absorbeert. Zo krijgt het steeds meer energie waarmee het na de lichtflits weg kan vliegen.

Het onderzoek met intens laserlicht heeft ons geleerd dat de mens, als een beeldhouwer, het atoom kan boetsen en het een vorm kan geven. Wij kunnen met laserstralen niet alleen elektronen van het atoom verwij-

deren, maar ze ook binnen in het atoom dwingen te trillen op een manier die bepaald wordt door de kleur van het licht. Elektronen op de rand van het atoom zijn daarvoor het meest gevoelig omdat ze zwak gebonden zijn. Hun beweging rond de kern wordt meer verstoord door laserlicht dan de beweging van elektronen die zich dichterbij de atoomkern bevinden. Dit leidt tot waarneembare veranderingen in het atoom die afhankelijk zijn van de kleur en de intensiteit van het ingestraalde licht. Voor hele hoge intensiteiten wordt voorspeld dat de elektronenwolk totaal zal veranderen zowel naar vorm als volume. In lineair gepolariseerd laserlicht zal het atoom de vorm aannemen van een halter met aan de uiteinden twee volledig gescheiden elektronenwolken die heel snel op en neer trillen. In circulair gepolariseerd laserlicht zal het atoom de vorm aannemen van een Amerikaanse doughnut.

Aanvankelijk werd gedacht dat geen enkel atoom stabiel kon blijven en dat ieder atoom onder invloed van de hoge stralingsdichtheid uit elkaar zou vallen. Thans blijkt dat laserlicht heel selectief te werk gaat, sommige elektronen kunnen er niet tegen en verdwijnen vrijwel onmiddellijk terwijl andere elektronenbanen juist stabiel worden onder invloed van laserlicht. Men vraagt zich thans zelfs af of het mogelijk is om elektronen aan een atoom vast te 'plakken' met licht.

Het onderzoek dat met dit laserlicht gedaan wordt heeft geleid tot fundamentele ontdekkingen, niet alleen omdat de intensiteit ongekend hoog is, maar ook omdat de flitstijd zo kort is. Hoe kort, dat blijkt wel als men beseft hoe ver het foton reist binnen de tijd van de flits. De lichtsnelheid bedraagt 300.000 km/sec. In 1 seconde kan licht 8 keer de wereld rond, maar in 100 femtoseconden is de afstand slechts 30 micrometer. Een rood foton legt in deze uiterst korte tijd een weg af die maar 30 keer de eigen golflengte is. Zwarte deeltjes zijn veel langzamer en kunnen binnen de flitstijd van de laser nauwelijks bewegen. Men krijgt met deze flitslamp dus bijna nooit een bewogen beeld. Daarom is het nu mogelijk om stroboscopische opnamen te maken van de beweging van elektronen in een atoom en van de vibratie en rotatie van atomen in een molecuul. Wij kunnen ze eindelijk zien vliegen.

ONTDEKKINGEN BIJ MULISCH

11 februari 1993

Natuur- en sterrenkunde spelen een belangrijke rol in *De ontdekking van de hemel* van Harry Mulisch. Omdat de hemel ontdekt heeft dat de mens sinds de opkomst van de moderne wetenschap niet meer aan God maar alleen aan zichzelf gelooft, wordt het verbond met de mensheid opgezegd. In een fenomenale plot die in mensenogen alleen op toeval kan berusten, maar in werkelijkheid door een onzichtbare hand wordt gestuurd, gaan de tien geboden terug naar de hemel. En passant doet Mulisch zelf twee ontdekkingen op het gebied van natuur- en sterrenkunde die een nadere analyse waard zijn.

Iedereen weet dat als wij naar een ster kijken, het licht van die ster lang door de ruimte heeft gereisd voordat het ons oog treft. Daarom zien wij licht dat lang geleden is uitgezonden en nemen wij de ster waar op een positie en in een toestand die inmiddels veranderd zullen zijn. De dichtstbijzijnde ster zien wij op een plek en met een helderheid van vier jaar geleden, wij kunnen ook sterren waarnemen die miljoenen lichtjaren hier vandaan staan en zien ze dan in een toestand van miljoenen jaren geleden. Hoe zij er thans uitzien, kunnen wij nu nog niet waarnemen. Mulisch draait het om en vraagt zich af hoe de aarde eruit ziet als je er vanuit de sterren naar zou kunnen kijken. Van de dichtstbijzijnde ster kan je de aarde zien in een toestand zoals die hier vier jaar geleden was en vanuit een ster die op een afstand van 1000 lichtjaren staat, moet je de aarde kunnen zien zoals die er 1000 jaar geleden uitzag. Door het heelal zweven, volgens Mulisch, alle beelden van de hele geschiedenis van onze aarde vanaf haar ontstaan tot het heden.

Strikt genomen is dit niet helemaal correct want er zweven geen beelden door het heelal maar lichtstralen. Pas door te kijken, het licht te focuseren, zou men een afbeelding kunnen maken van onze aarde, vier, duizend of een miljoen jaar geleden. Hoe fascinerend dat ook is, wij zullen die beelden uit onze eigen geschiedenis nooit met onze eigen ogen zien want daarvoor zouden wij ze moeten inhalen en dus sneller door het heelal moet kunnen reizen dan het licht. Helaas is ons dat niet gegeven.

Wel kunnen ruimtereizigers in de toekomst een oogje in het zeil houden door af en toe achterom te kijken naar de aarde om te zien wat er na hun vertrek van terecht is gekomen.

Mulisch zou toch liever de beelden van onze geschiedenis willen zien en dus heeft hij bedacht dat hemellichamen het licht weerkaatsen. In principe zouden wij dus onze eigen geschiedenis moeten kunnen waarnemen door naar het licht te kijken dat de aarde in het verleden heeft uitgezonden en dat weerkaatst wordt door alle hemellichamen in het heelal terug naar de aarde. Ook dit idee is fascinerend als het kon, maar dan moet wel een aanzienlijk deel van het licht dat door het heelal reist teruggekaatst worden en dat is niet zo. In de sterrenkunde is dit bekend als de Olbers-paradox. Als het licht niet zou ontsnappen en altijd wel ergens in het heelal zou worden teruggekaatst dan zou de hemel in de nacht net zo licht zijn als overdag. Dat is niet het geval omdat er in het heelal zo weinig materie is dat de vrije weglengte van het licht groter is dan de omvang van ons heelal. De recent ontdekte 'donkere materie' zal ons in deze niet helpen, want de wisselwerking met licht is kennelijk zo gering dat deze materie 'donker' is. Het licht ontsnapt dus en daarmee gaat ook onze geschiedenis voorgoed verloren.

Mulisch beschrijft een sterrenkundige die plotseling bedenkt dat de onbegrijpelijke signalen die hij zojuist heeft opgevangen, afkomstig zouden kunnen zijn van de plek in het heelal waar we naar de oorspronkelijke oerknal kijken. De signalen vanuit deze plek zouden nog meer roodverschuiving vertonen dan tot nu toe was waargenomen en daarom leek alles eerst zo onbegrijpelijk. De sterrenkundige heeft opeens het oneindig-kleine, oneindig-dichte, verdwijn- en verschijnpunt, de hemel zelf, ontdekt. Hij zal het niet na kunnen vertellen want hij wordt onmiddellijk door een steen uit de hemel gedood.

Dit is natuurlijk een fascinerend beeld maar wij mensen zullen de oerknal nooit zó kunnen zien. Alleen vanuit een positie buiten ons heelal zou men de oerknal misschien kunnen waarnemen zoals Mulisch die beschrijft, een oneindig kleine punt waaruit alles te voorschijn komt. Helaas is ons mensen ook dit niet gegeven want wij zitten midden in die punt. Wij staan er niet buiten maar wij maken deel uit van de oerknal en zien om ons heen een uitdijend heelal. Wij kunnen onmogelijk buiten ons

heelal staan om te kijken hoe dit uitdijt. Dit is niet de positie van de mens maar die van God.

Enige tijd hebben natuur- en sterrenkundigen werkelijk geloofd de positie van God te kunnen innemen en zij hebben dat ook rond gebazuind. Dit heeft onder andere bijgedragen tot massale geloofsafval en overdreven verwachtingen die door de wetenschap gekoesterd werden. Volgens Mulisch zal de zogenaamde beheersing van de natuur door wetenschap en technologie ertoe leiden dat 'de mensen uiteindelijk zichzelf nucleair zullen opstoken, verbranden via het gat dat zij in de ozonlaag hebben geslagen, oplossen in de zure regen, braden in het broeikaseffect, elkaar doodrukken door hun aantallen, zichzelf ophangen aan de dubbele helix van het DNA, stikken in hun eigen afval...' Wetenschap en technologie gaan gewoon voort op de noodlottige weg, onder leiding van natuur- en sterrenkundigen die maar blijven spreken over hun theorie van alles, hoewel de ontwikkelingen van de laatste tijd, ook in de wetenschap zelf, aanleiding zouden moeten geven tot een minder arrogante houding en meer respect voor de onzichtbare hand.

In *De ontdekking van de hemel* heeft Mulisch het over: geloven *aan* God. Hij doet dit consequent door het hele boek, zodat ik aan mijzelf ging twifelen. Ik meende dat het slecht Nederlands was want het moet toch zijn: geloven *in*? Dus heb ik het opgezocht in Van Dale. Daar vond ik geloven *in*, maar even verder las ik: "geloven *aan*- eraan moeten geloven, je zult je moeten onderwerpen aan het onvermijdelijke, je moet het doen, hoe onaangenaam het ook is".

Als u Mulisch' monumentale roman nog ongelezen op het nachtkastje heeft liggen dan zult u er toch aan moeten geloven.

IJ VAN COLUMBUS

11 maart 1993

Aan Jeroen Saris,
Wethouder Ruimtelijke Ordening,
Amsterdam.

Beste Jeroen,

Vannacht droomde ik dat je mij de nieuwe universiteit liet zien aan de IJ-oever achter het Centraal Station. Wij hadden afgesproken in de 1ste Klas restauratie en jij keek mij wat meewarig aan toen ik bij binnenkomst tegen je zei dat je mij zou laten zien hoe de nieuwe universiteit zowel het IJ-oeverproject als jouw wethouderszetel had gered. "Laat mijn carrière er buiten", zei je "en vertel maar eens waarom jij op zo'n grote afstand van de universiteit bent gebleven, terwijl jij je toch graag professor laat noemen". "Ach", zei ik, "de universiteit is aan zijn eind. Ik was bij de discussie in theater De Balie en ze hebben gelijk. De universiteit is verbu-reaucratischeerd. Te veel mensen brengen er hun dagen door tegen een kennelijk aanvaardbare vergoeding, als student, docent of assistent maar vooral als bestuurder. In een te log apparaat gaat wetenschappelijke originaliteit teloor. De hoogleraar is een manager belast met louter bestuurlijke en organisatorische taken. De reclamemaker bepaalt het gezicht van de universiteit. De universiteit is niet meer het geweten van de maatschappij. Wetenschappers spelen geen rol meer in het publieke debat. Zij zijn niet in staat, of vinden het niet de moeite waard, hun stem te laten horen als het ergens over gaat. Vaktijdschriften en specialistische internationale conferenties zijn nog de enige media waarin onderzoekers zich thuis voelen. In de vaderlandse pers komen hoogleraren niet meer aan bod vanwege hun ontdekkingen, maar vanwege hun nevenverdiensten als cursusleider en adviseur. Wetenschap als roeping geldt slechts voor eenzame stakkers. De universitaire opleiding verschilt alleen nog van het HBO omdat de universiteit meer status heeft. Ten onrechte, want de studenten willen helemaal geen wetenschapper maar manager worden en daarop zijn de opleidingen niet ingesteld. De colleges zijn niet de moeite waard. Veel studenten gaan in de massaliteit van het onderwijs verloren.

De academische vorming bestaat niet meer, maar niemand ligt daar wakker van zolang de universiteit zich zelf niet serieus neemt”.

Wij liepen onder het Centraal Station door naar de achteruitgang waar alles nog precies hetzelfde was. Links het Havengebouw, Shell Research aan de overkant en de nog steeds heen en weer varende Tolhuispont. Wij gingen naar rechts, langs de tippelaars, terwijl jij vertelde hoe het IJ-oeverproject bijna mislukt was. Terwijl Amsterdam plannen maakte voor het IJ, bouwden de banken grote torens langs de Amsterdamse ringweg. Toen de stadsontwikkelaars en de gemeenteraad hun fantasieën hadden kunnen botvieren en het op realiseren aankwam, was het Nederlandse bedrijfsleven failliet of verkocht aan het buitenland en zo dreigde het hele project in het water te vallen. Toen kreeg jij het lumineuse idee dat je inmiddels hebt gerealiseerd en nu aan mij zou laten zien.

Wij liepen dus naar rechts langs de IJ-oever en daar op het eiland dat ik alleen kende van ‘Sail Amsterdam’ lag de nieuwe universiteit, via een mooie brug verbonden met de stad. Het was werkelijk een prachtig geheel van straten, pleinen, laboratoria, instituten, sportzalen, eethuizen, bibliotheken, winkels, theaters, cafés, terrassen, bioscopen en studentenhuizen. Hier woonde en werkte maar liefst 10% van de Amsterdamse bevolking. Overall krioelde het van de studenten, buiten op straat of in bootjes op het IJ, een genot om te zien. Op de plaats waar vroeger alleen maar mensen kwamen om zich te vergapen aan grote zeilschepen, waren nu de Universiteit van Amsterdam, de Vrije Universiteit en de Hogeschool Amsterdam samengebracht. Er heerste een geweldige sfeer van alfa’s, bèta’s en gamma’s vlakbij elkaar op een eiland en toch niet geïsoleerd van de maatschappij. Als hier nu eens alle universiteiten een voorbeeld aan zouden nemen.

Sommige mensen hadden de bètafaculteiten willen verhuizen van het Roeterseiland naar het Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer. Als dat was doorgegaan, dan waren de bètafaculteiten definitief geworden tot opleidingen voor vakidioten. Dan konden studenten net zo goed, of zelfs beter, aan een technische universiteit gaan studeren. Aan de nieuwe universiteit, samen met de alfa’s en gamma’s, is de sfeer zo goed dat de wetenschappelijke instituten uit de Watergraafsmeer graag verhuisden naar de IJ-oever.

Het Nederlands Kanker Instituut zocht een nieuwe lokatie naast het AMC of het VU-ziekenhuis. Toen men zag wat er aan de IJ-oever gebeurde, is men daar naartoe verhuisd. Men begreep dat ook voor medische specialisten een academische opleiding van het grootste belang is en de medische ethiek zich het beste ontwikkelt in een kritische omgeving.

Het muziekcentrum De IJsbreker is verhuisd naar het eiland in het IJ, net als het Amsterdams Conservatorium en de Studio voor Electro-Instrumentele Muziek. De 'Jan Timmerconcertzaal' heeft van Amsterdam het internationale centrum voor popmuziek gemaakt.

De Hogeschool Amsterdam was net gefuseerd, maar nog verspreid over de stad en omgeving. Men zag onmiddellijk dat het eiland in het IJ de ideale lokatie is. Hier kunnen de expertise en dure apparatuur worden gedeeld en switchen de studenten gemakkelijk van de ene opleiding naar de andere, zonder meteen hun vrienden te verliezen. Vroeger was het zo dat veel HBO-studenten na het behalen van hun propaedeuse overstapten naar de universiteit. Nu is daarvan geen sprake meer. Sterker nog, aan de universiteit ging meer dan de helft van de studenten verloren en haalde nooit enig diploma. Nu stappen ze over op een beroepsopleiding op dezelfde campus. Aldus is het rendement van het hoger onderwijs aanzienlijk verbeterd, niet in de laatste plaats omdat de hoorcolleges zijn afgeschaft. Er wordt vrijwel uitsluitend gestudeerd in een werkomgeving van kleine groepen onder leiding van een groepsleider/docent die meestal ook op de campus woont.

Even heeft men bij de Vrije Universiteit gedacht dat verhuizen niet nodig was. Immers, men had daar toch alle faculteiten vlakbij elkaar op een campus. Toen herinnerden de studenten de bestuurders eraan dat deze campus niet in de stad gelegen was, maar in dat saaie Buitenveldert en hun studentenhuusvesting helemaal in het niemandsland van Uilenstede of Diemen. Inderdaad de universiteit is er niet alleen voor het samen leren en studeren maar ook samen eten, sporten en feesten van alfa's, bèta's en gamma's.

In de Oude Manhuispoort wonen weer bejaarden, het Maagdenhuis is een chic bordeel, op de plaats van het Binnen Gasthuis staat een hotel en het gebouw van de Letterenfaculteit is in handen van een projectontwik-

kelaar. Alle faculteiten zijn verhuisd naar het eiland in het IJ, niet in een kolossale toren, maar in een fleurige woon- en werkomgeving waarvan jonge architecten een aantrekkelijk geheel hebben gemaakt. De universiteit is weer een centrum van cultuurbeoefening. Niet een mooi neutraal eiland in een boze wereld. Dit is de plaats waar ideologieën ontmaskerd worden en beschavingsprocessen kritisch begeleid door filosofen, psychologen, sociologen en economen die niet langer bezig zijn met louter zichzelf te bestuderen. Dit is de plaats waar wetenschap en technologie tot ontwikkeling komen op een maatschappelijk verantwoorde wijze, in zelfstandige instituten die zijn toegesneden naar de menselijke maat. Dit is de meest creatieve plaats in onze samenleving waar studenten, docenten en assistenten uit alle disciplines elkaar stimuleren en inspireren.

Jeroen, een eiland van Onderwijs, Kunst en Wetenschap in het centrum van de hoofdstad als IJ van Columbus voor stad en universiteit, het was maar een droom van je broer,

Frans.

DE ONZICHTBARE HAND

8 april 1993

Sommige geleerden doen grandioze experimenten met deeltjesversnellers of kunstmanen en honderden medewerkers. Hun ontdekkingen prijken in kapitalen op de voorpagina. Andere onderzoekers ontdekken in hun eentje, door heel goed naar de details te kijken, een wereld in een atoom en een straaltje licht. Ook zij verdienen net als Koos van Zomeren een plaatsje links onderaan op de voorpagina. Zij kunnen met licht een atoom afremmen en stilzetten zodat het met het blote oog te zien is. Zij kunnen van het atoom een knipperlicht maken dat op willekeurige tijden aan- en uitgaat. Ogenschijnlijk is dat niet erg opzienbarend, toch had professor Gerard Nienhuis dit gekozen voor zijn eerste college aan de Rijksuniversiteit Leiden. Hij wist zijn gehoor een uur lang te boeien, want tijdens zijn college veranderde het onooglijk straaltje licht en dat ene knipperende atoom in een fascinerende wereld van vreemde verschijnselen uit de moderne fysica.

In een gas bij normale temperaturen hebben atomen of moleculen snelheden van honderden meters per seconde, ofwel duizenden kilometers per uur en het is niet eenvoudig om één van die atomen gedurende langere tijd waar te nemen. Met laserlicht kunnen ze worden stil gezet. Als een atoom een foton van de laser invangt en het in een andere richting weer uitzendt, verandert de impuls, de beweging, van het foton. Omdat de totale impuls net als de totale energie niet kan veranderen, moet het atoom de impulsverandering van het licht compenseren, zodat de snelheid van het atoom verandert. Het foton stuit af op het atoom en het atoom ondervindt daarvan een terugstoot, zoals het hoofd van een voetballer bij een kopbal. Onder alledaagse omstandigheden is de kracht die het licht uitoefent te gering om waar te kunnen nemen, maar goed gekozen experimenten laten een verrassend groot effect zien.

Als we een bundel natriumatomen laten lopen in een richting die tegengesteld is aan een laserbundel met de juiste golflengte, dan worden de natriumatomen afgeremd. De snelheidsvermindering bij elke absorptie van een foton zal slechts 3 centimeter per seconde bedragen, ofwel honderd meter per uur. Dat is niet veel, maar omdat de cyclus van absorptie en emissie per seconde wel 300 miljoen maal herhaald kan worden, is de

vertraging die het atoom ondervindt toch aanzienlijk. Als het natrium-atoom de lichtbundel treft met een normale snelheid van 2000 kilometer per uur dan staat het al na een halve seconde stil, hetgeen overeenkomt met een remweg van minder dan twintig centimeter. In een kleine laboratorium-opstelling is dat goed te realiseren.

Wij kunnen met licht niet alleen een atoom afremmen maar ook zichtbaar maken. Als een atoom wordt beschonen met laserlicht van de juiste golflengte, dan gaat het zelf in alle richtingen licht uitzenden. We nemen een klein lichtvlekje waar dat afkomstig is van één atoom. Soms is dat licht met het blote oog te zien.

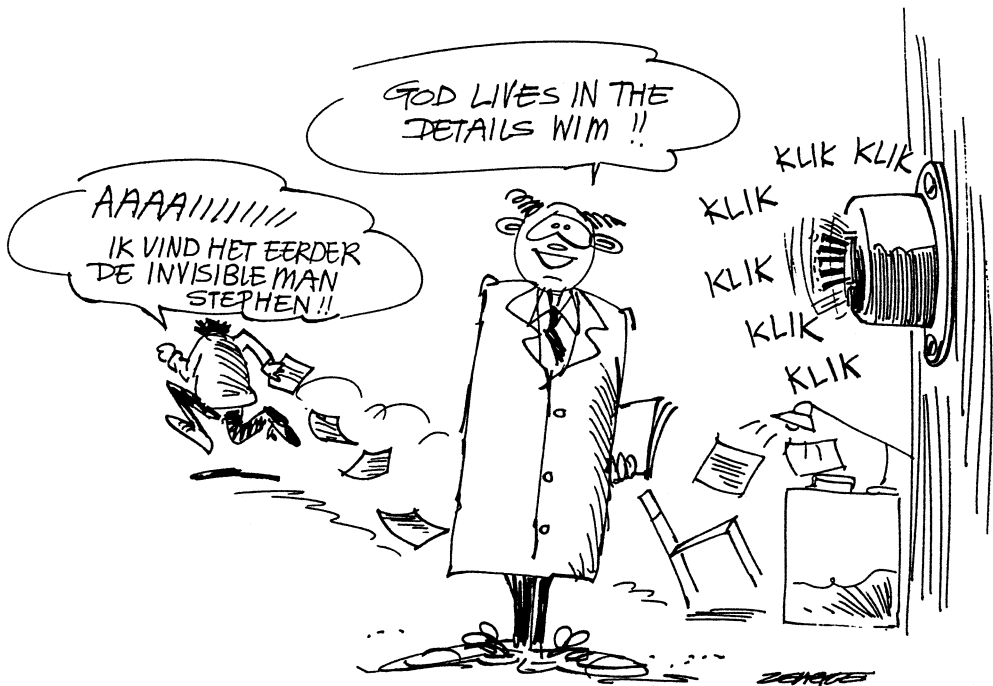
We stellen ons voor dat het atoom voortdurend op en neer springt tussen twee energieniveaus. Als een foton uit het laserlicht geabsorbeerd wordt, gaat het atoom naar het hoogste energieniveau. Telkens wanneer het atoom terugvalt naar het laagste energieniveau dan komt het foton weer te voorschijn. Het zijn de uitgezonden fotonen die het atoom zichtbaar maken, maar de sprongen op en neer tussen de energieniveaus zijn niet afzonderlijk te zien. Daarvoor volgen ze elkaar te snel op, wel een miljard maal per seconde. We zien alleen een continu schijnsel.

Kiezen we echter een atoom waarvan het bovenste energieniveau zwak gekoppeld is met een derde niveau, zodat een sprong naar dit derde niveau een paar maal per minuut plaats vindt, dan zendt het atoom een paar maal per minuut geen licht uit. We zien het lichtvlekje op willekeurige momenten aan- en uitgaan. Volgens Nienhuis is het: “alsof een onzichtbare hand aan de schakelaar zit. Wanneer deze onzichtbare hand de schakelaar omzet wordt door niets bepaald en door niemand beslist. De verschillen in de duur van de donkere periodes is in de meest zuivere betekenis een effect zonder oorzaak”.

Hier is het vreemde van de quantummechanica met het blote oog te zien. De tijdstippen waarop de sprongen in het atoom plaats vinden zijn onvoorspelbaar. Toch heeft professor Nienhuis op basis van de quantummechanica de kansverdeling van de sprongmomenten met grote nauwkeurigheid kunnen berekenen, uitgaande van de precieze frequenties van het laserlicht en de energieniveaus in het atoom. Dit betekent dat de verschillen in tijd, tussen donkere en lichte periodes, volstrekt willekeurig zijn. Het gaat steeds om hetzelfde atoom dat steeds in identiek dezelfde energietoestand wordt gebracht. Toch blijft volgens de quantummechanica het moment onvoorspelbaar waarop het foton geabsorbeerd en weer uitgezonden wordt. Het atoom vertoont in identieke situaties verschillend ge-

drag en de verschillen in tijd hebben geen oorzaak. God lijkt hier dus echt te dobbelen. Men zou natuurlijk ook kunnen zeggen dat het atoom kennelijk niet steeds precies in dezelfde toestand is, dat er toch nog verborgen verschillen zijn die door de quantummechanica niet worden beschreven.

Voor de niet-ingewijde waarnemer is het effect niet spectaculair: men ziet eenvoudig een onbetekenend lichtvlekje, dat soms verdwijnt en na een tijdje weer verschijnt. Wie zich in de details van het experiment verdiept, beseft dat hier quantsprongen in een atoom worden waargenomen. De waarneming van de sprongen is een echte meting, maar met het blote oog, van een quantummechanisch effect. Er wordt vaak beweerd dat het helemaal niet verbazend is dat het gedrag van direkt zichtbare en tastbare objecten als kogels en slingers wél voorspelbaar is en van elektronen, fotonen en atomen niet, omdat microscopische deeltjes niet direkt waarneembaar zijn. In het onderzoek van professor Nienhuis blijft van het onderscheid tussen het microscopische en het macroscopische niet veel over. De fundamentele onbepaaldheid van sommige fysische verschijnselen is zichtbaar voor iedereen die kan zien. Het is zoals Stephen J. Gould tegen Wim Kaizer zei: "God lives in the details".



KUNST VAN 'T ONDERHOUD

3 juni 1993

Op school maakten wij jaarlijks een puzzeltocht op de fiets, een sterrit noemde men dat. Volgens een geheimzinnige routebeschrijving kwamen wij langs dorpen, weilanden, ophaalbruggen, kanalen en uitspanningen rondom Amsterdam, maar bovenal heb ik dankzij deze sterritten mijn fiets leren kennen. Dagen van te voren haalde ik de hele fiets uit elkaar, de wielen eraf, de banden, de spatborden, het zadel, het stuur, de ketting, de lamp, de dynamo, het achterlicht, de bel, de trappers, alles legde ik in losse onderdelen op een krant op de stoep, maakte het schoon, vette het in en zette het weer netjes in elkaar. Mijn karretje kreeg jaarlijks een grote beurt voordat wij de stad uit fietsten. Tegenwoordig gebruik ik de fiets vooral om de stad in te gaan. Onderhoud blijft beperkt tot het meenemen van twee sloten en een ketting, opdat mijn fiets niet gestolen wordt.

Zo ging ik op koninginnedag met de fiets aan de hand de vrijmarkt op, bij ons in de Watergraafsmeer, om te zien of er nog iets van mijn gading was. “Dag buurman, alle boeken twee kwartjes”. Mijn oog valt op *Zen and the art of motorcycle maintenance* van Robert M. Pirsig. Ik pak het op en blader het door. Het is een eerste editie uit 1974. De vorige eigenaar, zijn naam is weggeknipt van het schutblad, is hevig in discussie gegaan met de auteur en heeft vele passages onderstreept of van commentaar voorzien. Ik denk dat ik het handschrift herken, betaal de buurjongen twee kwartjes, ga naar een bank in de zon, zet mijn fiets op slot en begin nieuwsgierig te bladeren van commentaar naar commentaar.

Dikke strepen markeren de passage die begint met: “A motorcycle functions entirely in accordance with the laws of reason, and a study of the art of motorcycle maintenance is really a miniature study of the art of rationality itself”. Dan volgt een uitvoerige uiteenzetting over de analogie met het wetenschappelijk onderzoek en het doen van ontdekkingen. Dit is allemaal omkaderd door de vorige eigenaar van dit boek. Met instemming lees ik de waarschuwing dat er geen monteur of wetenschappelijke onderzoeker is die niet heeft geleden onder die fractie van een seconde dat hij niet op zijn hoede was. Ja, zodra je roekeloos wordt of technische gege-

vens begint te romantiseren zal de natuur je in je hemd zetten. Eén verkeerde deductie en je komt onwrikbaar vast te zitten. Drie uitroeptekens en PRACHTIG staat er bij de passage: “In the high country of the mind one has to become adjusted to the thinner air of uncertainty...” Zo komt langzaam maar zeker de plot van dit boek bij mij terug.

De ik-figuur rijdt samen met zijn zoontje op de motor door het middenwesten van Amerika, door de prairies en de rockies naar de Westkust. Door zijn motorhelm, de wind en het geluid van de motor is hij geïsoleerd van zijn omgeving en gaan zijn gedachten terug naar de tijd dat hij wetenschappelijk onderzoeker was, daarna filosofiestudent en tenslotte retoricadocent. Als hij onderweg stil houdt is zijn aandacht gericht op het onderhoud van de motorfiets. Dit schept de kans om alle mogelijke zaken van technische en filosofische aard aan de orde te stellen.

Pirsig heeft gelijk als hij schrijft dat dé fout met de techniek is dat deze op geen enkele manier verbonden is met het gevoel en het hart. Daarom worden er zulke stompzinnige zaken ontwikkeld. “Geen excuus!” lees ik bij: “People haven’t paid much attention to this before because the big concern has been with food, clothing and shelter for everyone and technology has provided these”. Dan volgt het hoofdstuk waarin de ik-figuur zich herinnert dat hij het wetenschappelijk onderzoek vaarwel heeft gezegd omdat het meer vragen oproept dan beantwoordt. Er is dus geen sprake van echte vooruitgang. Hij komt juist door al zijn wetenschappelijk onderzoek tot de ontdekking dat het ons niet gegeven is de grote vragen te beantwoorden en het diepste inzicht in de absolute werkelijkheid te verkrijgen langs rationele weg. Daarom gaat hij filosofie studeren, maar ook daarin komt hij tot de uitzichtsloze conclusie: “What does it all mean? What is the purpose of all this?” Hij gaat retorica doceren en beweert zijn studenten dat zij moeten geloven in de reden, maar hij wordt emotioneel omdat hij zelf alle geloof verloren heeft. Binnenin hem waart het spook dat uitroept dat in leven blijven het enige doel van ons leven is en dat ook dit doel niet haalbaar is.

Ik sla de bladzijde om en dan weet ik het zeker. Bovenaan de pagina staat in mijn eigen handschrift geschreven: “Als wij hier alleen maar zijn om deze bol draaiende te houden, als dit nergens toe leidt alsof wij fietsen op de rollen van de hometrainer, dan hoeft het van mij niet”. Zo dacht ik

erover in 1974. Ik was nog maar net gepromoveerd en had voor het eerst in mijn leven een paar kleine ontdekkingen gedaan. Ik liet mij door Pirsig niet de illusie ontnemen dat er geen grote ontdekkingen zouden volgen. Hier hield ik jaren geleden op met lezen en verkocht het boek op de vrijmarkt.

Nu ik 20 jaar later *Zen and the art of motorcycle maintenance* opnieuw in handen heb, kan ik verder lezen onder het oranje zonnetje. Ik haal mijn pen te voorschijn en onderstreep. "If you have a high evaluation of yourself then your ability to recognize new facts is weakened"; "...mechanics tend to be rather modest and quiet".

Pirsig gelooft dat wanneer de wereld gezien wordt als een drieëenheid van kwaliteit, geest en materie dan krijgen de kunst van het motoronderhoud en de andere kunsten een veel ruimere betekenis. Dan zal ook het spookbeeld van de techniek verdwijnen en wordt deze juist iets positiefs. Wat kwaliteit heeft en wat niet, moet Pirsig ons dat ook nog vertellen? Hij toont een manier waarop de rede kan worden uitgebreid met elementen die als irrationeel worden beschouwd. Hij denkt dat de overstelpende aanwezigheid van deze irrationele elementen, die schreeuwen om opgenomen te worden, de oorzaak is van de chaotische, losgeslagen geest van de 20ste eeuw.

Ook zegt Pirsig: "Motorcycle maintenance gets frustrating. Anger. Infuriating. That is what makes it interesting". Wie in ieder saai karweitje zoekt naar de kwaliteitsaspecten en deze volgt, geboeid door wat ze te bieden hebben, zal het karwei volbrengen en een positief effect hebben, ook op zijn omgeving. "The study of the art of motorcycle maintenance is really a miniature study of the art of rationality itself. Working on a motorcycle, working well, caring, is to become part of a process, to achieve an inner peace of mind. The motorcycle is primarily a mental phenomenon". Als ik weer naar huis toe fiets, zit Pirsig achter op de bagagedrager.

RUSLAND, AMERIKA, JAPAN EN WIJ

3 juni 1993

Na de steen-, brons- en ijzertijd beleven wij thans het siliciumtijdperk. Ons dagelijks leven wordt beïnvloed door een klein schilvertje silicium, de chip, die geestdodende arbeid overneemt en nieuwe banen schept. De micro-elektronica, de snelst groeiende bedrijfstak die thans al zo groot is als de auto-industrie, zal straks de chemie naar de kroon steken. Ook in natuurkundig onderzoek heeft de chip een omwenteling veroorzaakt. Silicium is zelf één van de belangrijkste onderwerpen van onderzoek. Experimenten zonder elektronica en informatica zijn ondenkbaar in deze tijd en computersimulaties komen in de plaats van het traditionele 'Gedankenexperiment'. Hoewel de veranderingen in het onderzoek zich wereldwijd voltrekken, zijn er significante verschillen tussen de verschillende werelddelen, die veroorzaakt worden door lokale, economische, politieke en militaire factoren.

Olie kan je uit de grond halen, maar de computer, de tv en de telefoon zijn het resultaat van veel onderzoek en ontwikkeling. De grootste en beste researchlaboratoria ter wereld zijn eigendom van AT&T, IBM, Philips, Hitachi en andere elektronische industrieën. Zij hebben ieder vele duizenden onderzoekers en technische specialisten in dienst die werken aan de volgende generatie chips, lasers, detectoren en sensoren die worden toegepast in consumentenelektronica, in auto's, in professionele instrumenten, in raketten en ander wapentuig. *Big science for big business*. De micro-elektronica, de chip, bestaat voor een belangrijk deel uit het materiaal silicium. Geen wonder dat over dit materiaal heden ten dage meer wetenschappelijke publikaties en patenten verschijnen dan over enig ander materiaal.

Onderzoek voor, met en in computers domineert in alle natuurkundige laboratoria ter wereld, behalve in Rusland. Tot een jaar of tien geleden was de voormalige Sovjet-Unie ook in de wetenschap een supermacht. Door de boycot van het westen, vooral op het gebied van computers, zijn Russische geleerden hun leidende positie kwijt geraakt. Hun wetendezelfde onderwerpen en dezelfde materialen waar wij mee bezig zijn.

Daar hebben zij de mogelijkheden niet voor. Hun experimentele opstellingen zijn hopeloos verouderd omdat ze nog steeds niet bediend worden door een computer. Hun theorie schiet tekort door de afwezigheid van numerieke methoden die per computer worden uitgewerkt. Van beroemde nationale researchlaboratoria als het Ioffe-instituut in St. Petersburg en het Lebedev-instituut in Moskou wordt nauwelijks meer iets vernomen. Duizenden onderzoekers die daar werken zijn gefrustreerd, niet alleen omdat zij met hun geringe salaris op de grens van de armoede leven, maar vooral omdat zij als wetenschapper niet meer meetellen in vergelijking tot hun collegae in het westen.

De Verenigde Staten zijn de smaakmakers, ook van het siliciumtijdperk. Sinds de ontdekking van de transistor in AT&T Bell Labs, kort na de oorlog, is dit laboratorium samen met de researchcentra van IBM en van de Amerikaanse overheid gaan behoren tot de meest produktieve wetenschappelijke centra ter wereld. Gezamenlijk en in gezonde competitie hebben deze laboratoria, en de Amerikaanse universiteiten, het onderzoek voor, met en in computers van de grond getild. Men realiseert zich echter niet altijd in hoeverre de richting van het onderzoek gedomineerd is door de militaire subsidies waarmee deze ontwikkeling betaald werd.

Tijdens de tweede wereldoorlog zijn Amerikaanse fysici buitengewoon effectief geweest met het ontwikkelen van de eerste kernwapens in het Manhattanproject. Dit heeft de politici het gevoel gegeven dat het loonde om de fysici bij elkaar en tevreden te houden. Zo ontstonden grote defensie-budgetten voor onderzoek, waarmee de onderzoekers nieuwe wapens ontwikkelden, maar ook zuiver wetenschappelijk werk konden doen. Zij deden dit zo succesvol dat zij de militairen telkens weer konden overtuigen van de noodzaak om nog weer grotere budgetten voor nog weer grotere research- en ontwikkelingsprojecten ter beschikking te stellen. Het meest recente programma is SDI, het geldverslindende ruimteschild dat Amerika moest beschermen tegen aanvallen met intercontinentale raketten. Met deze belofte is het geavanceerde onderzoek van de laatste tien jaar gefinancierd. Door zijn eigen succes is de natuurkunde in Amerika, op de universiteiten, de nationale researchcentra en de industrie, afhankelijk geworden van defensiegeld.

Dit heeft de Amerikaanse natuurkundigen vervreemd van de maatschappij. Men doet vooral onderzoek aan onderwerpen die uit de weten-

schap zelf zijn voortgekomen en die aan de militairen verkocht kunnen worden als relevant voor het toekomstig *electronic battlefield*. Zo is er gewerkt aan supercomputers en geavanceerde netwerken, in plaats van 'personal computers' en micro-elektronica voor consumentenprodukten. Men heeft super-intense lasersystemen ontwikkeld voor de militairen in plaats van kleine lasers voor cd-spelers. Men heeft nieuwe deeltjesversnellers ontwikkeld die satellieten van een dodende straal moesten voorzien, maar die alleen bruikbaar zijn in fundamenteel onderzoek.

De koude oorlog werd gewonnen en ongetwijfeld heeft de nauwe samenwerking tussen wetenschap en defensie daaraan een bijdrage geleverd. Maar de Amerikaanse natuurkunde is in een crisis terecht gekomen. Door het verlies van de grote vijand en vanwege het enorme tekort op de begroting van de overheid, wordt er bezuinigd op de defensiebudgetten. Nu zitten de universitaire hoogleraren zonder researchgeld. De nationale laboratoria hebben geen reden meer van bestaan. En de industrie was gewend risico-volle research- en ontwikkelingsprojecten af te schrijven op defensiecontracten, zogenaamd ten behoeve van de nationale veiligheid. Overheidssteun voor industriële produkten is immers in Amerika taboe, het wordt gezien als concurrentievervalsing en strijdig met het vrije ondernemerschap. Het gevolg is dat enerzijds vele onderzoekers werkloos worden, anderzijds Amerika zijn leidende positie in de micro-elektronica is kwijtgeraakt aan Japan.

Op de lijst van consumentenelektronica staan Matsushita en Sony bovenaan, dan volgen Philips en het Franse Thomson en dan Hitachi, Pioneer, Toshiba en andere Japanse bedrijven. Bij de eerste tien staat geen Amerikaan. De micro-elektronica, inclusief computers, telecommunicatie- en informatietechnologie, is qua omzet al zo groot als de auto-industrie en stijgt sneller dan elke andere bedrijfstak. Dit vereist gigantische investeringen. Er wordt in de micro-elektronica meer geïnvesteerd in Japan dan in Amerika en veel meer dan in Europa. In Japan wordt een deel van de investeringen betaald door het ministerie voor internationale handel en industrie, MITI. De overige investeringen moeten worden gefinancierd uit de winstmarges. Wij consumenten zijn niet bereid om grote bedragen te betalen en dus zijn de marges in de consumentenelektronica klein. Er is in Japan geen of vrijwel geen defensiebudget, waaruit ontwikkelingen betaald kunnen worden. Daarom gaat al het geld dat door de industrie ver-

diend wordt naar ontwikkeling van nieuwe produkten en blijft er geen geld over voor onderzoek. Fundamenteel, grensverleggend onderzoek van enige betekenis vindt men in Japan nauwelijks, daarvoor is geen geld en daarin heeft men ook geen enkele traditie. Dit verklaart waarom de Japanse natuurkunde zo middelmatig is, hoewel Japan marktleider is in de consumentenelektronica. Toch zal er niet veel nieuws uit dit land tevoorschijn komen zolang er geen grensverleggend onderzoek wordt gedaan.

In Europa is Nederland nog het enige land dat voor het maken van chips niet volledig afhankelijk is van het buitenland. ASMI uit Bilthoven maakt de apparaten waarmee chips geproduceerd worden en levert deze over de hele wereld, inclusief Amerika en Japan. En Philips is nog steeds een gigant in alle sectoren van de micro-elektronica. Dit is alleen mogelijk dankzij het grote aantal goed opgeleide mensen waaruit deze bedrijven kunnen putten. Mensen die aan de Nederlandse universiteiten en hogescholen zijn opgeleid in de elektrotechniek, halfgeleiderfysica of informatica. Veel Nederlandse studenten zijn zich bewust dat zij in het siliciumtijdperk leven. Zowel in het fundamenteel als in het toegepast onderzoek voor, met en in computers genieten Nederlandse ontdekkingen internationale bekendheid. Ook kwantitatief is de Nederlandse bijdrage aan het siliciumonderzoek groot.

In ons land trekt de informatie-technologie veel geld en talent aan, veel meer dan in andere sectoren. Maar onze maatschappij heeft ook nog hele andere belangen. Om te kunnen overleven in de metaalsector zijn produkten met een hogere toegevoegde waarde nu al noodzakelijk. Dat betekent veel meer research en ontwikkeling, bijvoorbeeld in de micro-mechanica. In ons land zijn multinationale ondernemingen gevestigd op het gebied van de chemie. Het zou toch gewenst zijn dat deze industrieën net zo innovatief waren als de micro-elektronica. Maar de chemie zit in de verdomhoek van onze maatschappij. Van de micro-elektronica zou men kunnen leren hoe in ons land geld en talent zijn te mobiliseren voor radicale vernieuwingen. Of kan men dat van de traditionele chemie niet meer verwachten en moet onze hoop gevestigd zijn op de ontwikkelingen in de moleculaire biologie en de groei van bio-technologie bedrijven? Er zijn nog andere maatschappelijke belangen zoals energie en milieu, waarin aanzienlijk meer innovaties gestimuleerd zouden kunnen en moeten worden.

De economische situatie maakt het voor het Nederlandse bedrijfsleven noodzakelijk zich te concentreren op de kernactiviteiten. Bij de industrie worden de laboratoria voor onderzoek en ontwikkeling gefocusseerd op problemen van vandaag en nieuwe produkten voor morgen. Het onderzoek- en ontwikkelwerk wordt financieel steeds meer afhankelijk gemaakt en ten dienste gesteld van de bedrijfsresultaten. Het gevolg is dat nog maar weinig industriële researchlaboratoria zich fundamenteel onderzoek kunnen veroorloven en ontwikkelingen voor de lange termijn verwaarloosd dreigen te worden. Er is nu de neiging om de industrie te helpen door aan de universiteit onderzoek en ontwikkelwerk te gaan doen voor de markt, maar dat kunnen de industrieën veel beter zelf. Het is de taak van de overheid de voorwaarden te scheppen waarmee ons land in het fundamenteel onderzoek zijn vooraanstaande plaats behoudt. Een plaats waarin de beste onderzoekers en technici hun opleiding krijgen en daarna doorstromen naar de maatschappij. Juist nu is het stimuleren van grensverleggend onderzoek noodzakelijk opdat ons land een goede positie zal innemen, ook na het siliciumtijdperk.

