

Kiezen en delen in natuurkundig onderzoek

Citation for published version (APA):

Schram, D. C. (1975). *Kiezen en delen in natuurkundig onderzoek*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1975

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Kiezen én delen in natuurkundig onderzoek

**Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
gewoon lector in de Atoom- en Molecuulfysica aan de
afdeling der Technische Natuurkunde van de Technische
Hogeschool Eindhoven op vrijdag 16 mei 1975 door
Daniël C. Schram**

'The way to solve the conflict between human values and technological needs is not to run away from technology. That's impossible. The way to resolve the conflict is to break down the barriers of dualistic thought that prevent a real understanding of what technology is – not an exploitation of nature, but a fusion of nature and the human spirit into a new kind of creation that transcends both'

R.M. Pfirsig.

Dames en Heren,

'Wetenschap en techniek hebben bijgedragen aan de geweldige veranderingen, die gepaard zijn gegaan met de expansie van de westerse wereld en vormen een der drijvende krachten daarbij' ¹⁾; deze aanhaling uit de nota wetenschapsbeleid bespaart mij de moeite weer een nieuwe formulering te vinden voor wat hier misschien reeds te vaak is gezegd. Een adstructie is geheel overbodig; wel wil ik U wijzen op het hanteren van het woord veranderingen; het alternatief 'verbeteringen' durven weinigen meer in de mond te nemen. Deze neutralisering, reeds in 1937 merkbaar in de bondige uitspraak van Irving Langmuir ²⁾ 'Modern life is absolutely dependent on applications of science', is een van de tekenen van een onzekerheid, die wel bestaat ook ten aanzien van de zin van de beoefening van de natuurwetenschappen. In 1937 kon door Langmuir nog vol optimisme worden gewaagd van een, door de vooruitgang in de wetenschap mogelijk gemaakt, nieuw uitzicht op het leven, vrijgemaakt van bijgeloof ³⁾. Nu echter vervolgt de nota met: de wetenschap kan zowel ten goede als ten kwade worden toegepast. De gevolgtrekking is dan ook, dat de rol en functie van de wetenschapsbeoefening in de moderne maatschappij niet eenvoudig en vanzelfsprekend meer zijn, doch een onderwerp van bezinning moeten zijn. Deze uitdaging heeft mijn voornemen versterkt een gedeelte van de mij toegemeten tijd hieraan te besteden; ik zal mij daarbij beperken tot het experimentele natuurkundig onderzoek.

De zinsnede 'Modern life is absolutely dependent on applications of science' kan wel een lijfspreuk worden genoemd van de technocratie ⁴⁾, een samenlevingsmodel dat velen met een gevoel van onbehagen naderbij zien komen. In dit model, dat U niet moet verwarren met een heerschappij van technici, wordt door deskundigen uitgevoerd hetgeen technisch mogelijk, of nog sterker, technisch noodzakelijk is. Zuiver politieke beslissingen worden in toenemende mate overbodig, want door de steeds weer nieuwe toepassingen van wetenschappelijke resultaten wordt de speelruimte voor beslissingen steeds kleiner. Er ontstaat een kringloop van technische vindingen en de daardoor telkens noodzakelijke sociale aanpassingen van de mens: 'Der Kreislauf der sichselbst bedingenden Produktion'. Helmut Schelsky ⁴⁾ ziet dan ook een technische staat ontstaan waarin de techniek is opgegaan in de staat. De daarbij aangevoerde argumenten zijn welbekend: de noodzaak om de techniek als machtsmiddel tenminste te controleren, de hoge kosten van de ontwikkeling van de techniek en de

noodzaak om de verschillende technische mogelijkheden te coördineren. In dit bestel is ook de wetenschappelijke werker, hoewel schijnbaar belangrijk, ondergeschikt geworden aan de techniek.

Indien het echter waar is, dat de technische ontwikkelingen zo een belangrijke invloed hebben op het cultuurpatroon, dan is het wel verwonderlijk te moeten constateren, dat slechts weinig mensen, ook onder diegenen die zich onbehaaglijk voelen bij het denkbeeld van een technocratie, zich enige voorstelling kunnen maken (en dit geldt daarbij allerminst als nadeel) van de fysische verschijnselen welke aan de verbeteringen van bijvoorbeeld de communicatie en het transport, maar ook aan de bewapeningswedloop ten grondslag liggen. Dit hoewel het onderwijs en zeker het Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs wel enkele voor een dergelijke ideevorming noodzakelijke ingrediënten biedt. Wellicht kan dit ten dele worden geweten aan de vormgeving van de industriële produkten, waarbij elk visueel contact met het inwendige onmogelijk is gemaakt; de fysica is in de toverdozen vrijwel onzichtbaar en daarmee tot een abstractie geworden. In de ogen van velen is de techniek dan ook vergelijkbaar met een tandartsinstallatie, waarmee weliswaar noodzakelijke, doch uiterst onprettige ingrepen in de mond van de maatschappij worden verricht, teneinde een verdere consumptie van suikergoed veilig te stellen.

Nu kan mij verweten worden een spookbeeld op te roepen. Dit mag zo zijn, maar de kritiek vervat in beschuldigingen ⁵⁾ van ééndimensionaliteit, narcisme en isolationisme ook gericht aan de toegepaste wetenschappen is ernstig genoeg. Er is daarbij een groeiend verlangen merkbaar naar een vervanging van de industriële 'harde' technologie door een meer ambachtelijke 'zachte' technologie; alternatieve en zelfs utopische technieken zouden moeten worden ontwikkeld ⁶⁾.

De voor ieder evidente moeilijkheid om de bestaande natuurkundige kennis in bevattelijke, maar niet al te summiere vorm over te dragen maakt het niet eenvoudig in deze situatie enig soelaas te bieden. Het is onmogelijk en ook onnodig, dat ieder zich tot in detail zou verdiepen in de achtergronden van de resultaten van de wetenschap. Dan blijft het voor velen wel moeilijk tijdig te voorzien welke vondsten kunnen leiden tot onaangename of verderfelijke ontwikkelingen en een beoordeling of veroordeling zal dan ook veelal pas achteraf of in een laat stadium kunnen geschieden. Het lijkt mij toe, dat dit niet alleen te ondervangen is met de in de Nota Wetenschapsbeleid genoemde externe- of politieke-democratisering, waarbij door wetenschap en politiek op basis van onderzoeksmogelijkheden en onderzoekbehoeften een wetenschapsbeleid wordt geformuleerd en met een interne democratisering ter vaststelling van het onderzoekbeleid binnen de kring van de wetenschapsbeoefenaren. Daarnaast is een grotere betrok-

kenheid van iedereen, mogelijk gemaakt door een betere begripsvorming ⁷⁾ van de inhoud van de natuurkunde maar vooral ook van de motivering ⁸⁾ voor het bedrijven daarvan, noodzakelijk. Ook daarom dient het universitaire onderzoek een belangrijk deel van het onderwijs te blijven uitmaken, ook voor die studenten die later een rol zullen spelen in het onderwijs.

Naast het argument, dat een zeker begrip van de fysische verschijnselen noodzakelijk is voor de beoordeling van de technische ontwikkelingen zijn er nog andere redenen aan te voeren, welke pleiten voor een dergelijke uitgebreide kennismaking. Reeds eerder is in deze zaal gewezen op de onpartijdigheid van de wetenschappelijke benadering ⁹⁾. Dan is er het zoeken naar een orde in de verschijnselen waarin de werkelijkheid zich aan ons voordoet. Echter ook dient duidelijk gemaakt te worden, dat het bedrijven van onderzoek en ontwikkeling geen emotionele routine-bezigheid is, doch dat daarbij de verbeeldingskracht en interesse van de onderzoeker van wezenlijk belang zijn. De appreciatie van de leek voor de natuurkunde hangt immers in belangrijke mate af van het beeld dat hij zich heeft gevormd van het onderzoek, de methoden en de motieven. Een zekere demystificatie van techniek, een afkomen van het beeld dat zich nog te vaak beweegt tussen 'het concert in het ei' en 'de tuin der lusten', kan daarbij noodzakelijk zijn.

Dames en Heren,

Het zal U inmiddels duidelijk zijn, dat ik het geven van een zekere verantwoording in de vorm van een intreedende een zinvolle traditie acht. Ik wil dan ook terugkomen op de in de inleiding gestelde vraag naar de functie van het natuurkundig onderzoek. Het is eenvoudig drie doeleinden aan te wijzen: vernieuwing, en daarmee bedoel ik het opsporen van nieuwe technische middelen, het verwerven van nieuwe inzichten en het verbeteren van reeds bestaande technieken. Deze drie motieven zijn ook te herkennen in het onderzoek in de plasmafysica, een deelgebied van de natuurkunde. Uit de beschrijving van enkele ontwikkelingen in dit vakgebied zal blijken, dat een strikte indeling van het onderzoek in één van de drie genoemde categorieën vaak onmogelijk en bovendien niet wenselijk is. Een kernpunt van mijn betoog zal dan ook zijn, dat juist een nauwe samenhang tussen de verschillende gerichte onderzoeken van groot belang is.

De plasmafysica is in de afgelopen jaren vooral tot bloei gekomen dank zij het doelgerichte thermonucleaire fusie-onderzoek. Dit is erop gericht energie op te wekken met behulp van de samensmelting van twee lichte kernen, bijvoorbeeld Deuterium en Tritium. Bij dit proces, kernfusie genoemd, ontstaan dan een zwaardere kern, Helium, en een

neutron. Hoewel de energiewinst, welke verdeeld wordt over de reactieproducten, vele malen groter is dan de kinetische energie nodig voor het overwinnen van de Coulombkracht, is het geen eenvoudige opgave gebleken op grond van dit simpele principe een werkende reactor te verwezenlijken. D.J. Rose noemt het in een bijdrage aan een recente reeks artikelen over de energieproblematiek ¹⁰⁾ 'the most challenging and difficult of all such assignments ever given to physical scientists, and they (dat zijn dan de betrokken fysici) deserve credit for doing so well'. Op grond van bekende gegevens betreffende het kernfusieproces kan men berekenen dat, wanneer de temperatuur van de ionen en het produkt van de deeltjesdichtheid en de verblijftijd aan zekere criteria voldoen ¹¹⁾, het mogelijk moet zijn op deze wijze energie op te wekken. De opgave is dan het hete mengsel, men denke hierbij aan honderd miljoen graden, voldoende lang bij elkaar te houden om deze criteria te bereiken. Een dergelijk mengsel van elektronen en ionen noemt men een plasma, een toestand van de materie, waaruit een groot deel van het heelal bestaat. Nu zijn verschillende benaderingen mogelijk, een ijl plasma langere tijd opsluiten of een dicht plasma kort.

Exponenten van beide zijn nu in een hoopgevend stadium gekomen, dit wil zeggen de eerdergenoemde eisen worden langzamerhand benaderd.

Bij de eerste benaderingswijze, de Tokamak-lijn, sluit men het plasma op een toroïdaal vat met behulp van een sterk magnetisch veld en wordt het plasma verhit door een eveneens toroïdale in het plasma geïnduceerde stroom. Nu zal bij grotere afmetingen van het opgesloten plasma de verblijftijd van de deeltjes langer en de temperatuur hoger zijn. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat, toen bleek dat plasma's in deze configuratie een hoge mate van macroscopische stabiliteit vertoonden, een gestage vergroting van de afmetingen van de experimenten heeft plaatsgevonden ¹²⁾ ¹³⁾.

Deze schaalvergroting is gepaard gegaan met een groeiend begrip van het macroscopisch gedrag van het plasma ¹⁴⁾, dat hierbij wordt opgevat als een geleidende vloeistof. U dient dan niet te denken aan een volledige beschrijving; daarvoor is het onderzoek te empirisch van aard en schiet de theoretische beschrijving, welke een verband moet leggen tussen de beweging van de deeltjes en het gedrag van het plasma als geheel, nog te kort. Toch kan globaal het transport van energie en van de deeltjes, dat enkele malen groter is dan de, op grond van binaire interacties tussen de geladen deeltjes in het polariseerbare plasma te berekenen, klassieke waarden wel worden verklaard ¹⁵⁾. Daarbij dienen gemeten transportgrootheden als leidraad. Door extrapolatie vindt men dan effectieve anomale transportcoëfficiënten, welke kunnen worden gebruikt voor de modelstelling van weer grotere

experimenten. Vanzelfsprekend neemt daarbij de betrouwbaarheid van de gemeten coëfficiënten toe naarmate door meer groepen overeenstemmende resultaten zijn gevonden. Het is een wel eens verwaarloosd aspect van de experimentele natuurkunde, dat pas na het bereiken van een zekere 'inter'-subjectiviteit, waarnemingen als min of meer vaststaand kunnen worden aangenomen.

Nu zijn, zoals gesteld, in de grotere experimenten de bereikte temperaturen veelal hoger. Er zijn dan weinig twee-deeltjes interacties en men spreekt dan ook van een botsingsloos plasma. Zelfs een klein niveau van turbulentie, dat men moet zien als een collectief gedrag van de deeltjes op microscopische schaal, kan dan het transport belangrijk beïnvloeden. Gezien de nog steeds onzekere sfeer, waarin de kinetische theorie van turbulente plasma's verkeert, is het vooralsnog onmogelijk met zekerheid de, voor een macroscopische beschrijving nodige, effectieve transportcoëfficiënten te voorspellen. Men kan echter hopen, dat juist gedetailleerde metingen in deze, wel bij uitstek botsingsloze, plasma's een dieper inzicht zullen verschaffen in de mechanismen welke kunnen leiden tot een turbulent transport. Dit doelgerichte onderzoek is derhalve van groot belang ook voor de kinetische theorie van zwak turbulente plasma's.

De tweede benaderingswijze berust op een geheel ander principe ¹⁶⁾. Een klein Deuterium-Tritium ijsbolletje wordt door alzijdige bestraling met een zeer intense en kortdurende puls van laserlicht tot een zeer dicht plasma gecomprimeerd ¹⁷⁾. Daarbij dienen gedurende de korte levensduur van het plasma de dichtheden zo groot en de temperaturen van de deeltjes zo hoog te worden, dat er voldoende fusiereacties kunnen optreden. Immers, de vrijgekomen energie moet tenminste groter zijn dan die, welke (met inachtnaam van de onvermijdelijke verliezen) nodig is voor het genereren van een nieuwe laserflits. Dit onderzoek zou men ook wel kunnen karakteriseren als laserontwikkeling, het laatste is overigens in veel gevallen ook plasmafysica. Theoretici hebben, nu wijs geworden door hun ervaringen met de magnetisch opgesloten plasma's, reeds in een vroeg stadium moeilijkheden voorspeld ¹⁸⁾. Niet-lineaire wisselwerkingen tussen het laserlicht en het plasma in de corona van het bolletje zouden naast de noodzakelijke anomaal grote absorptie ook aanleiding geven tot een ongewenste anomaal grote reflectie van het laserlicht. De ironie van de historie wil nu, dat er tot nu toe weinig experimentele aanwijzingen zijn voor een belangrijke terugstrooiing; men zal echter moeten afwachten wat de gedragingen van het plasma zullen zijn bij de nog niet bereikte, maar voor fusie nodige, zeer grote lichtintensiteiten. Ook hier is een sterke vervlechting van doelgericht en fundamenteel onderzoek gewenst en waarneembaar.

De studie van deze wel zeer uitzonderlijke toestand van de materie is slechts mogelijk geworden door een omvangrijke ontwikkeling van allerlei technische voorzieningen. Het meten aan deze plasma's, welke (zeker het laatstgenoemde) maar uiterst kort bestaan, vraagt een goede kennis van andere deelgebieden van de fysica; de digitale verwerking vraagt weer een ander specialisme. Dit heeft ertoe geleid, dat dit doelgerichte onderzoek slechts zinvol in, daartoe speciaal in het leven geroepen, grotere samenwerkingsverbanden kan worden uitgevoerd. Groepswerk is, trouwens ook voor het universitaire onderzoek, een dwingende noodzaak geworden.

Het is verleidelijk, maar minder juist, een vergelijking te maken met een gedeelte van het door Francis Bacon in 'Novum Organum' geschilderde huis van Salomo: ¹⁹⁾ 'We have also furnaces of great diversities, and that keep great diversity of heat: fierce and quick, strong and constant, soft and mild, blown, quiet, dry, moist and the like. But above all we have heats, in imitation of the sun's and heavenly bodies' heats that pass divers inequalities and (as it were) orbs, progresses and returns whereby we produce admirable effects'. Francis Bacon, wel afgeschilderd als prediker van de huidige welvaart ¹⁹⁾ en onheilsprofeet van het isolationisme van de wetenschap ⁵⁾, echter ook wel gekenschetst als een goedkope fantast ²⁰⁾, zag in zijn geesteschepping een alomvattend wetenschappelijk centrum, een enorm Researchpark. Hij gaf daarbij ook aan hoe de resultaten uit het huis in de openbaarheid gebracht moesten worden: de geleerden zouden gezamenlijk besluiten welke resultaten gepubliceerd konden worden en welke daar nog niet rijp voor waren. Het voorzien van zowel de noodzaak van geïsoleerd groepswerk, als van de reeds gesignaleerde moeilijkheid die er bestaat ten aanzien van het spreiden van de kennis kan men hem dus niet ontzeggen. Het is echter duidelijk dat de pretentie van Bacon veruitging boven die van het doelgerichte onderzoek. In de inleiding schrijft hij: 'The end of our foundation is the knowledge of causes and secret motion of things; and the enlarging of the bounds of human empire to the effecting of all things possible'. Het is een pretentie die het wetenschappelijk onderzoek als geheel wel wordt toegedacht; een pretentie die ik onhoudbaar en verwerpelijk acht.

Laten wij terugkeren van 'Solomon's house' naar de huizen van de hedendaagse wetenschap. Het universitaire onderzoek staat in het teken van het onderwijs. De eis dat de op te leiden natuurkundigen door deelname aan het onderzoek kunnen kennismaken met verschillende deeldisciplines van de natuurkunde kan interfereren met de nadruk die in het omvangrijke gerichte onderzoek gelegd moet worden

op het bereiken van het gestelde doel. Een rolverdeling, waarin ook de keuze van het onderwerp van studie wordt betrokken, is dan ook zinvol. In de plasmafysica zijn daarvoor ruime mogelijkheden. Veel aspecten van de turbulentie zijn nog onbegrepen en dienen ook in andere, minder botsingsarme, situaties te worden onderzocht. Tevens kan worden gedacht aan een gebruik van de, in de loop van het Thermonucleaire fusie-onderzoek, ontwikkelde technieken om plasma's in allerlei, tussen de twee genoemde extremen in liggende, condities in andere toepassingsgebieden van de plasmafysica, als lasers ²¹⁾ en andere stralingsbronnen ²²⁾. In deze voorbeelden speelt ook de atoom- en molecuulfysica een belangrijke rol. De stabiele plasma's in Tokamaks kunnen een interessant medium zijn voor astrofysisch onderzoek; de voorspelde opeenhoping van hooggeïoniseerde verontreinigingen kan hier juist een positieve factor zijn. Vooral ook van belang is een studie van de invloed van de in het plasma aanwezige microvelden op de atomaire en moleculaire stralings- en botsingsprocessen. Immers, zelfs indien afzonderlijk botsingen, als die tussen een electron en een atoom, nauwkeurig zijn te beschrijven, (en in deze richting wordt veel werk verzet) dan blijft het onzeker in hoeverre deze beschrijving ook toepasbaar is voor botsingen die plaatsgrijpen in een medium, dit wil zeggen in de aanwezigheid van andere deeltjes en van fluctuerende velden. Deze enigszins willekeurig gekozen en korte opsomming zal velen van U al als te specialistisch voorkomen. Zij laat in elk geval zien, dat veel te winnen is met een zo gering mogelijke scheiding tussen de verschillend geaarde onderzoeken.

Hoe staat het nu met de praktische bruikbaarheid van de in deze opsomming genoemde experimentele studies? Met de genoemde lasers en stralingsbronnen, beide gebruiksvorwerpen, zullen weinigen moeite hebben. Met het meer fundamentele onderzoek naar gestoorde twee-deeltjes-, of drie-deeltjes-interacties zal het wel anders zijn gesteld. Maar juist een dieper inzicht in die processen, verworven na een detailstudie in een zo goed mogelijk geïsoleerde situatie, zal veelal blijken in meer omstandigheden dan de beschouwde bruikbaar te zijn. Het alternatief, een rekentechnische of een empirische beschrijving van elk specifiek vat met plasma kan, mits de nodige gegevens bekend zijn en mits de juiste vergelijkingen worden gebruikt, wel leiden tot een adequate beschrijving van het gedrag van dat plasma. Men moet dan wel voor elke nieuwe situatie en elke nieuwe vormgeving het rekentool opnieuw in werking stellen. Nu kan er soms geen keus zijn; wel mist men dan dikwijls het geduld tenminste de poging te wagen om, door een systematisch weglaten van de verschillende voordelige en nadelige effecten, vast te stellen welke daarvan een belangrijke invloed op de werking hebben. Juist het isoleren van het te

bestuderen verschijnsel, of dit nu een macroscopisch transport, of een microscopisch botsingsproces is, kan inzichten verschaffen van een meer algemene toepasbaarheid. Dit kan in vele gevallen een pijnlijk langdurig proces zijn, waarbij vooral ook tijd, rust en concentratie nodig zijn.

Men moet dan ook het universitaire natuurkundig onderzoek niet willen vereenzelvigen met een pianola, waaruit na het inzetten van de gewenste probleemrol onmiddellijk het luide antwoord klinkt. Mijns inziens dient men eerder te denken aan een piano, bij voorkeur met meer dan één toets, welke na enige studie kan worden bespeeld. Daarbij dient er een zorgvuldig op elkaar afgestemde apparatuur, die breed inzetbaar is, aanwezig te zijn; wellicht had ik beter kunnen spreken van een elektronisch orgel. Pas wanneer een zekere algemene kennis eigen is gemaakt, kan een vruchtbare discussie van specifieke probleemstellingen plaatsvinden. Ook is dit een voorwaarde voor een vrije keuzemogelijkheid, welke noodzakelijk is voor een niet te gebonden wetenschappelijk onderwijs.

Nu kan mij, ondanks het vermijden van het woord waardevrij, het verwijt treffen toch te blijven in het kader van 'der sichselbst bedingenden Produktion'. Een zich verschuilen achter het fundamentele onderzoek is wat onnozel; immers daarvan wordt juist betoogd dat in het verleden de veelal onvoorziene resultaten dikwijls konden worden toegepast in de uitgebreide machinerie van de technische samenleving. De kennis van de atoom- en molecuulfysica moge dan nog van groot belang zijn voor het bemonsteren van de vervuiling, maar ook ik zie in, dat dit meten de problemen niet oplost.

Het kan verleidelijk zijn te overwegen van het huis van Salomo terug te keren naar 'de kleine aarde', het vervangen van het lamplicht door een brandende kaars. Nu is er veel te zeggen voor een hernieuwde waardering van het ambachtelijk werk; in veel opzichten maken de technische wetenschappen daar een dankbaar gebruik van. Toch acht ik alternatieve en zelfs utopische technologie⁶⁾ niet bereikbaar, zonder tenminste voor een belangrijk deel gebruik te maken van de bestaande, in een lange historie opgebouwde, natuurkundige kennis en de daarbij toegepaste methodiek. En wat dit betreft, geloof ik niet in een 'wat in het vat zit verzuurt niet', doch eerder in 'wapenen, vrouwen en boeken behoeven een dagelijkse behandeling'. De keuze tussen 'zachte' en 'harde' technologie, zo deze al kan worden gemaakt (en er niet eerder een uitweg in de richting van een geleidelijke aanpassing moet worden gezocht) kunnen we niet maken door de methodiek van het wetenschappelijk onderzoek te veranderen. Willen de verzamelde kennis en de ontwikkelde methoden tot kennisvermeerdering ook in de toekomst in dienst kunnen worden gesteld van de samenleving, dan dient dit cultuurbezit niet te worden opgeborgen en ook niet door

enkele cultuurdragers te worden gekoesterd, maar dan moet er mee worden gewerkt. Het bijhouden van de bestaande kennis is één van de functies van het natuurkundig onderzoek.

Ook in het empirisch onderzoek op kleine schaal is theorie en dus beeldvorming noodzakelijk. Daarbij kan het apparaat van theoretische en experimentele technieken niet zomaar worden genegeerd. Juist om te vermijden, dat in een laat stadium blijkt, dat een onvergeeflijke fout is begaan, dient de saai lijkende, maar betrouwbare wetenschappelijke methode te worden gevolgd, niet alleen omdat deze methode de rationele en daarom de enig juiste zou zijn. Een onderzoek dient niet op zichzelf te staan; tenminste dient er de verwachting te zijn dat het een voorspellende waarde zal hebben, ook voor andere meer ingewikkelde situaties. Daarbij kunnen er verschillende benaderingen worden gebruikt. Een strikte opeenvolging (en ik denk hierbij aan de analyse van Duhem²³) van probleemstelling, het genereren van verschillende werk-hypothesen en het bedenken en uitvoeren van experimenten om elke hypothese op haar operationaliteit te testen is niet alleenzaligmakend.

Vaak blijkt onbedoeld het testexperiment, bij voldoende verbeeldingskracht en kennis van de waarnemer, te leiden tot de werk-hypothese en daarna pas tot de probleemstelling. Eén van de duidelijke voorbeelden uit de geschiedenis van de natuurkunde is de ontdekking van de elektromagnetische inductie door Michael Faraday op 29 augustus 1831²⁴). Deze zocht, daartoe gebracht door een intuïtief geloof in het bestaan van symmetrie in de natuur, als tegenhanger van het door een elektrische stroom veroorzaakte magnetische veld, ook een door het magnetische veld teweeggebrachte elektrische stroom. Hij wond daartoe twee van elkaar gescheiden spoelen om een weekijzeren kern; daarna verbond hij één spoel met een galvanisch element en de ander met een galvanometer. Pas toen hij de primaire stroomkring verbrak omdat de uitkomst als mislukt kon worden beschouwd, nam hij een uitslag van de galvanometer en dus een stroomstoot in de secundaire keten waar. Na enige herhaalde proefondernemingen concludeerde hij dat alleen een verandering van het magnetische veld een stroom in de andere spoel teweeg kon brengen. Dat het Faraday ontbrak aan een goede wiskundige scholing heeft niet verhinderd dat hij gedreven door nieuwsgierigheid en dank zij zijn grote intuïtieve begaafdheid, de grondslagen heeft kunnen leggen voor de later door Maxwell²⁵) uitgewerkte elektromagnetische veldtheorie.

De conclusie welke getrokken zou kunnen worden is dat een niet-aflatende bemoeienis van theoretici met experimentele vondsten van grote waarde is voor een snelle theoretische modelstelling van de waargenomen verschijnselen. Daarbij dienen wij ons niet minzaam op

te stellen ten opzichte van empirische resultaten als sommigen van de tijdgenoten van Faraday deden, ten aanzien van zijn uitwerkingen. De enthousiaste, levendige en leerzame lessen welke Faraday ²⁶⁾, wellicht ter compensatie daarvan, gaf aan kinderen over 'the chemical history of a candle', kunnen daarvoor een lichtende aanwijzing zijn.

Dames en Heren,

Naast een strenge scheiding tussen theoretisch en experimenteel onderzoek, zien velen ook een duidelijk onderscheid tussen fundamentele en toegepaste experimentele fysica; in de meer nauwkeurige terminologie van Duhem ²⁵⁾ testexperimenten en op toepassing gerichte experimenten, nog anders geformuleerd theorie- en doelgericht onderzoek. Hoewel het leggen van een zeker accent bij een werkverdeling onontkoombaar is, blijkt dat het onderscheid zelf vaak veel moeilijker is te maken. Het Thermonucleaire fusie-onderzoek is duidelijk doelgericht en men kan het met enige goede wil ook rangschikken onder toegepast onderzoek. Is het daarom niet fundamenteel? Integendeel, in enkele decennia zijn vele 'grenzen verlegd', ook in theoretisch opzicht en ik verwijs U hierbij naar de rede van mijn collega en naamgenoot P.P.J.M. Schram ²⁷⁾, waarin de voortgang in de kinetische theorie aan de orde werd gesteld. Een nieuwe en tot voor kort onbereikbare toestand van de materie is beschikbaar gekomen voor fundamenteel experimenteel onderzoek. Men kan daarbij ook denken aan de minuscule zeer dichte plasma's uit het laser-plasma fusie-onderzoek. De wisselwerkingen tussen de elektromagnetische golven en het plasma zijn nu een, hoewel experimenteel moeilijk, toegankelijk terrein geworden. Dat daarbij de interpretatie de stevige ondergrond eist van een goede theoretische omschrijving spreekt vanzelf.

Dat aan de andere kant fundamenteel onderzoek onverwacht toepasbaar kan zijn, behoeft naar ik aanneem nauwelijks enige adstructie. Toch kan ik het niet nalaten U een, zij het korte, anekdote op het gebied van de elementaire deeltjesfysica te vertellen. Ongetwijfeld zult U weten, dat er behalve neutronen, protonen en elektronen nog andere, meer elementaire, deeltjes zijn. Bij de detectie van een van die deeltjes, kaonen, in een bellenvat gevuld met vloeibare waterstof werden door Alvarez ²⁸⁾ in 1957 ook sporen gevonden die niet verklaarbaar waren. Alleen kon worden vastgesteld dat deze veroorzaakt moesten zijn door negatieve muonen, die als verontreinigingen in de kaonen-bundel aanwezig waren. In een voordracht werd het vreemde verschijnsel aan de staf meegedeeld; daar de achtergrond ervan onbekend was spraken men van anomaal verval. Het begin van een verklaring werd pas gevonden in een gesprek van een van de groepsleden met een bevriend astrofysicus; deze suggereerde de mogelijkheid van een fusiereactie

in een muonisch waterstof-deuterium molecuul, waarin een negatief muon de plaats heeft ingenomen van een elektron. Na een discussie van de gehele groep met een ervaren fysicus werd de oorzaak van het vreemde verval duidelijk: een muonisch waterstof-atoom wisselde de lading met een altijd in waterstof aanwezig deuterium-atoom, waarna het genoemde molecuul kon ontstaan, waarin de kernen zo dicht bij elkaar kunnen komen dat zij een fusiereactie ondergaan. Een kortdurende, maar hevige opwinding maakte zich van de onderzoekers meester, toen de gedachte postvatte, dat dit effect het antwoord was op het energie probleem ²⁹). Een haastige schatting wees namelijk uit, dat één muon in vloeibaar HD voldoende fusiereacties zou katalyseren om de energieverliezen, die gepaard gaan met het fabriceren van deze elementaire deeltjes te compenseren. En de benodigde materialen zijn in overvloed aanwezig. Een nadere berekening liet echter zien, dat de schatting te haastig was geweest. Een vergissing van enkele grootte-orde's had, zoals zo vaak in de fysica gebeurt, tot een te groot optimisme aanleiding gegeven.

Het is mij hier niet te doen om de waarde van de vondst van het voorgestelde proces zelf. Het gaat mij om de ook hier te herkennen elementen van het opmerken van een storend effect, het geboeid worden door het onverklaarbare, een persoonlijk contact met een bevriend fysicus van een andere deeldiscipline en de ervaring van een in het vak vergrijsd natuurkundige, welke alle noodzakelijke voorwaarden waren, voor een snelle interpretatie van een onbegrepen verschijnsel.

Het werk van de fysicus beweegt zich niet uitsluitend op de hoogte van het schijnbaar onbereikbare: het is niet alleen het zoeken naar nieuwe inzichten en naar meer universele beschrijvingen. Dat mag één doel zijn in de traditie van 'natural philosophy', het is niet het enige. Naast het exquisite banket is er het gewone volksbrood, of zo men wil, regeringswit. U moet dit niet als een waarde-oordeel opvatten; integendeel, ook voor de broodnodige verbeteringen van technische middelen zijn inzicht en creativiteit vereist. Bovendien zou het wel onverstandig zijn a priori van onderzoek, dat in de ogen van velen reeds tot de klassieken moet worden gerekend, niets nieuws meer te verwachten. Het is bijvoorbeeld heel goed mogelijk, dat ontwikkelingen op een aanverwant gebied leiden tot een nieuwe kijk op een oud probleem. Een voorbeeld daarvan is het, mede door de opkomst van de thermonucleaire plasmafysica weer gestimuleerde onderzoek van lichtbronnen ²⁹).

Eén van de meest bekende lichtbronnen is de TL-lamp ³⁰); U ziet boven U, dat het probleem van de omzetting van elektrische energie in straling in technische zin is opgelost. De werking is kwalitatief zeer eenvoudig te begrijpen; in de gasontlading, zoals een dergelijk plasma, hier bestaande uit een mengsel van edelgasatomen, kwikionen en

-atomen en elektronen, wordt genoemd, worden de laatste verhit door een stroom door het gedeeltelijk geïoniseerde gas te sturen. Deze elektronen exciteren de kwikátomen, welke spontaan terugvallen onder het uitzenden van straling.

Een klein gedeelte hiervan is in het zichtbare gebied; een groot gedeelte echter in het onzichtbare ultraviolet. Het laatste wordt in een fluorescerende laag, aangebracht aan de binnenzijde van de buis, omgezet in zichtbaar licht. Eenvoudig, maar wat een veelheid aan mechanismen. Wil men verbeteringen aanbrengen of bijvoorbeeld de mogelijkheid bezien van een invloed van elektrostatische turbulentie in gasontladingen dan is een modelstelling noodzakelijk; het gaat er dan om te bepalen welke processen belangrijk zijn. Er dient een zinvolle keuze te worden gemaakt en deze keuze vraagt nu het inzicht hoe alle processen op elkaar inspelen.

Dit kiezen én delen is ook fysica; dat in principe alles kan worden berekend indien alle voorkomende interacties bekend zijn helpt de fysicus niet veel verder.

Velen van U, en U niet alleen, zal dergelijk onderzoek minder opwindend voorkomen dan het eerder vermelde fusie-onderzoek. Overigens zullen velen van U nog wel een totaal andere indruk hebben van extase. Laat ik mij daarom haasten het te situeren in het huis van Salomo ¹⁹⁾: 'We have also perspective houses, where we make demonstrations of all lights, and radiations; and of all colors; and out of things uncolored and transparent, we can represent unto you all several colors; not in rainbows, as it is in gems and prisms, but of themselves single'.

Het lijkt mij niet de eerste taak van het technisch-wetenschappelijk onderzoek zich zonder meer in het modieuze te storten. Evenmin dient het zich te verliezen in talloze incidentele onderzoeken. Naar mijn mening dient het gericht te worden op het opvullen van lacunes in de voor een beschrijving nodige modelstelling. Dit is ook van belang voor de aan het onderzoek deelnemende studenten, die dan tijdens de studie, niet alleen het zekere van de methodiek, het bekende delen, maar ook het onzekere van het kiezen kunnen ervaren. De steeds gemaakte scheiding tussen onderwijs en onderzoek houdt een miskenning in van de waarde van de te verwerven creativiteit. Onderzoek is essentieel zelfs voor het onderwijs ten behoeve van het onderwijs. Dan kan immers ook beter doorklinken, dat de eis van betrouwbaarheid, van objectiviteit, die men moet stellen aan de resultaten van wetenschappelijk onderzoek een emotionele betrokkenheid van de onderzoeker geenszins uitsluit. Subjectieve elementen als zin voor symmetrie, nieuwsgierigheid en vooral ook koppigheid zijn, zoals Faraday ons heeft laten zien, van een bijzonder grote waarde voor het bereiken van objectieve resultaten. Dan kan ook duidelijk worden, dat de

concentratie op één detail, een ontbrekende schakel in een model een noodzakelijke voorwaarde kan zijn voor het begrijpen van het totaal. Als bij het losmaken van een motordeksel van een motorfiets (en ik ontleen dit beeld aan Pfirmig's ³¹) boek 'Zen and the art of motorcycle maintenance') van één van de bouten de kop eraf tordeert, dan is er geen sprake meer van een koele object-subject relatie. U observeert dan niet alleen de bout, zij kan het hele denken zo beheersen, dat U in een opkomende razernij geneigd bent de hele motorfiets van de dichtstbijzijnde brug te gooien. Eén irritante onoplosbare hindernis weerhoudt U ervan het inwendige verder open te leggen. Het is een bekend en gevreesd moment in de fysica. Het kan echter zijn, dat juist de noodzaak om zich te moeten concentreren op één klein onderdeel, nu de mogelijkheid biedt, de situatie te beheersen. Omdat de bout dan niet meer één uit duizenden is, maar de kern van de oorzaak is geworden, zult U een goede kans hebben een oplossing te vinden.

Dames en Heren,

In het voorgaande heb ik getracht U enigszins in onzekerheid te brengen ten aanzien van de doelmatigheid van de allerwegen gebruikte indelingen in theorie en experiment, toegepast en fundamenteel, onderwijsgebonden, maatschappelijk dienstbaar en vrij onderzoek. Ik ontken niet geselecteerd instructiemateriaal te hebben gebruikt, er zijn takken in de fysica, welke duidelijker kunnen worden geïnclassificeerd. Het is mij er echter om te doen geweest U duidelijk te maken, dat de noodzaak om elk jaar opnieuw een etiket los te moeten weken en te vervangen, de mogelijkheid om het onderzoek te richten op het verkrijgen van kennis van algemenere aard, met een voorspellende waarde, kan beperken. Het lijkt mij, dat voor de opleiding van fysici en voor de bruikbaarheid van de verworven kennis voor het oplossen van praktische problemen enige rust en concentratie in het onderzoek van niet al te specifieke aard van grote betekenis is. Daarbij zijn ook zoals uit de illustraties bleek interdisciplinaire contacten op persoonlijke basis van groot belang.

Ik geloof niet, dat het wetenschappelijk onderzoek, noch de daarbij nodige rationele methodiek veel toe of af zullen doen aan de bestaande machtsverhoudingen. Maar tenminste kunnen wij trachten het onderzoek, door het te vrijwaren van een te grote beïnvloeding, blijvend in dienst te stellen van de samenleving. Daarbij is een kennisoverdracht alleen, nog te veel gezien als een éénrichtingsverkeer vanuit het huis van Salomo naar de laagvlakten van de cultuur, niet voldoende. Behalve het toedienen van klare, reeds toebereide pap is een steeds weer kenbaar maken van de gebruikte ingrediënten en de manier van koken een nodige voorwaarde voor een appreciatie van de techniek van de zijde van de niet-natuurkundige. Daar vooral door de technologie de

ontwikkelingen van de wetenschap doordringen in de algemene cultuur is dit naast het verwerven van nieuwe inzichten en het verbeteren van bestaande technieken, een belangrijke functie van het technisch natuurwetenschappelijk onderzoek.

Tot slot past mij een woord van dank, allereerst aan diegenen die hebben bijgedragen tot mijn benoeming. Van mijn kant zal ik al het mogelijke doen mijn taken nauwgezet te vervullen.

Mevrouw, Mijne Heren, Leden van de groep Atoom- en Molecuulfysica,

Reeds voel ik mij geheel thuis in Uw midden; de ondervonden vriendschap en medewerking doen mij veel verwachten voor de toekomst. Daarbij wijst alles erop dat er interessante mogelijkheden zullen blijken te bestaan in een combineren van verschillende specialismen.

Hooggeleerde Kruithof, beste Arie,

Voor de kennismaking met de lichtgevende aspecten van de fysica ben ik je zeer dankbaar.

Hooggeleerde Verster, beste Jaap,

Je gave om intuïtief, maar met kennis van zaken, op vrijwel alle vragen een antwoord te kunnen vinden heeft mij grote bewondering gewekt; ik hoop daarvan steeds in gepaste mate te kunnen blijven profiteren.

Zeergeleerde Sluyter, beste Frans,

Ik stel mij veel voor van de reeds vroeg, in hechte vriendschap, ontstane samenwerking. Ik hoop vurig dat empirie en theorie elkaar daarbij telkens zullen blijven vinden.

Dames en Heren, leden van de vakgroep Deeltjesfysica,

De persoonlijke contacten, die ik reeds met velen van U mocht opbouwen, zullen het mij eenvoudig maken verder mijn weg te vinden in de vakgroep.

Dames en Heren, leden van de afdeling der technische natuurkunde,

Voor de wijze waarop ik in Uw midden ben opgenomen, ben ik U veel dank verschuldigd.

Mijne Heren, leden van de Werkgroep Plasmaturbulentie,

Een begin is reeds gemaakt met een onderzoek, dat zich uitstrekt over de afdelingsgrenzen heen; ik geloof, dat voor het onderwijs in deze vorm van samenwerking mogelijkheden liggen, die nog meer uitgebuit moeten worden.

Dames en Heren, medewerkers en oud-medewerkers van het FOM-
Instituut voor Plasmafysica en de werkgroep Theorie,

Ik heb in Uw midden veel vriendschap en een grote mate van vrijheid in
werken ervaren. Gedurende de jaren die ik in Rijnhuizen heb doorge-
bracht, heb ik geleerd hoeveel meer mogelijkheden er zijn in een in-
tensieve samenwerking, dan in solistisch optreden. Ik neem mij voor
de vele vriendschappelijke relaties met U, hoewel noodzakelijkerwijs
in beperkte mate, te blijven onderhouden.

Hooggeleerde Braams, beste Kees,

Vele jaren heb ik kunnen doorbrengen met een leerzame studie van een
detailprobleem; voor je interesse daarbij, en je aandrang om na mijn
promotie de echte fysica te gaan beoefenen, ben ik je zeer erkentelijk.

Zeergeleerde Ornstein, beste Luuk,

Vooraf ook door jouw toedoen heb ik kunnen kennismaken met een
stuk toegepast wetenschappelijk onderzoek, dat mij nog steeds boeit.
Daarvoor, en voor de daarbij ondervonden vriendschap kan ik je niet
dankbaar genoeg zijn.

Dames en Heren studenten,

Nadrukkelijk heb ik in het afgelopen uur het onderzoek, dat ik zie als
een zinvol en noodzakelijk onderdeel van het onderwijs, aan de orde
gesteld; ik verwacht met velen van U menig genoeglijk jaar ook in dit
aspect van de studie mee te maken.

Waarde toehoorders,

Ik dank U voor Uw aandacht.

1. Nota Wetenschapsbeleid, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1975.
2. Irving Langmuir, The man and the scientist, A. Rosenfeld (ed.), Pergamon Press, Oxford, 1962, pp. 315-316.
3. B.C. van Houten, Tussen aanpassing en kritiek, van Loghum Slaterus, Deventer 1970, pp. 265-284.
4. H. Schellsky, Auf der Suche nach Wirklichkeit, Düsseldorf, Köln, 1965, pp. 439-480; zie ook (3).
5. Th. Roszak, Het einde van niemandsland, (Ned. vert.), Meulenhoff, 1974, pp. 254-262.
6. D. Dickson, Alternative Technology, Fontana, 1974.
7. M. Shott, Physics in the open university, Contemp. Phys. 15 (1974) 69.
8. J.S.R. Goodlad, Science for non-Scientists, Oxford Un. Press, London, 1973.
9. F.W. Sluyter, Intreerede Technische Hogeschool, Eindhoven, 1973.
10. D.J. Rose, 'Nuclear Electric Power' in 'Energy: Use, Conservation and Supply', 95, Washington, 1974.
11. J.D. Lawson, Proc.Phys.Soc. (London) 70B (1957) 6.
12. L.A. Artsimovich, Nucl. Fusion 12 (1972) 215.
13. B. Coppl, J. Rem., Sci. Am. 227 (1972) 65.
14. V.S. Mukhovatov, V.D. Shafranov, Nucl. Fusion 11 (1971) 605.
15. B.B. Kadomtsev, Invited lecture 6^e Eur.Conf. on Contr. Fusion and Plasma Physics, Moscow, aug. 1973.
16. J. Nuckells, L. Wood, Ann. meeting of the A.A.A.S., Philadelphia, 1971.
17. R.E. Kidder, Nucl. Fusion 14 (1974) 53, 797.
18. M. Rosenbluth, Invited lecture 5^e Eur. Conf. on Fusion and Plasma Physics, Grenoble, aug. 1972.
19. B. Farrington, Francis Bacon, Henry Schumann, New York, 1949.
20. Lynn Thorndike, History of magic and experimental science, vol. VII, Columbia Un. Press, New York, 1958, p. 88.
21. J. Katzenstein, R.H. Lovberg, Applied Physics Lett. 26 (1975) 113.
22. A.F. Aleksandrova, A.A. Rukhadze, Sov. Phys. Uspekhi 17 (1974) 44.
23. P. Duhem, The aim and structure of physical theory (Eng. vert.), Princeton Un. Press, Princeton, 1954, p. 180.
24. M. Faraday, Experimental researches in electricity, London, 1845; zie ook R.A.R. Tricker, The contributions of Faraday and Maxwell to electrical science, Pergamon Press, Oxford, 1966, p. 135.
25. J.C. Maxwell, A treatise on electricity and magnetism, Clarendon Press, Oxford, 1873.
26. M. Faraday, The chemical history of a candle, Collier Books, New York, 1962.
27. P.P.J.M. Schram, Intreerede Technische Hogeschool, Eindhoven, 1975.
28. L.W. Alvarez, Phys. Rev. 105 (1957) 1127.
29. Adventures in experimental physics, α 1972, ed. B. Maglich, p. 73.
30. W. Elenbaas (ed.), Fluorescent Lamps, 2^e ed., Philips Technical Library, 1971.
31. R.M. Pfirsig, Zen and the art of motorcycle maintenance, The Bodley Head, London, 1974, pp. 279-289.