

# BLOED IN JE SPITZEN

VINCENT ICKE

2009

# Mooi, mooier, mooist

Eigenlijk kwam ik om een zonsverduistering te laten zien, maar de mensen op de brug over de Oude Rijn wilden meer, die wolkige zaterdag in augustus. “Is er leven buiten de Aarde?” Op de voet gevolgd door: “Wat was er nou vóór de Oerknal?” Tenslotte de favoriet: “Wat zijn zwarte gaten?”

Dat zijn de Grote Drie, waarop iedere astrofysicus antwoorden klaar moet hebben. Maar daarnaast is er nog een vierde, waar ik niet altijd even goed raad mee weet. Die eerste drie vertonen nieuwsgierigheid en respect voor het feit dat onze diersoort, die omhooggevallen baviaan, zulke vragen kan stellen en zelfs min of meer kan beantwoorden. Maar in de vierde vraag proef ik minachting, een poging om je je plaats te wijzen. Die vraag is: “Is het Heelal nou nog wel mooi als je er zoveel van af weet?” Het is eigenlijk geen vraag, meer een aantijging. Je zou het schampere lachje op het gezicht van zo’n vraagsteller moeten zien.

Hij weet zich in het geruststellende gezelschap van talloos veel miljoenen die denken dat de astrofysicus de nachthemel alleen maar waarneemt door tussenkomst van het glas van een telescoop, evenals de bioloog geacht wordt muizen uitsluitend op de snijtafel te zien (zonder verdoving, dat spreekt). In het gevoelige gezelschap van dichters, zoals Walt Whitman met zijn poëem *I saw the learned astronomer. . .* In het gladde gezelschap van de Blavatsky’s-uit-de-polder die beweren uitsluitend op hun gevoel af te gaan (maar om de buit te tellen pakken ze hun schootcomputer).

Vergeef hen, want zij weten niet waarover zij praten. Schoonheid is het alfa en het omega van de wetenschap. Daartussen liggen heel wat letters, en bij het passeren daarvan moeten we wat rekenwerk verrichten. Maar ooit komt omega, en op weg daarheen beklim ik de stellende, de vergrotende en de overtreffende trap van schoonheid.

Dat begint door een kraakheldere nacht af te wachten, een plek te zoeken ver van de verpestende lichten van steden en glastuinbouw, plat op je rug te gaan liggen en naar boven te kijken. Niet even, maar uren. Net zolang totdat het donker je heeft opgenomen, totdat je de tel van sterren en meteoren bent kwijtgeraakt, totdat je de Aarde kunt voelen draaien door de wenteling van de hemelbol.

Op mijn huis in Leiden staat een gecalligrafeerde Japanse haiku van tien meter hoog. In vertaling,

*Een woedende zee!*  
*Tot aan het eiland Sado*  
*strekt zich de Melkweg.*

Zo sprak Basho, de pracht van de nachthemel oproepend, waarin die lichtende brug staat tussen hemzelf en de verschoppelingen op het gevangenseiland. En of je nu op een groot of een klein eiland staat, gevangene bent of niet: daar wijst dat brede gloeiende spoor omhoog.

Maar mooier nog is het begrijpen van wat zich daar afspeelt. Als je weet wat een ster is kun je daar in je geest naartoe reizen, je kunt er omheen en erin. Tot in het centrum van de Zon, 14 miljoen graden boven het absolute nulpunt, omdat je begrijpt hoe het werkt. Het is niet alleen een lust voor het oog. Stel dat je oren hebt zo groot als ons zonnestelsel. Dan kun je het waaien van de wind in onze Melkweg horen, het knisteren van het ijsskoude winterweer van de interstellaire gasniveaus, het sissende geboortegeluid waarmee jonge sterren hun gasvormige navelstreng uitstoten, het donderende knallen van ontploffende supernova's.

Zelfs niet-bestaande zintuigen spelen mee: als je ogen had die gevoelig waren voor radiostraling zou je de pulsars kunnen horen. Sommige van deze relativistische sterren maken duizend maal per seconde een klikgeluid. Dat geeft een toon die driemaal zo hoog is als het zoemen van een bij. Een bij is een centimeter groot en weegt nog geen gram. Zo'n ster heeft een doorsnee van 20 kilometer en weegt bijna anderhalf maal zo veel als de Zon. Zo mooi zouden we het zelf niet hebben kunnen verzinnen.

Na mooi en mooier komt het mooiste. Dat is niet het serene schitteren van de nachthemel, zelfs niet de pracht en kracht van een verworven inzicht, maar de opwindende schoonheid van het onderzoeken. Het stellen van de juiste vraag, en liefst ook het geven van het juiste antwoord. Want als je zo door de ruimte suist tussen de sterrenstelsels, bijna dronken van het destillaat van honderd eeuwen wetenschap, komt het voor dat je plotseling een verblindende mist binnenvliegt. Dat is dan precies een gebied dat je moet gaan onderzoeken: het ligt niet op je kaart.

Wie bang is, haakt hier af. Want in tegenstelling tot andere bezigheden is in het onderzoek niet slagen de norm, maar falen. Aan de goed gevulde prullenbak herkent men de wetenschapper. Vooruitgang in de wetenschap komt door dingen die er nog niet zijn: buitenissige proefnemingen, vage

gedachten, krankzinnige invallen, toevalstreffers. Maar bij dat stuntelen in de wolk van onbekendheid is er een leidraad: je gevoel voor schoonheid.

Hoe dat werkt weet ik ook niet, maar in mijn tegenwoordige onderzoek gaat het ongeveer zo.

Mijn wolk is een inktzwarte mistbank op de grens tussen twee prachtige werelden. Die worden bepaald door het inzicht dat het Heelal bestaat uit deeltjes, ruimte en tijd.

De wereld van de elementaire deeltjes is tien miljard maal kleiner dan een mens. In die kleine wereld weet je nooit zeker hoeveel deeltjes een kuub ruimte bevat, dankzij de onzekerheidsrelatie. Dat betekent dat de schijnbaar lege ruimte een actieve rol speelt door het spontaan ontstaan en vergaan van 'virtuele' deeltjes. De theorie is buitengewoon mooi; zelfs de naam, quantumveldentheorie, heeft iets betoverends.

De wereld van ruimte en tijd is tien miljard maal groter dan de mens. De lege ruimte is niet 'niets', is geen onzichtbaar grafiekenpapier waarop het Heelal is getekend. Ruimte is bouwstof, net zo echt als deeltjes. Wat is de structuur van de ruimte? Hoe nemen wij de ruimte waar? Hoeveel ruimte is er? De antwoorden zijn gegeven in een wonderschone vorm, de algemene relativiteitstheorie.

Die twee theorieën zijn prachtig op hun eigen terrein. Maar als je hun werelden samenbrengt klopt er niets meer van. Die virtuele deeltjes in het vacuüm tellen op tot een gigantische massa, zodat de ruimte buitensporig zwaar moet zijn. Dus vraag ik: wat weegt de ruimte? Uit de sterrenkunde blijkt: de ruimte weegt niets. Niemand weet waarom.

Wat doe je daar mee? Blijven zoeken op bekende wegen levert werk dat vaak bar lelijk is, gedochten in een korst van aangekoekt wiskundig formalisme, vol met *sound and fury, signifying nothing*.

Mijn gevoel zegt dat het Heelal ons een vingerwijzing geeft, dat de virtuele deeltjes niets bijdragen aan de structuur van de ruimte. Dat is absoluut onbegrijpelijk, maar het lijkt mij een prachtig uitgangspunt. Zoals de aanpak van Niels Bohr toen hij worstelde met het probleem waarom een atoom in rust geen straling uitzendt. Bohr wist heel goed dat een electron moet stralen als het in een atoom beweegt. Maar toch deed hij alsof dat niet zo is. Die wonderlijke aanpak leidde uiteindelijk tot de quantumveldentheorie. Nu de 'quantumruimtetheorie' nog.

De drie trappen van schoonheid geven een wetenschapper zoveel meer

zicht op de wereld dat een toevallige voorbijganger het niet zonder meer kan volgen. Misschien komt daar die schamperheid wel vandaan, uit onvrede met het besef dat je zoveel prachtigs alleen kan zien door je leven eraan te wijden. En dat, marktwerkers, is iets anders dan er een carrière van maken.

“Is het Heelal nou nog wel mooi als je er zoveel van af weet?” Of ik er echt veel vanaf weet: dat gaat nogal. Maar dat ik het Heelal buitengewoon mooi vind, dat staat vast.

# Kennis en Kilimanjaro

Aanspoelen op een onbewoond eiland is, zoals de ervaren reiziger weet, meestal een onthutsende ervaring. Elke keer als het me weer overkomt denk ik: wat weet ik toch weinig! Wat een futiliteit, al dat onderwijs, die opeenstapeling van feitjes en weetjes, begeleid door zoveel kennisgekwak. Mijn kennis van kokos, bijvoorbeeld, beperkt zich tot wat de toko voorgeraspt in plastic biedt. En nu sta ik, *ajoen ajoen*, aan de voet van die hoge klapperboom, en weet niet waar te beginnen. Mijn ervaring op de ijsberg waar ik de vorige keer belandde helpt me nu helemaal niets.

Maar door een lange reeks van schipbreuken op meer of minder afgelegen stranden heb ik tenminste dit geleerd: kennis legt het altijd af tegen kunde. Kennis is beperkt, veroudert snel, en is vaak gewoon fout. Heb ik me toch weer laten koeioneren door al dat geneuzel rondom het kennisdebat! Had ik maar beter naar Descartes geluisterd. *Discours de la méthode* is een bekende titel. Maar die vier woorden zijn slechts het topje van de ijsberg, een beginnetje van de eigenlijke titel van een van de belangrijkste boeken aller tijden: *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences* is het voluit, ofwel *Over het verstandig gebruik van je hersens bij het zoeken naar waarheid in de wetenschappen*.

Daar staat dus niet: over het gebruik van je geheugen. Dat is voor ministers, staatssecretarissen en wetenschapsquizzers. 't Is niet voor niets dat de wetenschapper het imago heeft van een *nerd*, een allesweter, een betweter. 't Is geen toeval dat het Internet en het World Wide Web zo populair zijn: je kunt er niks beter mee begrijpen, maar je kunt er wel van alles opzoeken.

Hier sta ik dan op mijn eiland, geen droge draad meer aan m'n lijf en geen computer in zicht. Ik vraag me af: zou ik de top van gindse berg kunnen bereiken, om vandaar uit te kijken over zee? Hoe hoog is die berg wel niet? Eén kilometer? Tien? Of misschien wel honderd? Een kennisklungel weet dat de hoogste berg op Aarde zowat negen kilometer hoog is. Maar er zou er best eentje van honderd kunnen zijn die nog niet is ontdekt. Net toevallig op mijn eiland.

De weter moet nu toegeven dat hij daar nog niet aan had gedacht omdat het niet voorkomt in zijn *database*. Maar de zoeker, de mens van de methode, kan zó zien dat dat op Aarde niet gaat.

Dat kunt u dus ook, op voorwaarde dat u even nadenkt. Denk nu aan een klosje naaigaren. Pak er desnoods een uit de naaimand. Daarmee gaat u de hoogte bepalen van de hoogste berg op onze planeet. Natuurlijk niet door het klosje af te rollen; er zit hoogstens vijfhonderd meter draad op, en dat is onvoldoende. Bovendien is het niet nodig om een tastbaar klosje bij de hand te hebben. Een denkbeeldig exemplaar is genoeg, plus natuurlijk vertrouwen in *la méthode*. Als de landelijke obsessie met weten en kerndoelen u reeds heeft verlamd, lees toch verder: er is redding.

Wat drukt de berg omlaag? De zwaartekracht. Die is sterker naarmate de berg hoger, en dus zwaarder, is. Wat houdt de berg omhoog? De sterkte van het materiaal waar de berg van gemaakt is. Wanneer die twee aan elkaar gelijk zijn, maakt de verpulverende kracht van de zwaarte juist evenwicht met de samenbindende krachten tussen de atomen. We willen dus twee dingen weten: hoe zwaar is een berg? En: hoe sterk is het materiaal van een berg?

*Dat zoeken we op.* Denkt althans de kennisfanaat, die meteen de bibliotheek in snelt (ook wegbezuinigd? Jammer, misschien staat het op de CD-ROM met spelletjes die u gratis bij uw computer kreeg). De massa van de berg! Een derde maal pi-erkwadraat maal haa, maal de soortelijke massa van olivijn en orthopyroxeen. De kracht tussen atomen! De tweede en de derde viriaalcoëfficiënt, maal een gedeeld door de tiende macht van er, minus. . . bent u daar nog?

Inderdaad, je kunt al dat soort dingen moeizaam opzoeken en uitrekenen, maar hersens gaan sneller dan handen. Dit zoeken we dus niet op, dit denken we even door. Vraag: *hoe hoog is een berg die nog net niet als een pudding in elkaar zakt onder zijn eigen gewicht?*

Daar komt dat garenklosje van pas. Stel dat ik op een zeer hoge klip sta en het garen afrol. Dan komt er een steeds langere draad omlaag te hangen. En daarmee gebeurt hetzelfde als met de berg: hoe langer de draad, hoe zwaarder het gewicht dat aan het bovenste stukje van het garen trekt. We kunnen dus vragen: *hoe lang is een draad die nog juist niet knapt onder zijn eigen gewicht?*

Hoe zwaar is een meter draad? Met andere woorden: hoeveel weegt een garenklosje waarop een gegeven lengte garen is gewikkeld? Nadenken. Op een gewoon klosje zwart garen zit 500 meter. Gewicht? Vijf gram? Nee, te weinig. Vijf ons? Teveel. Vijftig gram? Dat kan wel zowat.

Dat is een van de belangrijkste geheimen van de smid: als je een schat-

ting maakt moet je niet tellen van 1-2-3 (lineair) maar 10-100-1000 (logaritmisch). Je moet denken in "ordes van grootte".

Dus vijfhonderd meter weegt vijftig gram, ofwel een tiende gram per meter. Vervolgens: hoeveel gewicht kan een garendraad dragen? Orde van grootte! Eén ons: vast wel. Tien kilo: zeker niet. Eén kilo: moet kunnen.

Dat is alles. Een draad die een kilo zwaar is breekt nog net niet. Een meter draad weegt een tiende gram. Dus een draad van tienduizend meter is juist nog sterk genoeg om zijn eigen gewicht te kunnen dragen.

En daarom denk ik, zittend aan het strand van mijn eiland: *die berg daar kan nooit hoger zijn dan tien kilometer*. Of het nou Kilimanjaro is of Kilauea, hoger gaat niet. De zwaartekracht, die de tegenstander van de bergbeklimmer lijkt, komt in zoverre te hulp dat het na tienduizend meter klauteren wel afgelopen is met het getob.

De jonge onderzoeker kan thuis verder experimenteren met allerlei details. Een pak melk van een liter weegt een kilo, dus je kunt die breeksterkte meteen scherper stellen door te meten hoeveel pakken melk je aan de draad kunt hangen. Is garen niet veel minder sterk dan rots? Dat valt wel mee: je kunt een kras in een steen maken door er een draad langs heen en weer te schuren. Is materie onder uitrekking wel even sterk als onder druk? En zo zijn er nog wel wat bezwaren. Het kan allemaal beter, maar die tien kilometer blijft een uitstekende schatting. Het is in elk geval veel meer dan één kilometer, en veel minder dan honderd.

Op een onbewoond eiland op Aarde ben ik nog nooit aangespoeld. Maar in de loop van mijn omzwervingen door de ruimte ben ik dikwijls komen aanwaaien in de een of andere verlaten uithoek van het Heelal. Daar staat je verstand bij stil, zegt de kennisdebatter. Gezever! Daar houdt je kennis op, dat wel, maar je verstand gaat daar nu juist op volle toeren draaien. En zo bedenk je dan dat een planeet als de Aarde een bol moet zijn, op een enkele uitstulping van tien kilometer na. Zo snap je ook dat kleinere dingen schonkiger kunnen zijn: de kern van komeet Hale-Bopp is knolliger dan een eigenheimer, en een baksteen kan zelfs echte hoeken hebben. Columbus had het kunnen bedenken: mijn ei moet kleiner zijn dan honderd kilometer, anders zou het de bol van Columbus zijn. Dus kan ik westwaarts naar Indië varen.

Intussen ben ik alweer vertrokken naar het volgende kosmische eiland, waar weer meer te denken valt juist omdat we er bijna niets weten. En

vanaf dat schitterende oord sein ik een kaartje terug naar de Aarde, zonder klapperbomen erop maar met een nieuwe peinsproef.

Neem een verse rol wc-papier. Wikkel die geheel af. Prop het papier in de brievenbus van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen. U hebt nu een kartonnen kokertje over. Daarmee kunt u de vraag beantwoorden: hoeveel sterren kan ik 's nachts zien?

## Gegroet, aardling!

Alles wist hij van me, of zo leek het tenminste door de grijze gordijnen van mijn verdriet. Ik wist niets meer, niet eens of ik hem binnengelaten had. Het enige wat zeker was is dat hij daar zat, recht tegenover me. Langs zijn zwarte sik keek hij, zijn hoofd achterover, wat verstrooid naar de spitse nagels van zijn gestrekte hand. *Sie ist die erste nicht*, zei hij zacht, en keek me aan over zijn vingertoppen. Je hebt me goed in de gaten gehouden, ouwe, dacht ik grimmig. Ik keek naar de letters op het papier voor me. “Het is best,” zei ik, “maar ik wil er wat voor terug.” “Een andere vriendin,” sprak hij haastig. Ik zweeg. Hij keek me schattend aan. “Of... twee misschien? Drie?” Hij viel stil.

Ik ging achterover zitten. “Ik wil zekerheid over het vermoeden van Goldbach.” “Ah,” antwoordde hij. En na een nauwelijks merkbare aarzeling: “Muziek. Prachtig, werkelijk prachtig. Ja?” “Nou, nee. Het vermoeden van Goldbach. Elk even getal is de som van twee ondeelbare getallen.” Terwijl ik sprak, was hij rechtop gaan zitten en keek me nu strak aan. “Bèta! Geen wonder dat ze genoeg van je kreeg. Willie Wortel!” “Zes is een plus vijf. Dertig is dertien plus zeventien.” Tussen mijn tanden siste ik de cijfers, strak naar het ongetekende papier voor mij starend. Toen ik opkeek was hij verdwenen; toen ik weer op tafel keek was het papier leeg.

Die avond voelde ik me al een stuk beter, zo goed zelfs dat ik maar eens begon in Carl Sagan’s zwanezang, *The demon-haunted world*, waarin hij van leer trekt tegen alle obscurantisten die onze planeet al talloos veel millennia onveilig maken. Zijn boek is lang van stof en hij hanteert de natte dweil waar ik zelf liever het samoerai-zwaard gebruik. Toch werkt die dweil wel; er zijn genoeg sekten op te soppen, van Rome via San Francisco tot Mekka, en af en toe deelt hij een aardige klets uit. Tegen de echte boeven is hij me te zoetsappig: in al die 436 bladzijden durft hij niet echt te zeggen dat ruwweg de helft van alle gruweldaden wordt begaan in naam van het geloof, en de meeste andere in naam van de eer.

Sagan is pas echt in vorm als hij optrekt tegen de vliegende-schotel fanaten, speciaal als hij laat zien hoe de zogenaamd superieure technologie van buitenaardse wezens nou net toevallig overeenkomt met onze eigen staat van dienst. “Het is een verfrissende oefening om vragen te bedenken waarop vandaag de dag geen mens de antwoorden weet, maar waarvan

een juist antwoord onmiddellijk als zodanig herkend zou worden.”

*Bedenk tien vragen om te stellen aan een buitenaards wezen.* Daar heb ik nou drie weken over zitten peinzen, en waarachtig, Sagan heeft gelijk: er is nauwelijks een betere manier denkbaar om de beperkingen van je fantasie aan het daglicht te brengen. Mijn toch al grote respect voor de genieën van kunst en wetenschap, voor de echte vernieuwers, wordt weer wat groter. Inderdaad, zó moet Einstein's theorie op Lorentz overgekomen zijn: je had het zelf niet kunnen bedenken, maar het treft je onmiddellijk als juist. Dit in krasse tegenstelling tot het gemodder met quantumgravitatie, waarvan de hogepriesters eens per jaar in een rituele conferentie aankondigen dat alles nu echt opgelost is, of althans zeer binnenkort opgelost zal worden, of althans... wacht, niet weglopen!

Het is ontstellend moeilijk iets nieuws te bedenken. De UFO-fantasten brengen het dus niet verder dan meer-van-hetzelfde: wezens zoals wij, maar dan met grijze huid, of met bollere koppen, of met grotere ogen. Spinnen en kakkerlakken, maar dan honderd maal groter. Een soort aardappelpuree van alle meligheid die ze in hun leven voor zoete koek hebben geslikt. Het meeste wat mensen over UFO-piloten hebben gezegd is dan ook op z'n best Jules Verne-achtige extrapolatie, tamelijk gemakkelijk te doen voor de modale lezer van *Natuur & Techniek* (over de slechte gevallen kun je maar beter zwijgen). Zelfs op Aarde bakken de wichelaars er niks van, want elke keer als er weer een onbekende diepzeervis wordt opgehangeld staan zelfs biologen met de mond vol tanden.

De fantasie van de modale mens is beneden alle peil; alleen kunstenaars en wetenschappers leggen zich erop toe daar iets aan te doen. En ook zij falen meestal. Het gros van de wetenschappelijke publicaties en de meeste kunstprodukten kun je zó bij het chemisch afval donderen. Maar een enkele keer komt er een tovenaars langs als Feynman of Picasso, bij wiens werk je meteen iets hebt van: Ja! Dát is het! Of iemand als Van Maerlant: die zou wel raad geweten hebben op een gebied waar Wells niets beters wist te verzinnen dan die spinnepoten en die bolle koppetjes.

Wat zou ik aan een buitenaards wezen vragen? Niets over Goldbach, want er is alle kans dat de hersens van een UFO-naut volstrekt anders werken dan die van ons, en dat dus hun wiskunde in niets op de onze lijkt. Nee, het is beter om aan de kleine groene mannetjes details over henzelf te vragen, zoals: “Wat is je moleculaire basis?” We weten dat het spul waar wij uit gemaakt zijn letterlijk door het hele heelal voor het

opscheppen ligt. Onze waterstof komt uit de oerknal, alle andere prettige stofjes zoals koolstof, stikstof, zuurstof en de rest, zijn door kernfusie ontstaan in sterren. Dus we weten alvast waar die anderen van gemaakt zijn, alleen niet hoe. Maar we zouden het direct kunnen verifiëren.

Nog een goede lijkt me: “Hoe werkt je genetische code?” We weten namelijk zeker dat zij zo’n code moeten hebben. Dat komt doordat er in onze natuur een strikt onderscheid is tussen klein en groot. Op kleine schaal bestaat het heelal uit een aantal families van deeltjes, die binnen een familie identiek zijn. Heb je één waterstofatoom gezien, dan heb je ze allemaal gezien. Daaruit volgt dat het absoluut onmogelijk is dat wij als een soort schaalmodel in het lichaam van onze moeder opgesloten hebben gezeten, en die weer in onze voorouders, zoals een oneindige reeks Russische poppetjes. Als wij dan niet letterlijk in onze ouders aanwezig zijn, dan moet het *symbolisch*, in de vorm van een genetische code.

We kunnen zelfs meer aan onze UFO-buren vragen, want we weten ook dat die code in een lang dun molecuul moet zitten. Immers, het bericht moet op basis van deeltjes gecodeerd zijn, en dus niet veel groter zijn dan een atoom of een klein molecuul. Maar het bericht moet geweldig veel informatie bevatten. Het enige compromis is een molecuul dat smalletjes is in twee dimensies, en buitengewoon lang in de derde dimensie: zoiets als DNA dus, hoewel het ongetwijfeld gebaseerd zal zijn op andere atomen en andere molecuulbindingen. De details kennen we niet, zouden we misschien niet eens direct begrijpen. Maar de *vorm*, het soort antwoord van zo’n UFO-naut zouden we terstond als plausibel herkennen.

Helaas, de *UFO-watcher* weet niets van genetica, omdat ons onderwijs de fantasie van de modale mens zorgvuldig beneden alle peil houdt. Jazeker, er is een genetische code, maar dat is een goed bewaard geheim: in onze *demon-haunted world* behoort de basis van alle biologie, de evolutie en de genetica die daarvan de grondslag is, niet tot de eindexamenstof. Oevewenietekenne, ebbewenooitgehad.

Niet alleen is het moeilijk iets nieuws te bedenken, maar nieuwe vondsten worden ook onnodig en bedreigend gevonden. Dus worden onderwijs, kunst en wetenschap in rap tempo gesloopt. Niet – zoals ik vroeger wel eens dacht – door de knechten van het grootkapitaal, maar door je eigen parlement, de knechten van de aardappelpuree.

## Scherven schudden

“Pas op! Slingerende schooltassen!” staat in september op borden die de lezer vermanen op te letten. Rest nog de vraag wie er moet opletten, want waarschijnlijk ontstaan 10% van de ongelukken door automobilisten en 90% door het kamikaze-gedrag van de (brom)fietsertjes. Maar probeer eens met voorzichtige woorden zo’n tiener op andere gedachten te brengen: de stortvloed van obsceniteiten die een twaalfjarige kan voortbrengen is een lust voor alle zintuigen.

Deze waarschuwborden zijn een echo van de aanpak op school, die nu ook al op de universiteit doordringt. Hoewel de jeugd steeds volwassener wordt, behandelt men jongeren meer en meer als kleuters, ingebed in de watten van een uitgehold leerplan. Omzwachteld met inhoudsloze luiers, waar ze zelf het drukje van hun maatschappelijk relevante kletspraat in mogen doen. Met rampzalig gevolg, want er is niets waar de adolescent zo gloeiend de pest aan heeft als niet voor vol te worden aangezien.

Geen sprake van verantwoordelijkheid geven en nemen, hard concentreren, hard werken, hard rekenen, hard afrekenen. Ze krijgen nauwelijks iets te dragen, terwijl we toch uit de ruimtevaart de vreselijke gevolgen van gewichtloosheid kennen. Zo ontstaat een soort sociale botontkalking, en als ze uiteindelijk bij mij op college komen zit ik met de zacht gekookte peren.

Langzamerhand ben ik me daar druk over gaan maken. Eerst als iemand die de producten van het middelbaar onderwijs in hun hogere sferen moet lanceren, en sinds kort omdat ik betrokken ben geraakt bij ‘het ANW’. Dat staat voor ‘algemene natuurwetenschappen’, en het is de opdruk op een van de vier pakjes poedersoep waaruit ons kroost tegenwoordig geestkracht moet putten.

Waarom moet dat? Gewoon zomaar, zoals de ene staatssecretaris de Nederlandse taal verwoest door ons een spelling op te solferen die in debiliteit alle voorgaande overtreft. Zomaar, terwijl de andere de klus afmaakt door het voorschrijven van een *checklist* van dingen die een scholier moet weten, uitgesplitst tot in de kleinste en krankzinnigste onderdelen. Onderwijs in poedervorm dat, aangelengd met lauwe ideologie, de basispap is voor een jeugd die allang aan vast voedsel toe behoort te zijn.

Het voorgestelde ANW is daar een deel van. Het is een zak confetti. Op

elk snippertje staat een eis of een wens, maar tussen al die stukjes bestaat nauwelijks samenhang. De Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica leert ons dat het geen zin heeft een zak confetti net zolang te schudden totdat er weer een paar hele, enkelvoudig gekleurde A4-tjes ontstaan.

Ook op lezers van onder de 30 is al uitgebreid geëxperimenteerd door de Frankensteins van het onderwijs. Dus geef ik een voorbeeld van de Tweede Hoofdwet, die iedereen (volgens de schrijver C.P. Snow) even goed zou moeten kennen als de sonnetten van Shakespeare. Neem zo'n kubuspuzzel van blokjes met op elke zijkant een stukje van een voorstelling. Om het kort te houden stellen we dat het een puzzel is met vier kubussen die in een  $2 \times 2$  vierkant gelegd moeten worden. Elk blokje heeft zes kanten, dus er zijn  $6 \times 6 \times 6 \times 6$  mogelijkheden waarvan er maar één behoort tot een gegeven plaatje. De bovenliggende kant van een blokje kan in vier richtingen gelegd worden. Drie blokjes moeten zich aansluiten bij de eerste, dus  $4 \times 4 \times 4$  mogelijkheden. En tenslotte moeten de blokjes ook nog op de goede plek in het vierkant komen. Blokje nummer één is een willekeurig beginpunt; blokje twee heeft drie keuzes, blokje drie twee, en het vierde blokje komt vanzelf op de enig overgebleven plek te liggen, dus  $3 \times 2 \times 1$  mogelijkheden. Een kubuspuzzel van twee bij twee blokjes heeft zodoende  $1296 \times 64 \times 6 = 497664$  oplossingen waarvan er maar één goed is.

De Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica: wanorde is waarschijnlijker dan orde. Een kapotgevallen wijnglas kun je nooit meer heel maken door de scherven in een doos te doen en te schudden totdat het glas spontaan weer heel is. Theoretisch is het niet uitgesloten, maar de kans is onuitsprekelijk klein. Daardoor is er een schijnbare richting, een onomkeerbaar verleden, een Pijl van de Tijd, veroudering en dood. Een kind dat met een kubuspuzzel speelt, levert het bewijs van zijn eigen einde.

Wie willekeurig blokjes werpt komt in 99,9998% van de gevallen bedrogen uit. Je ziet een kleuter dan ook nooit op die manier zo'n puzzel maken. Scherven schudden heeft geen zin, dat snapt een kind. Je moet kijken naar de plaatjes op de blokken. Je gebruikt de samenhang tussen de dingen die in Natuur en maatschappij zo overvloedig aanwezig is.

Maar het glinsterend web van wereld en wetenschap heeft men verpulverd. Zo moet het ondernemende onderwijs gaan concurreren met de TV-kwisen, de triomf van het stompzinnige feitjes-leren, een school voor

super-Triviant.

Dus zullen we die orde zelf moeten aanbrengen, omdat alles in de Natuur samenhangt en omdat een andere aanpak didactische zelfmoord is. Maar zelf lesgeven is ten strengste verboden. Men wordt geacht leermethoden te volgen, en wat ik daarvan heb gezien inspireert pas ècht *horror vacui*. Die troep is allemaal *top-down* geschreven, de papieren incarnatie van het ‘plaatjes invullen’, gecodificeerde vormen van de Zoetermeerse confetti. Dit wordt in de hand gewerkt door het militair-industrieel complex bestaande uit ambtelijke knutselaars en grote uitgeverijen. Vrije markt, nietwaar. Met als resultaat dat, zoals Richard Feynman in de VS ontdekte, leerboeken die slechts bestaan uit blanco bladzijden tussen twee kaften een lovende recensie krijgen.

Om woest van te worden, want die eenheid is overal, juist in dingen die de studenten ook buiten de les om zich heen hebben. Dat is de Freudenthal-aanpak, die ik hierboven even met een kubuspuzzel heb geïllustreerd. Bovendien worden de studenten ook achteraf met die dingen geconfronteerd, en doet de Natuur de nazorg zelf. Neem bijvoorbeeld de sterrenkunde. Die kun je gebruiken, van de Oerknal tot heden, omdat hierbij alles aansluit: natuurkunde, scheikunde, biologie, geologie, algebra en calculus. Pak daar dan nog de geschiedenis bij, lees een paar van de bronteksten in hun oorspronkelijke talen, en je hebt de hele wetenschap rond, van alfa via bèta tot gamma.

Het schooljaar is weer begonnen. Ook op de universiteiten, waar menig docent zich in het geniep afvraagt met welke variant op het thema ‘tinnef’ ze nu weer opgezadeld zullen worden. Op de universiteit lopen de ex-leerlingen met een klap tegen de echte harde docenten aan. Vrouwen en mannen die studenten voor vol aanzien en ze daarnaar behandelen. Sommigen vervallen dan meteen weer in de infantiele toon die ze is aangeleerd. Zelfs het slappe Leidse studiesysteem (50% van je studiepunten in het eerste jaar halen, anders oprotten) vinden ze te erg. Welja! Als ik op de helft van mijn colleges wegblijf, de helft van mijn afspraken vergeet, de helft van mijn tentamens niet nakijk, volgt ontslag binnen een paar maanden.

Uiteindelijk komt de man met de hamer, *in casu* een astrofysicus wiens werk op betrouwbaarheid wordt getoetst door het meedogenloze Heelal zelf, en die het zich dus niet kan veroorloven zijn huik naar de politieke wind te zetten.

## Kom professor, geef toe

De eerste zin – nou ja, plankenkoorts. De tweede, ook niet best – het zij zo. Maar vanaf de derde zin weet je: dit wordt niks meer. Op de achterste rij wordt gegrinnikt, je knapste studenten glimlachen toegeeflijk: laat de prof ook eens een kater hebben. Maar je hebt in geen dagen gedronken. Had je maar! De kater komt later, in het gezelschap van talloze briljante woorden die je, klungelend voor het bord, niet wilden invallen; mosterd na de maaltijd.

Gips is niet glad, maar je krijtje glibbert tussen je vingers op zo'n dag. Hugo Brandt Corstius schreef ooit een meeslepend stukje over het gruwelijke gevoel als je een slecht college gegeven hebt. Eigenlijk moest je na zo'n valse start zeggen: dames en heren, nokken, een rondje van mij in de kantine. Maar dat kan niet als de TV-camera's jou en je medediscussianten klemvast houden in de lichtkring van de studiolampen.

Dus schrijf ik een stukje mosterd, waarvan u een potje in de provisiekast kunt zetten voor het geval u – zoals ik – iets te ijdel bent om 'nee' te zeggen op een verzoek aan een praatprogramma mee te doen. Praten op TV moet je alleen doen als je eerst een half jaar landmijnen hebt geruimd in Eritrea. Zonder die ervaring ben je zó een paar benen kwijt. Figuurlijk, maar 't is toch onprettig dat honderdduizenden van je gestrompel zitten te genieten.

Het eerste wat u in uw oren moet knopen is: een praatprogramma is geen journalistiek maar amusement. De *Rules of Engagement* in dit conflict zijn vaag en lijken meer op die in een kroeggesprek dan een wetenschappelijke woordenwisseling. Geen hoor en wederhoor, maar 'gelijke tijd': iedereen even lang aan het woord. In mijn geval betekende dit dat een vijftal mensen, van licht tot ernstig verward, gedurende een klein halfuur mocht belijden dat graancirkels door marsmannetjes gemaakt worden. Daarna mochten er twee - een intelligente en welbespraakte boerin en ik, veel minder snedig - weerwerk bieden. Ik kan het de gastvrouw van de praatshow niet eens kwalijk nemen. Zij verkoopt geen werkelijkheid maar gekleurde tijd, zoals Elsschot's Boorman bedrukt papier verkocht.

Niet alleen komt iedereen evenveel aan het woord, een andere regel is dat iedereen evenveel gelijk heeft. Alweer de kroegformule: de waarheid zal wel ongeveer in 't midden liggen, en je bent een zeurpiet als je zegt dat iets aantoonbaar fout is. "Kom professor, geef een beetje toe," zelfs

als een van de gasten beweert dat de dingen zo zijn als je ze zelf wilt zien. Dat hij net als iedereen op zijn stoel zit en niet tussen de hanebalken zweeft geeft hem geen stof tot nadenken.

Het tweede punt: verwar nooit een sociaal gesprek met een wetenschappelijke discussie. Op bruiloften en partijen weet u dat allang (anders krijgt u vanzelf geen uitnodigingen meer), maar hetzelfde geldt in zo'n praatprogramma. Tijdens de voorbereidingen houdt men zorgvuldig de schijn op dat het om een echte discussie zal gaan, maar dat is flauwekul. Het is dan ook een ernstige fout je op zo'n programma voor te bereiden. Het zal immers niet om feiten of logica gaan, maar om het vullen van zendtijd. Je zet jezelf op het verkeerde been en komt over als een drammerige betweter, een spelbreker die erop uit is echt te winnen, zoals een topvoetballer die zich niet weet in te houden bij een robbertje strandvoetbal.

Daar komt bij dat het publiek geen benul heeft hoe hard het er in de wetenschap aan toe gaat. Zwakheden of onjuistheden worden uitgerookt, vervolgd en ten val gebracht. *Und wenn es fällt, dann soll man's auch noch stoßen.* Een echte wetenschapper durft zich te omringen met tegenstanders; gelovigen en amateurs doen dat nooit. Als je die aanpakt zijn ze 'gekwetst'. Ze willen hun probleem sociaal besproken zien, dus doe vooral niet wetenschappelijk. Hoe meedogenloos wij op de bal spelen, daar snappen ze niks van.

Zo kwam eens in mijn omgeving het 'muishandje' ter sprake, waarbij ik opmerkte dat het interessant was dat marconisten nooit hadden geklaagd over een dergelijke aandoening, terwijl het bedienen van een seinsleutel toch een grotere inspanning is dan het klikken met een muis. Waarop ik te horen kreeg: "Je neemt me niet serieus." Juist wèl; maar wie alleen gewend is aan een verjaardagsdiscussie ziet dat niet. (Toevoeging achteraf: van een medewerker van KPN Telecom hoorde ik dat RSI bij marconisten wel degelijk voorkwam, maar niet werd erkend. Zo leert een wetenschapper nog eens wat).

Ten derde: een tegenstrijdigheid wordt in een praatprogramma gezien als een smaakmaker. Gedurende het bovengenoemde halfuur bleek elk van die vijf mensen een andere verklaring voor graancirkels te hebben, maar ieder deed alsof zijn verhaal door die van de andere vier werd versterkt.

Tegenstrijdigheid is contrabande in de wetenschap, maar passeert zon-

der moeite de douane van de klets-kousen. Dat alle horoscopen iets anders vertellen bij dezelfde geboortedatum maakt geen enkele sterrenwichelaar brodeloos. Dat alle godsdiensten inhoudelijk met elkaar strijdig zijn doet mensen niet nadenken over het waarheidsgehalte van hun opvattingen. Het doet ze slechts grijpen naar wapens en terreur.

Ten vierde: kwantitatieve informatie dient hier geen enkel doel, behalve om de tegenstander onder te sneeuwen. “Er zijn vijfduizend graancirkels gemaakt, en van de meeste kennen we de makers niet. Dus kunnen ze niet allemaal door mensenhanden gemaakt zijn.” Dat er op de wereld miljoenen grafitti gemaakt zijn waarvan we de makers nog veel minder kennen is blijkbaar onvoldoende reden die ook als buitenaards te bestempelen. Maar dat komt nog.

Ten vijfde: verwacht te allen tijde de grofste gotspes. Ik had op het journaal van TV-West laten zien hoe ik in negen minuten een graancirkel maak. Maar in de praatshow zegt een van de gelovigen glashard: “Jij hebt nog nooit een experiment uitgevoerd, je weet niet waar je over praat.” Woest werd ik, en beging daarop nog een blunder: ik hapte naar adem, zodat de ander door kon gaan. “Heb je de redoxtest toegepast?” Sprakeloos was ik: de simpelaar bluft dat er een test voor marsmannetjes bestaat!

“Nee, wel de Wassermann.” Dàt had ik moeten zeggen, want honderd tegen één dat die nep-onderzoeker geen flauw benul heeft wat dat voor een test is. Bovendien zijn pseudo-wetenschappers nog ijdelder dan normale mensen, dus hij zou dat nooit hebben toegegeven. Wat zou ik gelachen hebben na zijn antwoord: “Nee, de Wassermann nog niet, maar die doen we volgende maand.” Pats, daar slaat de val van Buddingh’ dicht: *Negatieve rhesus/positieve Wassermann/daar komen rare kinders van*. Een test voor syfilis, jazeker! Daar zullen die *aliens* van opkijken.

Hàd ik moeten zeggen, maar heb ik niet gezegd, overdonderd als ik was. *Esprit d’escalier*, de messcherpe *riposte* die je pas invalt als je de trap af naar buiten loopt. Mosterd na de maaltijd. *Zoom* naar mijn verblufte gezicht, naar de gniffelende zaal. Eén-nul voor de marsmannetjes! Terecht: kwaad worden is dom, TV is emotioneel en niet redelijk. ’t Klamme zweet breekt me nog uit als ik die stukjes video terugzie.

Je voelt de wellust van de pseudo-wetenschapper, om niet langer de wurggreep van de werkelijkheid om zijn hals te voelen, geen kritiek van zichzelf of collegae, alleen bewonderende blikken. Als de volgende min-

ister van OCW eindelijk een kwart eeuw beleid afrondt en alle universiteiten sluit, is mijn kostje gekocht: miljonair zou ik kunnen worden in het alternatieve circuit (maar dat ga ik niet voor de camera zeggen: 't zou mijn geloofwaardigheid nu aantasten, en mijn toekomstige markt verpesten).

Tenslotte, houd je wetenschappelijk taalgebruik binnen de muren van bibliotheek en laboratorium. Het is daarbinnen anders dan buiten. Zelfs 'UFO' lijkt neutraal maar is het niet: misschien is het wel *Unidentified*, maar niet noodzakelijk *Flying* (meteoor) en ook geen *Object* (landingslichten tegen wolk). En als het geen *U* blijkt te zijn omdat je het wel degelijk kunt verklaren zijn ze kwaad en gaan er allerlei dingen achteraf bijverzinnen. Want de maatschappelijke boterham is maar zuinigjes met ethiek belegd.

Dus laat die wetenschap maar thuis en verplaats je naar het café. Volgens de regels van het lab kun je niet tegen je vriendin zeggen: Jij bent de leukste vrouw ter wereld. Exacter zou zijn: Van alle vrouwen die ik ken ben jij de leukste. En het kan nog nauwkeuriger. Zucht - het is een wonder dat wetenschappers zich nog voortplanten.

## Glasvezel-samizdat

Het instituut waar ik werk heeft geen bibliotheek. Niet nodig voor de wetenschap, zo vonden de amateurs die de dienst uitmaken in de bestuurlijke korsten waarmee de Universiteit is dichtgekoekt. Mijn vakgebied is de theoretische astrofysica, dus ik werk niet met instrumenten. In plaats daarvan parasiteer ik op de noeste arbeid van mijn waarnemende collega's, met behulp van een paar pond klieder tussen mijn oren en een paar honderd ton drukwerk tussen de kaften. U begrijpt dat ik blij was dat ik althans mijn hersens mocht behouden, maar toch voel ik mij alsof mijn ogen zijn uitgestoken.

Onze boeken en tijdschriften zijn niet allemaal vernietigd, maar deels opgeslagen in de bovenruimten van de scheikunde-bibliotheek, 361 meter gaans van mijn werkplek. Het opzoeken van een tekst betekent dus een pittig sprintje. Als ik niet vind wat ik zoek kan ik ophouden, want de elektronische catalogus is verre van compleet en geprogrammeerd door de Kaninefaten. Vind ik het wel, dan kan ik helemaal terug naar mijn lab omdat de kopieermachines van Scheikunde tot een andere beheerseenheid behoren, dus accepteren ze mijn magneetkaart niet. Weer naar de overkant om het geschrift terug te plaatsen, en dan naar mijn kamer. Totale afstand, 1444 meter. Met zoveel lichaamsbeweging hoef je geen dieet te houden om slank te blijven.

Waarom moet dat? Tja. Het echte antwoord kan ik niet geven zonder in drieletterwoorden en godslastering te vervallen, maar een reden die bovengenoemde amateurs steeds weer noemen is dat boeken en tijdschriften zo duur zijn. Ze lijken gelijk te krijgen door de recente monsterfusies in het uitgeversbedrijf.

Er was ooit een tijd dat je niet publiceerde om de keuteltellers van de visitatiecommissies tevreden te stellen, maar om je collega's de loef af te steken, of althans je werk aan den volke te tonen. Het duurde even voor publiceren normaal werd. Leeuwenhoek publiceerde nooit iets, die schreef alleen maar brieven. Eerst kwam Galilei, wiens werk het midden houdt tussen een schotschrift en een populair-wetenschappelijk boek. Toen zwaardere boeken en pas veel later tijdschriften.

Je voltooit je onderzoek, schrijft het zo op dat de geschoolde lezer het kan begrijpen en desgewenst nadoen, en biedt het manuscript aan bij een vakblad. De redactie stuurt het naar een collega die anoniem beoordeelt

of je werk redelijke kritiek kan doorstaan. Zo ja, dan wordt het gepubliceerd. Het systeem werkt aardig, en zelden loop je tegen een proeflezer (*referee*) aan die dom of dief is, of te kwader trouw. De ergste gekken worden gestopt en vrijwel nooit wordt een genie gekrenkt.

Maar dan komt de kneep. Niet alleen krijg je geen cent voor je werk, maar meestal moet je zelfs voor publicatie betalen. Dat kan oplopen tot honderden euro per bladzijde. Tot overmaat van ramp ben je verplicht de rechten op de publicatie af te staan aan het tijdschrift. Zo ontaarden auteursrechten tot uitgeversrechten, en hebben wij academische sukkels onszelf geboeid en gekneveld uitgeleverd aan de gladjanussen van de commercie. Superuitgevers weten donders goed dat universiteiten op alle niveaus worden bestuurd door amateurs die geloven in fatsoen, die slikken wat ze voorgezet krijgen en hun bordje marktwerking braaf leegeten.

Wie zich verzet kan ervan lusten. Toen het *American Institute of Physics* (AIP) aantoonde dat de publicaties van een zekere uitgever *veertig maal meer* kostten (in citaties per dollar) dan die van AIP zelf, kreeg AIP een meute advocaten achter zich aan. Naar het Amerikaanse (on)recht kun je als winnaar de kosten van je verdediging niet op de wederpartij verhalen, dus zo'n proces kan je ondergang betekenen.

“Ken je de overeenkomst tusse de druif en de tuindersknecht?!!”

“Ikke niet. . .”

“Ze worde allebei gesnoeid, gekrent, uitgeperst en in de veiling genome.”

Zo werd mijn jeugdheld Polletje Piekhaar weer wat wijzer, maar de publicerende wetenschappers kennen blijkbaar hun klassieken niet.

En juist daarom krijg ik de lachstuipen van het geweeklaag om de industriële vraatzucht. Want wie schrijft, die blijft, ook in de wetenschap. Wij zijn het die de kopij leveren. De distributie is een lachertje: het leeuwendeel van al dat drukwerk gaat naar bibliotheken, waarvan we al weten waar ze zich bevinden en die afdoende hebben bewezen dat ze zich tot elke prijs laten koeioneren.

We schrijven met z'n allen het volgende briefje naar de baas van die papierhandel. ‘Geachte heer Boorman. Vanaf heden zullen onze medewerkers niet meer in uw Wereldtijdschriften publiceren, en zeggen onze bibliotheken hun abonnementen op. Deze maatregelen worden slechts herroepen als u, zonder verdere voorwaarden te stellen, terugkeert tot

vaste prijzen, te weten die van 1980. Hierover kan niet worden onderhandeld. Hoogachtend.'

We doen het dus voortaan zelf, en niet alleen in druk. Internet is er voor allen, en de snelheid van het licht is voor ieder gelijk. Met driehonderdduizend kilometer per seconde razen wij door het heelal, en laten het monopoliepapier verschroeid achter in ons kielzog. Tegen de kapitalistische terreur nemen wij dezelfde maatregelen als destijds tegen de communistische. *Samizdat*, zeiden de Russen. Sam-izdat, zelf-uitgeef, wordt nu Intersamizdat. Geen glasnost maar glasvezel leidt tot onze bevrijding.

Een wetenschappelijk boek is roetpasta op een gedroogd prakje dode bomen. Dat is al zo sinds Gutenberg, maar de tijden zijn veranderd. Uitgevers zijn overbodig, en als ons ijzeren aanbod wordt afgewezen kunnen wij willekeurig welk drukwerk op onze slofjes zelf maken. Dat kan dankzij T<sub>E</sub>X, een computertaal waarvoor Donald Knuth een speciale Nobelprijs verdient. Met die taal kun je wondermooi zetsel maken. 't Is dat niet-wetenschappelijk zetsel gemaakt wordt met technieken uit de tijd vóór Clovis, anders zou ik u even een staaltje laten zien, van algebra via Chinees en spijkerschrift tot lineair-B. Plus de taal PostScript voor de illustraties, en klaar is Kees.

Het nadeel van zelf doen is dat elektronisch publiceren bergen bagger kan opleveren. Daarop zijn drie reacties mogelijk. Ten eerste: we laten het zo. Ten tweede: we doen wat mijn collega Bill McCrea ooit voorstelde, een idee dat Wilt Idema onafhankelijk lanceerde: iedere wetenschapper krijgt 15 bladzijden per jaar te vullen, punt uit. Ten derde: we laten iedereen inzenden wat-ie wil, maar delen het werk in naar geschatte betrouwbaarheid op een schaal van 10=best tot 1=mest.

De eerste mogelijkheid is zonde van de schijfruimte, geen mens heeft behoefte aan wetenschappelijke cyberporno. De tweede lijkt aantrekkelijk: terug naar de goeie ouwe tijd, toen het nog goud was wat er blonk op de bladzijden van *The Astrophysical Journal* en *Zeitschrift der Physik*. 't Is niet voor niets dat ik mijn studenten aanraad die oorspronkelijke meesterwerken te lezen: goed voor snotapen die denken dat ze modern moeten zijn en veel publiceren. Maar die tijd is voorbij, dus ik kies voor de derde weg: Alles wordt geplaatst, maar je werk krijgt een cijfer van twee proeflezers. Gemiddelde omlaag afronden naar het hele punt, en in het hok: 10 voor de Dirac-vergelijking, 1 voor het *perpetuum mobile*.

Desgewenst kunnen wij de computer zelf laten bijhouden hoe vaak een artikel wordt geraadpleegd, en daaruit een extra rangorde afleiden. Met wat goede wil en slim programmeren kun je zelfs corrigeren voor notoire querulanten en commentaar van halve garen.

Wat moet dat kosten? Laten we zeggen één hoofdredacteur, redacteurs voor theoretische en experimentele natuurkunde, idem astrofysica, en vooruit nog twee elk voor wiskunde en scheikunde. Dan secretariële ondersteuning en behuizing, en uiteraard een systeembeheerder met assistent. Plus postje onvoorzien, maakt twee miljoen per jaar voor het produceren van twee dozijn tijdschriften en een paar honderd boeken te leveren aan 1500 bibliotheken wereldwijd.

Ik vlei me met de gedachte dat er vast wel een ondernemer is die dit leest, en die tien miljoen te investeren heeft. Dealtje maken?

# Miljoenenstudiën

Leidse rechtenstudenten, speciaal eerstejaars, vertellen al jaren dezelfde mop: *Het is maar goed dat die bèta's zo moeten zwoegen. Want als wij dan later hun baas worden, zijn ze vast goed ingewerkt.* Amerikanen, met de eerlijke onbeschaamdheid die hun eigen is, kunnen het nog korter, en vragen je zonder omhaal: *If you're so smart, why are you not rich?*

Goede vraag. Hoewel niet armlastig, ben ik naar industriële maatstaven een minvermogende, en dus niet 'smart'. Mij best: liever de algemene relativiteitstheorie dan de algemene aandeelhoudersvergadering. 't Gaat hier dan ook niet om geld voor mezelf of voor mijn collegae, die allemaal een dak boven hun hoofd hebben. Het gaat om andere mensen en om andere dingen: de jeugd en de wetenschap.

Na tientallen jaren van systematische verzieking van het onderwijs heeft men jeugd en wetenschap van elkaar weten te scheiden. Studeren om de geleerdheid is niet *cool*. En plotseling komt er tachtig miljoen op tafel om het gebroddel op te lappen. Althans in de bèta-wetenschap, omdat de filistijnen stiekem beseffen dat dat de kip met de gouden eieren is. Dat de alfa-wetenschap een zwaan met zilveren eieren is, heeft de kringen buiten de literatuurprijzen nog niet bereikt.

Waar heb ik dat gejack toch meer gehoord? Ach ja: over tekorten aan verpleegkundigen, leraren, tandartsen, en andere beroepsgroepen die op het maatschappelijk draagvlak gejonast zijn. Het is dan ook niet moeilijk te voorspellen dat zo'n tekort bijvoorbeeld ook gaat optreden bij medisch specialisten. Eerst worden zij stelselmatig als inhalige slaggers te kijk gesteld, en daarna op financieel rantsoen. Totdat er een 'tekort' is ontstaan. *Verrássing!*

In elk beroep gaat het om geld en aanzien. Die kunnen elkaar aanvullen, zodat mensen met weinig tevreden zijn als daar een redelijk aanzien tegenover staat. Mijn opa was (na God, de Dominee, de Notaris en de Burge-meester) nummer vijf in de rangorde van het dorp waar hij voor de klas stond op een tractement van niks. En, eerlijk is eerlijk, ook zijn kleinzoon is gevoelig voor aanzien. In Nederland, buiten de enclave van Den Haag tot Zoetermeer, is het prestige van de wetenschap en de prof nog steeds hoog. En in de wetenschap ben je baas in eigen brein, zolang wij genoemde enclave kunnen weerstaan.

Aanzien is belangrijk, en daar begint dan ook de aanval. Dat is makke-

lijk: start een campagne van verdachtmakingen, alsof niet 99% van welzijn en welvaart uiteindelijk aan de wetenschap te danken is. Verkondig genoeg kletspraat over ‘lekker lange vakanties’ en ‘nieuwe vrijgestelden’ en men gaat het geloven; de rest komt vanzelf. Eerst een etmaal in het schandblok, dan naar de galg.

De vernietiging van het middelbaar onderwijs is nagenoeg compleet, en is inmiddels kundig afgerond door invoering van studiehuis en profielpakketten. Interessant is daarbij het gegeven dat de sloop van aanzien automatisch de dood van gezag betekent. Immers, alle gezag dat niet uit de loop van een kalasnikov komt is slechts symbolisch. Met alle maatschappelijke gevolgen van dien: een spijbelaar die de meester het psychiatrisch hospitaal ingepest heeft kan daarna zijn medeburgers het gewone hospitaal in hengsten. Zinloos geweld is het gevolg van zinloze hervormingen.

In het hoger onderwijs is de aanval nog in volle gang. Docenten kunnen zich voorlopig handhaven, maar de studenten weten allang aan welke kant hun brood besmeerd is. Zij hebben op hun gigantische scholencomplexen één ding aan den lijve gevoeld: dat hun ouders liever een week extra Benidorm in hun zak hebben dan een extra docent voor de klas. Nu voelen zij op de universiteiten hetzelfde klimaat, en kiezen overeenkomstig. Ook in Nederland komen er steeds meer die vragen: als je zo slim bent, waarom ben je dan niet rijk?

In het wetenschappelijk onderzoek merkten wij dat tekort natuurlijk allang. Want je kunt van die juristen, bedrijfswetenschappers en Amerikanen zeggen wat je wilt: een beetje gelijk hebben ze wel. Het is tamelijk suf om je zo de kaas van je brood te laten eten. Een professor die Albert Einstein verkiest boven Albert Heijn is geen aantrekkelijk rolmodel voor studenten die van hun makkertjes op de sociëteit horen welke salarissen zij gaan verdienen. Een promovendus op mijn instituut werd stelselmatig door zijn zwagers-in-zaken gepest, en op alle bruiloften en partijen kreeg hij te horen: “Hé Hans, wat doet zo’n melkwegstelsel nou op de termijnbeurs?” Totdat hij in arren moede de wetenschap de rug toekeerde.

Waarschuwingen over de teruglopende aantallen studenten en promovendi werden weggewuifd, maar kortingen wegens diezelfde aantallen werden wel met harde hand doorgezet. Nu echter het bedrijfsleven een tekort aan mensen ziet aankomen is het ineens wèl ernstig, en wordt er 80 miljoen op tafel gepatst ten bate van dezelfde knoeiers die ons dit geflikt hebben.

Het kenmerk van knoeiers is dat zij niet zoeken naar oplossingen maar naar trucs. Dat kan bijvoorbeeld een *technolease* constructie zijn, maar meestal komt het neer op domweg reclame maken. De louche kruidenier die bedorven worst verkoopt gaat zijn etalage mooier inrichten. Dus geeft de regering miljoenen uit om op de zijkant van autobussen te zetten “Kies exact”, in plaats van dat geld uit te geven aan onderzoek en onderwijs zelf.

Dat idee komt van bestuurders die, om voor vol te worden aangezien, bazuinen over “marktwerking”. Als zij dan op die markt *knock-out* worden gemept, binden ze de handen van hun tegenstander op zijn rug. Een leerzaam voorbeeld daarvan is de recente catastrofe met de beurspromovendi.

Een promovendus is goed te vergelijken met Willem van Iependaal's tuindersknecht (die werd gesnoeid en gekrent en. . .). Als er in het academisch bedrijf één type is dat dit predikaat verdient, is het de beurspromovendus, een topper die ruim vier jaar lang tussen de vijftig en zestig uur per week aan een proefschrift ploetert voor een schijntje. Zodoende wordt meer dan de helft van de wetenschappelijke arbeid door promovendi verricht voor een fantastische prijs/prestatieverhouding. Toch was het te duur. Dus verzoon een advocaat van kwaaie zaken, uiteraard zelf in vaste dienst, een truc. Door een juridische foef was de promovendus ineens geen werknemer meer, maar een beursstudent, en kon er dus op alles bezuinigd worden.

Over weinig ben ik de laatste jaren zo witgloeiend geweest als over deze streek. Geen fatsoenlijk protest hielp. De omvang van de academische bruinrot werd angstig duidelijk toen collegae cynisch genoeg bleken te zijn om deze zwendel goed te keuren, juist omdat ze weten dat promovendi niet gemist kunnen worden.

Dat was nou net een bruggetje te ver. Promovendi kunnen niet half Europa verlammen door de snelwegen te blokkeren met trekkers of vrachtauto's. Dus trekt de maatschappij zich in het geheel niets van hen aan. Zij konden alleen stemmen met hun voeten. Massaal lieten zij het afweten, en nu komt men dan eindelijk met tachtig miljoen druppels op een gloeiende plaat zo groot als Nederland.

Wat moet ik toch lachen om die bèta-paniek. Wat te doen? vraagt menige commissie zich handenwringend en schreiend af. Wel, geachte krokodillen, de wederopbouw van een beetje ontzag voor de mensen die

de basis leggen voor onze welvaart en veiligheid zal vele jaren vergen. Intussen zou je eens kunnen beginnen met hersenwerkers een redelijk salaris te betalen, zodat de leasebakken, zeven-cijfer inkomens en aandelenopties niet naar de lullo's en hun frauderende beursbazen gaan. Ook in de toekomst, want wetenschappers bestuderen de werkelijkheid dus ontoepasbare wetenschap bestaat niet.

## Kinderroof

Daar sta ik dan op de voorpagina van *NRC Handelsblad* met een schitterende foto van het object M2-9. Geen afgesproken werk, want de *New York Times* had het bericht eveneens, ook op de één, hoewel twee dagen later. Leuk, leuk! Eindelijk het kwartier beroemdheid dat iedereen beschoren heet te zijn. Genieten!

Dacht ik, totdat ik de tekst van het Amerikaanse artikel vergeleek met het Nederlandse. Als er niet dezelfde foto bij afgedrukt had gestaan, zou je niet geloofd hebben dat het over hetzelfde werk ging. In de Nederlandse krant stond een kort en evenwichtig verhaal over het onderwerp en de achtergrond van het onderzoek, de wetenschappelijke wisselwerking tussen theorie en waarnemingen, en de namen van de betrokken mensen. In de Amerikaanse stonden een paar kolommen geschetter over de nieuwe! verbluffende! onverwachte! onverklaarbare! sensationele! foto's van NASA's *Hubble Space Telescope*, waarbij slechts de naam genoemd werd van één direct betrokkene (Balick), alsmede drie anderen die de NASA-publiciteitsmachine speciaal voor de gelegenheid had laten opdraven op een persconferentie in Washington DC.

Waarom was ik zo verbijsterd? Niet vanwege die ene echte collega, een goede vriend en eersteklas wetenschapper. Hij had er evenveel recht op om van de observationele kant in 't zonnetje te staan als ik van de theoretische. Ik kan het pas uitleggen door eerst te vermelden hoe dat hoogst merkwaardige wetenschapsbedrijf werkt, van binnenuit gezien.

In 1984/85 bracht Bruce Balick, een astronoom uit Seattle, een jaar als gast door op Sterrewacht Leiden. Hij had het idee opgevat dat bepaalde soorten nevels, die worden uitgestoten wanneer sterren zoals onze Zon sterven, ondanks hun grote verscheidenheid aan vormen allemaal op een en dezelfde manier moeten ontstaan. We waren al bevriend geraakt, en omdat ik de plaatselijke theorie-goeroe was vroeg hij of ik er iets van kon bakken. Uiteraard zei de goeroe meteen: jazeker!

Dat was grootspraak, als je het letterlijk opvat. In mijn woordenschat betekent het: ik vind het een verbazend interessant probleem, volgens mij heb je een grote vis aan de haak, laat ik eens een lijntje bijzetten. Het probleem omvatte een onderzoek op het gebied van de astrofysische gasdynamica, een theorie die vergelijkbaar is met die welke men gebruikt om op Aarde het weer te voorspellen. Ik had me al lange tijd bezig

gehouden met het weer tussen de sterren, en herinnerde me een dertig jaar oude publicatie van de Russische wiskundige Kompaneyets die in de verte aan mijn probleem raakte. Tot mijn stomme verbazing en grote euforie bleek dat ik, na een listige vereenvoudiging, het probleem dat Balick had gesuggereerd letterlijk op de achterkant van een oude envelop kon oplossen.

Na een kort maar luidruchtig klompdansje besepte ik dat er nog veel meer te doen was. Ik bezocht Bruce in Seattle, en we besloten het groter aan te pakken met behulp van numerieke simulaties. In Garrelt Mellema vond ik een promovendus die niet alleen briljant was in computerwerk maar ook natuurkundig rotsvast in zijn schoenen stond. In 1988 verscheen mijn artikel over bovengenoemde vondst en vanaf die tijd raakte het onderzoek in een stroomversnelling. Er ontstond een soort internationale huisindustrie van mensen die soortgelijke dingen probeerden, en al gauw was duidelijk dat de klus in feite geklaard was.

Gesteund door dit werk vroeg Balick waarneemtijd aan op de inmiddels gelanceerde *Hubble Space Telescope*, om te speuren naar inwendige details van de door ons beschreven nevels. Na jarenlange omzwervingen door de bureaucratische krochten van NASA hadden we eind augustus '97 de eerste resultaten binnen. Maar we konden er nog niet mee naar buiten: enkelen van de mensen in vaste dienst van NASA (die uiteraard gezien hadden welke buit we hadden) eisten de gegevens voor zichzelf op. Balick liet zich de kaas niet van 't brood eten, en in december kon ons persbericht uitgaan. Tot ons grote genoegen pakten talrijke Nederlandse en Amerikaanse media het bericht op.

Maar onze geschiedenis was lijnrecht tegengesteld aan wat de NASA mensen ervan maakten. Zij - en de verslaggevers buiten Nederland die gewoon de Amerikaanse persberichten van het Web plukken - hebben de zaak op zijn kop gezet. De foto was zogenaamd "nieuw, onverwacht, en onverklaarbaar." De Europese connectie was verdwenen; het theoretische werk was door onpersonen verricht, sterker nog, het had nooit bestaan. In feite waren *alle* niet-NASA vertakkingen, ook die in de VS, gesnoeid.

Razend was ik, niet eens vanwege mezelf maar vooral vanwege de vervalsing van het wetenschappelijk proces, waarvan de maatschappij toch al zo'n verwrongen beeld heeft. Ook herinnerde ik mij een vraaggesprek met collega fysicus Ad Lagendijk, die opmerkte: *Het eerste wat je Amerikaanse collega's doen als je ergens mee doorbreekt, is je naam*

*lospeuteren van je resultaten.* Kinderroof, dus. Vandaar dat Ad extra blij was toen een grote ontdekking van zijn team op het omslag van *Nature* kwam te staan.

Een natuurkundige vondst is gemeengoed, want de natuur is er ook zonder ons. Als Albert Einstein niet met de relativiteitstheorie was gekomen, dan had Albertha Einwasser het wel gedaan, hooguit twintig jaar later. Maar geen mens zou een Tiende van Beethoven kunnen schrijven, dus die Negen blijven Ludwig's onvervreemdbaar eigendom. Vandaar de fanatieke sfeer rondom prioriteit, vergelijkbaar met journalistiek, waar een primeur meestal zwaarder telt dan een doorwrocht achtergrondartikel. Lees maar na in *The double helix* van James Watson.

Het is dus begrijpelijk dat sommige wetenschappers proberen wat korter door de bocht te gaan dan hun concurrenten. Gewoon gappen komt voor, maar is relatief zeldzaam. Alleen promovendi en andere ondergeschikten worden met enige regelmaat bestolen. Doodzwijgen van andermans publicaties kan, maar wordt vaak onderschept door het onvolprezen systeem van proeflezers (*peer review*). Pas sinds de publicaties als zodanig onderwerp van studie zijn geworden, door het tellen van bladzijden en verwijzingen daarnaar (citatie-index), heeft het eruit-biggen van mededingers een hoge vlucht genomen. Zo was er een collega die systematisch naar zijn eigen artikelen verwees, en alras *Herr Selbstzicator* werd genoemd. Dit kun je met simpele software omzeilen. Slimmer is het 'indirect verwijzen': in je eerste artikel over een onderwerp noem je terloops het oorspronkelijke onderzoek van de ander, daarna verwijst je alleen naar je eigen spul. Dat werkt des te beter als je lid bent van een *mutual admiration society*, een groepje mensen die alleen naar elkaars werk verwijzen. *Bei uns ist alles besser!* Zeer veel gebruikt is de truc met het stampot-prakje: je schrijft talloze stukken die knip-en-plakwerk zijn van alles wat je eerder hebt gepubliceerd. Ik ken iemand die zo ongeveer 200 bladzijden per jaar produceert, verdeeld over 20 à 25 artikelen.

Dat een enkeling zo laf is, *passe encore*. Maar stuitend zijn de bureaucratische organisaties die zich niet aan de wetenschappelijke weidelijkheid storen. Waarom doen zij dat? Omdat ze anticiperen op de keuteltellers. NASA, bijvoorbeeld, wordt gestuurd door leden van het Congres die met redeloze regelmaat zaniken over het 'rendement' van de wetenschap. Deze filistijnen vertrouwen er wèl voor honderd procent op dat door de producten van diezelfde wetenschap, zoals TV, computers en satellietzenders,

hun gedram verspreid wordt. Ook in Nederland worden de publicatiegewoonten meer en meer gedreven door de terreur van het jaarverslag, van visitatiecommissies en soortgelijke bezoeken.

De les is dat je, doordat men gaat anticiperen, niet meer kunt meten. De meeste wetenschappers houden zich aldus bezig met grootscheepse geschiedvervalsing, de een wat erger dan de ander. De meters van het onmeetbare zijn zo in hun eigen tellingen verstrikt geraakt, want het menselijk vernuft is onbeperkt op dit gebied. Lieden die te dom zijn om echte ontdekkingen te doen zijn doorgaans sluw genoeg om manieren te vinden waardoor hun gebrek aan zwaarte ze doet bovendrijven. Citatieindices en dergelijke hebben steeds minder zin, behalve voor de hardleerse bestuurders die zulke verslagen bestellen. Om het beter te doen zou je naar elk werk een geschiedkundig onderzoek moeten verrichten, maar dat gebeurt alleen bij zeer hoge uitzondering.

Het wetenschappelijk resultaat waarover u hebt kunnen lezen betekent dat wij onze tijd negen jaar vooruit waren. Mocht u ooit zoiets overkomen, koester dan het het kwartiertje waarin u beroemd bent, want u zult het in de keutelannalen niet terugvinden.

## Voor een achtjarige

Hoi. Leuk dat je eens wat anders leest dan kinderpap. Je treft het: ik was toch al van plan eens over Alles Wat Er Is te schrijven. Dat doe ik liever niet voor volwassenen. Jij hebt vast ook wel gemerkt dat die geen sterke maag hebben voor rare dingen. En wat ik doe voor de kost - dat heet natuurkunde - kunnen ze al helemaal niet verteren. Dus ga er even voor zitten, dan kan ik jou het belangrijkste vertellen wat wij van het Heelal weten.

Natuurkunde is namelijk helemaal niet moeilijk. Het is wel heel erg vreemd, maar voor de rest is natuurkunde net zo natuurlijk als n... nou ja. Daar doen Ouderen & Wijzeren, zeg maar O&W, dan ook erg schichtig over. Over allebei, dus, maar dat had je al gemerkt. Je krijgt dan ook de indruk dat O&W van geen van beide veel kaas hebben gegeten. Misschien omdat ze stiekem wel weten dat we er aan alle kanten door omringd worden. En dat we ons bestaan eraan te danken hebben. Niet alleen vanwege al die computers en moderne spullen: een jager die de beweging van een pijl of slingersteen kent, is al aardig op weg om natuurkundige te worden. En zelfs de oer-overgrootouders van de oer-Neanderthaler kenden de tweede N, en waren dus bezig die kant van de Natuur te begrijpen.

Maar O&W worden van N-dingen erg bang. Jij niet, dat weet ik zeker. Daarom zijn de beste natuurkundigen meestal erg jong. Nog niet geleerd om teveel te weten! Jij weet gelukkig nog niet dat sommige dingen niet kunnen, en dus kun je ze toch. Zoals het kind dat een zwaard lostrok dat dwars door een granietblok gestoken was.

Da's altijd zo geweest, hoor. Mijn juffen en meesters zeiden op bijna alles wat ik vroeg: "O, dat is zó moeilijk..." en daarna gingen ze blaadjes uitdelen voor een proefwerk, in plaats van gewoon even uit te leggen waarom water nat is, of waarom het 's nachts donker is, of waarom een mier sterker is dan een olifant. Of gewoon toe te geven als ze iets niet weten, want 'kweenie' is ook een heel goed antwoord, als je er maar niet 'kammenieferdomme' bij denkt. Dan weet je tenminste dat er voor jou iets te zoeken valt.

Maar sommigen zijn niet zo. Ik heb ooit een meester gehad die zei: *Als je het niet aan een achtjarige kunt uitleggen, heb je het zelf niet begrepen.* Zei Richard Feynman, die mij zowat de helft geleerd heeft wat ik van natuurkunde weet. En ik verzeker je dat er meer afstand is tussen

Feynman en mij dan tussen mij en jou.

Als een buitenaards wezen, of een achtjarige (dat is bijna hetzelfde) mij vraagt wat wij in de honderdduizend jaar dat we de Natuur bestuderen nu ècht hebben geleerd, dan zeg ik: *Het Heelal bestaat uit deeltjes, ruimte, en tijd.*

Als dat niet stapelgek is! Hoezo, deeltjes? Zie je daar iets van? Misschien denk je aan deeltjes als je zand tussen je vingers wrijft. Maar zandkorrels zijn niets anders dan piepkleine steentjes, kijk maar met een sterk vergrootglas. Net zoals een steen tot zand vermalen kan worden kun je zand nog verder verpulveren. Je weet vast wel dat er grof schuurpapier is, en fijn, en nog fijner. Hoe fijn is het allerfijnste schuurpapier? Is dat volmaakt glad? Zou best kunnen, waarom niet. Maar, vreemd genoeg, ons Heelal zit zo niet in elkaar. Je kunt schuurpapier niet oneindig fijn maken. Onder een supersterk vergrootglas ziet elk oppervlak, zelfs het meest spiegelgladde metaal, er bobbelig uit.

Die bobbeltjes noemen we atomen, en die bestaan zelf uit twee families van deeltjes: elektronen en quarks. Wat nog wel het gekste is: deeltjes van een bepaald type zijn absoluut, honderd procent, hetzelfde. Dus niet dat ze een beetje op elkaar lijken, zoals jij op je broer of zus lijkt, nee: *precies* hetzelfde. Waarom dat zo is, snapt geen mens (dus jij zult het zelf moeten ontdekken).

We kunnen bijzonder veel verklaren met die deeltjes. De bewegingen van al die atomen kunnen we voelen, omdat ze tegen onze huid botsen. Als je in een warm bad zit, word je geknuffeld door atomen. Dat voelt lekker warm: warmte is de wanordelijke beweging van deeltjes. Als ze heel hard bewegen, word je niet door ze geknuffeld maar geslagen: het is heet, het doet pijn.

We kunnen zo ook begrijpen waarom het lijkt alsof de tijd vooruit gaat. Pak een peper-en-zoutstel en doe alle peper en zout in een kopje. Eerst zijn die twee gescheiden, maar door te schudden raken ze door elkaar. Als pa of ma nu òf peper òf zout wil hebben, kun je die twee door te schudden niet ontmengen: eens een troep blijft een troep. Wanorde is waarschijnlijker dan orde (dat is een van de dingen die O&W beter weten dan jij). Daardoor is er een 'richting' in de tijd. Ook dat is een zichtbaar gevolg van die onzichtbare deeltjes.

Er is nog heel veel meer te vertellen over deeltjes, maar daar is hier even geen ruimte voor. Nou goed dan, nog ééntje: ook licht bestaat uit

deeltjes! Een lichtdeeltje noemen we een *foton*. Aan het licht kun je zien hoe stapelgek ons Heelal in elkaar zit. Ga 's avonds in een verlichte kamer voor het raam staan en kijk naar buiten. Je kunt je spiegelbeeld in het venster zien. Maar tegelijkertijd kan iemand die buiten staat jou ook zien. Dat is zo alledaags dat slechts een enkeling uit talloos veel miljoenen beseft dat dit verschijnsel niet gewoon is, maar integendeel buitensporig vreemd. Immers, het licht dat door het venster wordt teruggekaatst heeft je gezicht verlaten onder precies dezelfde omstandigheden als het licht dat door het glas naar buiten gaat.

Je ziet hier met eigen ogen dat ons Heelal te gek is voor woorden: *dezelfde oorzaken hebben niet altijd dezelfde gevolgen*. Het is alsof het licht een 'keus' heeft of het terugkomt of doorgaat. Blijkbaar kunnen fotonen langs meerdere paden tegelijk bewegen. In de natuurkunde noemen we die 'alternatieven'.

Waarom onze Natuur zo in elkaar zit begrijpt niemand, maar elke avond opnieuw kan een kind zien dat het werkelijk zo is. Daar heb je geen laboratorium voor nodig, alleen verwondering en de moed om de vooroordelen van de hele wereld van je lijf te houden.

Je zult merken dat de O&W zeggen: Dat kan ik me niet voorstellen. Inderdaad! Grijs. Dat kunnen ze niet, maar jij wel want je hebt niet geleerd dat het niet kan. Het is namelijk lekker toch zo, en dat O&W daar bezwaar tegen maken bewijst alleen maar dat ze in het verkeerde Heelal leven (maar zoiets had je al gedacht). Bovendien - hé, mijn papier is vol! En ik moet je nog vertellen hoe dat zit met ruimte en tijd. Dat komt dan de volgende keer. Kijk nou niet zo! Ja, mijn natuurkundeleraar zei ook altijd: "Dat krijgen we volgend jaar," net zolang tot ik van school af was, maar echt, ik beloof het!

## Brood van Betelgeuze

Of de humor op straat ligt, valt nog te bezien: zo rondom sluitingstijd van de kroegen valt er niet veel te lachen voor matige drinkers, honde-nuitlaters en eigenaars van geparkeerde fietsen. Een goed moment, dus, om verder te kijken dan uw politieke neus lang is en de blik op oneindig te richten. Humor moge ver te zoeken zijn, maar dat de wetenschap voor het oprapen ligt staat vast. U hoeft er niet eens uw huis voor uit: het Heelal staat op de ontbijttafel, als u maar weet te zien.

Een boterham is pure sterrenkunde. Dat begint al bij de vorm. Zou een snee brood zo groot kunnen zijn als de Aarde? Nee, dankzij de zwaartekracht, die ervoor zorgt dat een boterham van tafel kan vallen (met de pindakaas omlaag). Ook de boterham trekt zichzelf aan, en dat gaat opvallen als er maar genoeg brood in zit.

De kracht van het brood op zichzelf is bijna niet merkbaar, maar bij een snee brood zo groot als Europa merk je het wel. Zo'n enorme boterham in de ruimte kan geen scherp plakje meer zijn, met hoeken van de bakvorm en een knip in de bovenkorst.

Dat de zwaartekracht dingen plat maakt weet elk kind dat een zandkasteel bouwt en probeert het van boven net zo breed te maken als van onderen. Een berg veel hoger dan een kilometer of tien kun je al helemaal niet bijelkaar scheppen, al maak je de basis nog zo breed. Ook als je de Aarde wegdenkt en alleen het zand op zichzelf laat werken heb je zo'n effect.

De zwaartekracht is de grootmeester van het heelal, en dicteert zo'n beetje alles wat er gebeurt, inclusief de vorm van grote dingen. Je kunt uitrekenen dat een boterham zo groot als de Maan niet meer dan een procent van een volmaakte bol kan afwijken. Een kleiner stuk brood kan nog een beetje langwerpiger zijn: een pistoletje kan wel honderd kilometer groot worden zonder veel van zijn vorm te verliezen. Als ik dus ons continent van de Aarde af zou pellen, en die plak in de ruimte zou brengen, dan zou het geheel zich in enkele uren samenballen tot een klont die meer op een aardappel lijkt dan op een snee brood.

Dat dus over de vormen op de ontbijttafel: een ei kan zowat zo groot zijn als Nederland, een theepot niet. Maar niet alleen de vorm van dingen is astronomisch; ook hun inhoud doet mee. Een boterham die een miljoen maal zoveel massa heeft als de Aarde is niet alleen een volmaakte bol,

maar de materie erin is zo sterk samengeperst dat het verband tussen de atomen verdwijnt. De zwaartekracht is zo sterk dat de structuur van het brood vernietigd wordt, zelfs moleculen vallen uiteen tot losse atomen. Zo'n enorme bol moet dus gasvormig zijn: op een planeet zo groot als de Zon zijn geen oceanen, en er is nooit land in zicht. In het allerbinnenste van de bol drukken de bovenliggende lagen zo enorm sterk dat zelfs atomen uiteenvallen in elektronen en losse atoomkernen. De elektronen raken zoek in het gedrang, zoals kinderen in een dichte menigte.

Die bol blijft bestaan zonder nog verder in elkaar te storten, doordat de deeltjes waar hij uit bestaat tegen elkaar botsen. Dat veroorzaakt gasdruk, een kracht die tegen de zwaarte in werkt. Hoe harder de botsingen, en hoe vaker er wordt gebotst, hoe hoger de druk. In het binnenste van de bol heersen dan ook enorme dichtheid en temperatuur. Een ei zo groot als de Zon zou niet alleen perfect bolvormig zijn, het zou ook zo heet zijn dat het zichzelf kookt; of liever, zichzelf in gasvorm omzet, want het inwendige zou tienduizenden malen heter zijn dan kokend water op Aarde. Een boterham zo groot als de Zon gaat vanzelf stralen.

Zo'n zware, hete, stralende superboterham noemen we een ster. Elk lichtpuntje aan de hemel (behalve de planeten en ander klein grut) schijnt op deze manier. In een ster botsen atoomkernen vaak en heftig tegen elkaar. Af en toe komen zij zo dicht bijeen dat ze aan elkaar blijven plakken. Dat is kernfusie. In het geval van lichte kernen levert dat energie op. Zonnestraling is dus kernenergie.

Brood en de Zon hebben niet hetzelfde samenstelling. De Zon bevat vooral waterstof, afkomstig uit de Oerknal, maar daarover vertel ik wel bij de formatie van Paars Drie. Vier waterstofkernen versmelten tot een kern van het element helium, en wekken daarbij de energie op waarvan wij leven.

Door kernfusie ontstaan zware elementen uit lichtere. Een pure waterstofboterham met-tevredenheid verandert vanzelf in brood met beleg. Eerst komt er helium bij, dan smelten drie heliumkernen samen tot koolstof, vervolgens ontstaan stikstof, zuurstof en meer. Alle koolstof in uw boterham, en dus ook in uzelf, is gemaakt in een ster. Ook alle energie waarop u draait (hetzij direct opgevangen, hetzij honderden miljoenen jaren geleden fossiel opgeslagen) komt daar vandaan. Dus als je een waterstofbol maar groot genoeg maakt krijg je vanzelf nieuwe soorten atomen, plus energie

erbij om er iets leuks mee te doen.

Maar een ster, hoe groot ook, is eindig en de fusiebrandstof raakt ooit op. In de Zon duurt het tien miljard jaar voordat het afgelopen is (daarvan hebben we zowat de helft achter de rug). Dan komt er aan de rust een abrupt einde. Het binnenste driekwart van de ster massa schrompelt ineen en het overschot wordt weggeblazen, de interstellaire ruimte in. Het opzwellen van de buitenlagen van de ster doet de temperatuur dalen, en daardoor wordt de ster roder. De rossige linkerbovenster van Orion, Betelgeuze, is daar op dit moment mee bezig, en in die enorme sterre-oven worden op dit moment de atomen gebakken waaruit wezens elders, in de toekomst, brood kunnen maken, of wat daar bij hun voor doorgaat.

Als de ster erg zwaar is, gaat die laatste fase met buitensporig geweld: een supernova-klap die een lichtflits geeft van honderd miljard zonnen tegelijk, zo helder als de hele Melkweg. Daarbij komt zoveel energie vrij dat zelfs zeer zware, radioactieve elementen zoals uranium en thorium worden gevormd. Later, gevangen in planeten, staan die hun energie weer af, en zo blijft de Aarde vloeibaar, schuiven de aardschollen met vernietigend geweld over elkaar heen, hele Himalaya's bouwend, en braken vulkanen hun lava uit - indirect gedreven door supernova's.

Een ster als de Zon doet het rustiger aan. De overtollige massa gaat op zijn slofjes de ruimte in, geladen met het vers aangemaakte broodbeleg van koolstof, stikstof, zuurstof en andere lekkernijen. Daaruit (en uit het nog ongefuseerde waterstof) ontstaan te zijner tijd weer nieuwe sterren en planeten, en de cirkel is rond. Meteen na hun ontstaan beginnen de planeten een chemische evolutie. De sterren leveren de grondstoffen en de energie, de tijd en het toeval doen de rest. Uit die evolutie komen wij, en ook het graan dat in uw boterham is verwerkt, dankzij het feit dat het Heelal gigantische hoeveelheden massa, ruimte en tijd bevat.

Sterrenstof en sterre-energie liggen door het hele Heelal voor het oprapen. ■ Het is het gewoonste spul van de wereld. Zo zijn wij door myriaden draden verbonden met het Heelal, maar wie nu nog denkt dat de mens centraal staat mag geen minister van OCW worden. Houd dus vooral de hogere dingen in het oog, zoals de boterham bij uw ontbijt.

## Mannelijke deeltjes

De universiteiten hebben de *alumnus* ontdekt. Het woord betekent ‘oud-leerling’, en is niet via het Latijn binnengekomen – want daar weten de universitaire plannenmakers niets van – maar via het Amerikaans. Daar is *an alumnus* een melkkoe, die wordt geacht de *Alma Mater* (opzoeken, bobo’s!) regelmatig cheques te zenden.

Voor hun alumni geven universiteiten blaadjes uit die zij ongevraagd aan de doelgroepkoeien versturen. In een soort gedrukt driedelig grijs (Amsterdam), een kleurenkakelfolder van de Spoorwegen (Leiden), of een Poolse versie van Vrij Nederland (Utrecht). Allemaal bevatten zij hyper-ventilerende *advertorials*, stukjes die eruitzien als nieuws maar in wezen advertenties zijn voor de universiteit in kwestie. Rijke alumni heb je niet in Nederland, dus niet één van die foldertjes haalt genoeg binnen om dit dure wervingsmateriaal te bekostigen, maar we blijven ondernemend.

Nooit gedacht, dus, dat ik daar ooit iets uit zou opsteken, totdat ik in het Utrechtse sufferdje een stuk zag over een natuurkundestudente die naast haar eigenlijke werk vrouwenstudies was gaan doen. Zij schrijft: “Alle deeltjes die niks doen, die bij wijze van spreken passief zijn, zijn vrouwelijk. De actieve deeltjes zijn daarentegen mannelijk.”

Voordat ik er mijn verbijstering over uitspreek hoe iemand natuurkunde kan studeren en zoiets uitkramen, eerst de feiten. Het Heelal bestaat uit deeltjes, ruimte, en tijd. In de samenwerking tussen die drie is de hele natuur besloten. De wisselwerking tussen deeltjes en ruimte-tijd is nog niet begrepen, maar wij weten wel wat deeltjes onderling uitspoken. Dat heet, met een term die even kleurloos als arrogant is, het *standaardmodel*.

Om te zien wat die deeltjes doen moeten we eerst opsommen welke soorten er zijn. Alle bekende deeltjes lijken op elkaar; wij kunnen ze indelen in families. De belangrijkste verdeling is in twee klassen: de *fermionen* en de *bosonen*. Deze hebben volkomen tegengestelde eigenschappen. Fermionen kunnen nooit in dezelfde toestand verkeren, dus is het onmogelijk om ze in een kleine ruimte te persen. Een zwerm fermionen vormt altijd een kluit met een eindige afmeting. Daarom noemen wij fermionen in het dagelijks leven *materie*. Met bosonen is het net andersom: die verkeren juist graag wèl in dezelfde toestand, en een zwerm bosonen kan dus als een samenhangende eenheid optreden. Zodoende zijn bosonen verantwoordelijk voor wat mensen *krachten* noemen. Een

magneet bestaat uit fermionen (ijzeratomen), een magneetveld bestaat uit bosonen (links- of rechtsdraaiende fotonen).

Wij weten uit ervaring dat krachten op materie werken, en in het deeltjes-beeld gaat dat als volgt. Tussen twee fermionen wordt een boson uitgewisseld, ongeveer zoals een tennisser een ander de bal toeslaat die dan een volley teruggeeft. Stel je zo'n tennisspel voor in de vrije ruimte: een speler die een klap geeft, gaat van de weeromstuit bewegen. De spelers verwijderen zich steeds verder en sneller van elkaar naarmate zij elkaar vaker de bal toespelen. Op den duur gaan de meeste ballen eraan, dus wordt de kracht op grote afstand zwakker (in het geval van uitwisseling van fotonen noemen we dat de Wet van Coulomb).

Elektronen, quarks en neutrino's zijn fermionen. Fotonen en gluonen zijn bosonen. Gluonen binden quarks bijeen tot protonen en neutronen, en zorgen indirect voor de kracht die daaruit atoomkernen maakt. Fotonen leveren de electromagnetische kracht die elektronen en atoomkernen samenbindt tot atomen, en die moleculen bij elkaar houdt.

Bij de koppeling tussen fermionen en bosonen zijn beide soorten deeltjes gelijkelijk betrokken: er is in het geheel geen onderscheid tussen 'actief' en 'passief'. Tot zover de natuurkunde. Taalkundig gezien zijn de deeltjes onzijdig: alle namen eindigen op *-on*, en de verkleiningsuitgang *-ino* is ook onzijdig.

Dit is, in gewone woorden, het gedrag van deeltjes in de wereld van het super-kleine. In onze leerboeken staat de beschrijving helemaal niet zo, maar in de vorm van exacte vergelijkingen. Wiskundige formules zijn de meest geslachtsloze uitingsvorm die de mensheid ooit heeft bedacht. Het bewijs lijkt mij dus geleverd dat die vrouwenstudie-stelling over "mannelijke deeltjes" lariekoek is.

"Dan valt opeens op dat het in zo'n mannenwereld niet gebruikelijk is dat je je twijfels over je onderzoeksmethode of je uitkomsten kenbaar maakt," vervolgt de studente. Ook hier ontkent zij de feiten. Juist omdat de bèta's (mannen en vrouwen!) voortdurend twijfelen, is de natuurwetenschap zo hard. Er studeert bij mij geen student af, er promoveert niemand, zonder dat hij of zij er volledig van doordrongen is dat het niet alleen gebruikelijk, maar zelfs noodzakelijk is om je onzekerheden te melden. Wie ooit een natuurkundige grafiek heeft gezien, weet dat een meting niet als een punt wordt weergegeven, maar als een lijntje of een kruis, waarvan de grootte de onzekerheid in de meting voorstelt.

Ik zou het erbij kunnen laten dat zulke enormiteiten de onbenulligheid van die alumni-blaadjes bevestigen. Maar opmerkingen van dit slag doen wel degelijk afbreuk aan de wetenschap, en beschadigen vrouwen die een bèta-vak studeren of dat willen gaan doen. Het is des te erger omdat het overduidelijk is dat vrouwelijke studenten een veel hogere berg te beklimmen hebben dan mannen.

Wat mij van zulke uitspraken ook steeds weer teleurstelt is het onwetenschappelijke ervan. Wij zien een onrechtvaardigheid, bijvoorbeeld dat er veel minder vrouwelijke dan mannelijke hoogleraren zijn. Je zou dan willen uitzoeken hoe het fijnmazige en verbluffend sterke web dat vrouwen gevangen houdt wordt geweven, en vooral door wie. Maar in plaats daarvan verzint iemand een oppervlakkige uitleg en blijft steken in banale beschuldigingen.

Is echt onderzoeken hoe discriminatie werkt misschien teveel bèta? Het geven van simplistische oplossingen (“het zijn de structuren”) is makkelijker, en deze worden gretig aanvaard omdat zij vooroordelen bevestigen. Net als bij astrologie en andere pseudowetenschappen ben je dan zo heerlijk los van twijfel en onzekerheid, zo verrukkelijk vrij van de noodzaak het bewijs van je beweringen te leveren.

Dat vrouwen worden tegengehouden is een onomstotelijk feit, maar waar dat net gespannen is, wie het maakt en opstelt, en hoe je erin loopt is niet zo simpel te beschrijven. De werkelijkheid is onsmakelijk ingewikkeld: de schering van het web is de mannelijke kant, de inslag wordt geleverd door vrouwen. Ook mannen raken verstrikt in de noodzaak zich ‘mannelijk’ te gedragen. Jongens die bèta gaan studeren betalen daarvoor ook hun tol, dus het loutere feit dat er wel eens een leraar is die je tegenwerkt is onvoldoende bewijs.

Het is zonneklaar dat vrouwen bitter te lijden hebben van mannen met acute testosteron-vergiftiging, maar ik denk toch dat direct geweld (in woord of daad) niet het grootste gevaar is. In beschaafde landen kun je je daartegen verdedigen, en beter naarmate het misdrijf openlijker is. Hoeveel succes je hebt hangt ervan af hoeveel beschaving intussen is opgebouwd: tegen het verbod op vrouwenonderwijs door de radicale Islam helpt vooralsnog alleen de kalasnikov, maar ooit komt ook daar de rechter voor in de plaats.

Niet de incidentele oorvijg is funest, maar de constante stroom van subtiele signalen. De druppel holt de steen uit, niet door kracht, maar

door vaak te vallen. Het grootste gevaar schuilt in de indirecte aanval, het schouderophalen, de superieure glimlach, de paniecreactie van pa en ma als hun dochter beter met de computer overweg kan dan zoonlief. De opgetrokken wenkbrauw doet meer schade dan de gebalde vuist.

Een leraar die je niet *au sérieux* neemt, troef je af met een tien voor wiskunde. Een klasgenoot die je ongevraagd beetpakt geef je een labberdoedas. Maar wat doe je tegen een moeder die je een Barbie geeft in plaats van Lego?

## Altijd zeven november

Eigenlijk had ik scheepskapitein moeten worden, althans volgens de astroloog die mijn ouders na mijn geboorte raadpleegden. De toverheks in kwestie was, zoals al haar collega's, sluw genoeg om niet 'matroos' te zeggen: *¡Yo no soy marinero, soy Capitán!* Pa en Ma geloofden in astrale invloeden, dus een astrofysicus in de familie moet een kwelling voor hen geweest zijn, zou je denken.

Integendeel: het verhinderde hen niet om te houden van een zoon die theoretische natuurkunde en sterrenkunde najoeg. En de zoon in kwestie hield van hen, en van de milde mafheid die oneindig veel beter was dan een geloof dat wordt beleden met autobommen en brandstapels. Zij zijn beiden op zeven november geboren, en 't is vandaag (07-11-98) voor het eerst dat ze geen van beiden hun verjaardag meer kunnen vieren. Het is dus passend om te schrijven over twee mensen die hun kinderen ten volle steunden, ook al begrepen zij nauwelijks wat hen bewoog, of wat hun werk was. Want telkens als weer een schuchtere student of een nieuwsgierige vreemdeling vraagt welke invloed bepalend was in mijn jeugd, dan kom ik daarop terug, of ik wil of niet. Dan merk ik vaak dat vele anderen minder fortuinlijk waren.

Uiteraard heb ik de natuurkunde niet doelbewust uitgezocht, en zeker niet om eens buitenissig te doen. Van keuze was geen sprake: ik weet niet beter of mijn maniakale belangstelling voor hoe dingen werken is aangeboren. 't Had ook muziek of Grieks mogen zijn. Omdat ik een stuk jonger was dan de rest van de klas kwam het wel goed uit dat er een extra afstand van *vallus et fossa* tussen mij en de rest zat. Pa en Ma waren zich niet letterlijk van deze dingen bewust, althans daar hebben ze nooit een woord over gezegd, maar ze voelden feilloos aan dat leren een behoefte en een vreugde voor mij was. Zelf snapte ik natuurlijk hoegenaamd niets van mijn motieven.

Natuurkunde was mijn boomhut, gebouwd tussen de dunne takken waar zich wel vogels en kleine aapjes, maar geen logge mensen kunnen begeven. Daar zat ik vaak, in onnozele isolatie: wist ik veel wat de consequenties waren. Pa en Ma hielden hun voeten wèl op de grond zodat ik, eenmaal uit mijn boom geklauterd of gevallen, hun sporen weer kon volgen.

Dat ze niet bijhielden wat ik daar zocht was eigenlijk een groot voordeel, omdat ze zich er ook niet mee bemoeiden. Ik heb studenten en

promovendi gekend die een kanjer van een oedipusprobleem meezeulden omdat vader prof was (moeder prof is niet zo'n probleem, schijnt het – zij zijn bovendien treurig schaars). De afzijdigheid van mijn ouders kwam niet over als een gebrek aan belangstelling, maar als blijk van vertrouwen dat ik niet wilde beschamen.

Uiteraard kwamen de problemen weleens aan de oppervlakte, speciaal als de vooruitzichten voor mijn carrière ter sprake kwamen. Pa zei eens: *Jij wordt nooit professor, want je ziet er niet uit als een professor*. Hij kon zeer zuur zijn, deze vader, maar dat brengt een scherpe kijk op de werkelijkheid vaak met zich mee. En waarachtig, door mijn benoeming als *bijzonder* hoogleraar is weliswaar mijn onderwijslast met honderd procent toegenomen, maar mijn soldij met nul procent – dus een beetje gelijk heeft hij wel gekregen.

Steun van je ouders heb je het meest nodig in het hoger onderwijs, want dat is het moeilijkste wat er is. Als het te makkelijk was, zouden wij de lat opzettelijk nog hoger leggen, want de maatschappij eist van ons (en wij eisen van onszelf) dat dit de hoogste opleiding is. Dus is het onvermijdelijk dat zelfs de hele goede studenten met tegenslagen te maken krijgen. Het blijkt dan ook dat velen die het VWO op hun slofjes deden, zich een rolberoerte schrikken op hun allereerste college astrofysica. En dat blijft zo; sterker nog, wie gaat promoveren krijgt nog eens een extra stortbui over zich heen, want in die fase ben je op jezelf aangewezen en kun je nauwelijks meer je docenten de schuld geven.

In zulke tijden kun je alleen maar terugvallen op je motivering, dus is het ondermijnen daarvan het ergste wat er is. Wie in die nood zijn ouders als vrienden leert kennen, is een bevoorrecht mens. Alhoewel, bevoorrecht? Dat was het woord dat bij me opkwam, maar dat toont aan hoezeer het al gewoon is geworden te verwachten dat ouders hun kinderen niet thuis geven. Niet samen spelen en leren, maar je aanwezigheid afkopen met een knaak voor een ijsje, een geeltje voor de bioscoop, 25 miljoen voor maffe machientjes in het 'museum', 2,5 miljard voor computers op school.

Daarbij komt dat het veel makkelijker is om kritiek op anderen te hebben. En zo wordt een onderwijzer die het been van een gevallen scholier wast, de dag daarop aangeklaagd wegens kinderschennis. In de Amerikaanse afschuifmaatschappij heeft dit verschijnsel groteske vormen aangenomen. In de staat waar ik doceerde is het voorgekomen dat ouders

die het woord ‘seks’ niet uit hun strot konden krijgen, wel een advocaat op de school afstuurden omdat hun kind daar geen seksuele voorlichting kreeg. Het gros van de Hollandse ouders heeft liever een tweede BMW dan een leerkracht erbij in de klas.

De onvoorwaardelijke steun van Pa en Ma miste zijn uitwerking nooit, en was zelfs voelbaar op de Universiteit. Want als je je eigen ouders vertrouwt, vertrouw je ook je wetenschappelijke ouders. Dat waren er geen twee, maar minstens drie (gelukkig nog in leven).

Tini Veltman heeft mij de ogen geopend voor het feit dat natuurkunde een menselijke schepping is. Niet het toepassen van een soort ‘algebra der ontdekking’, maar vallen en opstaan, *heel veel* vallen en opstaan, brengt ons voorwaarts. Dat ik ondanks al die blauwe plekken kon verdergaan heb ik vooral aan zijn voorbeeld te danken.

Fred van der Blij wist dat de mens een soort lanceervenster heeft tussen het vijftiende en vijfentwintigste jaar, waarin men alles moeiteloos in zich opneemt. Hij heeft mij midden in dat venster een geweldige zet gegeven naar het abstracte firmament van de wiskunde. Het duizelt me nog, maar ik hoop het vliegen nooit te verleren.

Van Henk van Bueren leerde ik hoe een fysicus kan proberen vat te krijgen op dingen die onaantastbaar ver weg staan. Bovendien bezit hij een humoristische vorm van scepsis die mijn luchtballon, als die te vervaarlijk opzwol, kon doorprikken zonder dat de knal mij blijvend verdoofde.

Dat alles is verankerd in mijn thuis. Ooit heeft Ma tegen mij gezegd: *Al doe je de gekste dingen, je blijft er een van ons*. In een tijd waarin ouders steeds meer van hun taken overlaten aan de moloch van de markt, kan ik niet dankbaar genoeg zijn jegens mensen die zich vierkant hebben opgesteld achter een zoon van wiens werk zij niets konden volgen.

Samen met je kind huiswerk maken, uitstekend. Maar dat kind toch blijven steunen als je zelf van het huiswerk geen lor snapt, dat is pas echt geweldig. Welterusten Pa, welterusten Ma. Bedankt voor alles – ik blijf nog even op.

## Sint Scientius

Op 6 december zijn de batterijtjes van het nieuwe speelgoed op, en de winkels nog niet open voor een verse lading milieuvervuiling. Schuif dan de resten pakpapier op de grond, zet zo'n cylindertje midden op tafel, en gedenk Alessandro Volta. Hij was degene die, tweehonderd jaar geleden, een opstelling bouwde die later door Joseph Beuys als kunstwerk werd geannexeerd: een stapel schijfjes van zink en koper, gescheiden door in zoutoplossing gedrenkte lapjes vilt. De Zuil van Volta was de eerste batterij, en zo danken de gelukkige bezitters van een *pacemaker* hun leven aan een geniale graaf uit Lombardije.

Als Volta had geprobeerd zijn wetenschappelijk onderzoek te rechtvaardigen door naar toekomstige toepassingen in hartstarters te verwijzen, zou men hem voor nog gekker hebben uitgemaakt dan men ongetwijfeld al deed. Een onderzoekvoorstel zijnerzijds zou net zo hard zijn weggelachen als het werk van zijn collega Galvani, met zijn stuiptrekkende kikkerpoten. Iemand die kikkerbiljetjes niet opeet maar met behulp van elektriciteit bestudeert, heeft overduidelijk geen gevoel voor maatschappelijke relevantie.

Knabbelend aan de chocoladeletters hebt u een week lang de tijd om eens stil te staan bij alle andere enorme cadeaus die, bijna altijd in de vorm van fantastisch verpakte surprises, door Sint Scientius aan de mensenkinderen zijn geschonken. Het zijn er zo ongelooflijk veel dat de ontvangers zich zijn gaan gedragen als verwende peuters uit een gezin waar het allemaal niet op kan: nog voor het papier van het ene pakje is afgescheurd, slaan ze hun grijphandjes al uit naar het volgende. Zoals het dwergje Piggelmee, die eens een visje van de dood redde. Uit dankbaarheid liet de vis een wens van de dwerg in vervulling gaan: een nieuw huisje, ofzo. Maar niet zodra woonde hij daar of Piggelmee kwam terug om meer te vragen. Meubels, kleding, bedienden, goud, landerijen. En het was nooit genoeg. Totdat de vis er tabak van kreeg en een storm opriep die de hele santekraam tot aanvaardbare proporties terugbracht.

Maar laat ons blij blijven: Sinterklaasavond is een feest, dus we gaan een paar geschenken uitpakken en net doen alsof wij ze voor het eerst krijgen. Ik neem er maar één; het overpeinzen van de rest is huiswerk voor morgen. Pak dus dat mooie nieuwe GSM-metje uit de doos en leg het midden op tafel. Het opgestoken vingertje valt direct op. Het wijst,

als een groetende soldaat van het Leger des Heils, naar de hemel als u het toestel gebruikt. Daar in die hemel zit geen geest van welke soort dan ook, maar een communicatie-satelliet die, na een paar tussenstappen, zowel geleerdheid als gebeuzel getrouw doorgeeft naar de andere kant van de wereld. Die satelliet is uitgevonden door Arthur Clarke. Hij merkte op dat volgens de Derde Wet van Kepler een voorwerp, bewegend in een cirkelbaan op ongeveer 30.000 kilometer boven het aardoppervlak, stilstaat aan de hemel als een kunstmatige ster. Net dicht genoeg bij om met een zender te bereiken, net ver genoeg weg om vanaf bijna de helft van de Aarde gezien te worden. Ideaal als zend/ontvangstation.

Wij laten een bijbehorend sinterwetenschapscadeau, de radiocommunicatie, even liggen voor morgen, en gaan het GSM-toestel helemaal uit elkaar halen. Dat geeft niets: de Sint die het u gaf heeft het immers gratis gekregen bij een bel-abonnement. De batterijtjes bespraken we al eerder. De micro-electronica en soortgelijke wonderen laten we ook voor wat ze zijn: wetenschap in werking, rotsvast geplant op een fundament van nutteloze nieuwsgierigheid. Als we het apparaat hebben gedemonteerd zoals een dankbare vierjarige doet met verse sinterklaaswaren, zijn door het bos van draadjes en *chips* de twee wetenschappelijke woudreuzen die erin zitten bijna onzichtbaar.

De eerste heet: stemverwerking. Mensen willen elkaar herkennen. Wie opbelt, wil dat ook, maar zonder beeld moet het geluid alle herkenbaarheid dragen. Welke delen van onze stem zijn het meest karakteristiek? Hoe moet je die oversturen zonder dat geliefden en vijanden allemaal klinken als dezelfde Donald Duck? Een onontwarbare kluwen van psychologie, biologie en signaalverwerking zorgt ervoor dat de akoestische nestgeur van bellers redelijk getrouw wordt overgebracht. En door alleen dat deel van een stem over te brengen dat de grootste herkenbaarheid bezit, kan de telefoonmaatschappij nog een besparing maken ook.

De tweede woudreus is nog minder zichtbaar, want wiskundig: codering met foutcorrectie. Met ieder signaal komt wat ruis mee. Die ruis wordt, bij het doorgeven van het bericht, keer op keer versterkt, zoals een bericht dat tijdens een gezelschapsspel van persoon naar persoon wordt doorgefluisterd. Hoe kan het dan dat bellers in Tokyo en Twello toch beiden duidelijk doorkomen? Hoe kunt u een megabyte computer-document van het Internet gappen zonder dat er één enkele van die acht miljoen bits verkeerd staat? Dat kan doordat tal van abstract-wiskundige stellingen

hier hun tastbare toepassing krijgen. Zonder die wiskunde was uw GSM ongeveer even betrouwbaar als het hemelwaarts opgestoken vingertje van de gelovige. En terwijl u aan het bellen bent, is het DNA-molecuul en zijn helpertjes in uw lichaamcellen druk bezig met een biologische toepassing van dezelfde abstracte principes.

Zonder Sint Scientius is onze maatschappij, Sint Nicolaas inclusief, niet meer levensvatbaar. Dat is best, want beide bejaarden zijn in hun diepste wezen onzelfzuchtig. Helaas hebben mensen in de loop van de tijd aan Sint Scientius ook andere eigenschappen van heiligen toegeschreven. Wetenschap lijkt griezelig en doet dingen die zo dicht bij wonderen staan dat ze er soms voor worden aangezien. En net als de heiligen des geloofs, wordt de wetenschap te pas en te onpas aangeroepen. Dus doet een zeepsopfabrikant zijn reclamemakers voorkomen als Nobelprijs-winnende scheikundigen. Niet alleen om waskracht te suggereren, maar vooral de denkkraft van de geniale chemici erachter. “Wij van Hamsterpenis adviseren. . . Hamsterpenis!”

Evenwijdig daaraan loopt een bloeiende handel in relikwieën. Een voorbeeld daarvan zijn de bovengenoemde installaties van Beuys. En zoals uit de verzamelde stukjes van het Ware Kruis een vloot zo groot als de Armada gebouwd kan worden, zo bevatten de warhoofdige geschriften van Foucault tot New Age een onmetelijke stapel van links en rechts opgeraapte wetenschappelijke termen. Als ik een kwartje kreeg voor elke keer dat de equivalentie van massa en energie volstrekt in het wilde weg werd aangehaald, was ik miljardair.

Tenslotte, en vooral, verwachten de gelovigen dat de heilige hun eigen stommiteiten en schurkenstreken goedmaakt. Verwende snotapen kun je op pakjesavond de sleutels van het paradijs geven, maar het is *nooit genoeg*. Niet zodra was de penicilline ontdekt, of de maatschappij is er zo mee in het rond gaan smijten dat de bacteriën resistent werden, en men eist een nog groter wondermiddel. Dat *moet* er komen, en wel op staande voet, anders vervalt je subsidie van de stichting Nuttig Wetenschappelijk Onderzoek. Als Piggelmee zijn treurige afwisseling van dreigen en drentzen niet staakt, rest de Sint nog maar één middel: de roe.

## Voor een negenjarige

Gefeliciteerd met je verjaardag. Fijn dat je ouder geworden bent, dat doe ik zelf ook graag. Leven is heel leuk, heus, je kunt het niet genoeg doen. En fijn dat je niet wijzer geworden bent, dat doe ik zelf ook niet. Ik hoop dat ook jij het afgelopen jaar steeds hebt nagedacht over Alles Wat Er Is. We hadden al besproken dat het Heelal bestaat uit *deeltjes, ruimte en tijd*. Ik had je toen beloofd dat ik verder zou vertellen over die laatste twee. Heb jij inmiddels over die deeltjes doorgedacht? Ik hoop dat je net zo hard gelachen hebt als ik over die malle mevrouw die beweerde dat er vrouwelijke en mannelijke deeltjes bestaan. En dat je haar, met alle andere Ouderen & Wijzeren (O&W) maar hebt laten kletsen terwijl jij lachte en nadacht (dat gaat uitstekend samen).

Maar goed, over ruimte en tijd dus. Eerst even iets afspreken: vanaf nu, als ik ‘ruimte’ zeg, bedoel ik eigenlijk ‘ruimte en tijd’. Die zijn net zo sterk met elkaar verbonden als boven & onder, links & rechts: de een kan niet zonder de ander. Hoe dat precies zit, leg ik misschien later wel eens uit.

Net als de vorige keer waarschuw ik je: *natuurkunde is niet moeilijk, maar vreemd*. En na die vreemde deeltjes van verleden jaar komt hier de vreemdheid van vandaag: de zin “het Heelal bestaat uit deeltjes, ruimte en tijd” moet je *letterlijk* zo opvatten. Als je weet hoe je het moet aanpakken (en daar gaan we het over hebben) is ruimte net zo tastbaar als hout. Dat je het niet kunt zien zegt niks: als je kat de kamer uitloopt zie je ’m ook niet, maar hij bestaat nog wel. In de oertijd dacht men ook dat lucht ‘niets’ is, ondanks dat men de wind toch duidelijk kon voelen, vogels kon zien vliegen, en best wist dat je lucht moet hebben om niet te stikken.

Ik hoor je al zeggen: als ruimte echt iets is, dan moet het ook merkbare eigenschappen hebben, net als de lucht wind veroorzaakt en je met hout boomhutten kunt bouwen. Gelukkig is dat een makkie, want de belangrijkste eigenschappen van de ruimte kun je zelf meteen nagaan. Pak je schaatsplank uit de kast, zoek buiten een mooie vlakke stoep of plein, stap op en zet je af. Let goed op! Niet alleen op wandelaars en pizzakoeriers, maar vooral op jezelf. Wat gebeurt er met je als je van de ene plek naar de andere zoekt? Nou, *niets*. Dat is zó gewoon dat je het niet gek meer vindt. Maar je hebt zojuist een van de vreemdste eigenschappen van de

ruimte gemeten: alle plekken in de ruimte zijn hetzelfde, het maakt niet uit waar je staat. De ruimte is *homogeen*. En het wordt nog mooier: nu je toch stilstaat, draai je eens om je as, zodat je achtereenvolgens alle hoeken van het plein te zien krijgt. Wat gebeurt er? Alweer *niets*. Alle *richtingen* in de ruimte zijn hetzelfde, de ruimte is *isotroop* (de leraar Grieks wil je die woorden wel uitleggen).

Als je door de ruimte wandelt doe je eigenlijk een natuurkundeproef. Let op: als je van het ene punt naar het andere gaat, verander je niet plotseling in een pompoen, zoals de koets van Assepoester. Het kàn best, het is ook makkelijk voorstelbaar (ooit geloofde ik zelfs in Sinterklaas), maar het gebeurt niet. De homogeniteit van de ruimte is zó maf dat het je niet eens opvalt! Het echte wonder is ‘onzichtbaar’. *Wonder en is gheen wonder*, was de lijfspreuk van de beroemde Simon Stevin (van wie je op school alleen hoort vanwege zijn zeilwagen, maar dat was gewoon een zomerspelletje). Letten op zulke wonderen is de taak van de kunstenaar en van de natuurkundige.

Omdat de ruimte homogeen is, heeft het geen zin om bewegingen te beschrijven door alleen de plaats van dingen aan te geven. Maar het wordt nog gekker. Vooruit, je schaatsplank op, en zoef van de ene kant van het plein naar de andere. Tegen lastige wandelaars roepen: ‘Opzij, natuurkundeproef! Vliegend huiswerk!’ Wat gebeurt er? Alweer *niets*, dat wist je al, maar nu heb je geleerd om extra goed op te letten. Je merkt dat de wereld om je heen er nog steeds hetzelfde uitziet, ondanks dat je voortdurend van plaats verandert. Kortom, je beweegt met een zekere snelheid en nòg gebeurt er niks! Doe je ogen maar dicht als je durft, het maakt niet uit of je beweegt of stilstaat.

Niet alleen de plaats waar je staat doet er niet toe, het maakt ook niet uit of je beweegt. Zoiets noemen wij *relativiteit* (lerares Latijn vragen!) Pas in de zeventiende eeuw kwamen we daar achter dankzij Huygens (en eerder Galilei). Daarom zijn zij helden voor ons, en wat je op school over die tijd hoort (de koloniale plunderingen van de VOC enzo) vinden wij niet zo heldhaftig.

Het maakt niet uit of je beweegt of stilstaat. Tenminste, zolang je met constante snelheid beweegt, want als je aan de rand van het plein tegen een bankje opknalt merk je wèl iets. Au! Een harde maar leerzame manier om een nog groter wonder te ontdekken. Nooit vergeten: een snelheid merk je niet, een verandering van de snelheid wel. Zo’n verandering heet

een *versnelling*. Conclusie: bewegingen moet je niet beschrijven door de plaats of de snelheid van dingen in de bewegingswetten op te nemen. Alleen de verandering van de snelheid speelt een rol.

Voor die beschrijving moet je dus een formule bedenken waarin al die versnellingen bij elkaar worden opgeteld. Dat is bijzonder lastig, maar we weten nu hoe het moet dankzij Leibniz en Newton (weer twee helden), en zo kunnen we raketten naar Jupiter sturen die op een afstand van een paar miljard kilometer aankomen met een precisie van een paar honderd meter.

De Natuur heeft ons een prachtige kool gestoofd. In plaats van voor eens en voor altijd vast te leggen wat de positie van de dingen is, in plaats van vast te leggen wat de snelheden van de deeltjes zijn, gaat het om veranderingen, om *versnellingen*. Omdat het niet om absolute waarden gaat maar om relatieve, zijn er talloze mogelijkheden voor bewegingen, oneindig veel! Als alleen de absolute plaats telde, was dat niet zo. Net zoals jij, op een vaste plaats zittend in de klas, minder interessante mogelijkheden hebt dan vrij lopend buiten.

Nu zit je daar naast dat bankje je blauwe plekken te wrijven, en denkt: goed dan, die malle ruimte is homogeen, en we hebben die relativiteit volgens Huygens. Maar blijkbaar gebeuren er pas interessante dingen als de snelheid verandert. Hoe zit het daar dan mee?

Dat is nog veel gekker en nog veel mooier, en daarover vertel ik later nog. Nee, ik beloof dat ik je niet zal laten wachten tot je volgende verjaardag! Laat me je vast een idee geven waarover het gaat, dan kun je er vast zelf eerst over nadenken (dat is altijd het beste). Eigenlijk is de ruimte namelijk helemaal niet homogeen, maar dat heeft de Natuur zó listig verborgen dat het tot 1916 heeft geduurd voordat Einstein het ontdekte.

Ruimte en tijd zijn echt, het is bouw materiaal, net als baksteen en cement. En je kunt er dan ook net zo over praten. Als jij architect wilt worden (ik hoop dat je natuurkunde spannender vindt, maar doe vooral je eigen zin), dan kun je de bouw van een huis beschrijven door alle stenen te nummeren en op te schrijven welke nummers naast elkaar gemetseld zijn. Er zijn rijke Amerikanen geweest die zo hele bruggen en andere gebouwen steen voor steen uit Europa naar Amerika hebben gebracht en daar weer opgebouwd.

Dat kan je met ruimte ook doen. Het is eigenlijk nog eenvoudiger dan die Amerikaanse bouwdoos: je kunt de structuur van de hele ruimte in

kaart brengen door op te schrijven wat de *afstand* is tussen elk paar punten in de ruimte. Dat is ontdekt door Einstein en door Minkowski (twee van onze helden). Simpeler kan al bijna niet! En wat dat met versnelling te maken heeft vertel ik later.

Denk jij intussen na over wonder-en-is-gheen-wonder. Je zult het helemaal zelf moeten opknappen, want als je echt iets wezenlijk nieuws wilt doen, vertrouw dan niet op volwassenen. Die zijn alleen uit op nut en winst. Alle kunst en alle wetenschap moet eruit, maar wel een kale kantoorflat 'Einstein' noemen. Ga jij nou maar lekker door met leven en leren, en als je later ècht iets nieuws ontdekt, is het jouw beurt om het aan acht- en negenjarigen uit te leggen. En neem dan meteen even de moeite om het aan een bejaarde zoals ik te vertellen. Ik hoop dat ook ik het dan zal begrijpen.

## Humorloze harken

De wiskundige Brouwer wilde, samen met nog wat andere denkers, onze taal zo herscheppen dat geen misverstand meer mogelijk was. Dat betekent het volledig omgooien van de grammatica, niet in de zin van het makkelijker maken door onregelmatige werkwoorden en verbuigingen te verwijderen (zoals in het Esperanto), maar een complete herdefinitie. En ik vermoed dat hij, zoals alle wereldverbeteraars, zijn *Diktat* met draconische dwang aan de wereld had willen opleggen.

Die peilloze arrogantie, die superbe wereldvreemdheid, en vooral die ontzaglijke domheid: zo iemand moet wel een genie zijn, te doen alsof de taal eigendom is van hem en zijn kompanen. Het is helaas geen zeldzame afwijking, want met de spelling is zo iets al gebeurd. Een half dozijn kamergeleerden, in dienst van een ter zake onkundige staatssecretaris, zadelden ons op met nooit uitgesproken lettercombinaties. Nieuwslezers zijn zelfs al begonnen die afwezige tussen-N hardop uit te spreken. Alle Nederlanders die nooit een boek lezen of schrijven, waaronder de bazen van de kranten, dwongen de echte schrijvers deze ‘pannenkoeken’ te slikken. Gretig pakten de middenstanders de kwast om het op winkelpui en menu alvast te ‘verbeteren’.

Zo’n ingreep kun je van ongeletterden verwachten, vooral van politici ter linkerkant, voor wie de uitbundige veelheid van het leven nu eenmaal altijd teveel is. Maar wat mij steeds weer verwondert is, dat mensen die toch voor intelligent doorgaan keer op keer zulke oliedomme dingen voorstellen. Het gaat hier niet om een smaakkwesie, zoals wanneer iemand ons wil overhalen om Haags of Fries te spreken. Het verbijsterende is dat zo iemand niet ziet, ja zelfs zich helemaal niet afvraagt, wat nu eigenlijk de *functie* van de taal is, en waarom die taal zo wendbaar is. Hij verdiept zich niet in de oorzaak van het misverstand. Geen wonder, trouwens, dat zulke mensen bijna altijd humorloze harken zijn, want aan het misverstand dankt de humorist zijn boterham.

Het misverstand is een onvermijdelijk bijproduct van de prachtige plooibaarheid van de taal. Die omvat een balans tussen onduidelijkheid en precisie, waardoor je op bijna elke onverwachte gebeurtenis, ja zelfs emotie, bent voorbereid. Je kunt altijd ‘pyjamapaard’ zeggen tegen iemand die niet weet wat een zebra is, en daarmee ben je al ver over de helft van de beschrijving. En juist daarom kan een natuurlijke taal niet eenduidig

zijn: uit staalplaat snijd je geen maatpak, uit wol wel.

Die wiskundige bedrijfsblindheid mist en miskent een van de prachtigste producten van de culturele en biologische evolutie: de menselijke taal. Het adembenemende evenwicht tussen meestal-duidelijk en soms-vaag in de taal is niet door een uitvinder uitgekiend, zelfs niet door iemand met een talenknobbel. Het is vanzelf ontstaan, omdat dat het beste bleek te werken. De Neanderthaler die voor het eerst een tijger zag, en riep “Pas op! Een gestreepte leeuw!” had een goede kans om te overleven. De jager die terugriep “Wablief?” of erger nog “Definieer dat eens!” werd opgepeuzeld. Net goed: aan het yin-yang van duidelijk-vaag danken wij de letteren, de dichtkunst, de lol in ons leven.

Het bezit van taal is nu juist wat onze diersoort maakt tot wat hij is, niet het rechtoplopen, de opponeerbare duim of de relatieve schedelinhoud. Wie dat niet ziet, mist en miskent de evolutie als geheel. Zo iemand zou alles het liefst willen ontwerpen, van te voren vastleggen in protocollen en bestekken, zoals architecten er nooit in slagen om iets te laten evolueren, maar altijd meteen beginnen te slopen om hun nagelnieuwe bedenkssel te kunnen neerzetten.

Zonder evolutie werkt niets naar behoren, want wie kan alles voorzien? Als je alles wilt ontwerpen ben je verplicht om overal wat op te verzinnen. Zo hebben mensen hun hele keuken vol staan met toestelletjes die per stuk maar één ding kunnen, zodat je voor het maken van een pannetje groentesoep een heel arsenaal apparaten nodig hebt. Terwijl het met een enkel koksmes, en wat ervaring en geduld, minstens zo goed gaat en je maar één ding af te wassen hebt.

De Natuur werkt niet volgens plan, en daarom werkt alles zo mooi. Als DNA exact gekopieerd zou worden heb je de dood in de pot. Letterlijk, want een diersoort die slechts onder scherp bepaalde omstandigheden kan bestaan legt het loodje tijdens een wat droge zomer, een iets te strenge winter, een beetje natte herfst. Een van de redenen dat computers zo stuitend dom zijn, is nu juist dat ze ontworpen zijn om nooit fouten te maken. Dat maakt ze bijzonder nuttig, dat wel, maar ook buitengewoon stompzinnig.

Door die combinatie van nauwkeurig en vaag werkt ook ons immuunsysteem, want wie weet welk akelig virus je ooit nog eens kan tegenkomen? Hoe kun je je medicijnkast vullen als je niet vantevoren een volledige lijst hebt van alle mogelijke ziekten en hun remedies? Het lichaam van gew-

ervelde dieren heeft daar een schitterend systeem voor gebouwd, door een betrekkelijk beperkt aantal kleine moleculen in talloos veel combinaties samen te stellen tot grote. Dat geeft ook misverstanden, zoals auto-immuunziekten, waarbij het geschut van het lichaam op de eigen troepen gaat paffen.

Dat een wiskundige niet weet hoe zijn erfelijk materiaal of afweersysteem werkt geeft niets; dat heeft hij gemeen met 99,99% van de mensheid. Maar over die taalkwestie had een wetenschapper beter kunnen weten, door te rade te gaan bij zijn eigen vakgebied. Want ook de wetenschap werkt onveranderlijk met een losse combinatie van precisie en vaagheid. Het bedrijven van wetenschap is niet het toepassen van een soort ‘algebra der ontdekking’, maar een nogal chaotische en vooral opportunistische zwerftocht. Onzekerheid in de wetenschap is troef, en het besef daarvan is het begin van alle wetenschappelijke vooruitgang. Natuurlijk is er onzekerheid in soorten en maten; aan het feit dat alles omlaag valt bestaat nauwelijks twijfel, maar hoe een quark er van binnen uitziet weet voorlopig nog geen mens.

Desondanks heeft het waanidee dat wetenschap volgens plan zou kunnen verlopen zich als een poliep in Nederland vastgezogen, zoals het taalherformingsplan destijds in het hoofd van een paar idealisten. Zeker, je kunt besluiten voortaan alleen geld te geven aan plannenmakers, ‘topscholen’ en wat al niet. Maar geen plan kan rekening houden met het onbekende, met de geniale greep, met de individuele inval. Dus staat planwetenschap gelijk aan het subsidiëren van de middelmaat, even verstikkend als plan-economie. Alles draait daar om wat in bobo-jargon ‘verslaglegging’ heet, stapels papier vol ronkende vaagheden, waarin elke wezenlijke vernieuwing in de kiem wordt gesmoord.

Zelfs al zou je een wiskundige kunsttaal verzinnen die vrij is van misverstanden, dan nog helpt dat geen zier, want taal wordt gesproken door mensen. Het is dus *sowieso* een illusie om te denken dat je alle misverstanden kunt uitbannen via die taal: je zou ook aan de mensen zelf moeten sleutelen, door op de een of andere manier hun schedel lichten. Met de grammatica is het ze niet gelukt, maar de spelling wordt al gedictreed door dorre geesten. Over hen zei R.W. Emerson: *A foolish consistency is the hobgoblin of little minds* (de ongeletterden in kwestie kunnen de vertaling tegen passende vergoeding bij mij aanvragen). Zelfs de onnozelse bushalte wordt tegenwoordig hufterbestendig gemaakt. Onze

taal is die moeite blijkbaar niet waard.

Hetzelfde geldt voor de wetenschap; want zoals taal een brug is tussen mensen, zo is wetenschap een brug tussen de mens en de wereld. De meest wonderbaarlijkste verrassingen liggen verscholen tussen Aarde en Oerknal, en dus is een gereguleerde wetenschap zo dood als perfect kopiërend DNA. Ik weet inmiddels wat de regelneven de wetenschap hebben aangedaan; ik durf er bijna niet aan te denken wat zij met onze hersenen van plan zijn.

## Wat doet de Lambda?

“Nou ja – was Sluijters linkshandig?” riep ik tegen niemand in het bijzonder, even vergetend waar ik was. De heer die naast mij stond keek me aan of ik hem op zijn tenen had getrapt. Verder had hij niets gemerkt, maar het palet van de schilder – dat in het Singer Museum koekig en korstig in een vitrine hing – was toch duidelijk voor de rechterhand bedoeld. Door mijn vader, die Sluijters vurig bewonderde, had ik veel over hem en zijn werk gehoord en gezien; maar dit nog niet. Er was ook verder veel nieuws voor me bij; en daarnaast ook een zeer vertrouwd beeld, het sublieme portret van Willem de Sitter, bij leven directeur van Sterrewacht Leiden. Zo hoort een professor eruit te zien, vond mijn Pa, en dat vond Sluijters kennelijk ook. Zo zág hij er uit, en zo was hij werkelijk, volgens zijn kleinzoon Reinold: de quintessentiële geleerde, die even opkijkt van zijn berekeningen en zijn arendsblik boort in de haviksogen van de schilder.

De Sitter was een van de eersten die Einsteins Algemene Relativiteitstheorie begreep en serieus nam. Deze theorie is een van de wonderbaarlijkste bedenksels aller tijden: ruimte-tijd (het *vacuüm*) speelt daarin een actieve rol. Het vacuüm is geen lege ruimte, een soort onzichtbaar grafiekenpapier waarop ons Heelal is getekend, een onbevolkte arena waarin de deeltjes hun weg gaan. Het is geen wiskundige abstractie, maar bouw materiaal, waar ons Heelal mee is geconstrueerd.

Einstein liet zien dat je over de ruimte dezelfde vragen kunt stellen als over de deeltjes waaruit de materie bestaat: hoeveel is er van, wat is de structuur, hoe beweegt dat allemaal. Einsteins theorie bewees dat zwaartekracht slechts een historische naam is voor de structuur van het vacuüm. De lijnen van ruimte en tijd zijn geen denkbeeldige curven, maar even tastbaar en vervlochten als de wapeningsstaven in beton. En zoals de betonvlechter en de bekistingmaker de meest gedurfde constructies uitvoeren, zo ook gebruikte De Sitter ruimte en tijd om, uitgaande van Einsteins formules, het Heelal te bouwen. Niets minder: ook nu nog heet een van de mooiste oplossingen van de Einsteinvergelijkingen het “De Sitter heelal”.

Hoe onsterfelijk kun je zijn? Dat schilderij, die heelalmodellen – *ces hasards ne sont que pour ceux qui jouent bien*. De grootheid van De Sitter blijkt niet alleen uit zijn vaardigheid met technisch razend moeilij-

jke formules, maar vooral uit zijn onverschrokken houding tegenover een van de meest bizarre delen van Einsteins theorie. Daarin wordt ruimte en tijd als bouwstof ingevoerd, die bovendien ook nog massa en energie bezit. Niet *bevat*, maar *bezit*: het gaat hier om de massa van de ruimte zelf, aangegeven met het getal ‘Lambda’ (Lambda, zou mijn leraar Grieks hebben gezegd). In de relativiteitstheorie heeft *alles* massa en energie, dus waarom zou het vacuüm niet mogen meedoen? Als Lambda nul zou zijn, zodat ‘de ruimte niets weegt’, dan zou dat als aparte natuurwet moeten worden ingevoerd.

Het De Sitter model is een soort blauwdruk voor de bouw van ons Heelal. De tekening zelf blijft altijd gelijk; de enige verandering is de schaalfactor. Stond er vandaag ‘schaal 1:100’, dan stond er twee miljard jaar geleden ‘schaal 1:85’, en twee miljard jaar na nu zou er bijvoorbeeld 1:110 hebben gestaan. De schaalfactor beschrijft hoe het Heelal uitdijt. Maar die uitdijning blijft niet altijd hetzelfde. De evolutie van het vacuüm wordt bepaald door drie getallen: de snelheid van de uitdijning op een gegeven moment (het ‘Hubble getal’), de dichtheid van massa-energie in de vorm van deeltjes (genaamd ‘Omega’), en de massa-energie van het vacuüm, Lambda.

Wat doet de Lambda? Laten wij De Sitter zelf aan het woord, geciteerd in het *Algemeen Handelsblad* van 9 juli 1930: “Wie blaast echter de bal op? Wat maakt dat het heelal uitzet, of opzwellt? Dat doet de Lambda - een ander antwoord is niet te geven.” Jarenlang was Lambda een fel omstreden grootheid. In mijn proefschrift haalde ik er een paar kunstjes mee uit, en een Amsterdamse hoogleraar – zo hoorde ik later langs een omweg – ontstak bij lezing daarvan in grote woede. Dat type reactie was meestal zo’n beetje de norm van de discussie.

En nu ineens is Lambda weer in de mode. Sterker nog, een kleine groep astronomen heeft met veel fanfare aangekondigd dat zij de waarde van Lambda hebben gemeten. Overtuigd door deze ketelmuziek riep het tijdschrift *Science* de vondst uit tot de ‘ontdekking van het jaar 1998’.

*Maar ik geloof er niets van.* Vooral omdat ik een zuurpruim ben, met een onaangenaam goed geheugen. Zo herinner ik mij dat precies hetzelfde geschetter een jaar of vijf geleden klonk over het Hubble-getal. Een stel waarnemers beweerde te hebben gemeten (met de Hubble Ruimte Telescoop! Nee, dan *moet* het wel waar zijn!) dat dit getal extreem groot zou zijn. Zo groot, dat de leeftijd van het Heelal – die kun je daaruit bereke-

nen – extreem klein moest zijn, zo klein dat het Heelal jonger was dan de oudste ster. Nou, dat was een revolutie. Maar sindsdien hebben we er minder en minder van gehoord. De kletsmaajoors hebben op kousevoeten de aftocht geblazen. In elke volgende publicatie ging er een plakje van hun sensatie af, totdat er niets meer van over was: de wetenschappelijke kaasschaaf-methode.

Het leverde mij een leuk stel flessen op, gewonnen met diverse weddenschappen, maar zelfs goede wijn is geen remedie tegen de ergernis over modieuze schijn. Ik maak me er vooral zo kwaad over omdat zulke dingen bij het algemene publiek de verkeerde indruk wekken over het wetenschappelijk bedrijf. Men denkt toch al teveel dat het allemaal revolutie is wat de klok slaat.

Maar er zijn zwaarwegender redenen om zeer kritisch te zijn over dat Lambda-verhaal. Ten eerste is er de omstandigheid dat, volgens de waarnemers, de hoeveelheid massa in het vacuüm bijna exact gelijk is aan de massa die in de deeltjes van het Heelal zit opgesloten. Uit het De Sitter model weten wij, dat dit een buitengewoon groot toeval is: slechts gedurende een kosmisch gezien verwaarloosbaar stukje tijd zijn die twee zowat gelijk. En nèt op dat moment zette de evolutie ons op het toneel. Darwin, bedankt! Het is zoals De Sitter zei: de Lambda blaast het Heelal op, sneller en sneller. Het ploft exponentieel uit elkaar, niet zoals een bom – waarvan de scherven allengs langzamer gaan vliegen – maar hoe langer hoe harder. Dat is een gevolg van het uiterst rare feit dat het vacuüm massa heeft: hoe meer het Heelal uitdijt, hoe meer ruimte er ontstaat; hoe meer ruimte, hoe meer energie; hoe meer energie, hoe sneller de uitdijing. Poef, en wèg zijn wij. Maar we zijn er nog, en dat is in het Lambda-model een buitensporig toeval.

Ten tweede geloof ik niks van die ‘waarnemingen’ omdat wij uit de theorie der elementaire deeltjes kunnen uitrekenen wat Lambda zowat zou moeten zijn. Want ook in die theorie – een combinatie van relativiteit en quantumgedrag – speelt het vacuüm een actieve rol. Paren van deeltjes ontstaan en vergaan, vanzelf, overal, gedurende extreem korte tijd. Het vacuüm is actief, het bevat ‘vacuüm-fluctuaties’, het is nooit echt leeg. Grof gezegd: vanwege de onzekerheid in het quantummechanische gedrag van de deeltjes *weet je nooit zeker* of een gegeven stukje vacuüm wel leeg is. ‘Echt leeg’ heeft dus in de wereld van het allerkleinste geen betekenis meer. Wanneer je nu Lambda uitrekent, kom je op een werkelijk

krankzinnig grote waarde: een massa in het vacuüm die  $10^{118}$  maal zo groot is als de massa in de deeltjes van het Heelal.

Een 1 met 118 nullen. Meestal slaag ik er wel in om zoiets aanschouwelijk te maken, maar hier sta ik paf. Ik ben niet in staat zo'n gigantisch bedrag in menselijke maat te vertalen. Op deze schaal zou dan de 'gemeten' waarde van Lambda ongeveer 1 moeten zijn. Dat is dus eigenlijk niets. 't Zou fysisch gezien evengoed nul kunnen zijn. En volgens mij is het dat ook: het Heelal geeft ons een krachtige vingerwijzing dat de ruimte echt niets weegt. En, zoals gezegd, dat is een extra natuurwet. Het moet iets buitengewoon dieps betekenen over de samenwerking tussen deeltjes, ruimte en tijd. Op de een of andere manier zorgt de Natuur ervoor dat die vacuüm-fluctuaties geen invloed hebben op het Heelal als geheel. Maar dat is baarlijke nonsens, want in het laboratorium zijn de gevolgen van dat niet-lege vacuüm wel degelijk gemeten (het Casimir-Polder-effect).

Al jaren probeer ik dit te doorgronden. Vergeefs. "Zulk geluk valt alleen goede spelers ten deel" – mij dus niet. Als ik mijn frustraties daarover in arbeid zou omzetten, kon de Universiteit Leiden al zijn papierversnipperaars naar de lommerd brengen. En dan mogen ze nog van geluk spreken dat ik me tot oud papier beperk: ik heb zo af en toe de neiging om mij uit te leven op hen die mij in januari steeds weer vragen een jaarverslag te maken. Het zou verstandiger zijn als ik een voorbeeld nam aan De Sitter: maak je niet kwaad, kijk de ander even recht in de ogen, en ga door met je werk. Want hoe kan ik zoiets uitleggen? Waarom vind ik het mateloos boeiend dat de ruimte niets weegt? Om dezelfde reden dat ik het spannend vind dat Sluijters schilderde met zijn linkerhand. Toen ik een paar jaar geleden voor een operatie in een ziekenhuis moest worden opgenomen had ik een lang voorgesprek met de hoofdverpleegster van de OK. De volgende dag kon ik het natuurlijk niet laten om mijn status in te zien. En daarin stond, in vierkant handschrift: "Patiënt is extreem zenuwachtig. Hij wil *alles* weten."

## Zoek het paard

Willie Wortel, uitvinder te Duckstad, geeft zichzelf een klap met een hamer op het hoofd om zijn gedachten los te maken. In een wereld waarin men onbeschadigd door deuren heen kan springen, een eendvormig gat in het eikehout achterlatend, is dat misschien een goede methode. Maar menselijke onderzoekers moet het worden afgeraden. Einstein noch Feynman kwam op geniale ideeën door zelfkastijding, alcohol, bidden of marihuana. Toch blijft de vraag die een wetenschapper steeds te horen krijgt: hoe doe je dat nou? Hoe kom je daarop?

Niemand die het weet, maar het gaat ongeveer zo, tenminste in het stukje van de natuurkunde waar ik wat verstand van heb. Over honderd jaar, als *homo sapiens* uiteindelijk is geslaagd in zijn zelfmoordpogingen, landt een Jupiters ruimteschip op de overwoekerde bult waar eens Leiden lag. Een ruimtereiziger stuit in de resten van mijn studeerkamer op 31 vreemd gevormde stukjes hoornachtig materiaal. Zestien ervan zijn zwart, vijftien wit. Als de vinder ze op een rij zet, blijkt dat bij iedere witte figuur een zwarte hoort, van precies dezelfde vorm. Slechts één zwarte heeft geen witte broeder.

Tot zover was het toeval, maar nu komt de eerste stap, de allerbelangrijkste: de Stap van Nieuwsgierigheid. Wie de hele boel terug op de hoop smijt, zal nooit iets van wetenschap begrijpen. Wetenschap begint met degene die denkt: Hé, da's leuk. Zou er een zestiende wit stukje geweest zijn? Dan komt stap twee: de Wil om te Zoeken. Zomaar voor niks, en niet omdat de Groot-Moefti van Jupiter dat nuttig vindt en er dus geld voor over heeft: zoek uit wat het voor stukje zou kunnen zijn. Hiermee komen we aan stap drie, de meest mysterieuze: de Sprong van de Vondst. Meestal betekent dat: een gelijkenis zien die anderen ontgaat. Picasso zag in een fietszadel een stierekop, en in vier puntbroodjes een hand. In het geval van de 31 stukjes is het makkelijker: de symmetrie tussen zwart en wit valt meteen op, en dus kan het signalement van het ontbrekende stukje met grote precisie worden opgesteld. Dat is dan stap vier: de Voorspelling. Tenslotte komt, als je geluk hebt, nog stap vijf: het Experiment. Groot zijn de blijdschap en de tevredenheid als die ontbrekende witte pion dan eindelijk gevonden wordt.

Zo gaat dat. Het pi-meson, bijvoorbeeld, is een deeltje dat zo'n soort familiegelijkenis heeft. Evenals Kwik, Kwek en Kwak bestaat het in drie

varianten: eentje met positieve lading, eentje met negatieve, en een electricisch neutrale. Het is natuurlijk toeval, maar 't is toch wel leuk dat dat deeltje een *pion* wordt genoemd. Er zijn talloze soortgelijke voorbeelden. Champollion bespeurde een familiegelijkenis tussen hiërogliefen die in een boeketje waren gebonden, en bedacht dat dat misschien de naam van Farao was. Maxwell beschreef electriciteit en magnetisme in een enkele formulering, zodat het verschil tussen die twee – ogenschijnlijk zo groot – werd opgeheven. Mendelejev ordende de scheikundige elementen in een periodiek systeem, en had het lef om in te zien dat zwavel ‘eigenlijk’ net zoiets is als zuurstof. Toch wist hij donders goed dat zwavelwaterstof ( $H_2S$ ) zeer giftig is, en water ( $H_2O$ ) niet.

Maar niet alle ontdekkingen gaan zo recht voor z'n raap. Het kan zijn dat er meer ontbreekt dan alleen de vorm. De gelijkenis kan minder duidelijk zijn, of er is een andere gelijkenis dan de vorm alleen. Bovendien zijn we in de natuurkunde op zoek naar de *regels*, naar het gedrag van de verschijnselen. Stel nu dat in het gevonden schaakspel alle vier de paarden ontbreken. In eerste instantie valt de archeoloog van Jupiter niets bijzonders op. Immers, elk wit stuk heeft een zwarte tegenhanger, het spel lijkt geheel compleet. Lange tijd is iedereen tevreden. Maar dan vindt een vlijtige graver het speelbord, en dat heeft 8 bij 8 vakjes. Eerst heeft niemand in de gaten dat die 4 maal 7 figuurtjes en dat bord iets met elkaar te maken hebben, totdat de een of andere Willie Wortel de inval heeft dat beide getallen een factor 4 gemeen hebben, en dat bovendien 7 bijna gelijk is aan 8. Zou dat toeval zijn? Kan best, maar toch. Tenslotte gaat de onderzoeker proberen te voorspellen wat het ontbrekende stuk zou kunnen zijn.

We vermoeden direct dat er vier van moeten zijn, twee zwarte en twee witte. Maar sommigen zeggen van niet, want de koning en de dame komen ook als enkelvoud voor; waartegen anderen weer te berde brengen dat die twee stukken toch eigenlijk zoveel op elkaar lijken (ze zijn veel langer dan de rest, maar onderling bijna even groot) dat er, in zekere zin, tòch vier van zijn. Zo woedt de discussie voort, en een verstandige Jupiteraan neemt dat zeer serieus maar laat zich niet ontmoedigen. Stel dat er verdere opgravingen gedaan zijn waarbij borden en stukken tesamen gevonden zijn, en dat men uit de posities daarvan heeft kunnen opmaken hoe de diverse stukken bewegen. Daaruit kunnen we iets zeggen over het ontbrekende stuk, alweer door een gelijkenis te zien.

In het geval van de pion werd de symmetrie van de figuren gebruikt om de *vorm* van een gezocht stuk te vinden. Maar abstracter symmetrieën zijn besloten in de manier waarop de stukken bewegen, en symmetrie is dus ook bruikbaar om het *gedrag* van een ontbrekend stuk te bepalen. Het horizontaal-verticaal van de toren, de diagonalen van de lopers, allen tesamen voor de dame: als je dat allemaal weet, hoe zou symmetrie je dan helpen het ontbrekende stuk te vinden? Hier komt de Sprong van de Vondst: blijkbaar hebben alle stukken een verschillend looppatroon. *Welke mogelijkheid zou er nog over zijn?* De zeer regelmatige (in rechte lijnen) zijn allemaal al gebruikt. Misschien heeft het gezochte stuk een onregelmatige gang, om-een-hoekje bijvoorbeeld. En misschien is de vorm van het stuk daar wel een uitdrukking van: niet cylinder-symmetrisch, zoals de rest van de stukken, maar asymmetrisch. Zo kun je zelfs *afwijkingen* van symmetrie (het natuurkunde-jargon is ‘symmetrie-breking’) in je voordeel gebruiken. En zo wordt dan tenslotte het paard ontdekt! De precieze beweging was uit de symmetrie niet helemaal duidelijk – het zou ook drie-recht-twee-opzij hebben kunnen zijn – maar elke Jupiterse wetenschapper zou trots geweest zijn op de vondst.

Voor de beroepswetenschappers is het hiermee nog niet afgelopen. Wij moeten al deze dingen ook nog vangen in wiskunde. Die formules moet je eerst ontdekken en vervolgens nog oplossen ook. Daarbij speelt de computer tegenwoordig de hoofdrol. Als de theorie goed geformuleerd is, moet je kunnen voorspellen hoe het spel afloopt vanuit een gegeven beginstand, je moet kunnen berekenen wie er in een gegeven toestand wint, en zien of de door de archeologen opgegraven stellingen ook inderdaad door legale zetten bereikt kunnen zijn.

De ‘wetenschappelijke methode’ bestaat niet, maar er zit toch een soort systeem in de nieuwsgierigheid, er is orde in de fascinatie. Er bestaat wel een soort Cartesiaanse *méthode pour bien conduire sa raison*. Een wetenschapper laat het niet bij verwondering, maar gaat er achteraan. Tegenspraken en tegensprekers verdienen respect. Kwalitatieve opmerkingen moeten uiteindelijk plaatsmaken voor kwantitatief werk, al moest je er een hele tak van wiskunde voor uitvinden (het is gebeurd, en bij herhaling).

Zo werkt het ongeveer, maar ’t is altijd anders. *De enige regel is: geen regels*, zei mijn karate-leraar steeds. Allicht: als je je plan al hebt klaarliggen, doet je tegenstander het net even anders en knal je met

gebroken ribben tegen de *tatami*. Een algebra-der-ontdekking bestaat niet. Misschien maakt de analogie van het paard dat duidelijk, en ook waarom zoiets onmogelijk te sturen is. Toch krijgen wetenschappers voortdurend bevelen van nep-officieren, vaak in bijpassend steenkolen-Engels. Eisen deze beleidskolonels bijvoorbeeld ‘synergie’, dan zal dat woord tot kokhalzens toe in de onderzoeksvoorstellen gaan voorkomen. ’t Zou een aardige proef zijn om zo’n beleidsstuk stiekem van een volkomen verzonnen woord te voorzien. “Absolute prioriteit zal worden gegeven aan die onderzoeken welke een stymfotische meerwaarde hebben.” Ik geef iedereen op een briefje dat plotseling de hele goegemeente net doet alsof men weet wat dat betekent, en dat het in alle stukken opduikt waar geld wordt gevraagd.

Maar het is onmogelijk om iets wezenlijks te ontdekken door het volgen van een systeem. Dat komt voornamelijk doordat die eerste cruciale stap zich niets van plannen aantrekt. Immers: hoe maak je iemand nieuwsgierig? Hoe je iemand van nieuwsgierigheid afhelpt is wèl bekend: stuur maar naar school. De basisvorming, het studiehuis en de verdere verworvenheden van de maakbare maatschappij verrichten hun nuttige afstompingswerk. Zij hebben in een ommezien het gewenste nivellerende effect, krachtdadig bijgestaan door het televisie-conformisme van de leerlingen, en tot slot wordt elke oorspronkelijke ziel dichtgeschroeid met de vlammenwerpers van hun onophoudelijk pesten.

Ondanks alle tegenwerking van de kleine maatschappij in de klas en van de grote in de ministeries, blijven er altijd mensen die het paard gaan zoeken, die willen weten wat er in dat ontbrekende manuscript van Aristoteles gestaan zou kunnen hebben, of wat er in de eerste quintiljoenste seconde van het Heelal is gebeurd. Beste Willies, mijn broeders en zusters: sla jezelf niet op de kop. Van je medemensen krijg je al slaag genoeg.

## De eekhoornformule

Buitenaardse wezens zien er altijd uit als aardbewoners. Als ze intelligent zijn, lijken ze uiteraard op ons, alleen hun kopjes zijn wat boller en hun oogjes wat groter. Als ze dom maar gevaarlijk zijn, lijken ze op spinnen of kakkerlakken. Wat bij deze verzinsels altijd weer opvalt, is juist dat er zo weinig fantastisch aan is. Je kunt er flink depressief van worden, dat het voorstellingsvermogen van nagenoeg de hele mensheid niet verder reikt dan het verlengen van wat ledematen en het aanbrengen van wat extra ogen.

En dat terwijl we, als je sommige wetenschappers wilt geloven, eigenlijk zouden moeten kunnen uitrekenen welke levensvormen er in het Heelal mogelijk zijn. We hebben immers de formules? En die zijn op zichzelf niet eens zo bar ingewikkeld. Voor ieder atoom in je lichaam schrijf je de regels van de quantumbeweging op. Dat is heel goed mogelijk; niet alleen in principe, maar ook in werkelijkheid. Want die formule, met een paar bijkomende rand- en symmetrievorwaarden, past makkelijk op mijn pasfoto (dan staat daar ook eens wat bruikbaar).

Af en toe kom je een wetenschapper tegen die zich door dit feit laat verleiden tot uitspraken die je anders alleen van geheide malloten hoort. De een schrijft 'dan doorgronden wij de geest van god', de ander mompelt over 'biologie is teruggebracht tot natuurkunde'. Hun tegenstanders komen met even ondoordachte uitspraken over 'reductionisme', 'arrogante wetenschappers' en dergelijke. Tsja: wiens argumenten in kracht tekortschieten, gaat schelden.

Daarop volgt een vreugdeloze en vruchteloze nietes-welles strijd. Enerzijds de holisten en andere gelovigen, die weigeren in te zien dat wij bestaan uit materie, terwijl er geen enkel bewijs is dat er meer nodig is. Anderzijds de overmoedigen die misbruik maken van het onomstotelijke feit dat de Schrödingervergelijking een voortreffelijke beschrijving geeft van atomen en moleculen. Gemakshalve vergeten zij dat je dan eerst de begintoestand van die atomen moet invoeren, en vervolgens de vergelijking ook daadwerkelijk moet oplossen.

Het ene kamp wil materie van een extra geest voorzien, hoewel daar geen dwingende reden toe bestaat; het andere kamp is te dom of te lui om z'n huiswerk te doen, en het echt uit te rekenen. Er is alle reden om de stelling te aanvaarden die De la Mettrie zo vurig verdedigde: de mens

is een machine, zoals het volledige Heelal een machine is. Laten we eens proberen uit te rekenen hoe zo'n machine werkt. Om het eenvoudig te houden bezien wij de eekhoorn. Die bestaat uit een gigantische hoeveelheid atomen, dus de eekhoornformule bevat even zovele componenten.

Een eekhoorn weegt een pond of daaromtrent, en bestaat net als wij grotendeels uit water. Een atoom zuurstof en twee waterstof, voor een gemiddelde deeltjesmassa van  $(16 + 2)/3 = 6$  waterstof-eenheden. Een pond waterstof bevat  $6 \times 10^{26}$  atomen, dus in een pond eekhoorn zitten  $10^{26}$  atomen van diverse soorten: een 1 gevolgd door 26 nullen.

Die Schrödingervergelijking bestaat uit net zoveel delen als er atomen in de eekhoorn zijn. De eekhoornformule schrijf je in een paar seconden op, maar is volstrekt onoplosbaar, al zou je voor je berekeningen triljoenen malen meer tijd gebruiken dan de leeftijd van het Heelal. Dat komt niet alleen doordat de formule uit zoveel stukjes bestaat, maar vooral doordat er onvoorstelbaar veel manieren zijn om die stukjes met elkaar te laten wisselwerken. Om dat in te zien gaan we uitrekenen op hoeveel manieren je de atomen van een eekhoorn kunt rangschikken; daarvan moet er ééntje de juiste zijn. Wanorde is waarschijnlijker dan orde, jawel: maar op *hoeveel* manieren kan de KLM het beest in de papierversnipperaar doorelkaar hakselen? Hoeveel hooi bevat deze hooiberg voor die ene naald? Het aantal manieren waarop je 1 ding op een rij kan zetten is 1. Doe er een bij, dat kan ter linker- of ter rechterzijde staan:  $1 \times 2$ . Nog een erbij, dat kan op drie plaatsen staan: links, rechts, of in het midden, dus  $1 \times 2 \times 3$  mogelijkheden in totaal. Enzovoorts: vijf dingen kun je op 120, tien dingen op 3.628.800 manieren rangschikken. Bij het vermenigvuldigen van 1, 2, 3 tot en met 15 barst je al uit je zakjapanner. Dus het aantal manieren waarop je een groepsfoto kunt maken van al je familieleden op een rij is al effectief oneindig (zoals menig amateurfotograaf al doende ontdekt).

En daar zit hem de kneep: bij een toenemend aantal atomen groeit de berekening sneller dan elke mogelijke rekenmachine. Een 'eekhoorn' van een paar honderd atomen gaat je bureaucomputer al te boven, en we moeten er  $10^{26}$  atomen instoppen om het beest een beetje echt te maken. Het aantal manieren waarop je zoveel atomen kunt rangschikken is wel met een pen te beschrijven, maar nauwelijks te bevatten: niet slechts een 1 met 26 nullen, maar een 1 met  $10^{26}$  nullen.

Ik begrijp dat zulke getallen mensen wanhopig maken, maar ik heb zelf

meer last van een ander soort wanhoop: namelijk dat je zo'n berekening op je slofjes kunt uitvoeren en dat toch die dovemansdiscussie maar blijft voortbroeien. Ja, de eekhoornformule bestaat, en er is er ook een voor de mens. Nee, er is niet de minste kans dat die ooit wordt opgelost, dus het is waanzin om te beweren dat biologie een vorm van natuurkunde is. De eekhoorn, bij het springen van boom tot boom, ondervindt dezelfde zwaartekracht als de Maan. Ik kan in een handomdraai uitrekenen waar de Maan over tien jaar zal staan, maar nimmer waar dat beest over tien seconden zal slingeren. Natuurkunde gaat zo goed omdat fysici zo intelligent zijn geweest de makkelijke berekeningen eruit te pikken. *Science is the art of the soluble*, zei de biochemicus Medawar.

Het is ook diep bedroevend dat de holisten en soortgelijke gelovigen niet eens *proberen* te beseffen hoeveel mogelijkheden er in zo'n verbijsterend groot getal schuilgaan. Een neerbuigende uitspraak van het type 'volgens jullie is de mens slechts stof' toont een schokkend onbegrip van de rekenkunde, en er klinkt een stuitend gebrek aan respect voor de materie in dat 'slechts'.

De berekenbaarheid houdt al heel snel op. Een los watermolecuul is goed te doen, een miljard niet meer, en dat is weer een miljard maal minder dan een microscopisch waterdruppeltje. Alle genen van de piepkleine worm *Caenorhabditis elegans* zijn door Ronald Plasterk en zijn collegae in kaart gebracht. Een sensationele prestatie, waar nog heel veel uit zal volgen. Maar een worm wordt daar niet meer berekenbaar door.

Gedrag is evenmin berekenbaar als vorm. De neuronen van de wormen van het geslacht *Ascaris* zijn volledig in kaart gebracht. Het zijn precies 162 zenuwcellen. Maar als je het bedradingsschema hebt, ben je nog nergens. Het gedrag van die worm is misschien te eenvoudig om boeiend te zijn, ook al kunnen we zelfs dat niet uitrekenen. Neem dan de zeeslak *Aplysia*, een beest van 3 tot 5 kilo met zenuwcellen als kabeltouwen (tot 1 mm doorsnede), die grotendeels in kaart gebracht zijn. Het lieve dier heeft er zo'n 20.000, dus helemaal niks vergeleken met de eekhoorn. Toch heeft *Aplysia* een rijk repertoire aan natuurlijk gedrag, en je kan hem zelfs kunstjes leren.

Als het over mensen gaat wordt het helemaal dol. Nog onlangs beweerden een paar malloten dat Einstein een meetbare 'wiskundeknobbel' had. Jawel, van zo'n zeeslak snappen we nauwelijks iets, maar Einsteins brein hebben we doorzien! Het berichtje is Lombroso waardig – de komkommer-

tijd begint vroeg, dit jaar. Even terzijde: d'aloude Albert was helemaal geen groot wiskundige; hij had tensorrekening en differentiaalmeetkunde geleerd van zijn vriend Marcel Grossmann, die het weer had van Gauss, Riemann en Lobachevskij. Einstein was een supergeniale *fysicus*. Wie denkt dat een dergelijk talent berust op de vorm van zijn *sulcus flauweculus*, mag het zeggen, maar besef wel hoe dat ook alweer zat met die slak. Op welke manier Einstein *werkelijk* bijzonder was, daarvan weten wij hoegenaamd niets.

Het samenstel van atomen dat wij eekhoorn noemen is dus een piepkleine naald in een onmetelijke hooiberg. Volgt daar niet uit dat het dier *ontworpen* moet zijn, gebouwd volgens plan? Tot op zekere hoogte, maar er is geen ontwerper. Het plan ontstaat doordat de eekhoornformule niet in één keer wordt opgelost, maar in kleine stapjes, in de loop van heel veel tijd en met buitensporig veel vallen en opstaan. De gigantische berg mogelijkheden wordt afgegraven door er een vergelijkbare hoeveelheid evolutie tegenaan te smijten. Het toeval, in Griekse tijden de machtigste godin aan wier ingrijpen zelfs Zeus onderworpen was, speelt daarbij de hoofdrol. Alles wat min of meer werkt, mag voorlopig blijven; de rest gaat dood. Een oplossing van de eekhoornformule wordt zo gevonden in het spanningsveld tussen *le hasard et la nécessité*, zoals Monod het uitdrukte. Tegelijk werden nog talloze andere interessante oplossingen gevonden, waaronder die van de mens: onze weg werd geplaveid door de inslag van de Chicxulub asteroïde, die meer dan de helft van de biologische soorten de kop kostte.

En dat allemaal dankzij de verbluffende manier waarop deeltjes, ruimte en tijd samenspannen. 'Er moet meer zijn dan slechts materie' is typisch iets wat je hoort van mensen met een opmerkelijk gebrek aan opmerkzaamheid. Hun tekort aan voorstellingsvermogen uit zich steeds op dezelfde manier: de roep om een extra ingrediënt, een geest, een ziel, een goddelijke inblazing. Dat de wereld geschapen is, is niet op logische gronden uit te sluiten, maar esthetisch gezien is de subtiele materie waarmee ons Heelal is gevuld, ruim voldoende. Een amateurgod moet er dan ook nog een ziel in proppen. Een beroepsgod kan het zonder.

## De Wetten

Bijna twee meter lang is de rij ordners van de Commissie Publiekscontact van Sterrewacht Leiden. Daar bewaar ik fanmail, boze brieven, en ook de theorieën-van-alles die mensen mij blijmoedig blijven sturen. Hoewel je aan die laatste geen touw kan vastknopen, kijk ik er niet op neer. Uit al die enorme hoeveelheid werk, soms in eigen beheer duur uitgegeven, blijkt dat de schrijvers een oprechte belangstelling hebben voor de Natuur, en diep nieuwsgierig zijn naar de manieren waarop het Heelal werkt. Die eigenschap drijft wetenschappers ook, dus wat sentiment betreft zitten deze mensen in elk geval goed.

Helaas voor alle goedwillenden is natuurkunde al minstens drie eeuwen een terrein waarop amateurs, zelfs zeer begaafde, zich niet meer kunnen wagen. Voor wie echt iets wil bijdragen zit er heus niets anders op dan eerst te gaan studeren. Niet alleen om te leren wat wij zoal hebben ontdekt, de afgelopen paar duizend jaar, maar vooral om te weten te komen waaruit wezenlijke vernieuwingen bestaan. Als je dan heel goed bent, begiftigd met het juiste soort doorzettingsvermogen, aanvoelt wanneer je het over een andere boeg moet gooien, en bovendien ook nog een flinke dosis geluk hebt, kun je misschien de grens van onze onwetendheid wat verleggen.

Studeren is buffelen, daar zorgen mijn collegae en ik wel voor. Want wie geen doelpunten maakt verdient nog steeds alle respect, maar geen plaats in het eerste elftal. Je doet er minstens vijf jaar over om je kennis op te vijzelen van de studiehuis-middeleeuwen tot heden. Wie onderzoeker wil worden zal ook iets moeten afleren, dat hem of haar met de paplepel is ingegoten: het heroïsche model van wetenschappelijke vernieuwing.

Er is een heldhaftig beeld van de onderzoeker: de Prometheus-legende, de opstand tegen de goden, het vastberaden omverwerpen van alle gevestigde waarden en wetten. Hier sta ik, god helpe mij, ik kan niet anders! Desnoods tot op de brandstapel. Steeds kom je het weer tegen: Einstein vernietigde Newton, zoals Achilles Hector versloeg. Daar sleept de jonge ragebol de oude pruikekop achter zijn strijdswagen! Maar zo zijn we in dit vak niet getrouwd, ook al komt menige wetenschapper in de verleiding zich die vleiende vergelijking met een academische Achilles te laten aanleunen.

De mythe van de wetenschappelijke held is hardnekkig, en dat is goed te

begrijpen. Het is bijzonder aantrekkelijk voor de aspirant-wetenschapper om zich in die gloed te koesteren. “Iedereen dacht dat Einstein gek was, maar toen...” Deze karikatuur ligt lekker in de markt, ondanks het feit dat Einsteins werk insloeg als een bom vanwege het volstrekt overtuigende ervan. Dat het volkomen knots was, zo tegen-intuïtief dat het in geen gewone-mensentaal was te vatten, deed daar niets aan af. Niet alleen sommige beroepskrachten, maar ook amateurs hechten zeer aan die heldenrol, en des te meer wanneer je zegt dat hun innig gekoesterde theorie kant noch wal raakt. Het is dan ook onbegonnen werk om met hen in debat te gaan. Zij denken een theorie te hebben, maar in wezen is het slechts een stapel warrige veronderstellingen. Het is geen natuurkunde maar het is geloof of literatuur (maar ook de Nobelprijs voor de letteren zal hen ontgaan).

Wat er in de echte natuurkunde gebeurt, is dat de wetten worden bijgesteld, uitgebreid, of door een listige aanpassing geschikt gemaakt voor een groter gebied dan dat waarvoor ze oorspronkelijk waren ontworpen. De theorie van warmte (de thermodynamica) en de theorie van de beweging van deeltjes (de mechanica) waren afzonderlijke wetten totdat werd bewezen dat de mechanica van een gigantisch groot aantal deeltjes hetzelfde is als de thermodynamica. De wind ontstaat door de gezamenlijke gemiddelde beweging van alle luchtmoleculen in een bepaalde richting, en de temperatuur van de lucht komt overeen met de toevallige afwijkingen van dat gemiddelde.

Maar aan de regels van de thermodynamica, zoals die gevonden waren door te experimenteren met gassen, hoefde niets veranderd te worden. Het is dus niet juist te denken dat de oude fysica instort zodra we iets nieuws vinden. Vrijwel altijd blijft een natuurkundige theorie bruikbaar binnen een beperkt gebied: de weerman is niet brodeloos gemaakt door de fysicus. Een atoom bestaat, ook al hebben we ontdekt dat het is gebouwd uit elektronen en een atoomkern. Ook die kern is echt, hoewel we nu weten dat deze bestaat uit protonen en neutronen. Ook die deeltjes blijven in beeld, ondanks het feit dat wij er achter zijn gekomen dat zij zijn gebouwd uit quarks. *Een ontdekt feit wordt niet verworpen maar verfijnd.* De Aarde en de andere planeten blijven om de Zon draaien, ook al weten wij dat het hele zwikkie door de Melkweg zwiert, die op zijn beurt weer door de Locale Groep van sterrenstelsels dendert. Dus we hoeven de scheikunde niet overhoop te halen als er weer eens een nieuw

sub-atomair deeltje is ontdekt.

Het is jammer dat het heroïsche beeld door kranten en tv in stand gehouden wordt. Het is pakkend, zo'n titanenstrijd. Als een onderzoeker toegeeft dat hij of zij 'slechts' een baken heeft verzet, al is die vondst nog zo geniaal, dan haken de media af. Bovendien gaan de rapportages voor meer dan de helft over nieuwe *hypotheses*, veronderstellingen over hoe-het-zou-kunnen-zijn, en niet over bewezen verklaringen. Dat zien we al jaren met het getoeter over de 'supersnarentheorie'. Het is goed mogelijk dat die, of een variant daarvan, uiteindelijk het ei van Columbus zal blijken te zijn, maar vooralsnog is daar totaal niets van bewezen. Vraag maar eens aan zo'n theoreticus waarom de massa van het electron 500 kilovolt is, en let scherp op de reactie. Snaren zijn aardig, maar nog steeds geen natuurkunde. Jammer dat het publiek dan die foute indruk krijgt. Het is alsof je op de kunstpagina een reproductie ziet van het palet van de schilder, en niet van het voltooide doek.

Hoe zit het dan met de rebellenclub? Valt er nog de held uit te hangen? Misschien een beetje, maar op een heel andere manier. Om te beginnen is het vinden van een goede hypothese buitensporig moeilijk. Vervolgens komt er iets dat bijna niemand beseft: het moeilijkste is niet eens die nieuwe veronderstelling, maar *het intact laten van datgene waarvan we weten dat het werkt*. Het is zoiets als een nieuw gebouw neerzetten in de oude binnenstad. De heroïsche neiging is om de hele boel kort en klein te slaan en tussen de trapgevels een kolos van glas en beton neer te kwakken. Maar zo werkt de natuurkunde niet: die oude gebouwen moeten op organische wijze in het nieuwe opgenomen worden.

Dat is nu juist de verlamrende moeilijkheid van de meeste nieuwe natuurkunde, de eis dat je de bestaande constructies zo goed mogelijk heel laat. De quantummechanica, bijvoorbeeld, beschrijft de Natuur als je gaat kijken naar zeer kleine dingen zoals atomen. Maar als je die theorie laat groeien, totdat je er heel grote dingen mee beschrijft, dan krijg je de klassieke mechanica terug. De relativiteitstheorie beschrijft hoe dingen met zeer grote snelheid of versnelling bewegen, maar als je de theorie verlangzaamt, totdat je alleen maar met aardse snelheden te maken hebt, krijg je opnieuw de klassieke mechanica. Daaraan verandert niets, en om uit te rekenen hoe ik met een raket naar Jupiter kom, heb ik die hele relativistische rataplan niet nodig.

Maar nu komt de kneep: als de quantummechanica en de relativiteit-

stheorie geen van beide in strijd zijn met de mechanica, dan zou je verwachten dat ze ook met elkaar kloppen. Maar er wacht ons een bittere verrassing: die twee theorieën bijten elkaar als kat en hond. Hoe moeten we dat oplossen? Een held zou meteen alle theorieën afschaffen, zoals architecten een klassiek gebouw laten vermorzelen. Maar een natuurkundige doet dat niet, omdat er met de quanta en de relativiteit op hun eigen terrein niets mis is. Het gaat erom, een geniale uitbreiding van beide te vinden. Helaas: tot en met vandaag is dat nog niet gelukt.

Het heeft geen zin het met heroïsch geweld te proberen, hoe ongeduldig je soms ook wordt. Een goede onderzoeker heeft lak aan *bijna* niks: een geslaagde nieuwe theorie werpt vrijwel niets omver. Een amateur gedraagt zich als een olifant in de porseleinkast. Een beroeps doet het zachtjes aan, zonder zich nochtans te laten intimideren. Theorieën maken is op eieren lopen.

## Elementaire uitleg

Pak pen en papier, we gaan een Nobelprijs doen. Even flink zijn, *alles sal reg kom*, maar wel een kladje erbij. Eerst een raadseltje: wat hebben Huygens, Veltman en 't Hooft gemeen? De eerste reactie is waarschijnlijk: 't zijn alledrie Nederlanders. Dat is goed, maar fout, want nationalisme (inclusief het micro-nationalisme waartoe universiteiten zich verlagen) kunnen we missen als kiespijn. Trouwens, bij geen van drieën heeft de Nederlandse opleiding veel om over op te scheppen: Veltman knapte zowat af op de HBS, 't Hooft kwam op het rechte pad door zijn geleerde ooms, en Huygens heeft nooit een voet in een universiteit gezet. Tweede reactie: zij zijn alledrie razend knap. Dat is ook juist, maar het zegt niets over natuurkunde. Het goede antwoord is: zij zijn erin geslaagd om de Natuur een geheim te ontfutselen door gebruik te maken van *symmetrie*, en daar wil ik het over hebben.

Waarom? Omdat ik het zo mooi vind, en omdat de reacties in den lande mij verbijsterden. Ten eerste dat knorrende gewroet in de onvrede tussen de prijswinnaars. Het ergst was *de Volkskrant*, in een roddelbericht over zes kolom zonder één woord over natuurkunde. Ten tweede reacties zoals die van Elsbeth ETTY in *NRC Handelsblad*: "...dat je als leek de theorieën [...] onmogelijk kunt bevatten [...] persoonlijk ervaar ik dat wel als een bezwaar [...] De elementaire deeltjes boezemen mij een elementaire angst in." Het is leerzaam om dit eens naar een ander cultuurgebied te vertalen: 'Dat je als leek die zwarte en witte toetsen niet uit elkaar kan houden, vergalt elk pianoconcert.' Of: 'Ik weet niet aan welke kant je een penseel moet vastpakken, dus ik mijd het Rijks.' Dat zie ik ETTY nog niet schrijven, want zo voelt zowat niemand het. Ik heb een stem om cokes mee te kloppen, maar luister toch graag naar La Bartoli.

Die angst is overbodig. De meeste ideeën aan de basis van de natuurkunde kan menigeen in afgeslankte vorm wel begrijpen. Maar je begrip spartelt tegen omdat de Natuur zo buitengewoon *vreemd* is, vooral als je gaat kijken naar de wereld van het extreem kleine (de quantumtheorie) of van het zeer grote (de kosmologie). Vandaar dat de meeste tegenwerpingen van leken beginnen met 'Ik kan mij niet voorstellen dat...' Daar is een remedie tegen: durven aanvaarden wat de Natuur heeft bekokstoofd, ook al is het talloos veel miljoenen mijlen van ons dagelijks bestaan verwijderd.

Eerst gaan wij naar de ijsbaan. Daar glijden twee schaatsers naast elkaar. De ene heeft een zandzak bij zich, die hij de ander toegooit. Nummer een gaat van de weeromstuit opzij bewegen, de ander na het vangen eveneens. Zo stoten de schaatsers elkaar af, niet direct, maar door de uitwisseling van een deeltje. Op deze manier ontstaan alle wisselwerkingen (ook aantrekkende) tussen elementaire deeltjes. Bij deze verklaring vraag je je meteen af: waar haalt een electron een zandzak vandaan, en wat voor zand zit erin? Dat is de oorsprong van het probleem dat Veltman en 't Hooft aanpakten.

Nu pen en papier gepakt om die wisselwerking te tekenen, op de manier die is bedacht door Richard Feynman. De schaatsers geven wij weer door tweemaal de letter I naast elkaar te zetten. Horizontaal hebben we de afstand in de ruimte, verticaal is de richting van de tijd. Nu verbinden wij deze letters met een streep, en krijgen de letter H. Dat is een *Feynman diagram*, waarin de horizontale lijn de geworpen zandzak voorstelt. Feynman vond bij elk onderdeel van die H wiskundige formules die gezamenlijk de kans opleveren dat de H-wisselwerking optreedt.

In dit diagram is de relativistische quantummechanica, de *veldentheorie*, symbolisch weergegeven. Ruimte en tijd zijn het horizontaal-verticale vlak, en daarmee is de relativiteitstheorie ingebouwd. Het quantumgedrag zit hem erin dat het zandzakdeeltje op een driesprong, genaamd *vertex*, verbonden is met de wisselwerkende deeltjes. Niet half-half, maar alles-of-niks. Op quantumniveau is er niet zoiets als een zachte aai over de bol: 't is een oorvijs, of niets. De letter H is het eenvoudigste Feynman diagram, maar er zijn oneindig veel andere mogelijk, mits je deeltjes met het gegeven vertex aan elkaar knoopt. Zo kun je bijvoorbeeld een ladder hebben, met meer uitgewisselde quantumzandzakken, of nog ingewikkelder vormen. De totale kracht vind je door de som te berekenen van *alle mogelijke* Feynman diagrammen. De hele wereld is een onafzienbaar netwerk van zulke interacties.

De schaatsers-deeltjes noemt men *fermionen*, op grote schaal zichtbaar als tastbare materie zoals muizen en mensen. Die zijn van fermionen gemaakt: electronen, protonen en neutronen. De zandzak-deeltjes heten *bosonen*, en hun werking ervaren wij als een kracht. De aard van de kracht wordt bepaald door het soort boson. Zo ontstaan bijvoorbeeld elektrische en magnetische krachten door tussenkomst van het lichtdeeltje, het *foton*. De essentie van deze theorie, de quantum-electrodynamica,

staat beschreven in Feynman's briljante boek *QED*. Maar er zijn nog andere krachten in de Natuur, en fysici probeerden ook die te verklaren door andere soorten tussen-bosonen te bedenken.

De hamvraag is nu: hoe kom je aan die zandzak? Wat zijn de eigenschappen van zo'n boodschapper, mag je zomaar een extra deeltje opvoeren? Hoe hecht je een fermion aan een boson? Het geheim zit hem in die verknoping, het vertex-punt waar de verticale poot van de H samenkomt met de horizontale streep. En dat geheim is in wezen hetzelfde als wat Huygens destijds gebruikte bij het opstellen van de wetten van de mechanica: *symmetrie*. Zo'n symmetrie is soms zo zichtbaar dat hij niet meer opvalt. Bijvoorbeeld: je kunt aan een voorwerp niet aflezen op welke plaats het zich bevindt. Alleen de *relatieve* positie is meetbaar. Evenzo met snelheden: alleen relatieve snelheid, en veranderingen van de snelheid (versnelling) zijn meetbaar. Uit zulke symmetrieën volgen de bewegingswetten. Het verbluffende is, dat hetzelfde geldt voor krachten tussen elementaire deeltjes, maar daar zijn de symmetrieën veel abstracter. Dit stukje is te beperkt om dat uit te leggen, maar het kan wel, zoals in mijn boek *The Force of Symmetry* (het is onfatsoenlijk om je eigen werk aan te prijzen, maar er is geen Nobelprijs voor lesgeven, en de pindakaas moet toch ergens van betaald worden).

De symmetrie bepaalt niet alleen dat er een tussendeeltje is, maar schrijft ook voor wat de eigenschappen ervan zijn, en zelfs op welke manier het gekoppeld is aan de fermionen. Het prachtige is, dat je door het gebruik van die symmetrie geen enkele vrijheid meer over hebt. *Alles* ligt vast: aanwezigheid, aard en wisselwerking van het boson. Feynman en anderen hadden laten zien hoe dit gaat voor electriciteit en magnetisme. Door Yang en Mills werd een uitbreiding bedacht die op de zwakke wisselwerking kon worden toegepast, waarin drie typen bosonen optreden. Een beeldschone opzet, die helaas allerlei absurde oneindige uitkomsten gaf. De meesten dachten dus dat die symmetrie-theorie in QED een toevalstreffer was. Behalve Veltman, die vond het te mooi om onwaar te zijn.

De moeilijkheid zit erin dat een kracht het resultaat is van *alle mogelijke* Feynman diagrammen samen. Hoe kun je ooit bewijzen dat de som van oneindig veel oneindigheden toch een keurig antwoord oplevert? Veltman en 't Hooft vonden de oplossing door de symmetrie-eigenschappen van de theorie volledig uit te buiten. Een grafische analogie gaat als volgt: je

kunt de diagram-letters indelen in symmetrische klassen. Zo hebben wij de familie van letters die bij links-rechts spiegelen onveranderd blijft: A H I M O T U V W X Y, de boven-onder spiegelfamilie B C D E H I K O X, de kwartslag-groep N O X Z, de halve-slag H I M N O S W X Z, en de niet-symmetrische zoals F G J L P Q R. Stel dat de som van alle diagrammen in een symmetrische klasse nul is, dan houd je alleen het resultaat FGJLPQR over. Als dat een eindige som is, ben je klaar. De principes zijn dus vrij overzichtelijk, hoewel bijzonder vreemd. Het wordt pas moeilijk, maar dan ook echt, als je iets wilt *uitrekenen* (lees maar na in Veltman's prachtige boek *Diagrammatica*).

Toch kan uitleggen knap lastig zijn. Vraag maar eens aan iemand die jankt over 'studeerbaarheid' of-ie wil verklaren hoe je een schoenveter of een stropdas strikt. Door de telefoon natuurlijk, want elementaire deeltjes zie je ook niet, en daar moeten wij van alles over vertellen. Uitleggen is vereenvoudigen, maar je kunt toch proberen daarin niet te ver te gaan. Ook natuurkunde is vereenvoudigen, want het Heelal heeft lak aan onze beperkingen, en natuurwetten bestaan niet. Het zijn slechts ezelsbruggetjes tussen de Natuur en ons brein. Het vinden van die geniale eenvoud is nu juist de kunst van de scheppende fysicus.

## In de ban van de ring

“Driemaal heb ik uw stukje gelezen,” zei de voorzitter die mij inleidde, “en nog heb ik er niets van begrepen.” Met die bemoedigende woorden mocht ik de Cleveringa-lezing beginnen. Nu had ik het er wel een beetje naar gemaakt, door mijn lezers te vertellen dat menigeen de basis-ideeën van de natuurkunde in afgeslankte vorm kan begrijpen. Pas later las ik wat Karel van het Reve schreef over de natuurkundige De Groot: “Sybren hield bij hoog en bij laag vol dat hij ‘de hele natuurkunde’ kon uitleggen in een half uur – een dreigement dat hij voor zover ik weet nooit heeft uitgevoerd.”

Ik houd niet van loze dreigementen, dus ga ik de zwakste schakel in mijn verhaal over Veltman en 't Hooft wat dikker smeden. Eerst gaan wij vier eeuwen terug voor een bezoek aan Christiaan Huygens. Bedenk hoe de natuurkunde er toen voorstond: de regels van de mechanica waren nog niet geformuleerd. Hoe moet je beginnen? Door iets te zien wat anderen niet zien, of althans wat ze niet opvalt. Ten eerste: *je kunt aan een voorwerp niet zien op welke plaats het zich bevindt*. Alleen de relatieve positie van twee deeltjes ten opzichte van elkaar speelt een rol. Je kunt dus je laboratorium op een trekschuit laden, die van Leiden naar Warmond slepen, en daar aangekomen krijg je nog steeds dezelfde uitkomsten uit je proeven. Omdat de absolute plaats van deeltjes niet telt, gaat het bij het beschrijven van de beweging om verschillen in plaats, met een technische term: *differenties*.

Tweede vondst: *je kunt aan een voorwerp niet zien hoe laat het is*. De tijd op een klok is maar schijn: wanneer 's nachts de stroom even is uitgevallen, en uw wekkerradio gaat af, weet u aan *niets* dat het ding de verkeerde tijd aanwijst. Ook bij het meten van tijden gaat het om differenties. Wanneer je van een deeltje het verschil in plaats (de afgelegde weg) deelt door het verschil in tijd (de verlopen seconden) krijg je de snelheid. Het omgaan met zulke differentie-vormen is een heel gehannes, en dat maakt de fysica moeilijk als je echt dingen wilt uitrekenen.

Waarom staan er geen maatstrepen in de ruimte, geen schaalverdeling op de tijd? Niemand die het weet. Het gaat tegen alle intuïtie in: men zegt oost-west-thuis-best, en zoals-het-klokje-thuis-tikt-tikt-het-nergens, maar fysisch gezien is dat nonsens. Deze twee dingen zijn al vreemd genoeg. Maar Huygens, in de voetsporen van Galilei, voegde daar nog

een derde aan toe: *je kunt aan een voorwerp niet zien hoe snel het gaat*. In de studeerkamer kunnen wij best een heelal verzinnen waarin deeltjes een soort inwendig wijzertje hebben waarop je de snelheid ervan kunt aflezen. Maar het Heelal waarin wij wonen werkt anders. Als je bij de snelheid van alle deeltjes in het Heelal een willekeurige vaste waarde optelt, verandert er niets. In de trekschuit merk je niet dat je beweegt. Als je uit de roef naar buiten kijkt zie je geen snelheid, maar alleen dat je beweegt *ten opzichte van* de kade. Er bestaat blijkbaar een ‘relativiteit van de snelheid’. Dus de absolute snelheid van een deeltje is niet van belang, maar wel de verandering van de snelheid in de loop van de tijd: de *versnelling*.

Er is een verzamelnaam voor dit soort eigenschappen van de Natuur: *symmetrie*. De relativiteit van plaats en tijd noemen wij translatiesymmetrie, de relativiteit van snelheid heet Galilei-Huygens symmetrie. Een symmetrie beschrijft dat iets hetzelfde blijft onder een bepaalde handeling. Aan een gladde ring is niet te zien of hij gedraaid is: de ring is symmetrisch onder rotatie.

Vanwege deze symmetrieën zou je denken dat ook versnelling relatief is. Maar nu komt het vreemdste: dat is niet zo! Een versnelling is *absoluut*. Ook met de gordijntjes dicht kun je merken dat de trekschuit op de golven schommelt, of tegen een dukdalf stoot. Dus hogere symmetrieën zijn er blijkbaar niet: we kunnen een versnelling wèl absoluut meten. Ook dat is iets wat ons door de Natuur wordt voorgeschoteld. Wat daar achter zit komen we pas te weten dankzij de relativiteitstheorie, maar dat doen we later wel eens.

In de vier eeuwen die de natuurkunde intussen heeft doorgemaakt is het gebruik van symmetrie-principes verscherpt en uitgebouwd. Bij toepassing in de quantummechanica leidt het gebruik van symmetrie tot iets totaal onverwachts: de eigenschappen van deeltjes worden volkomen door symmetrie beheerst. Sterker nog, sommige families van deeltjes ontstaan dankzij symmetrie. Deze symmetrieën zijn wiskundig net zo geschapen als draaiingen, maar de symmetrie van deeltjes is natuurkundig abstracter, meer indirect. De deeltjes zijn symmetrisch onder rotaties in een soort ‘inwendige ruimte’, die (voor zover wij nu weten) verschilt van de tijd-ruimte van Huygens en zijn navolgers.

Om te zien hoe dat werkt gaan we een experiment doen. Het is een analogie van de manier waarop velden en deeltjes ontstaan. De symme-

trie is die van de ring: draaiing in een vlak, om een vast punt. Leg op tafel een klein tafelkleed, of een groot stuk aluminiumfolie. Het materiaal moet volkomen glad zijn, zonder merktekens. Nu draaien wij de hele lap rondom een punt ergens in het midden. Aan de stof verandert niets: de lap is symmetrisch onder rotaties. Vervolgens herhalen we het experiment, maar nu een beetje anders: wij plakken de randen van de stof met kleefband vast aan de tafel. We plaatsen de duim ergens in het midden en draaien het materiaal een klein slagje om. Nu verandert er wèl iets: er ontstaat een stervormig stel plooien van het midden tot de rand. Het verschil zit hem erin, dat wij nu de rand van de stof niet laten meedraaien. De symmetrie is niet globaal meer, maar is *locaal*, verschilt van plaats tot plaats.

De vorm van de gerimpelde ster doet denken aan de lijnen van ijzervijzel die ontstaan in de bekende schoolproef met een magneetpool. En dat is niet voor niets: *door een locale symmetrie wordt een veld opgewekt*. De draaiing veroorzaakt een ‘sluitfout’ tussen het gedraaide stukje stof en de vastgeplakte rand. De vorm van die sluitfout is een ster van plooien in de stof. Die plooien komen overeen met een veld. De aard van het veld wordt bepaald door de wiskundige eigenschappen van de symmetrie. In de quantummechanica is het veld opgebouwd uit deeltjes. Zo ontstaan de ‘tussendeeltjes’, de bosonen, die als zandzakken heen en weer geworpen worden tussen fermionen, en zodoende wisselwerkingen (krachten) teweegbrengen.

Waarom komen plaatselijke symmetrieën in de Natuur voor? Omdat niets sneller kan gaan dan het licht. Als je een lap stof pakt die zich uitstrekt van hier tot de Maan, en je geeft er op Aarde een draai aan, dan duurt het ruim een seconde voordat de gevolgen daarvan op de Maan merkbaar zijn. *In ons Heelal is een globale symmetrie niet mogelijk*. Alleen locale symmetrieën kunnen bestaan. Een dergelijk type symmetrie, die een veld voortbrengt, heet een *ijksymmetrie*.

Het woord ‘ijking’ heeft hier een speciale betekenis, maar die is wel ongeveer te vatten met behulp van een andere analogie. Stel dat alle landen ter wereld hun munteenheid met precies dezelfde factor devalueren, zodat op de bankbiljetten, munten, spaarrekeningen en dergelijke, alle bedragen met (bijvoorbeeld) een factor 10 worden vermenigvuldigd. Als dat globaal gebeurt, dus letterlijk met alle geldbedragen, dan verandert er netto helemaal niets. De economie is symmetrisch onder zo’n

globale ijking. Maar als slechts één land de munt devalueert, wordt het verschil prompt goedgemaakt door allerlei economische verschuivingen: import/exportstromen, prijsaanpassingen en dergelijke. Economische krachten ontstaan dus ook door een soort locale symmetrie.

Bij iedere soort iksymmetrie hoort een type kracht. Het sensationele is nu, dat *alle vier krachten in de Natuur kunnen worden beschreven met een iksymmetrie*. Het werk van Veltman en 't Hooft toonde aan dat je twee van die symmetrieën kunt samenvoegen tot een perfect werkende theorie die zowel het electromagnetisme als de zwakke wisselwerking omvat, en ze aaneensmeedt tot een 'electrozwakke' kracht. De andere twee natuurkrachten, de zogenaamde 'kleurkracht' en de zwaartekracht, hebben zich tot dusver nog niet laten inpassen. Er valt dus nog veel werk op dit terrein te verzetten.

Helaas zijn de vooruitzichten somber, want de studiehuis-middeleeuwen zijn begonnen, geheel volgens recept van Mao Zedong: een dwingend voorschrift van een bureaucratische klik, zogenaamd namens het volk, en loodzwaar van abstracte ideologie. In China moest iedereen een hoogoven-tje in de achtertuin bouwen. Bij ons gaan de jonge onderzoekers een eindeloze stroom kleine prutsprojectjes voortbrengen, vol muisplagiat en ander Internet-jatwerk, maar geen geniale gedachten. Wat deze toekomst ook brengt, een Nobelprijs zal het voorlopig niet zijn.

## 4.603.820.142

Verslag van de Galactische Inspectie, sector Arcturus, aan de Federatie van Ontwikkelde Planetenstelsels in het Galactische jaar 9.484.913.051. Van Zon naar Arcturus ten tijde van het Aardse jaar 4.603.820.142, volgens de aard-aapse telling 2000. Dit verslag is een vervolg op de verkenning door de Sector Aldebaran in het aard-aapse jaar 1000.

Voor een aap zijn handen van levensbelang, dus hebben handen, vingers, en getallen voor apen een magische betekenis. Omdat aardse apen tien vingers hebben, en niet kunnen hoofdrekenen, is het getal 10 voor hen erg belangrijk. Apen zijn gelovig, dus is  $10 \times 10$  nog belangrijker dan 10, en  $10 \times 10 \times 10$  helemaal. Omdat zij pas kort geleden hebben leren tellen, en nog geen respect hebben voor hun geschiedenis, tellen zij niet vanaf het begin van de deuterium-fusie in hun centrale ster (die zij Zon noemen). Zij zijn pas bij 2000; althans, dat geldt voor die apen welke hun jaren tellen vanaf de geboorte van een hunner die ooit op gruwelijke wijze is gedood. In aanmerking genomen hoe gretig de apen elkaar doo-dmartelen, is voorshands niet duidelijk waaraan deze aap zijn bijzondere status ontleent. Andere apenstammen tellen uiteraard anders; de meeste jaartellingen gaan tot ongeveer 6000 jaar.

De drie nullen in 2000 vervullen de apen met grote vrees. Die angst wordt, zoals altijd op onontwikkelde planeten, aangewakkerd en misbruikt door allerlei duisterlingen. Ten eerste zijn dat de priesters van de talloze geloofsvormen, die de apen tegen elkaar ophitsen als nooit tevoren. Omdat deze apen, naar de aard van hun anatomie, zeer handig zijn, is hun wapenarsenaal veel groter en dodelijker dan men zou verwachten van dieren met zo'n kleine hersencapaciteit. Ten tweede zijn daar de priesters in dienst van de machines die door de apen 'computers' worden genoemd. Omdat deze apensoort niet alleen dom is, maar ook lui en gierig, hebben zij zichzelf opgezadeld met een klein programmeerfoutje. Zelfs ongeletterde apen – en dat zijn verreweg de meesten – kennen het woord 'millenniumprobleem' en hebben zich terzake vakkundig laten uitschudden. Uiteraard blijven de computerpriesters rondbazuinen dat zij onmisbaar zijn gebleken, maar het eerste gemor is reeds hoorbaar. Want als het gevaar – echt of denkbeeldig – eenmaal is geweken, staan er altijd apen op die verkondigen hoe zij het allemaal hadden willen hebben.

Maar de grootste onmiddellijke zorg is de bevolking van Aarde. Reeds

de inspectiegroep van Aldebaran toonde aan dat het ecologisch evenwicht op deze planeet te handhaven is met 1,2 tot 1,4 miljard apen. Het zijn er nu 6 miljard. Hun houding tegenover deze catastrofe blijkt uit het feit dat de komst van die zesmiljardste (de omstandigheden in de snelst fokkende gebieden zijn zo primitief dat zij niet eens weten wie dat precies was) uitbundig werd gevierd. Ruim negen van de tien apen volgen de bevelen op van enkele top-apen (zij worden ‘geestelijk leiders’ genoemd) die, omdat zij zelf niet meer tot de vruchtbare populatie behoren, andere apen ertoe aanzetten zich mateloos voort te planten. Slechts een op de tien maakt gebruik van middelen die hun wetenschap ze gegeven heeft om vruchtbaarheid te beperken.

Meer dan bij de meeste andere Galactische volkeren is het moeilijk om de toekomst van de aardse apen te voorzien. Het is dus niet zeker dat het zinvol is om ooit weer een inspectieploeg te sturen. In de afgelopen 300 jaar zijn scholen wijdverbreid en heeft de wetenschap zich enigszins weten te vestigen, ondanks de tirannie van laster tot brandstapel. Sommige apen is het gaan opvallen dat zelfs een klein beetje rede en wetenschap zeer veel goeds brengt. Maar juist dankzij die wetenschap werden de apen gezonder en hadden zij meer vrije tijd dan ooit, en hun boosaardigheid werd niet langer door wrede ziekten en arbeid ingetoomd. Zo plantten zij zich in onhoudbare aantallen voort en gingen zich te buiten aan de gruwelijkste oorlogen, die nu voor het eerst de hele planeet omspannen.

Een positief punt is dat de apen sinds kort hun eigen afstamming hebben ontraadseld, dankzij een oude baardaap. Maar kenmerkend is wat zij met die kennis hebben gedaan. Na de gebruikelijke periode van heftige ontkenning splitste de populatie zich. Het grootste deel wees de nieuwverworven kennis af, en bleef hardnekkig spreken over evolutie-“theorie” (als zij het woord al gebruikten). Een kleine fractie accepteerde de evolutie zoals zij andere wetenschappelijke feiten hadden aanvaard, en ging op zoek naar de achterliggende mechanismen. Die zijn in het midden van de afgelopen eeuw ontdekt. Overigens deed deze ontdekking de groep afwijzers niet van mening veranderen: hoe primitiever een dier, hoe krachtiger zijn neiging om feiten te ontkennen.

Ook interessant is wat de apen doen ten aanzien van de wetenschap in het algemeen, die ze tenminste enige kans biedt op verbetering van hun gruwelijk lot. Ten tijde van de inspectie door de Sector Arcturus, duizend aard-aapse jaren geleden, bestond de wetenschap nog niet. Wat

ervoor doorging was ingewikkeld geklets en praatjes die voor waar werden aangenomen zonder experimentele bevestiging, een vrij natuurlijke houding voor een diersoort die zijn evolutie deels te danken heeft aan de ontwikkeling van de spraak.

De aard-aapse afwijzing van de wetenschap begint ermee dat in de armste landen onderwijs verboden is, of niet toegankelijk voor het merendeel van de bevolking. In rijke landen is langdurig onderwijs verplicht, maar daar staan een aantal zaken tegenover. Ten eerste krijgen alle jonge apen vrijwel hetzelfde onderwijs, ongeacht hun talent of belangstelling. Ten tweede is er nagenoeg geen verband tussen de leerstof en de werkelijkheid van het Heelal. Jaren worden verkwist aan wat men “geestelijke waarden” noemt; dit is een verzamelnaam voor een bonte stoet van opvattingen die grotendeels met elkaar strijdig zijn, en waarvan de apen vinden dat er geen experimentele bevestiging of verantwoording voor nodig is. Tezelfder tijd worden elementaire feiten ontkend, gerelativeerd, of opzettelijk niet ter sprake gebracht. Het ontgaat de meeste apen dat zij talloze miljoenen hebben vermoord bij het zoeken naar zingeving, maar dat er nog geen enkele dode is gevallen bij het zoeken naar het t-quark.

De meest recente ontwikkeling is dat het bijbrengen van kennis wordt afgeschaft ten gunste van het aanleren van vaardigheid. Dat is helaas precies wat wij kunnen verwachten van een diersoort die het voornamelijk van zijn handen moest hebben gedurende het grootste deel van zijn evolutie. De apen laten geen middel ongebruikt om hun gebrek aan wetenschappelijke belangstelling te etaleren. Sterker nog, de exemplaren die wel aanleg hebben voor wetenschap worden stelselmatig tegengewerkt, tenzij hun bedrijvigheid uitzicht biedt op het tot stand brengen van nog vreselijker wapens of nog schrijnender verschillen in welvaart.

Deze apensoort dreigt nu de Derde Golf van Ontwikkeling te missen. In de Eerste Golf wordt hier en daar de honger teruggedrongen. Hierdoor wordt een beschaafdere samenleving mogelijk waarin de Tweede Golf komt: de ontwikkeling van de wetenschap, en toepassingen daarvan. Tijdens de Derde Golf wordt, in de hele Galactische Federatie, het grootste obstakel voor ontwikkeling overwonnen: de genetica. Immers, waarom zou een diersoort zich wel mogen beschermen tegen funeste infecties, maar niet tegen de gruwelijke gevolgen van genetisch toeval?

Maar nu zij zich dankzij die gesmade wetenschap veilig wanen, hebben de aard-apen zich bekeerd tot de ethiek, een van de meest achterbakse

vormen van apengeloof. Zodra een ontdekking ook maar iets met genetica te maken zou kunnen hebben, storten de apen zich op onderzoek en onderzoeker met de kenmerkende aapse middelen: plundering, brandstichting en moord. Waar nodig worden die aangevuld met intimidatie, broodroof en het onder dwang invullen van formulieren.

Misschien kunnen de aard-apen zich daarom niet bij de Galactische Federatie van Ontwikkelde Planetenstelsels aansluiten, hoewel zij zelf denken van wel: het onderzoek van de buitenste lagen van hun dampkring noemen zij al 'ruimtevaart'. Maar er is nog hoop. Een kleine maar hardnekkige minderheid is al zover dat zij hun mede-apen dezelfde rechten toekennen als henzelf. Ook zijn er plaatsen waar kunst en wetenschap respect krijgen, en waar de apen inzien dat beschaving moet worden gecultiveerd, en niet kan worden gekocht.

Op grond hiervan beveelt mijn Inspectiegroep aan, planeet Aarde over duizend aard-aapse jaren nogmaals te bezoeken. Het staat niet vast dat het slecht afloopt: de apensoort *Homo sapiens* is immers nog maar kort geleden ontstaan. Een van de weinige wijze apen, Confucius, schreef daarover: *Heb eerbied voor het kind, het kan nog van alles worden.*

Voor de Galactische Inspectie, sector Arcturus, aan de Federatie van Ontwikkelde Planetenstelsels in het Galactische jaar 9.484.913.051. Einde bericht.

## Amerikaanse toestanden

Harvard aan den Rijn, Princeton aan de Drecht, Yale aan de Amstel. Wanhoopskreten zijn het, waaruit blijkt wat de radeloze bestuurders van de universiteiten rekenen tot hun *core business*: reclame. Overal toffe posters, vette campagnes, popgroepen bij de voorlichtingsdagen. En allemaal uitgedacht door mensen die geen flauw benul hebben van het Amerikaanse universitaire landschap. Laat mij dit terrein dus even voor u schetsen, op basis van mijn achtjarig verblijf in die contreien.

Ten eerste: de kwaliteit van wat zich in de VS ‘University’ of ‘College’ noemt, loopt zo uiteen dat een Nederlander zich er geen voorstelling van kan maken. Het omspant een spectrum van fundamentalistische indocinatiescholen enerzijds tot het hoogste academische gehalte anderzijds. Op een sollicitatiegesprek vraagt men over je academische graad meteen: van welke universiteit? Er zijn ivoren torens bij en bouwsels van wankel waaibomenhout, een zootje ongeregeld van een kakelbontheid die ons, uniformistische kaaskoppen, doet duizelen.

Ten tweede: het financieringsmodel is een vergelijkbare bende, een fiscale lappendeken van stads- en staatsbijdragen, federale subsidies, openlijke of stiekeme industrie-inmenging, inkomsten uit octrooien en contractonderzoek, en heel veel giften van particulieren. Vooral die laatste component is op geen enkele manier met Nederland te vergelijken, omdat ons belastingstelsel rijkdom niet toestaat. Ter oriëntatie: de universiteit die genoemd is naar Leyland Stanford behoort tot de allerbeste, maar de stichter bezat dan ook een mateloos fortuin. Dat had hij vergaard met het aanleggen van spoorwegen waar, naar men zei, onder elke dwarsligger een Chinese koelie was begraven. Bezien wij de software-tsaar Bill Gates, met een vermogen van 200 miljard gulden: op dat kapitaal is alleen al de rente 650 piek *per seconde*, ofwel een modaal jaarsalaris in twee minuten.

Ten derde: het collegegeld op de beste universiteiten is van de orde van 30 à 40 duizend gulden per jaar. Dat kan geheel of gedeeltelijk worden kwijtgescholden, maar alleen aan studenten wier prestaties al op school ruim boven de middelmaat zitten.

Ten vierde: het personeelsbeleid is daar bijna net zo bikkelhard als in de industrie, waar men spreekt over *human resources*, alsof mensen een soort delfstof zijn.

Kortom: het onderwijs- en wetenschapsbestel in de VS is nauwelijks

te vergelijken met Nederland. De kans dat beide systemen ooit naar elkaar toegroeien is nul: bij maatschappij-transplantatie zijn de afstotingsreacties onoverkomelijk. De sociale weefsels zijn al te verschillend: bijvoorbeeld de VVD, die in Nederland voor rechts doorgaat, zit in het politieke spectrum van de VS ruim links van het midden.

Amerikaanse academische dalen zijn diep als Hades en de pieken zijn hoog als de Himalaya. Hoe realistisch is het om te streven naar die hoge toppen? Misschien moeten wij eerst vragen of het *nodig* is zo hoog te mikken. Het antwoord lijkt mij evident: ja, tenzij wij onszelf tot universitaire Kaninefaten willen terugbezuinigen. Maar ons politieke klimaat verhindert academische hoogbouw: het beste waarop we kunnen hopen is, dat niet alles zal worden afgebroken. Als er maar een enkele burcht van geleerdheid kan blijven staan, in een landschap van plaggenhutten waar de politiek correcte herderskinderen studiehuisje spelen. De staatssecretaris draait, paait, en kraait victorie: het middelbaar onderwijs is plat.

Nu die vermaledijde universiteiten nog. Reeds toen de eerste slagen van de slopershamers weerklonken, de scholen geplet door de Mammoet en de universiteiten gespleten in twee fasen, voorspelde professor Van Bueren in de Raad van Advies voor het Wetenschapsbeleid dat het onontkoombare gevolg zou zijn dat er in Nederland één kwaliteitsuniversiteit zou moeten overblijven. Ik vrees dat hij te optimistisch was, want progressief Nederland is in de leer geweest bij Mao Zedong: alles gaat eraan, tot en met de duizenden jaren oude stadspoorten van Beijing. En zo zijn wij uitgeleverd aan sociaal-theoretici die denken dat vanaf het imbeciele Internet de didactische duifjes ons in de mond zullen vliegen.

Het is trouwens opvallend dat er steeds weer voor die Amerikaanse instellingen geknield wordt. In het land van Huizinga en Lorentz zou je verwachten dat het omgekeerde gebeurde, en dat onze overburen zouden spreken van ‘Leyden on the Mississippi’. Dat gebeurt uiteraard niet, maar wij ontkennen dat door te knarsetanden ‘Dollars!’ als er weer eens een hooggeleerde naar gene zijde vertrekt. Maar dat is niet vanwege die *fastful of dollars*; ook in de VS is wetenschap niet te koop. Zelfs zo’n miljardair weet dat. Je kunt geen pak wetenschap aanschaffen zoals een pak melk, en de Amerikaanse maecenassen houden zich niet bezig met details over de besteding. Hoogstens vragen ze er een *vanity fee* voor terug, zoals het naar hen vernoemen van een bibliotheek of gebouw.

Onlangs was ik weer op bezoek in Princeton, en op de Universiteit van

Washington in Seattle. Luistert, en huivert. Princeton, ach! Daar kan ik u niets over vertellen, u zoudt het toch niet geloven. Ga er zelf maar eens kijken, om te zien hoe daar een bibliotheek eruit ziet, om te praten met de collegae die er werken, wandelend over natuurstenen paden langs gave gazons. Weet dan dat aan een kwaliteits-universiteit als Princeton alles kwaliteit is. Hoogleraren van wereldklasse met bijpassende studenten. De mensen die de perken maaien hebben echt verstand van gras, en die in de kantine hebben meer kijk op koffie dan personeel elders. Een bibliothecaris zorgt uiteraard dat de boeken terugkomen en dat-ie weet waar ze staan, maar hij zorgt vooral voor hun vermeerdering, en dat gebeurt het best met de liefde waarmee olla vogala nestas bouwen. Het is altijd hetzelfde recept, al vanaf duizend jaren voor de geboorte van Al-Biroeni: kennis van het vak, eerbied voor het vak, en vooral liefde voor het vak. Maar bij ons is dat verworpen tot vaardigheid inplaats van kennis, afrekenen inplaats van eerbied, en prostitutie inplaats van liefde.

De VS behoren niet alleen tot de universitaire top door dollars, maar ook door respect en andere immateriële zaken. Ik maak me geen illusies dat ik een grotere geleerde zou zijn als mijn studenten mij met 'professor' zouden aanspreken. Toch is het opvallend dat in de VS studenten ook onderling spreken over 'prof zus-en-zo', zelfs als er geen stafleden in de buurt zijn. Daarmee geven zij aan dat ze die persoon niet voor de kat z'n kanaal hebben benoemd. Je toont respect voor iemand in ruil voor de hoogste prestaties.

En dan Seattle. Hoofdkwartier van een doodgewone staatsuniversiteit, niet eens 'kwaliteit'. Mijn vriend en collega leidde mij rond in het nieuwe gebouw van natuur- en sterrenkunde. Ruime werkkamers. Deur open: schitterende bibliotheek. Weer een deur: nieuw planetarium. Nog een: zaal vol Macintosh computers voor de studenten. Op het dak staan drie grote telescopen voor het sterrenkunde-practicum. Dan naar de terminalkamer. Op een enkele tafel staat daar computer- en video-apparatuur die meer waard is dan alle computers van mijn instituut bij elkaar. Kosten van het kale gebouw, zonder de inrichting: 230 miljoen gulden. Niet van gulle gevers, maar gewoon uit de staatskas. Dat is, schat ik, het totale bouwbudget van een Nederlandse universiteit voor tien jaar. En daar moeten wij ons mee meten. *Who do you think you're fooling?*

De lakmoesproef voor het onoverbrugbare verschil tussen de VS en Nederland is het loten voor academische opleidingen. Als ik aan gene zijde

om een sappig verhaal verlegen zit, vertel ik wat er hier gebeurde met een meisje dat voornamelijk tieners haalde op haar VWO-examen en medicijnen wilde gaan studeren. Hilariteit en ongeloof als ik het vertel: loten! Dat is een afkorting voor *malloten*, een verwijzing naar de politici die vinden dat sufferds evenveel waard zijn als bollebozen. Als de directeur van het Leids Universitair Medisch Centrum op eigen kosten artsen wil gaan opleiden, wordt hij bedreigd met hel en verdoemenis door een minister van OCW die zijn opvolger met de gebakken peren laat zitten.

Nee, ik benijd de benarde bestuurders niet, en ik begrijp hun radeeloosheid. Wat kunnen zij nog doen? Reclame maken natuurlijk. En dus noemen we gewoon alles ‘top’, net zoals er *Nieuw!* staat op steeds hetzelfde pak zeepoeder. Toponderzoekscholen, topuniversiteiten, topopleidingen (pardon, topopleidingen). En natuurlijk topfunctionarissen, voor wie het niet genoeg meer is om gewoon professor te zijn, nu iedere uitgedoofde gloeilampenbaron ook zo’n benoeming krijgt. En dat terwijl het zo eenvoudig is: sla de wisselaars de tempel uit! Niet reclame is onze *core business*, maar het koesteren van de kwaliteiten die als sinds Plato hun waarde hebben bewezen.

Harvard aan den Rijn wordt het niet, bij ons. Alleen de Rijn blijft, traag door oneindig laagland gaand. Nou ja, niet echt oneindig – dat is meer iets voor Amerika. Maar wel zeer laag.

## dot.edu

```
on mouseUp;  
if Response="Mozart" then answer "Wolff";  
else put "Try again" into the message box;  
end mouseUp;
```

Shakespeare of Conrad is het niet, maar geniaal is het wel. De houtige smaak van dit proza is nu juist de bedoeling. Het is geen gewone tekst, maar HyperTalk, een taal om een computer te vertellen wat-ie moet doen. Het briljante is niet alleen dat de taal – hoewel kunstmatig – voldoende op Engels lijkt om er meteen mee aan de slag te kunnen, maar vooral dat hij is ontworpen om gebruik te maken van het feit dat computerprogramma's alle kanten op kunnen. De combinatie 'if', 'then' en 'else' bevrijdt het programma van zijn oogkleppen; mensen die zeggen dat een computer "nooit meer doet dan je hem opdraagt" hebben er niets van begrepen. Een programma dat zulke *conditionele sprongen* bevat, kan reageren op allerlei veranderlijke omstandigheden. Dankzij deze vondst, die dateert uit het programmeer-Pleistocene, kan het programma vliegen, inplaats van op spoorrails te rijden.

De computertaal HyperTalk, in 1986 bedacht door Bill Atkinson en Dan Winkler van Apple Computer, maakt van de conditionele sprong gebruik om razendsnel verbindingen te leggen tussen allerlei dingen. Zo'n verbinding, meestal een *link* genoemd, maakt het programma associatief. De geniale vondst in HyperTalk is, dat die conditionele verbindingen van de taal onderdeel zijn van elk document, in de oorspronkelijke opzet een *stack* (stapel kaarten) genoemd. In Atkinsons Mac-programma HyperCard zag een baldzijde van zo'n document er dan ook uit als een systeemkaartje (dat was vijftien jaar geleden, toen zo'n kaartje maar net op een computerscherm paste). Elk document is zodoende een klein programma dat op verzoek, of soms op eigen houtje, kan reageren op de wereld eromheen, het 'milieu'.

Gewapend met deze hypertaal kan iedereen in principe alle mogelijke eigenschappen van alle mogelijke digitale documenten op alle mogelijke manieren met elkaar verbinden: plaatjes met onderschriften, namen met jaartallen, kleuren met klanken, noem maar op. Door dat associatieve gedrag wordt een HyperCard-document een beetje intelligent, een beetje

poëtisch, kortom een beetje menselijk. Ook de natuurkundige staat en valt met associaties en vergelijkingen: een appel valt *zoals* de Maan. De dichter eveneens: *Shall I compare thee to a summer's day?*

Voor de gelukkige Mac-bezitters was HyperCard geweldig, maar het werd pas echt spectaculair toen Tim Berners-Lee, werkend aan het Europese centrum voor hoge-energie fysica CERN in Genève, op het idee kwam het concept van hypertext te verbinden met een andere programmeertaal, die was ontwikkeld door zettters van drukwerk. Dit type taal, een *markup language*, beschrijft de handelingen die een zetter en een opmaker moeten verrichten om een bladzijde tekst persklaar te maken. Door de versmelting van de twee talen ontstond de *HyperText Markup Language* (HTML). Hierdoor is de wereld grondiger veranderd dan door de atoombom, zonder gebruik van geweld.

Ongeveer de helft van alle Nederlanders spreekt zonder het te weten HTML met elkaar, met de overburen, met familie in Turkije en Chili. Start uw computer en het programma Netscape, ga naar het menu *View*, en klik op *Page Source*. Kijk, dat is nu HTML. Helaas is de taal op geen stukken na zo goed leesbaar als het oorspronkelijke HyperTalk, maar het werkt wel. 't Is vergelijkbaar met Esperanto zoals oorspronkelijk bedoeld door Zamenhof, de bedenker ervan. Maar wat bij Esperanto een nadeel is (het is geen natuurlijke taal, wordt door mensen dus moeizaam opgepikt en begint daarna prompt te evolueren) is bij computers nu juist een groot voordeel. Zolang er niet mee geknoeid wordt, kan iedereen en elke computer met HTML overweg, en hebben wij dus voor het eerst in de geschiedenis van onze planeet een echte *lingua franca*.

Maar alles wat gratis is, is de natuurlijke vijand van de handel. Het gigantische economische belang van HTML, dat niets kost en universeel is, blijkt wel uit het feit dat de knechts van Bill Gates hun uiterste best doen om de taal te 'verbeteren' tot een monopolie-versie ervan, zodat je hem alleen kunt gebruiken op door Microsoft gedicteerde voorwaarden.

Je mag van een genie niet eisen dat hij of zij alle gevolgen van een ontdekking of uitvinding overziet, maar Berners-Lee heeft wel een beetje vermoed dat hij de wereld op haar kop ging zetten. Hij noemde de verzamelde HTML-bestanden het *World-Wide Web*, en voorzag dus dat hun talloze verbindingen een dramatische uitwerking zouden hebben. Het hele wereldwijde netwerk is één gigantisch document, en dankzij de conditionele sprongen en de voortdurende wijzigingen en toevoegingen gaat

het een eigen leven leiden. Wie de illusie had dat een computersysteem langs gebaande paden gaat, moet nu anders piepen. Zoals de vlinder van Lorenz, kan een oppervlakkige wijziging van een document in Den Haag een regeringscrisis teweegbrengen in Lahore. Daarom zijn HTML en WWW wapens der vrijheid: je kunt het democratisch gehalte van een maatschappij aflezen aan haar tolerantie voor het Web.

HTML en WWW zijn cadeaus van de wetenschap aan de maatschappij. Zoiets als astronomische navigatie, electriciteit en de computer. Voortgekomen uit zuiver wetenschappelijk onderzoek, zonder tussenkomst van plannen en onderzoekvoorstellen. Dus is de uitvinder van het Web nog steeds straatarm, althans vergeleken met de industriële laatkomers die zijn zaaigoed oogsten. Berners-Lee krijgt stank voor dank, in de vorm van het schampere *if you're so smart why are you not rich?*. Zo spreken mensen die in Nederland een cursus maatschappelijke relevantie hebben gevolgd, die daar hebben geleerd af te geven op alles wat zij niet begrijpen, en dat is heel veel. Het is vooral afkomstig van mensen die zich, dankzij deze en soortgelijke vorstelijke geschenken, op schaamteloze wijze verrijken met de handel in gebakken lucht. Schaduwstapelaars, noemde Willem van Iependaal ze, grootkwansel, Internet-bonzen die dertig miljard euro in het handje krijgen voor een bedrijf met een prijs/prestatieverhouding in de onderste regionen van Hades.

Het is opvallend dat in heel de reusachtige elektronische industrie er absoluut *niemand* was die deze mogelijkheden van het e-medium onderkende, en er iets nieuws mee schiep. En dat in een buitensporig geprezen bedrijfstak die vrijwel synoniem is met de *New Economy*. Maar wij hadden het kunnen weten, want iets soortgelijks geldt voor de computer zelf. Ook die is grotendeels uit de zuivere wetenschap afkomstig, een machtig monument van toegepaste wiskunde en natuurwetenschappen. In de jaren zestig besloot een gloeilampenfabriek in het zuiden des lands dat men zich hiermee niet hoefde in te laten, omdat het evident speeltjes voor natuurkundigen betrof. Daarnaast heeft de industrie, na een trage start, een positieve rol gespeeld, want zonder haar verbluffende verbeteringen in productiemethoden zou de Macintosh waarop ik dit tik, een miljoentje of twaalf moeten kosten.

Ik zet mij dus niet af tegen de industrie als geheel, maar wel tegen de piepschuimbakkers, en vooral tegen de Kaninefaten die steeds maar weer zaniken over maatschappelijke relevantie. Zij zien niet dat de zuivere

wetenschap de kurk is waarop het hele circus drijft, en dat die kurk zo goed als gratis is dankzij het fantastische rendement van de dot.edu-bedrijven: onderwijs en wetenschap. Daar komt bij dat wetenschappers de goede gewoonte hebben hun vondsten weg te geven. Berners-Lee heeft geen octrooi aangevraagd op zijn geniale creatie, evenmin als Arthur Clarke de communicatie-satelliet patenteerde. Wat de goegemeente niet bevalt is dat je bij een dot.edu-firma niet zomaar iets kunt bestellen. 't Is altijd afwachten wat er op de toonbank zal verschijnen, en wachten is een gruwel voor de tot consument gedegenerende mens, die aan flitskapitaal en flitsbevrediging verslaafd is geraakt.

Op de schaarse momenten dat er wel direct toepassingen in het verschiet liggen, wordt de zaak subiet overgenomen door de jongens van de negotie. Dat is al zo sinds de Neanderthalers de handel uitvonden, en daar moet je dan ook niet over mekkeren. Bovendien heeft die handel een wakker oog voor doelmatigheid, en daaraan ontbreekt het in dot.edu-land nogal. Dus dat men die dertig miljard afschuift is nog tot daar aan toe; de e-motionele beurshandelaren volgen gewoon hun totemdier, de lemming. Waar ik wel tegenin zwem is de vloedgolf van schamperheid, het gebrek aan ontzag en beloning voor onderwijs en wetenschap, de onrechtvaardigheid dat de maaiers als *wINNERS* worden gezien en de zaaiers als *losers*. De euforie over dot.com zou er nooit geweest zijn zonder het noeste bouwen van dot.edu, een veel belangrijker domein.

De wanverhouding werd treffend geïllustreerd door een bespreking in *NRC Handelsblad* van het boek van Berners-Lee. Zijn portret had de grootte van een postzegel; daarnaast prijkte op briefkaartformaat de foto van een (inmiddels in ongenade gevallen) priesteres van het grootkwansel. Bij het zien van haar triomfantelijke grijns onder dat plastic kapsel kan ik niet nalaten te denken: wat zou het onderwijs hebben kunnen doen met een investering van dertig miljard?

## Wat is waarheid?

Wie het bot van een dijbeen van gewricht tot gewricht doorzaagt, merkt dat het hol is. De holte is gevuld met een binnenweefsel van spijltjes en spalkjes, zoals de arm van een bouwkraan. Wie goed oplet, ziet nog meer gelijkenis: het botweefsel is niet chaotisch, maar een systematisch aangelegde structuur, zoals de driehoekige verbindingen tussen de delen van de kraan. En wie goed rekenen kan, ontdekt dat de stukjes bot grotendeels langs de lijnen van de grootste belasting zijn gericht.

Wie denkt dat dat toeval is, mag naar de astrologiepagina van zo'n gratis treinkrant verkassen. De anderen wil ik erop wijzen dat een dergelijke overeenkomst voor een natuurkundige een van de belangrijkste aanwijzingen is dat er een waarheid is, die gezocht en gevonden kan worden. Een waarheid onafhankelijk van mensen en meningen, die reikt van de quarks tot de quasars. Hierdoor kun je voorspellingen doen die van een heel andere orde zijn dan de Nostradamische rimram die door de meeste mensen wordt geslikt. Stel dat de Eiffeltoren niet door ingenieurs was gemaakt maar gegroeid was als een skelet; dan zou de bouw van het bot als twee druppels water hebben geleken op de structuur van het staal.

Als sinds Socrates worden onderzoekers gestoord door, en soms gestoord van, goochemerds die vragen stellen van het type "Wat bedoel je precies met..." Natuurkundigen kunnen daar niets mee, omdat zij nooit iets definiëren. Definities zijn er alleen voor begrippen die voor honderd procent door mensen gebouwd zijn, zoals wiskunde. Onze bibliotheken bevatten talloze meters plankruimte voor boeken over electronen, electriciteit en electronica, maar in geen daarvan staat een definitie van het electron. Dat kan ook niet, tenzij wij zeker weten wat alle eigenschappen van dat deeltje zijn, en de kans daarop is nul. Maar het electron bestaat, ook al weet de televisiekijker niet dat de film die hij ziet door deze deeltjes op de beeldbuis geschreven wordt.

Bestaat er zoiets als waarheid? Voor natuurkundigen zeker, maar zij verknoeien hun tijd niet met definiëren. Het leven is te kort voor dat soort beuzelarij, er zijn waarachtig wel interessantere (want echte) problemen in de Natuur. Maar een omschrijving is er wel: *de waarheid is wat wij gemeen hebben*. Misschien springt er hier een postmodernist op (hoewel ik die zojuist naar de astrologiepagina elders heb verwezen, maar je weet maar nooit). Nee, ik zeg hier niet dat de waarheid een 'sociaal construct'

is, want met ‘wij’ bedoel ik botten en bouwkransen, mensen en muizen, bomen en bergen, alles in het Heelal. De waarheid is wat deze gemeen hebben. Bijvoorbeeld: de zwaartekracht is een aantrekkende kracht, overal in het Heelal en niet alleen in ons zonnestelsel, anders zou er geen ster aan de hemel staan. In een zaal vol filosofen of New Age-gelovigen zit iedereen met de ruggegraat evenwijdig aan de stoelpoten, niet vanwege een sociale overeenkomst, maar omdat de zwaartekracht nu eenmaal zo werkt. Het is uitgesloten dat wij de natuurkunde ‘hebben afgesproken’. Het licht van de Andromeda Nevel vertrok daar twee miljoen jaar geleden, en de gloed van de Oerknal is dertien miljard jaar oud. Al dat licht gedraagt zich precies als het licht uit je leeslampje, en die eigenschappen zijn niet net toevallig ontstaan nu wij langskomen om het te zien. Een zonsverduistering komt precies op het door astronomen berekende tijdstip, ook voor de goegemeente die in astrologie gelooft.

Uit de opvatting dat de waarheid is wat wij gemeen hebben, volgt dat er kleine en grote waarheden zijn. Hoe groter ‘wij’, hoe groter de waarheid. De verhouding tussen de massa van het proton en het electron is een reusachtige waarheid, want die is overal in het Heelal hetzelfde. Dat het leven is gebaseerd op koolstofchemie is een kleinere waarheid, want misschien geldt dat alleen op onze planeet. Dat de genetica gecodeerd is in het DNA-molecuul is waarschijnlijk een kleine waarheid.

Geloof in god(en) is een van de kleinste waarheden, want geen twee gelovigen zeggen ooit hetzelfde over de artikelen huns geloofs. Het succes van ketterjagers is aldus verzekerd, want op de pijnbank moet het slachtoffer maar raden wat de inquisiteur wil horen. Wie echter vraagt naar de Lorentz Transformatie, of naar de elektrische lading van het t-quark, krijgt van een professor uit Samarkand precies hetzelfde te horen als van een student uit Leiden, en daar hoeft geen foltering aan te pas te komen (een eenvoudig tentamen volstaat). Gelukkig zijn er ook verlichte gelovigen, voor wie het persoonlijke van hun waarheid juist een troost is.

Het is amusant dat ook nieuwe natuurkunde begint als een piepkleine waarheid in het hoofd van één mens. In dat stadium is de natuurkundige waarheid dus niet te onderscheiden van geloof of kunst. De creatieve onderzoeker durft dan ook te zeggen “Ik geloof dat...” De ontdekking van de hemel is een oneindig proces, het vergroten van een kleine waarheid door te zoeken naar het grootst mogelijke bereik, een zoektocht die meestal op twee manieren verloopt: door ogenschijnlijk verschillende dingen te

zien als één (warmteleer en mechanica; massa en energie), en door verdere verfijning van gevonden waarheden. Het is een romantische misvatting dat de wetenschap voortschrijdt door ‘vernietigen van het oude’, en ‘tegen-draads zijn’ is niet *ipso facto* een deugd. Vroegere kennis wordt niet verworpen, maar uitgebreid en verfijnd, en dankzij deze continuïteit kun je de oude termen en beschrijvingen soms blijven gebruiken. Als ik tegen het vallen van de avond met mijn geliefde op een duintop zit, zou ik moeten zeggen: “Kijk schat, de Aarde draait zodat de gezichtslijn naar de Zon een langere weg aflegt door de atmosfeer, en wegens het Rayleigh-effect verstrooit het blauwe licht meer dan het rode.” Maar in plaats daarvan zeg ik: “Een mooie zonsondergang,” wat eigenlijk baarlijke nonsens is, net als “Ik wou dat de Zon scheen” op een regendag. Zo kun je gerust over zwaartekracht blijven spreken, en er berekeningen mee doen zoals Newton dat al deed, hoewel wij sinds Einstein weten dat die kracht niet bestaat.

Uit deze opvatting over waarheid volgt ook, dat iedere tegenspraak een opening is naar nieuwe kennis. Bevestiging van wat we al weten is nauwelijks de naam onderzoek waardig. Onderzocht heb je pas iets als je op een afwijking bent gestuit. Onderzoeker ben je pas als je daarmee verstandig omgaat. Ik kan de vakliteratuur op mijn slofjes bijhouden, door alles terzijde te schuiven wat mijn mening niet verandert, en dat is zowat 99% van wat in druk verschijnt. Alleen als ik mijn opvattingen moet herzien, schiet ik wat op. Echte wetenschappers zijn er niet op uit om ten koste van alles een gesloten front te vormen. Integendeel, iets dat niet klopt is voor de fysicus wat een pootardappel is voor de boer. Vandaar het gevoel van wrevel en onvrede dat aan elke ontdekking voorafgaat, een knagen en malaise, tot in het binnenste van de onderzoeker zelf. Ook fysici drijft dat soms tot wanhoop, getuige de discussies die velen van hen voerden met Bohr, die absoluut nooit ophield totdat er een gemeenschappelijk punt was bereikt. Het debat tussen hem en Einstein over de quantummechanica is dus echte fysica, want ooit leidt dat tot waarheid, al zijn de hoofdrolspelers allang dood.

*De waarheid is wat wij gemeen hebben, van mensen tot sterren en verder. De Aarde en de Zon zijn bolvormig omdat de zwaartekracht aantrekkend is en toeneemt met de massa, en de kracht tussen atomen niet. Wij kunnen dus met zekerheid zeggen dat alle andere sterren ook bollen zijn, al hebben we er nooit een van dichtbij gezien. Die*

gemeenschappelijkheid blijkt onder andere uit de overeenkomst tussen de oplossingen die ingenieurs en de Natuur vinden voor hun problemen: staarten van vissen, dolfijnen en straalvliegtuigen hebben dezelfde vorm, evenals de vleugels van vogels in de lucht en van schildpadden onder water. De vleermuizen hebben hun sonar in de lucht, de dolfijnen hetzelfde in het water, en de ingenieurs radar. Allemaal onafhankelijk van elkaar uitgevonden, en toch komt het op hetzelfde neer, tot en met de manier waarop de signalen worden verwerkt in hersens en computers. Dat komt door de dwingende waarheid van de manier waarop golven zich voortplanten en worden weerkaatst.

Het gaat om de waarheid, om de feiten, en alleen vrijgestelden die zelf niet voor hun voedsel of onderdak hoeven te zorgen wagen het daarmee te spotten, of er rookgordijnen omheen te weven. Dieren kunnen zich geen sofisterij veroorloven, want de straf op een fout is de dood. Academische haarklovers beseffen dat wel, want zij weten dat hun auto nimmer te repareren is door met een collega van gedachten te wisselen over de hermeneutiek van het luchtfilter. Het ongemakkelijke gevoel dat zij daaraan overhouden masseren zij weg door metselaars, timmerlui en natuurkundigen als een soort bedienend personeel te beschouwen (in Plato's tijd waren dat dan ook allemaal slaven). Maar het is letterlijk levensgevaarlijk om de waarheid te smoren in spitsvondigheden, en in de tijd dat de soof zegt "Wat bedoel je precies met 'leeuw'?" heeft de fysicus zichzelf al in veiligheid gebracht. Zalig zijn de eenvoudigen van geest, want zij dienen als kattevoer. Smakelijk eten, majesteit!

# Volksgericht

Voor mij liggen achttien Nobelprijzen. Het is een schitterend gezicht, zeker als je bedenkt dat al die prijzen in de wacht worden gesleept door Nederlandse sterrenkundigen. Weliswaar zijn het nog slechts plannen, maar het kan niet missen, zeggen de deskundigen die ze hebben beoordeeld. We moeten ze alleen nog uitvoeren. En wel als de gesmeerde bliksem, want alle achttien zijn – zo bezweren ons een vijftigtal wetenschappers die om hun mening is gevraagd – *excellent*, in een enkel geval zelfs *superb*, en ze zijn allemaal *extremely urgent*.

Ik kreeg deze exquise collectie te zien omdat ik sinds kort in een koek-en-gard commissie zit die moet uitmaken wie geld krijgt voor zijn onderzoek en wie niet. Af en toe moet je helpen met de rotklussen. Het is geen sinecure, want zulke commissies hebben veel invloed: het grootste deel van het geld voor het onderzoek wordt op deze manier verdeeld. Wees niet bang dat ik zal meedoen aan de nationale sport van het *lekken*, een soort politiek wildplassen waarbij men tegenstanders een hak probeert te zetten door het selectief aan de media doorspelen van geheime en gevoelige informatie. Ik zal niets zeggen over namen en inhoud, behalve dan dat er voortreffelijke voorstellen bij waren van uitstekende wetenschappers. Het gaat mij hier om het proces waardoor de beoordeling van deze voorstellen tot stand komt. Ik zou er aan voorbij zijn gegaan, ware het niet dat deze regels voor alle vakgebieden gelden, en niet alleen voor de sterrenkunde. Dit op gezag van NWO, de organisatie die ZWO heette totdat de Z te zuiver werd bevonden. De vorige directeur daarvan zei, dat de wetenschap wel zo'n beetje aan het eind van zijn Latijn was.

“Kortzichtig en bekrompen” was het oordeel van wijlen professor Casimir over die uitspraak, en eigenlijk geldt dat voor de hele procedure van onderzoeksplanning. Volgens de tegenwoordige praktijk verloopt deze als volgt. Een onderzoeker schrijft een plan waarin hij/zij moet uitleggen wat het doel en de inhoud van het onderzoek zijn, hoe lang de uitvoering gaat duren, wie het gaat doen, wat het gaat kosten, en wat de invloed ervan op de rest van het vak zal zijn. Vervolgens gaat het voorstel naar drie anonieme deskundigen (*referees*) die zich onder andere moeten uitspreken over: wat is uw mening over de merites van dit onderzoek? Heeft het een duidelijk doel? Is het tijdschema realistisch? Wat is de relevantie voor de wetenschap en de maatschappij?

Dit is een lachertje om diverse redenen. Ten eerste, je vraagt het onmogelijke van de onderzoeker. Ten tweede, wie al zo goed weet wat te doen, en wanneer welke resultaten worden bereikt, kan beter meteen het bijbehorende artikel schrijven. Bovendien is het element van verrassing uitgebannen; wie in zo'n voorstel ook maar iets onverwachts de ruimte probeert te geven, vangt bot. Ten derde, het onderzoeksgebied is klein, en de deskundigen zijn vaak vriendjes van de voorsteller. De ervaring leert dat relativerende opmerkingen, al zijn zij wetenschappelijk verantwoord, tot afwijzing leiden. Dus putten de *referees* zich uit in overdreven lof. Ten vierde, de rollen van rechter en getuige worden verward. De deskundigen wordt niet gevraagd om technische informatie of feiten, maar om meningen. Soms vraagt men zelfs een mening over een mening, zoals in "Wat is uw mening over de reputatie van deze onderzoeksgroep?" Zo wordt de procesgang tot een volksgericht. Vandaar die geheimhouding. Als het over feiten ging, was er geen enkele reden om zo stiekem te doen. Maar het gaat voor een belangrijk deel over achterklap, dorpsroddel, reputaties.

En wat koop je daar dan voor? De procedure bevoordeelt de kool-en-geitspaarders. Sommige van die voorstellen zijn van jaar tot jaar bijna letterlijk hetzelfde, en de resultaten die het oplevert ook. Wat eruit komt is wel nieuw, maar niet vernieuwend. Dat beseffen de geldkraanbazen ook wel een beetje, maar als ze met een oplossing komen dan doen ze het net weer even verkeerd. Zo verscheen er nog niet lang geleden een oproep voor 'tegendraadse' onderzoekers. Wie zo'n maffe kwalificatie verzint heeft van het wetenschappelijk proces niets gesnapt. Tegendraadsheid is helemaal geen verdienste *ipso facto*. Elke vernieuwing is tegendraads, anders zou het geen vernieuwing zijn. Maar uit het feit dat alle kraaien zwart zijn, volgt niet dat iets zwarts ook een kraai is.

Wat je er verder voor koopt is een flankerende horde managerstypes, te herkennen aan hun steenkolen-Engels. Dat zou nog te pruimen zijn als zij zich gewoon met de euro's bezighielden. Maar omdat zij de schijn moeten ophouden van wetenschappelijkheid gaan zij naar een dozijn conferenties per jaar, waar zij ten overstaan van hun *mutual admiration society* steeds weer dezelfde *invited talk* geven.

Waarom doen wij dit? Niet omdat het goed werkt; hoogstens omdat men niets beters weet. En, vrees ik, vanwege het gekrakeel om 'verantwoording', afkomstig van koekebakkers (niet koekeNbakkers, die term bewaren we voor spellingsdeskundigen) die denken dat je een wetenschap-

pelijk resultaat koopt zoals een brood of een fiets. Voor ons salaris koopt de maatschappij het recht op absolute toewijding en onkreukbaarheid, maar of dat ooit een Nobelprijs oplevert hebt u maar af te wachten.

Dat lijkt vaag, maar bedenk dat de beoordeling van nieuwe werknemers bij ons zo draconisch is, dat niemand behalve een geharnaste idealist zich eraan durft te onderwerpen. Ik hoorde eens een directeur-generaal van Economische Zaken tegen een zaal vol wetenschappers roepen: “Julie zouden eens wat aan concurrentie moeten doen! Het is een schande dat iedereen maar direct na zijn afstuderen een vaste baan kan krijgen!” Het was de vergadering niet duidelijk in welke fantasiewereld de spreker vertoefde. De selectie van de jongste aanwinst van mijn instituut, een ‘KNAW-onderzoeker’, ging als volgt. Eerst vier jaar studeren en vier jaar promoveren. Dan zeven jaar werken in het buitenland, aan drie verschillende voortreffelijke universiteiten. Daarna geselecteerd uit alle concurrenten binnen de Universiteit Leiden, gevolgd door een competitie met soortgelijke onderzoekers in Nederland. Tenslotte een eindexamen op het Trippenhuys. En aan het eind van deze dodenrit, een *tijdelijke baan voor drie jaar!*

Wijs mij het bedrijf aan waar men zo met zijn personeel omgaat. Wie deze hel overleeft, heeft alle verantwoording afgelegd die een redelijk mens kan eisen, en heeft het recht verworven om voortaan met ontzag behandeld te worden. Daar hoort een redelijke ondersteuning van het onderzoek uiteraard bij. Dit overziend heb ik het vermoeden dat het voor de regelneven helemaal niet gaat om verantwoording afleggen, want dat doen wij al sinds de dageraad van de wetenschap, maar om vat te krijgen op dingen die voor hen nu eenmaal onbegrijpelijk zijn.

Wat dan wel te doen? Op zijn allerminst, en wel onmiddellijk, het invoeren van een vorm die meer lijkt op een normale procesgang. Rechters willen alleen vaststellen wat er nu eigenlijk gebeurd is, of de verdachte inderdaad op die tijd en plaats aanwezig was, en wie de eerste bloempot gooide. Getuigen moeten zeggen wat zij hebben meegemaakt; hun mening, en in het bijzonder die over de schuldvraag, doet niet ter zake. De commissie speelt de rol van rechtbank, de aanvragers die van verdachten. De deskundigen zijn getuigen; zij geven technisch advies over de aanvragen, en hun gesnork over *excellent, superb and very urgent* moeten zij achterwege laten. Deze procesvorm is ook in het belang van de verdediging, want tegen feiten kun je je het beste weren, zeker als wetenschapper.

Wanneer een of andere onbekende zegt dat hij niet gelooft dat ik het voorgestelde onderzoek kan uitvoeren, kan ik hoogstens zeggen ‘welles’. Maar als hij zegt dat mijn computer niet snel genoeg is kan ik hem van repliek dienen. Of niet, maar in elk geval gaat het tenminste ergens over.

Zelfs dan blijft het probleem bestaan dat de hele vertoning berust op de fictie van een planmatig uitgevoerd onderzoek. De plan-economie is dood, maar plan-wetenschap is springlevend, waarschijnlijk omdat het verpieteren van het onderzoek minder direct merkbaar is dan een tekort aan wc-papier. Zoals iemand mij eens zonder een spoor van ironie of teleurstelling vertelde: “Mijn vakantie is geheel volgens plan verlopen.” Geen enkel ding van blijvende betekenis is ooit volgens plan volbracht. Zelfs ogenschijnlijk technische zaken, waarvan je toch zou zeggen dat het kat-in’t-bakkie is vergeleken met de quantumgravitatie, danken hun concept en uitvoering aan een enkel genie als Leeghwater, Eiffel of Lely. Daarom is het geen slecht idee om het onderzoek te financieren volgens het aloude adagium ‘De duvel schijnt altijd op de grote hoop’. Zo gaat het bijvoorbeeld bij de Spinoza-prijzen. Dat is tenminste echt geld, en NWO heeft tot dusver een vlekkeloze staat van dienst in de keuze van de laureaten. Als we het zo aanpakken, gaan die Nobelprijzen er misschien ooit komen. Het zullen er wel geen achttien zijn, maar als wij de middelmaat blijven voortrekken worden het er gegarandeerd nul.

# Empedoklets

Het vergezicht vanuit Agrigento is schitterend, en 2500 jaar geleden – toen het nog Akragas heette – was het minstens zo mooi. Wie aan zee woont in het zicht van de Etna, gaat vanzelf denken over de rol van water, aarde, lucht en vuur. Maar je moet echt lef hebben om vol te houden dat de oneindige veelheid die je ziet tot stand komt door een samenspel van slechts vier ‘elementen’, stoffen die niet verder te splitsen zijn tot andere. Enig respect voor Empedokles is dus geboden, want ook toen hij geboren werd waren het Siciliaanse landschap en het leven van een verbluffende verscheidenheid.

Zoals de meeste mensen had ik nog nooit een letter van hem gelezen, en ik was dus blij met het dunne boekje dat, in de vertaling van Ferwerda, alle 154 bekende snippers van Empedokles’ werk bevat. ’t Was een cadeau ter gelegenheid van mijn benoeming in Leiden, van een jonge collega uit Groningen. Hij kent zijn klassieken, kan uit zijn hoofd uit *Timaeus* citeren, en hij heeft de moed nog niet opgegeven om mij wat bij te spijkeren.

Naast die 154 fragmenten bevat het boek nog wat commentaren van latere filosofen, waar soms aardige dingen in staan maar die geen van allen wetenschappelijke vragen stellen. Het heeft meer van een politieke of godsdienstige discussie, waarin het er voornamelijk om gaat de tegenstander te vloeren.

Tot mijn verbijstering is er in het hele werk niets te vinden dat ook maar zijdelings raakt aan wat wij tegenwoordig natuurkunde noemen. Zoals de meesten die het origineel niet hebben gelezen dacht ik, dat Empedokles een voorouder in rechte lijn was van Dalton en Mendelejev. Maar daarvan blijkt helemaal niets.

Dat gebrek aan fysica is des te vreemder omdat Empedokles al meteen aan het begin van zijn betoog de lezer op het hart drukt toch vooral zijn zintuigen te gebruiken. Vervolgens weidt hij uit over alles wat die waarnemingen ons leren, volgens hem, maar zonder een spoor van precisie, bewijs, toetsing of voorspelling. Niets in de trant van ‘Onder water weegt een blok brons slechts twee derde van wat het op ’t droge weegt’. Niets van het type ‘Dat ik gelijk heb, kun je eraan zien dat water en olie niet mengen, maar water en wijn wel.’ Volgens deskundigen construeerde Empedokles zijn theorie naar analogie van de toenmalige schilderkunst,

die met vier basiskleuren werkte: zwart, wit, rood en groen. Ook dat verheldert de zaak niet, want uit die vier kun je beslist geen blauw of geel mengen.

Ik geef toe dat het allemaal mooi klinkt, en ik kan me voorstellen dat talloos veel miljoenen er in geloofd hebben. Maar zou er nou 25 eeuwen geleden niemand geweest zijn die vroeg: Welke aarde? Een stuk rots, of goud, of zand? Welk water? Het zoute water van de zee, het bruine water van de rivier, de heldere regen? Welk vuur? De traag vloeibare lava van Etna, de gloed van de Zon, of de spartelende vlammen van brandende dennenaalden? Welke lucht? De wind vanuit Afrika, de gele dampen van Etna, of de ruft van de hogepriester van Dionysos?

Na lezen en herlezen blijven er twee raadsels over. Beide zijn waarschijnlijk onoplosbaar. Ten eerste: waarom kwam men pas een paar honderd jaar geleden met elementaire zaken zoals kwantitatief werk, en terugkoppeling naar de waarnemingen door middel van exacte voorspellingen? Nu pas begin ik een beetje te begrijpen waarom geschiedkundigen schrijven over de ‘wetenschappelijke revolutie’. Ik blijf met stomheid geslagen dat het zo onbeschrijflijk lang heeft geduurd voordat de wijsgeer voor een klein beetje wijsheid bij de timmerman aanklopte. De eenvoudige handwerker die, ongeletterd en al, wist dat drie latten met lengtes van 3, 4, en 5 eenheden, tesamen een rechthoekige driehoek vormen. Voor een Echte Denker is zoiets blijkbaar te plat. Filosofen zijn mensen die eindeloos kunnen praten over het probleem of de kat tot de twee-plus-tweepotigen behoort, of tot de twee-maal-tweepotigen.

Behalve het getal 4 komt er niets kwantitatiefs aan de orde. Nergens vind je ‘Als je drie delen water een week lang schudt met een deel lucht en twee delen aarde, krijg je een hamster’. Lach niet: in de zeventiende eeuw beweerde Van Helmont bijna exact hetzelfde. Alles blijft kwalitatief, zoals in ‘Olijven kosten drachmen.’ Alleen de dorpsgek van Agrigento heeft daarmee genoeg genomen. Alle anderen verwachtten tenminste een *kwantitatieve* uitspraak, zoals ‘Een talent olijven kost duizend drachmen.’ Maar Empedokles kon het niet bommen, waarschijnlijk omdat hij de olijven door zijn personeel liet kopen. Mijn pas overleden promotor Henk van de Hulst leerde mij als groene promovendus een belangrijke les. Hij zei: “Als je iets schrijft, loop er dan doorheen en zoek naar plaatsen waar je kwalitatieve dingen hebt geschreven: deze ster is ‘een beetje’ groter dan die, dit sterrenstelsel is ‘veel ouder’ dan dat. Ga die dan door

kwantitatieve vervangen. Lukt dat, dan heb je een bijdrage geleverd; als dat niet kan ben je een onderzoeksonderwerp op het spoor.”

Dus *hoeveel* aarde, water, lucht en vuur zit er in Product X? In onze uitdrukking  $H_2O$  zie je dat meteen al: precies twee van teen en een van tander (trouwens, waarom H-2-O, en niet H-2,1-O of  $H-\sqrt{2}$ -O? Daarachter schuilt de quantummechanica, waarover later meer). Al die empedokleanen moeten toch dagelijks hebben opgemerkt dat de bakker steeds een vaste verhouding water en meel dooreen kneedde, en de pottenbakker een andere verhouding water en klei. Zou er nu niemand in heel Agrigento en omstreken op het idee zijn gekomen om Empedokles eens aan de tand te voelen over de receptuur, over gedetailleerde voorspellingen, en over mechanismen die elke bouwvakker met touw en katrol kan aantonen? De eerste de beste Griekse smid of metselaar begreep meer van natuurkunde dan al die vorsers bij elkaar. Het is niet oneerlijk om Empedokles *e tutti quanti* hun houding in te peperen, want hij hoefde maar even naar het strand te lopen (vanuit zijn villa kon je de zee prachtig zien) om een uurtje bij een scheepswerf door te brengen, en hij zou al een stuk wijzer zijn geworden. Maar handwerk was te min. In 2500 jaar verandert er aan onze genetische constitutie zo goed als niets; misschien was de jongste steenhouwersknecht in Agrigento wel net zo slim als Einstein.

Het tweede onoplosbare probleem is: waarom spreekt de aanpak van Empedokles meer aan dan die van Huygens, ook nu nog? Het is een onthutsende ervaring om mensen op televisie te zien uitweiden over aura's, aardstralen, graancirkels en geloven, zonder dat zij zich bewust zijn van de ironie van het feit dat hun kletspraatjes het Heelal in snellen dankzij datgene wat zij ontkennen: de wetenschap van Faraday, Maxwell en hun opvolgers. Liever openbaring dan verklaring. Dat is inmiddels ook de basis van het onderwijs geworden, dankzij de sociale *touchy-feelie* benadering die voornamelijk blijkt te dienen voor het opleiden van de kritiekloze kijkers waaraan het meest verdiend kan worden. Onlangs zag ik hoe drie helder denkende mensen – Spaink, Möring en Borst – door het schellinkje werden weggehoond in een TV-confrontatie met zo'n leep kruidenvrouwtje. Zodra je je met het Hogere bezighoudt, moet je blijkbaar de fysica laten varen. Maar de camera's waren al ingepakt toen Borst een gelovige, die hem zojuist nog had verzekerd als een kievit te lopen dankzij genoemde toverkol, op krukken naar haar auto zag strompelen. En wie was het ook alweer die, soortgelijke krukken ziende aan de muren

in de grot van Lourdes, opmerkte: ‘Wat! Geen houten benen?’

Ziende dat er van aarde-water-enzovoorts geen spaan is heelgebleven, vraag je je af hoe het over 2500 jaar zal zijn. Is er iets beters dan werken met experiment en wiskunde? Een pissebed begrijpt niets van de quantummechanica, dus waarom zouden wij alles in het Heelal begrijpen met ons apenbrein en onze apenmethodes? Menselijk DNA verschilt niet eens zo dramatisch veel van dat van een geleedpotige. Vrijwel geen enkele *a priori* uitspraak is ooit juist gebleken, of het nu gezegd werd door een filosoof, door een profeet, of door een natuurkundige: je zou een boekenkast kunnen vullen met lapidaire uitspraken van wetenschappers waar geen bliksem van bleek te kloppen, hoe zelfverzekerd ze ook waren.

Wat is dan het verschil tussen toen en nu? In elk geval durft een echte wetenschapper het aan om nooit honderd procent zekerheid op te eisen, en steeds dicht bij het experiment te blijven. De tegenwoordige natuurkunde loopt het gevaar zich net zo los te zingen van de feiten als die ouwe Grieken, getuige de ontwikkelingen in de kosmologie en de theorieën van elementaire deeltjes. Op zijn minst kun je Empedokles waarderen omdat hij doorzag dat er iets uit te leggen viel, dat er onderliggende mechanismen zijn die je pas bij scherper bestuderen opmerkt en misschien kunt ontrafelen. Hij had het hart op de juiste plaats. Verder zat alles scheef, maar over de doden niets dan goeds. Dat is een elementair rechtsbeginsel, want deze gedaagden kunnen zich niet verdedigen. Maar met zijn levende opvolgers heb ik een appeltje te schillen.

## $H_\pi O$

Als op bruiloften en partijen een gat in de conversatie dreigt te ontstaan, kun je terloops het woord *quantumtheorie* laten vallen. En evenals in de quantummechanica weet je vantevoren nooit precies wat er dan zal gaan gebeuren. Het kan zijn dat er een kring van ijzige stilte om je heen valt, waarna de gasten uiteenstuiven, op jacht naar een verse borrel. Soms hoor je bewonderende kreetjes, een enkele keer antwoordt een omstander ‘Oh ja: alles is onzeker,’ of iemand beweert dat de onzekerheidsrelatie ‘zo spiritueel’ is. Maar voor de meeste mensen is ‘quantummechanica’ even welkom als een hondedrol. En dat terwijl honderd procent van de gasten desgevraagd zal toegeven dat hun drankje voornamelijk water bevat, en ook nog wel weet dat de chemische formule daarvan  $H_2O$  luidt. Wie daaruit troost put over de stand van zaken in Nederland-onderwijsland moet ik teleurstellen, want minder dan één op duizend van deze lieden beseft dat de uitdrukking  $H_2O$  een getuigenis is van quantummechanica in het dagelijks leven.

Eerst maar even een opfrissertje scheikunde: hoe lees je die formule? Twee delen van het element waterstof en één deel van het element zuurstof vormen samen een watermolecuul. Zo uitgesproken, wordt al wat duidelijker waarom dit zo bijzonder is, en waar de quantummechanica (QM) schuilt. Ten eerste is de QM al aanwezig in het feit dat er *elementen* zijn, van een heel andere soort dan die waar Empedokles over filosofeerde. Deze elementen zijn – zoals de notatie ook suggereert – in zuivere vorm verkrijgbaar, en zij combineren in vaste verhoudingen met andere elementen. Empedokles laat in het midden wat bijvoorbeeld ‘aarde’ precies is, en geeft geen formules van het type  $A_3W_6L_2V$  voor suiker. Voorts bevat  $H_2O$  de mededeling dat water bestaat uit (samengestelde) deeltjes, de moleculen, en ook daarin is de QM aanwezig.

De elementen combineren dus in vaste verhoudingen, maar daarmee begint het pas. Als je een groot aantal van die chemische combinaties naast elkaar zet, valt op dat die verhoudingen *gehele getallen* zijn; er staat dus nooit iets als  $H_\pi O$  ofzo. Dat heeft de scheikunde ons zo ingepeperd dat, als je in een experiment ooit  $H_{1,8}O$  zou vinden, het moet worden gelezen als  $H_{18}O_{10}$  of  $H_9O_5$ , en dat is heel wat anders. Bovendien zijn die getallen nog klein ook: waterstof en zuurstof combineren, behalve als water, nog als OH (hydroxyl, een molecuul dat alleen tussen de sterren

vrij voorkomt) en  $\text{H}_2\text{O}_2$ , waterstofperoxide. Voor de alledaagse stofjes zijn die getallen nooit veel groter dan 1 of 2; zie bijvoorbeeld O (dat wil zeggen  $\text{O}_1$ , atomaire zuurstof),  $\text{O}_2$  (de moleculaire zuurstof die je inademt),  $\text{O}_3$  (ozon), en daarmee houdt het op.

Het feit dat de verhoudingen in atoomcombinaties gehele, meestal kleine, getallen zijn, spreekt boekdelen over de *aard* van die combinatie. Het gaat om een echte *verbinding* (zoiets als een huwelijk dus) en niet zomaar een mengsel (zoals een trein vol mensen). Die gehele getallen zijn een voorbeeld van *quantumgetallen*, en het woord ‘quantum’ vind je terug in de sporten van de ijzeren ladder 1, 2, 3, enzovoorts. Die quantumgetallen zijn ontdekt door Niels Bohr, ter verklaring van de manier waarop het waterstof-atoom licht uitzendt. Twintig jaar later bedacht Erwin Schrödinger een formule waaruit deze getallen konden worden berekend. Die formule was opgesteld naar analogie van de bekende golfbeweging. Ook daar hebben we een soort ‘quantum’-getallen, zoals blijkt bij een snaar die kan trillen in de grondtoon, terts, kwint, octaaf, en verder, steeds in geheeltallige verhoudingen, waar de grote Pythagoras mee bezig was. Dankzij Schrödinger en anderen hebben wij de QM als echte *mechanica*, waarmee niet alleen vaste toestanden maar ook bewegingen van elementaire deeltjes kunnen worden beschreven.

Het is verbluffend hoe weinig mensen – zelfs zij die iets over scheikunde hebben geleerd – op de hoogte zijn van de enorme implicaties van quantumgedrag, zoals dat blijkt uit de kleine-gehele-getallen verhoudingen in moleculen. Regelmatig krijg ik het aftandse klokkenmaker-argument te horen: “Alles is zo mooi geregeld, dat kan alleen maar god gedaan hebben.” Zo iemand zegt nooit ‘een god’, want gelovigen denken dat zij de wijsheid in pacht hebben, zoals in *NRC Handelsblad* iemand schreef dat de exacte wetenschap alleen dankzij het christendom kon ontstaan. En dat terwijl de geniale Archimedes toch 287 jaar vóór Christus werd geboren, en de brandstapel niet diende ter ondersteuning van de nieuwste ideeën over de sterrenkunde. Maar ik dwaal af.

Het getuigt van onbegrip om te babbelen over wanorde die nooit iets oplevert. “Als je iets zomaar rondhusselt, komt er altijd chaos uit, dat kan nooit tot leven leiden.” Het tegendeel is het geval, zoals Stanley Miller in een briljant experiment aantoonde. In 1953 liet Miller in een gesloten toestel water met wat eenvoudige bijmengselen (zoals kooldioxide en ammoniak) uit een kolf verdampen en weer condenseren; juist voor

de condensatie werden in het gasmengsel vonken opgewekt met een inductor. Het geheel was een oer-simpel model voor de oer-Aarde met haar oceanen, verdampend water, regen, en bliksem. Reeds binnen enkele weken vormden zich spontaan zeer ingewikkelde moleculen, waaronder aminozuren waaruit eiwitten zijn gebouwd. De leeftijd van onze Aarde is niet twee weken, maar 240 miljard weken. De hoeveelheid water in onze oceanen is een miljard maal een miljard keer groter dan de inhoud van Millers toestel, in elk geval genoeg voor een experiment op gigantische schaal. Zonder de QM zou er uit Millers experiment inderdaad alleen maar chaos gekomen zijn, maar het quantumgedrag van de Natuur dwingt een buitengewoon star combinatie-gedrag af. Bijna alles is verboden (zoals  $H_{\pi}O$ ), behalve wat mag ( $OH$ ,  $H_2O$ ,  $H_2O_2$ ) en dat is verplicht.

Atomen en moleculen vertonen een ongelooflijke starheid, heel anders dan een berg zand of een klomp klei. Als je de kippen in de film *Chicken Run* een miljard maal kleiner zou maken, bleef er van de soepele animatie niets over; je zou moleculaire kippen hebben die uit weinig atomen bestaan, en die maar een zeer beperkt aantal vormen konden aannemen. Bovendien zouden al die kippen identiek zijn. Als je één watermolecuul hebt gezien, dan heb je ze allemaal gezien; niks karakter, eenvormigheid is troef.

Zonder die ijzeren regelmaat en dramatische beperkingen zouden wij geen genetica hebben. Charles Darwin, een van de grootste en eerlijkste geleerden aller tijden, heeft zich – ondanks zijn succes – zijn hele leven lang het hoofd gebroken over het probleem dat nakomelingen niet een gemiddelde zijn van hun ouders, en dat talloze eigenschappen als een ‘pakketje’ overerven. De door Gregor Mendel en Hugo de Vries ontdekte erfelijkheidswetten komen erop neer, dat je een half kopje rode en een half kopje blauwe inkt in een glas doet en dan geen paars krijgt, maar ofwel een glas vol van de oorspronkelijke rode, of een glas vol blauwe inkt. Darwin moet schele hoofdpijn hebben gekregen van die biologische goocheltruc. Bijna een eeuw later kwam de QM te hulp: de starheid van de molecuulstructuur leidt tot strikte overerving. Schrödinger schreef daarover het boekje *What is life?*, waarin hij het bestaan van een genetisch molecuul voorspelde lang voordat de rol van DNA werd ontdekt. De kranten staan bol van de genetica, maar zowat niemand beseft dat genen QM-in-actie zijn. Zoals een molecuul een specifieke combinatie van atomen is, en geen Empedokleaans mengsel, zo is een individu een specifieke combinatie van

gen-moleculen, niet een gemiddelde van vorige generaties.

Ook u bent wandelende quantummechanica. Waarom ben je of een jongen of een meisje, maar niet het gemiddelde van je vader en je moeder? Zonder QM was je een hermafrodit – of, beter gezegd, helemaal niks, want hermafrodieten zoals slakken hebben zowel een penis als een vagina, en niet een enkel geslachtsapparaat dat een vormloos mengsel is van beide.

Omdat de blauwdruk van een ingewikkeld organisme zoveel details moet bevatten, moeten de moleculen die de erfelijke eigenschappen coderen lang zijn. Maar omdat de codering toch strikt moet zijn, is zo'n molecuul (op Aarde is dat DNA) tegelijkertijd smal. Wij weten niet of er elders in het Heelal leven is, maar op basis van de QM kun je keihard voorspellen dat zulk leven gebaseerd is op coderende moleculen, en dat deze lang en dun zullen zijn. Zelfs mutaties zijn QM-in-actie, want coderende moleculen zijn toch nog zoveel groter – en dus flexibeler – dan H<sub>2</sub>O dat er in de chemische reactie-keten weleens wat mis gaat.

Het gesprek op feestjes gaat vaak over sex, maar nooit over het meest opmerkelijke aspect daarvan, namelijk dat je man of vrouw bent, en niet een onbestemd mengseltje. Over andere dagelijkse vormen van quantummechanica valt nog veel te vertellen, al voel je je soms als Joseph Beuys: *Wie man dem toten Hasen die Quantenmechanik erklärt*. Het is wel even genoeg tot de volgende borrel. Inmiddels mag u zich afvragen hoe het komt dat je jezelf in een glas weerspiegeld ziet, terwijl je er toch doorheen kan kijken.

## Small steps, Ellie

La Liberté stormt de barricade op, kokarde op de viltmuts, *tricolore* in de vuist, borsten bloot. En alle mannen erachteraan (waar achteraan, vraag je je soms af). *Victoire!* Revolutie is romantisch, niet alleen in het werk van Delacroix maar ook in de wetenschap. Dus krijgen onderzoekers die een eindje boven het maaiveld uitsteken, om oppervlakkige redenen (columnisten) of substantiële (Nobelprijswinnaars), stapels post van romantici die hun theorieën over het Heelal opsturen ter beoordeling.

Natuurlijk is het fijn om post te krijgen, want dan weet je dat je gelezen wordt, maar het is een lastige klus om die goedbedoelde brieven te beantwoorden. Mensen die Einsteins werk willen overtreffen hebben ongetwijfeld hun hart op de goede plaats, want het werk aan de fysica is nooit af, maar helaas kun je niet aan de natuurkunde sleutelen als aan je klassieke 2CV. Goede bedoelingen staan los van goede resultaten. Het is dus onvermijdelijk mensen voor de kop te stoten. Dit vak is nu eenmaal spijkerhard, en hoe dik het fluweel van je handschoen ook is, de ijzeren vuist erin blijft voelbaar. Vooral, overigens, in de omgang van fysici onderling, want het verongelijkte beeld van een zichzelf beschermende klik napraters klopt evenmin als die mythologie over ‘revolutie’.

Het voornaamste probleem is, dat vrijwel iedereen het verkeerde beeld heeft van het verleggen van wetenschappelijke grenzen. Het is geen kwestie van het overschrijden van een scherpe afbakening, zoals een barricade of een loopgraaf. Het grensgebied tussen weten en niet-weten is een grillig niemandsland van vermoedens, vol mist, mijnen en moordenaars. Soms vind je een vooruitgeschoven post, bemand door een paar van je kameraden; elders is er een vernietigd door sluipschutters.

Die grens verleg je niet door een heldhaftige parachutesprong ver achter de linies, en zeker niet door een massale aanval over een breed front. Helaas zijn politici en zakenlui die met hun geld de wetenschap willen sturen ook geslagen met die amateurblindheid, en kiezen zij de grootscheepse veldtocht. Hun aanpak is de *Charge of the light brigade*, een absurde stormloop van met sabels gewapende ruiters tegen moordend machinegeweer. Promovendi en postdocs genoeg, nietwaar? Sommige wetenschappers zijn het ook zelf gaan geloven. Snaartheorie, bijvoorbeeld, doet mij weleens aan de Eerste Wereldoorlog denken. *So ein frischer, fröhlicher Wissenschaft*. Elke oprisping van maarschalk Foch kostte hon-

derdduizend man het leven; elke ruft van een snarenpaus uit Princeton brengt honderd steriele proefschriften voort. Onze onderzoekscholen, die *grosze Bataillonen*, zitten vol met kleine maarschalkjes die stiekem hopen op het soort standbeeld dat je in Franse provincieplaatsen tegenover de *Mairie* aantreft.

Die vierhonderd Engelse ruiters werden de dood ingejaagd door Lord Stiff-Upperlip, maar wie verleidt amateurwetenschappers tot hun kamikaze-acties? Om te beginnen de schrijvers van wetenschappelijke heiligenlevens. Toen het nog geen gewoonte was om ook de brieven, kladjes en ander grut van de Grote Geleerden bij de geschiedschrijving te betrekken, was het niet al te moeilijk om de ketter Darwin te schilderen op hetzelfde karton als de heilige Franciscus. Ook ik ben in mijn jeugd doodgegooid met sprookjes over Marie Curie en Isaac Newton. Daar denken deskundigen nu heel anders over; lees het stuk van Frans van Lunteren in *Newtons god en Mendels bastaarden*.

Maar die belangrijke herzieningen zijn nog niet tot het algemene bewustzijn doorgedrongen. Zo wordt de fabel van de vallende appel nog steeds doorverteld, terwijl inmiddels vaststaat dat Newtons werk niet in een flits tot stand kwam maar in twintig jaar vallen en opstaan, onderbroken door lange perioden waarin alchemie, religie en het bestrijden van valsemunterij zijn volle aandacht hadden. Mensen geloven graag in een opgaande lijn, zoals in de grijsgedraaide karikatuur van Darwiniaanse evolutie met een aap aan het begin en de fier rechtoplopende mens (pardon, man) aan het hoofdeinde van de reeks. Ook de wetenschap als geheel wordt verkeerd afgeschilderd als een heroïsche onderneming, van revolutie tot ‘paradigma-verschuiving’.

Het heldenmodel wordt ook in de hand gewerkt door een valse notie van ‘natuurwetten’. Een analogie met menselijke wetten klopt wel ongeveer, want onze wetgeving wordt steeds aangepast aan de veranderingen in de maatschappij. Maar meestal ziet men een natuurwet als een goddelijke wet, die eens en vooral gegeven is. Het enige wat de onderzoeker dan doet is zo’n wet ontdekken. Maar een natuurwet is een mensenproduct, en zulke ‘wetten’ worden door fysici – vaak tegen wil en dank – voortdurend aangepast en verfijnd. Door een haasje-over tussen abstractie, voorspelling en waarneming evolueren de regels. Als natuurwetten inderdaad vast en onveranderlijk waren, kon je er met wat geluk een slag naar slaan; jammer, maar helaas. Dit misverstand wordt nog versterkt

doordat onze beschrijvingen wiskundig zijn. In de wiskunde heb je wèl te maken met onveranderlijke wetten. De vierkleurenstelling zal over honderd miljoen jaar nog hetzelfde zijn, zoals de stelling van Pythagoras sinds de Griekse oudheid niet is veranderd.

Vervolgens pakken amateurs steevast het verkeerde probleem aan, meestal omdat zij een oppervlakkige populaire weergave van een wetenschappelijk resultaat voor de ware formulering aanzien. Ik heb in mijn archief dozijnen geschriften die ergens op de eerste bladzijde “het probleem van  $E = mc^2$ ” aansnijden, om tegen het eind te hebben ‘bewezen’ dat het  $E = mc^3$  moet zijn, ofzo. Hierbij valt het op dat zij hun pijlen altijd richten op de theorie. Niemand haalt het in zijn hoofd naar Sterrewacht Leiden te schrijven over waarnemingen die hij heeft gedaan met zijn nieuwe veldkijker uit de buitensportwinkel. Maar theorie wordt gezien als vrij toegankelijk voor iedereen. Jammer voor hen, maar zonder een grondige en diepgaande kennis van het vak kan niemand iets uitrichten.

Hoe het dan wèl gaat, is prachtig te zien in een passage uit de film *Contact*, waarin Ellie Arroway (in volwassen vorm gespeeld door Jody Foster – ik ben vergeten wie de kinderrol speelde), samen met haar vader een meteorenzwerm gaat waarnemen. Ellie is een jaar of twaalf en bezeten van de wetenschap, bereid en in staat om grote ontdekkingen te doen. Maar haar vader vermaant haar tegen onwetenschappelijk doordraven: “Small steps, Ellie! Small steps!” In de opwindning over het nachtelijke spektakel vergeet pa zijn medicijnen in te nemen en hij sterft aan een hartaanval. Ellie zal zichzelf blijven verwijten dat zij hem had moeten waarschuwen. En zijn woorden blijven haar bij: *Small steps, Ellie!*

Kleine stapjes, omdat je moet behouden wat we al wisten. De Aarde draait om de Zon, en niet omgekeerd; daar verandert de uitvinding van de quantummechanica niets aan. Het is als een spelletje Mikado: je moet de stapel stokjes zo voorzichtig afbouwen dat de boel niet verschuift, anders gaat je beurt voorbij. De klassieke mechanica is bevat in de speciale relativiteitstheorie, die weer een grensgeval is van de algemene. De klassieke mechanica is ook bevat in de quantummechanica, die op zijn beurt een speciaal geval is van de quantumveldentheorie. Een opmerkelijk mens ziet nu dat er dan blijkbaar een bruggetje is tussen de quantumveldentheorie en de algemene relativiteitstheorie, maar die verbinding kennen wij nu nog niet. *Daar* moet je aan werken, niet aan  $E = mc^2$  of zoiets oppervlakkigs.

Het gaat dus niet om een revolutionaire stormloop, een heldenstrijd, het radicaal omverwerpen van de regels. Hoe moet het dan wel? Om te beginnen, het juiste evenwicht vinden tussen twee uitersten: respect voor wat we al weten, en lak aan alles. Daarbij helpt het vaak als je wel heel veel weet, maar te jong bent om te beseffen dat een bepaalde aanpak als onmogelijk geldt. De relativiteit van de snelheid volgens Huygens, de uitvinding van quanta door Planck, de invariantie van de lichtsnelheid door Einstein, zijn ondanks alles kleine stapjes, maar in een richting die haaks staat op alle voordien geprobeerde richtingen. Het is bijna letterlijk alsof zo iemand in een andere dimensie stapt. Op mij hebben deze wonderlijke vondsten dezelfde uitwerking alsof ik iemand door een muur zie stappen, als een spook in een film.

Kleine stapjes, best, maar in welke richting? Niemand die het weet. Maar een Ellie Arroway in de toekomst zal het antwoord vinden, niet door een enorme stap, maar door een klein stapje in een richting waarvan niemand had gedacht dat die bestond. Van de ene kant van de muur naar de andere is een klein onmogelijk stapje, en toch is er af en toe iemand – Niels, Albert, Ellie – die het zomaar doet. Een volkomen nieuw en briljant idee lijkt voor de minder geniale toeschouwers niet zozeer een revolutie als wel een dwaasheid.

“Voorwaarts! *A la victoire!*” Dat snapt iedereen, het is *faire le zouave*. Maar wij zoeken iemand die een klein stapje in een onmogelijke richting neemt, roepend: “Zijwaarts. . . mars!”

## Professor Karels vak

Twee hamsters kun je met de helft van de lichtsnelheid op elkaar laten botsen, maar de uitkomst van die proef zal moeilijk te interpreteren zijn. Dat merk je wanneer je het experiment een honderdtal malen herhaalt: de resultaten zijn nooit dezelfde. Het gaat al beter wanneer je fietskogeltjes neemt, en pas bij een botsing van electronen begint het ergens op te lijken. Niet dat de hamsters te weinig nuttige informatie bevatten, integendeel: het is allemaal teveel. Zulke knaagdieren verschillen in talloze opzichten, en dat maakt de gevolgen van zo'n botsproef erg onoverzichtelijk. Er zijn, vaktechnisch gezegd, teveel vrijheidsgraden. Maar bij electronen ligt dat anders. Als je één electron hebt gezien, heb je ze allemaal gezien, want electronen zijn onderling identiek en zij hebben, voor zover wij nu weten, geen substructuur. Natuurkundigen hebben net zolang geploeterd totdat zij – misschien met meer geluk dan wijsheid – een niveau van eenvoud bereikten. Fijn voor ons, maar tot mijn verbijstering hoor ik regelmatig mensen beweren dat de natuurkundige vorm van experimenteel onderzoek de enige is die de naam 'wetenschap' verdient. Een beetje begrijpelijk is dat wel, voornamelijk door de *toepassingen* van de natuurwetenschappen, maar niet door de wetenschap zelf (over toegepaste alfa vertel ik later wel eens).

Nooit doen biologen zo'n hamsterproef. Niet zozeer uit deernis met de hamsters, want er gebeuren soms dingen in de experimentele zoölogie die ik niet van sadisme kan onderscheiden, maar omdat je er geen biologie van leert. Toch zal vrijwel niemand beweren dat biologie geen wetenschap is. Niet alleen vanwege Linnaeus en Darwin, maar ook vanwege Tinbergen met zijn blozende stekelbaarsjes. Het is dus verkeerd om je te beperken tot de natuurkundige aanpak. Wetenschap wordt in woordenboeken omschreven alsof het een ding is, of een methode. Maar het is veeleer een geestestoestand, zoals angst of vreugde. Het klinkt als een citaat uit het Woudlopershandboek, maar toch: het is een *bereidheid*. Een wetenschapper is bereid zich een slag in de rondte te werken voor niets (nooit echt geld en zelden echt resultaat) en bereid tot eindeloos leren. Die voorwaarden zijn noodzakelijk, maar niet voldoende. Er is een derde nodig: *de bereidheid zich door de feiten te laten terechtwijzen*. Feiten dus, zoals 'de Aarde draait' (wie beweert niet te weten wat een feit is, die liegt, tenzij hij onbekommerd water in zijn benzinetank gooit).

Alfa-vakken zijn wetenschap. Maar alfa-feiten worden niet ontdekt door het aantal letters in de werken van Shakespeare te tellen, of door Bach's handgeschreven partituren te koken in salpeterzuur. Is geschiedenis een wetenschap? Laten wij de volgende uitspraak eens toetsen: "Karel de Grote was de bijnaam die Dr. Karel van het Reve, hoogleraar in de Russische taal- en letterkunde, kreeg van zijn studenten." 't Moet een makkie zijn om door wat navragen de onjuistheid hiervan aan te tonen: die studenten zouden dat niet in hun hoofd hebben gehaald. En hoewel ik Van het Reve helaas nooit heb ontmoet, lijkt het mij zeker dat hij te bescheiden en te scherp was om zich zoiets te laten aanleunen. Of probeer eens: "Karel de Grote was de bijnaam die aan Karel de Vijfde werd gegeven in de latere jaren van zijn bewind." Is dit historisch juist? Vijfendertig procent van de eerstejaars Letteren beantwoordt deze vraag fout. Ga de bronnen na, en zoek het uit: "Wie werd wanneer waar geboren, en door wie werd hij hoe genoemd?" Deze ultieme tentamenvraag is te beantwoorden, als je door studie en met wat geluk de juiste bronnen weet aan te boren. Nieuwe feiten: potten opgegraven, boek ontdekt, schrift ontcijferd. Zonder een wetenschappelijke aanpak was het met Champollion en zijn hiërogliefen nooit wat geworden. Taalkunde is, volgens Liesbeth Koenen, al een experimentele wetenschap aan het worden dankzij de positron-emissie-tomografie, waarmee je in je hersenen kunt kijken om te zien welke lampjes oplichten als je Tolstoj leest.

Geschiedenis is een wetenschap, maar letterkunde is een lastiger geval. Een van Van het Reve's meesterwerken is *Geschiedenis van de Russische literatuur*. Dubbel-alfa, dus: geschiedenis en letterkunde. Toch kunnen wij het proberen, want – zoals Thomas Browne zei – het is niet helemaal onbegonnen werk om uit te vinden welk lied de Sirenen tot Odysseus zongen. Van het Reve zelf deed af en toe een wat kokette poging zijn eigen vak voor schut te zetten, door op te merken dat het verschil tussen een meesterwerk en een keukenmeidenroman niet exact omschreven kan worden. Nou, en? Dat er op bepaalde vragen nog geen antwoorden zijn, kun je de wetenschap niet kwalijk nemen – anders konden wij ook de natuurkunde wel opzouten. Zolang je als een tijger op de feiten jaagt, ben je een wetenschapper. Een van die feiten geeft Van het Reve: "Men kan een zodanige beschrijving van een machine geven dat men, die beschrijving volgend, net zo'n machine kan maken. Een beschrijving van een kunstwerk is echter [...] altijd zo, dat men een kunstwerk kan maken

dat geheel aan die beschrijving beantwoordt en nochtans zeer slecht is.” Daarna kun je je afvragen hoe dat komt; ik denk doordat toegepaste natuurkunde zo simpel is in vergelijking met kunst. Machines worden gedreven door eenvoudige toepassing van de krachten buiten ons, terwijl de kunst haar kracht zoekt in het zootje ongeregeld binnenin. Dat wij ons gedragen volgens dezelfde wetten als electronen helpt niets, want wij zijn nog weer wat ingewikkelder dan een hamster.

Zelf vind ik, *pace* Van het Reve, dat letterkunde wel een wetenschap is, maar het is moeilijker dit aannemelijk te maken dan in het geval van de geschiedenis, want de aard van de feiten is hier nog zo vaag. Het gaat niet om ‘verklaringen’ zoals fysische mechanismen. “Als wat Tolstoj beschrijft *verklaard* moet worden, als wat Tolstoj schrijft iets betekent dat door Jansen moet worden uitgelegd, waarom heeft Tolstoj dan al die moeite gedaan?” Van het Reve is allergisch voor ‘verklaringen’ die ‘betekenissen’ willen geven. Maar dat hoeft nu juist niet, omdat Tolstoj zo goed schreef, en omdat mensen toen en nu hetzelfde waren. Wat je op zijn minst wèl moet doen is de feiten beschrijven: uitleggen wat een samovar is, hoe die werkt, hoe de thee eruit smaakt, wie er een bezat, hoe duur ze waren en hoelang ze meegingen. Waarom een troika drie paarden heeft, en hoe de oorlogvoering in de slag bij Borodino verschilde van die bij Arnhem. Want in de tijd van de kalasnikov weet niemand meer hoe je vocht met een voorlader en door paarden getrokken kanonnen, en dus ook niet wat dat voor gevolgen had voor de geestelijke en lichamelijke toestand van soldaten en officieren.

Dat dit soort feiten nodig is, merk je direct als je iets wilt vertalen, zelfs binnen dezelfde taal. Vondel is nauwelijks te lezen zonder het boek van ‘Jansen’ ernaast. Dat komt deels door de Kaninefaten die onze spelling verzieken; het is alsof een staatscommissie van kunstklungels elke tien jaar onze Rembrandts een beurt met schuurpapier geeft. Maar vooral heb je uitleg nodig wegens de evolutie van de cultuur; daarom maakte het Rijksmuseum een tentoonstelling over symboliek in zeventiende-eeuwse schilderijen. Wat betekenden die lindeboom, die eglantier? Natuurlijk is het verleidelijk dingen te gaan ‘duiden’, want het bijzondere van een roman of gedicht zit in het ongeschrevene: “Lees maar, er staat niet wat er staat.” Wie de namen ‘Sam en Moos’ leest denkt meteen aan een Joodse mop, maar waarom? Dat staat niet in de tekst, maar het staat er wel – voor de goede verstaander. Daarom kan de computer niet vertalen,

en kunnen mensen het nauwelijks.

Ook ik word nogal kregel van sommige vakgebieden, in het bijzonder de meeste gamma-vakken. Niet alleen kom je daar buitensporig veel kletskoek tegen, maar – wat veel erger is – dat gezwam wordt door de vakgenoten niet of nauwelijks bestreden. Aan ‘deconstructivisme’ en andere ismen worden steeds nieuwe toegevoegd, zonder de geringste binding met de werkelijkheid. Dus gaan zelfs zeer toegeeflijke wetenschappers zich afvragen of er wel serieuze gamma-mensen zijn. Helaas is het ook in de exacte wetenschappen niet allemaal botertje tot de boom. Regelmatig ontvang ik piepschuimproefschriften, in noeste arbeid samengesteld door promovendi die ten bate van hun promotor een archief- of computerklus hebben opgeknapt. Deze oppervlakkigheid wordt in de hand gewerkt door het plan-onderzoek, een moderne uitvinding met Stalinistische trekken, waaronder het ‘afrekenen’. Maar zelfs deze niemendalletjes houden zich aan de feiten, en de proefschrift-inflatie wordt in de natuurwetenschap redelijk binnen de perken gehouden. Het zijn toch vooral de gamma-beoefenaren die veel te lief zijn voor de cohorten kletsmajors in hun gelederen.

Dat kun je over Van het Reve in elk geval niet beweren, getuige zijn opmerking: “Bij [...] *minus habentes* wekt de gewoonte de dingen zo eenvoudig en duidelijk mogelijk te zeggen een gevoel van wrevel en teleurstelling. . .” Een hard feit, professor Karel. Uw collega Einstein had het niet beter kunnen zeggen.

# Alphaville

Ik ben niet eens zo ver weg geweest, niet verder dan de Plejaden, maar toch zijn op Aarde drie eeuwen voorbijgegaan en voor mij nog geen zes jaar. Dat ze in staat waren mij bij terugkeer nogal achteloos uit mijn parkeerbaan te plukken, is te begrijpen: 282 jaar technische ontwikkeling is niet niks. Natuurlijk had ik niet verwacht dat mij in het jaar 2303 een warm welkom zou worden bereid, maar deze gevangenneming valt mij toch tegen. Gelukkig spreekt de persoon die mij ondervraagt vlekkeloos Nederlands, maar hartelijk is anders.

“Uw relativistische raket wordt volledig onderzocht, en uw antwoorden dienen alleen ter controle. Wees dus exact. Uw naam, land van oorsprong, datum en plaats van vertrek?” Drie eeuwen verder, en nog zo weinig beschaafd, denk ik, maar geef zonder zichtbaar protest de gevraagde inlichtingen; ook leeftijd, rang, opleiding, en de rest van mijn culturele ballast. “Specificaties van uw voertuig?” ‘Foton-aandrijving, relativistische omzetting van quarks door Englert-Brout-katalyse, magnetische vangst van waterstof, werkzame doorsnede 0,2 lunairen, versnelling 9,7 in stationaire modus.’ Ik krijg een kleur als ik besef hoe primitief hem dit in de oren moet klinken.

Gelukkig duurt het maar een half uur. “Hebt u nog iets te vragen, voordat wij u afvoeren?” Dat klinkt niet best. ‘Ja, natuurlijk. Wat is er intussen zoal veranderd, hier?’ “De gewone vraag. Wat onnozel. Als iemand uit het jaar 1739 dat aan u had gevraagd, was u dan over quarks gaan praten?” Ondanks mijn toestand maak ik me kwaad. ‘Zo dom ben ik nou ook weer niet. Ik zou natuurlijk met de stoommachine beginnen.’

Hij zwijgt, houdt zijn hoofd een beetje scheef, en kijkt mij dan ineens recht aan. “En zo begin ik met afbreekstreepjes.” Ik verwachtte iets technisch, en kan het woord niet meteen thuisbrengen. “Afbreekstreepjes. Af-breek-streep-jes. Om een woord aan het eind van een regel in tweeën te breken, overeenkomstig de bouw van het woord.” Nog snap ik hem niet. “Met de komst van de computer moest dat automatisch gebeuren. En dat kan niet zonder dat je begrijpt hoe een woord is gebouwd. Kinderen in uw tijd werden gezeseld met die sadistische streepjes. Later, toen ze volwassen waren, werd de marteling vrolijk voortgezet door allerhande spellingscommissies. Met kunst en vliegwerk werd aan computers geleerd hoe het moet. Dat was voor ons wat de stoommachine van Newcomen

was in de achttiende eeuw.”

Hij valt even stil. Natuurlijk herinner ik mij de soms hilarische fouten die je in kranten las, en er begint mij iets te dagen: de schampere houding van veel natuurwetenschappers tegenover hun alfa-collegae. Ik voel waar mijn ondervrager heen wil: ‘En toen kwam de James Watt van de taalkunde. En uiteindelijk de Einstein van de letterkunde.’ Hij klaart wat op. “Precies. Want er bleven woorden opduiken waarvan je niet kon zeggen hoe de afbreking moet, tenzij je de woorden eromheen bekijkt. Dus de bouw van de zin heeft invloed op de bouw van het woord.” ‘Betovergrootvader. Is dat een behekst familielid, of de vader van je overopa?’ onderbreek ik hem. “Juist! Maar dat was nog maar het begin.” Ik probeer hem voor te zijn: ‘Je moet de bouw van de wereld betrekken bij de bouw van een zin.’ “Kijk eens aan, dus u bent niet alleen maar een techneut die uit het verleden is komen aanwaaien. Dan bent u nu klaar voor het grote nieuws: de relativitaaltheorie.”

Ik begrijp het woord niet, maar hij vervolgt: “Waar bent u nu?” ‘In een soort politiebureau, denk ik.’ “Uw antwoord is geen *aanwijzing* maar een *verwijzing*, in dit geval naar Alphaville, omdat een absolute plaats in ons Heelal niet bestaat. U weet alleen waar u bent *ten opzichte van* iets anders. Dat is de relativiteit van plaats; zo zijn er ook de relativiteit van tijd en snelheid. Zoals uw geniale landgenoot Huygens aantoonde, leidt die relativiteit tot de wetten van de mechanica.” Hij doceert: “Betekenis is een valkuil – de uitgraving, niet de uitgestorven roofvogel.” Geen spoor van vrolijkheid op zijn gezicht. “De vooruitgang in de bèta-wetenschap kwam pas echt op gang toen men ophield te vragen naar de betekenis van dingen, en begon met na te gaan wat er eigenlijk gebeurde. Natuurkundigen zijn zo leep geweest om met de eenvoudige dingen te beginnen. Maar het echt geniale in dat vak is, dat men de vragen van de filosoof heeft vervangen door die van de metselaar. Dus niet: wat is het wezen van een kathedraal, of: wat is de ideale baksteen, maar: hoe moet je bakstenen stapelen om een kathedraal te krijgen die niet instort? In geen enkel electronica-boek staat gedefinieerd wat een electron is. Telkens weer bleek dat definities nooit helemaal kloppen, en dus hadden filosofen de hardnekkige neiging om de feiten te ontkennen of aan te passen, en eindeloos te zaniken over wat-bedoel-je-precies-met. *Wij hebben hetzelfde ontdekt voor de taal*. Pas toen men ophield te vragen naar de betekenis van zinnen, kon er enig begrip ontstaan.”

Ik ben totaal verbluft, de kamer draait voor mijn ogen. Zonder te wachten gaat mijn ondervrager door: “Vanaf het moment waarop ‘wat is het’ werd vervangen door ‘wat doet het’ begint de natuurkundige victorie. Toen ‘waar is het’ werd verlaten ten gunste van ‘waar is het ten opzichte van. . .’ kon er ernst worden gemaakt met de wiskundige formules van de mechanica. Welnu: het principe van relativiteit geldt ook voor begrippen. En zo ontstond, in de tijd dat u tussen de sterren zweefde, de differentiële taaldynamica.” Eindelijk krijg ik er een woordje tussen. ‘Maar dat is onmogelijk. Hoe kun je over de inhoud van taal spreken als er geen absolute betekenis is?’ “Een opmerking uit het jaar 2000. Niet de betekenis, maar het verschil in betekenis telt. Absolute plaats bestaat niet. Absolute betekenis evenmin. Alleen verschillen in betekenis zijn waarneembaar. Sartre is een schoft. Sartre is een bedrieger. Waar zit hem het verschil? Een bedrieger kun je als schoft beschouwen, tenminste als je bedriegen afkeurt, maar niet elke schoft is een bedrieger. Je zou een reeks van zulke uitspraken kunnen doen. Vergelijk eens: ‘Sartre is een wezel’ met: ‘Sartre is een gelovige’. In het eerste geval zou Sartre een dier kunnen zijn, in het tweede niet.” Ik ben de draad nu volledig kwijt. ‘Wie is die Sartre?’ “Geen idee, ’t is zomaar een naam, die als vanzelf bij ‘schoft’ lijkt te passen. Maar merk op dat u meteen besluit dat Sartre een mens is, en geen hamster kan zijn. Als ik had gezegd ‘Sartre is bang’, in plaats van ‘schoft’, had dat wèl gekund.”

Hij schept even adem, en ik vat moed. ‘Fijn voor jullie dat je wat meer van taal weet dan wij. Maar u wilt zo’n taalkundige theorie toch niet vergelijken met de Algemene Relativiteitstheorie, waardoor mijn raket doet wat-ie doet. Waar is uw taalkundig equivalent van de Veltman-’t Hooft SU(2)-corrector?’ Mijn ondervrager sluit even zijn ogen, om mij daarna des te feller aan te kijken. “Dus toch een zwervende techneut,” sist hij. “Jammer. De eerste toepassing van de relativitaaltheorie was de Battustest, vergelijkbaar met de Turingtest voor machines. De eerste automatische vertaling van een van de eenvoudigste hoofdstukken uit *Opperlandse taal- en letterkunde* werd nog gezien als een grapje voor specialisten, zoiets als de eerste splijting van de atoomkern. Maar ik verzeker u, dat wij sneller respect kregen dan de uraniumprutsers uit uw tijd. Die lui dachten dat hun machines mensen konden nabootsen. Er is zelfs een oude opname opgegraven waarin iemand beweerde dat een computer een rechter kan vervangen. Ik draai die nog wel eens op

college, als mijn studenten aan wat ontspanning toe zijn. Maar zonder de toegepaste relativiteitstheorie werd het niets, helemaal *niets*.”

Onverwachts staat mijn ondervrager op, en komt recht voor mij staan. “Wat een stakkers, u en uw tijdgenoten. Slampampers die drenzen over het verbieden van genetica, jengelen over kernfusie. Wisten zij veel dat ze eigenlijk de alfavakken hadden moeten verbieden toen nog niemand serieus over de mogelijkheden van toegepaste alfa dacht? Wie een vertaalmodule kan bouwen, kan een machine maken die elk gesprek afluistert en beoordeelt. En een programma dat gedragspatronen analyseert kan, gekoppeld aan een camera, zelf bepalen of dat gedrag verdacht is of niet.” Hij gaat weer achter zijn tafel zitten. “Weet u welke taal ik nu spreek? Nee, ik bedoel niet de taal die u nu hoort. Dat is Nederlands, omdat u Nederlander bent. Ik bedoel de taal die ik *spreek*.” Er klinkt meewarigheid in zijn stem. “De taal die ik spreek hoeft niet dezelfde te zijn als die welke u hoort, dankzij het instanton. Dat is een instantaanvertaalmodule. In ons geval afgesteld op het Nederlands uit 2021, niet uit 2303. Besefte u dan niet dat het zeer vreemd was dat u na drie eeuwen nog verstaanbaar werd toegesproken?” Ik krijg een rood hoofd, en kijk naar mijn geboeide handen. “Nu ik daar toch over praat: ik vroeg u al welke taal ik spreek. Dat wist u niet, uiteraard. Ik vraag u nu, voordat u voorgoed wordt afgevoerd: weet u of ik een mens ben, of een machine?”

# Waar een wil is

## Het manuscript

Het liep tegen Kerstmis 1996, toen ik bezoek kreeg van Hannie Geerlings. Zij bracht twee dingen mee: een verhaal en een pak papier. Beide waren – ik zal er geen doekjes om winden – mooi en ontroerend. En zo liggen voor mij dertig vellen folio ruitjespapier, van het soort dat ik altijd zal blijven verbinden met natuurkunde-tentamens. Op die vellen staat een zorgvuldig met de hand geschreven verhandeling onder de titel: *On the origin of the Solar System*. Niet meer en niet minder.

In het afgelopen jaar heb ik mij verdiept in Geerlings' manuscript. Niet alleen uit eerbied voor iemand die zijn trouw aan de menselijke beginse-  
len met zijn leven moest bekopen, maar ook uit nieuwsgierigheid. Sterrewachten krijgen jaarlijks dikke pakken papier van mensen met buitenis-  
sige theorieën, en ik ben daarin bijna nooit iets tegengekomen dat de  
moeite waard was. Maar mijn skepsis verdween al snel; hier was ie-  
mand met enige kennis van zaken aan het werk geweest. Hier wil ik  
die berekeningen kort samenvatten, en in verband brengen met tegenwo-  
ordige theorieën over het ontstaan van sterren en planetenstelsels.

## Geerlings' theorie

Omstreeks de jaren '30 was een van de gangbare theorieën voor de oor-  
sprong van ons planetenstelsel de getijdentheorie. Hierin wordt veron-  
dersteld dat onze Zon, in een ver verleden, zo dicht langs een andere ster  
heeft gescheerd dat de sterren door wederzijdse getijdenkrachten een deel  
van hun buitenste lagen hebben verloren. Dat gas bleef in de buurt van  
de oer-Zon ronddwalen en condenseerde tenslotte tot een schijf waaruit  
de planeten ontstonden. Een andere theorie was de nevel-hypothese: de

---

Natuur & Techniek, 18 november 1997

veronderstelling dat planeten tesamen met hun centrale ster ontstonden, als een soort overgebleven gruis uit de oerlevel.

Geerlings noemt die tweede mogelijkheid niet; hij gaat er kortweg van uit dat de oer-Zon reeds bestond maar nog niet was voorzien van planeten. Maar ook met de getijdentheorie had hij weinig op: hij nam aan dat zulke ontmoetingen, bijna-voltreffers tussen twee sterren, zo zeldzaam zijn dat wij ze gevoeglijk kunnen verwaarlozen, hoewel hij hier geen kwantitatieve beschouwingen aan wijdde. We weten nu dat zulke bijna-botsingen inderdaad buitengewoon zeldzaam zijn: eens in de  $10^{20}$  jaar, terwijl de leeftijd van het Heelal slechts  $10^{10}$  jaar is. Het Heelal zou dus nog tien miljard maal ouder moeten zijn dan het nu is, voordat er een kans op zo'n botsing was. Het is dus niet overdreven te zeggen dat het nooit voorkomt: we hoeven niet bang te zijn dat een ster uit de Melkweg ons voor de kop zal stoten.

In plaats daarvan ontwikkelde Geerlings in zijn verhandeling een soort mengvorm tussen de getijden- en de levelhypothese. Hij stelde dat er in de Melkweg een ander soort botsingen plaatsvindt: namelijk tussen sterren en gaswolken. Hoewel hij hiervoor ook geen kwantitatieve schatting gaf, is het niet moeilijk uit te rekenen wat die kans is; ik bereken een botsingstijd van eens per 500 miljoen jaar tussen de Zon en de kern van een reuze-moleculaire wolk. Dat is dus eens per twee 'galactische jaren'.

Hoe kan nu zo'n botsing tussen gas en ster tot het ontstaan van een planetenschijf leiden? Stel dat je een ster hebt zonder planetenstelsel. Laat die ster bewegen in een interstellaire gaslevel. Dan kan de ster gas aan zich trekken, waaruit dan planeten kunnen ontstaan.

Een soortgelijke theorie was reeds geopperd door Bondi-Hoyle-Lyttleton; daarmee was Geerlings blijkbaar vertrouwd, want hij verwijst naar dat werk. Volgens die theorie beweegt een ster in een rechte lijn door een homogeen gas. Het gas dat dicht bij de ster is dan een zekere afstand wordt voldoende sterk afgebogen om, achter de ster, een soort kielzog te vormen. Die afstand hangt af van de temperatuur van het gas, van de snelheid van de ster en van de massa van de ster. We noemen dat thans de accretie-straal of soms Bondi-Hoyle straal. Het zo ontstane kielzog van verdicht gas wordt vervolgens door de ster aangetrokken. Uit dit gas zou dan een planetenstelsel moeten ontstaan.

Maar Geerlings zag in dat dat niet voldoende is. Door accretie in een rechte baan kan de ster wel een staart maken, maar geen schijf. Het gas in

het kielzog valt immers recht naar de ster toe, en regent op het steroppervlak in plaats van eromheen te gaan draaien. De oplossing zocht hij in de baanbeweging van de proto-Zon in de interstellaire wolk er omheen. Die baan was natuurlijk gekromd, een soort zwieren rondom het massamiddelpunt van de wolk. Dus vermoedde Geerlings dat de opgeveegde massa vanzelf in een vlak terecht zou komen: zo was het vlak van de Dierenriem, waarin de planeten bewegen, ongeveer hetzelfde als het baanvlak van de Zon in de wolk interstellaire materie waarmee de ster in aanvaring was gekomen.

Voor mij was dit inzicht een van de leukste stukken van het werk. Enigszins tot mijn verbazing gaat Geerlings niet zover dat hij dit effect even kwantitatief afschat. Het is niet echt moeilijk; je hoeft alleen maar de baankromming in de interstellaire wolk te vergelijken met de Bondi-Hoyle straal. Je vindt dan dat de verhouding tussen de accretiestraal en de baanstraal ruwweg dezelfde is als de ster massa gedeeld door de massa van de wolk. Dat betekent dat Geerlings' effect nogal klein is: slechts een op ongeveer honderdduizend. Ik betwijfel dus of het zou werken, maar een goed idee was het wel.

Eerst stelt Geerlings de vergelijkingen op voor de baanbeweging door de wolk. Dan maakt hij een benadering voor de beweging dicht bij het wolkcentrum (waar de gasdichtheid het grootst is) als een stukje van een cirkelbaan. Beschouw nu de baan tijdelijk als een stukje van een cirkel. We weten dat de effecten van een gekromde baan kunnen worden samengevat met de centrifugale versnelling en de Coriolis kracht. Die twee effecten staan dan ook centraal in het manuscript. Vervolgens geeft Geerlings een analyse van de bewegingsvergelijkingen van het gas. Dat was essentieel voor deze aanpak, omdat dat de mogelijkheid bood het vlak van de ecliptica voort te brengen. Uit deze berekeningen vond hij een uitdrukking analoog aan de Bondi-Hoyle accretie, en een schatting voor de hoeveelheid draaiing (impulsmoment) van de opgeveegde massa. Die draaiing is nul in het geval van een rechte baan, maar in het geval van een kromme baan niet.

Het resultaat was dat er banen ontstonden die weliswaar gebogen zijn, maar toch bijna recht naar de oer-Zon terugvallen, dus nog lang geen planeetbanen. Zulke banen hebben een grote excentriciteit, dus in Geerlings' model waren de oer-planeten meer een soort kometen in zeer langgerekte banen. Hier liet zijn methode hem in de steek, want echte hydrodynam-

ica is nodig om circularisering van de banen te beschrijven. Zijn theorie was beter dan hij zelf wist, want schokken en viscositeit zullen binnen de kortste keren een cirkelschijf geven. In het geschetste geval zou de uiteindelijke baanstraal echter heel klein geweest zijn, zo'n honderdduizend maal kleiner dan de accretiestraal; planeten voorbij Mercurius zijn zo niet te maken.

Het ontbrak Geerlings in die tijd, en onder die omstandigheden, aan de middelen om veel uit te rekenen. Hij kwam dan ook niet verder dan een aantal algemene formules, die hij niet nader numeriek uitwerkte.

## **De toestand in 1998**

Springen we nu naar vandaag, dan zien we meteen dat Geerlings' theorie, hoe aardig ook, lijdt aan een zwakte die alle varianten van de getijden-theorie kenmerkt: je gaat ervan uit dat de Zon al bestond, maar hoe kwam die ster daar dan?

Tegenwoordig zien we in dat de centrale ster en de daar mogelijk omheen bewegende planeten tegelijk gevormd moeten zijn. Dat gaat ongeveer als volgt. Een ster is in evenwicht tussen de aantrekkingskracht van de zwaarte, en de afstotende kracht die ontstaat door de gasdruk binnen in de ster. Die twee zijn in evenwicht bij een bepaalde temperatuur. Die stelt zich zo in dat atoomkernen in de sterkern door fusie energie leveren; die energie is juist voldoende om de straling, verloren door het steroppervlak, te compenseren. Alsdus is een ster een samenstel van twee evenwichten: tussen zwaarte en gasdruk (hydrostatisch evenwicht) en tussen stralingsverlies en fusiewinst (energie-evenwicht).

De deeltjesdichtheid in de kern van een ster is daarbij nogal hoog. De gemiddelde massadichtheid van een ster als onze Zon is ongeveer dezelfde als de dichtheid van water op Aarde, een ton per kubieke meter ofwel  $10^{30}$  deeltjes per kuub. De interstellaire materie in de Melkweg, waaruit de ster zich vormt, is enorm veel lager: zowat een deeltje per kubieke centimeter, dus  $10^{24}$  maal minder. Omdat de samentrekking van interstellaire wolken tot een ster in drie dimensies gebeurt, betekent dat dat een proto-stellaire wolk met de derdemachtswortel uit dit getal moet inkrimpen. Er is dus een factor  $10^8$ , een honderdmiljoenvoudige samentrekking in straal nodig. De Zon begon dus ooit als een wolk met een straal van  $10^{14}$  kilometer.

Op zichzelf is dat geen probleem; met een bescheiden samentrekkingsnelheid van één kilometer per seconde kan zich een ster vormen in een tiental miljoenen jaren. Vergeleken met het ‘galactisch jaar’ van 250 miljoen jaar is dat een schijntje. Het probleem schuilt in een hoekje, alsvolgt.

Wanneer de wolk zich samentrekt, gaat hij steeds sneller draaien. Dat komt doordat de ‘hoeveelheid draaiing’ van een lichaam, het zogenaamde *impulsmoment*, tijdens de beweging behouden blijft. Het impulsmoment van een lichaam is het product van massa, omtrekssnelheid en afmeting. Stel dat de massa ongeveer constant is, dan besluiten we meteen dat de omtrekssnelheid van een samentrekkende wolk omgekeerd evenredig is met de afmeting. Grofweg gezegd: maak je de wolk tienmaal zo klein, dan gaat-ie ook tien maal zo snel draaien.

Zelfs een klein beetje draaiing van de oorspronkelijke wolk zal uiteindelijk tot zo’n hoge draaisnelheid oplopen dat de ster niet verder kan samentrekken ten gevolge van de ‘middelpuntvliedende kracht’. Zo wordt stervorming geheel verhinderd. Maar we zien wel degelijk sterren; hoe kan dat?

Het antwoord is simpel: tijdens de samentrekking wordt de wolk sterk afgeplat. In de zo gevormde schijf wordt de draaiingsenergie met een soort ‘emmertjes-brigade’ naar buiten toe doorgegeven. Zo wordt de schijf steeds platter en kan de centrale proto-ster toch verder samentrekken tot een echte ster. Het was al lang bekend dat in ons Zonnestelsel de draaiingsenergie voornamelijk ligt opgesloten in de baanbeweging van de reuzenplaneet Jupiter.

De platheid van een samentrekkende proto-stellare wolk is dus essentieel. Daarom zijn we tot de slotsom gekomen dat het ontstaan van planetenstelsels een onvermijdelijk bijproduct is van de vorming van enkelvoudige sterren (bij het ontstaan van dubbelsterren kan de draaiingsenergie gaat zitten in de baanbeweging van de sterren zelf).

Aan deze variant van de nevel-theorie is de laatste jaren veel gewerkt. Men heeft ijverig gezocht naar de voorspelde proto-planetaire schijven, en tenslotte zijn die - voornamelijk met behulp van de *Hubble Space Telescope* - inderdaad gevonden.

Ondanks dat de hoofdlijnen van de theorie goed werden bevestigd, had de Natuur nog een enorme verrassing voor de theoretici. Bij nadere bestudering bleen namelijk dat de schijven rondom jonge sterren niet

alleen massa naar binnen transporteren, maar ook naar buiten. En wel langs de draaiingsas in de vorm van scherpe bundels, straalstromen (*jets*) genoemd. Zo'n straalstroom is een paar tegengesteld gerichte gasbundels die met honderden kilometers per seconde opspuiten in het interstellair gas. Wanneer ze op dat gas botsen, ontstaan 'boegschokken'. Ook kan zo'n straal tegen kleine wolkjes opbotsen en daardoor fel oplichten. Dat zijn de zogenaamde Herbig-Haro objecten, genoemd naar de ontdekkers ervan die tientallen jaren geleden niet precies wisten hoe deze vreemde objecten te verklaren.

### **Werk en waarde**

Vijfenvijftig jaar terugkijkend zien we dat er veel, heel veel is veranderd in onze opvattingen over het ontstaan van sterren en planetenstelsels. Het voornaamste verschil is, dat wij thans inzien dat de oorsprong van onze Zon en de planeten niet kan worden gezien als een proces van individuele deeltjes, maar als een gasdynamisch geburen. Geerlings zag wel een glimp van dat probleem, maar had niet de middelen om het op te lossen. Toch was zijn aanpak voor de jaren '40 modern. Hij heeft helaas maar weinig kunnen bijdragen aan de astrofysica. Maar Dirk Geerlings heeft alles wat hij bezat bijgedragen aan onze vrijheid.

## Over TGV en OCW

NIEMAND had ooit een echt ruimteschip gezien. Zeker, in de komkommertijd stond 's lands grootste krant steevast bol van de verhalen over vliegende schotels, maar dat was alleen maar om de belangen van de papier-en-inkthandel te dienen. Toen het schip dan ook echt verscheen was niemand erop voorbereid. Het was niet eens buitensporig groot, het leek in niets op een schotel, en het was niet zichtbaar bewapend. De immense dreiging die ervan uitging werd pas voelbaar toen de eerste berichten van het toestel werden ontvangen.

Die lieten aan duidelijkheid niets te wensen over. Alle mensen werden gesommeerd een andere planeet op te zoeken, want de Aarde zou over enkele jaren vernietigd worden om plaats te maken voor een zijtak van de Trans-Galactische Verkeersweg, de TGV. De TGV, zo bleek uit de door radiotelescopen opgevangen berichten, was zoiets als een Relativistische Flitstrein. Die moest op zijn pad af en toe een stukje hyper ruimte doorkruisen om de funeste gevolgen van tijddilatatie en Lorentz-FitzGerald contractie te neutraliseren (het opgevangen bericht was blijkbaar een galactisch ambtelijk stuk, niet bedoeld om door burgers begrepen te worden, en zeker niet die op Aarde). De TGV moest dus hier en daar een stukje door de hyperruimte heen, en het toeval wilde dat daarvoor het binnenste van ons Zonnestelsel bijzonder geschikt was.

Bij het bericht was een afschrift gevoegd met details over de besluitvorming. De opsomming van de diverse galactische gremia was nogal obscuur, maar één ding was duidelijk: de kosmische Bos-variant liet niet de minste ruimte voor planeten rondom de Zon. Interessant was wel de bijlage over de financiering, waarin duidelijk stond dat een planeetvriendelijk relativistisch wormgat te duur zou zijn geweest. Meer middelen waren niet op te brengen; het verhogen van de interstellaire belasting zou slechts leiden tot grotere kapitaalvlucht naar de Andromeda Nevel, en naar andere lage-lonen-sterrenstelsels.

Er brak een elektronische orkaan van protesten los, maar er kwam slechts één bericht terug: dit was al de zoveelste waarschuwing, maar planeet Aarde had zich doof gehouden, zodat een bezoek van het ruimteschip

---

Tafelrede bij het afscheid van dr. Jo Ritzen, Minister van OCW, 17 juni 1998

nodig was. Als de aardbewoners zo dom waren om de buitenaardse signalen niet te kunnen opvangen, dan waren zij het niet waard om mee te praten. Dat het SETI project, de *Search for ExtraTerrestrial Intelligence*, wegens gebrek aan maatschappelijke relevantie was opgeheven, strekte de Aarde bepaald niet tot aanbeveling. Ook het feit dat taalkunde, zijnde een alfa-studie, zo slecht gefinancierd werd dat niemand was voorbereid op interstellaire communicatie, werd door de buitenaardse wezens toegeschreven aan menselijke kortzichtigheid.

**Terwijl** de Verenigde Naties vergaderden, en de Veiligheidsraad in stormachtig gekrakeel ten onder ging, waagden een paar individuele afgezanten van de Aarde het erop om de zaak van onze planeet bij de wezens in het ruimteschip te gaan bepleiten.

Als eerste ging de priester, want die kon het makkelijkst aan geld komen buiten de steun van de Overheid om, en bovendien had hij zich het langst voorbereid op contact met het hogere. Toen hij het ruimteschip binnenkwam vond hij vier buitenaardse wezens tegenover zich. Dat was de Vierschaar van de Galactische Commissie voor de Beroep- en Bezwaarschriften.

Ruimtewezen Een bracht een geluid voort, dat door de interstellaire simultaancomputer, die uiteraard aan boord was, alsvolgt werd vertaald.

‘Zeg ons, Aardling: waarom mogen wij jullie planeetje niet opblazen? Jullie spreken al een halve eeuw over ruimtevaart. Zelfs Nederland heeft een ruimtevaartprofessor, al heeft die het nooit verder gebracht dan tien rondjes op tweehonderd kilometer hoogte. Er wordt bij jullie honderd miljard per jaar uitgeven aan ruimtevaart. Welnu: vaar dan! Daarna ruimen wij de boel verder wel op.’

“Ach, ijdelheid der ijdelheden, die ruimtevaart is alles ijdelheid,” jammerde de geestelijke. “Feit is dat er nog geen twee dozijn mensen verder weg geweest zijn dan vijfhonderd kilometer, minder dan de afstand Amsterdam-Parijs. Nee, u moet de Aarde laten bestaan omdat de mens centraal staat in het Heelal. Zo zijn wij geschapen, naar Gods beeld, zo is het bedoeld. Wij alleen kennen het onderscheid des goeds en des kwaads. Het zou zonde zijn om ons te vernietigen, want dan zouden de hoogste geestelijke waarden in het Heelal verloren gaan.”

‘Waar zitten die dan?’

“In de onsterfelijke ziel,” zei de priester.

‘Wat is dat?’

“Dat is het onstoffelijk deel van de mens.”

‘Dan kunnen we dat ook niet vernietigen. Ga maar weg: als je een onsterfelijke ziel hebt kan de dood je niks maken.’

De priester keerde onverrichterzake terug naar de Aarde.

**Daarna** kwam de generaal. Ook hij was vrij gemakkelijk aan geld gekomen; dat hij niet als eerste was gegaan kwam doordat er een heftige stammenstrijd had gewoed of er een admiraal of een generaal moest gaan, en ook of dat een land- dan wel luchtmachtgeneraal moest wezen. De luchtmacht, zijnde het dichtst bij de ruimte, had gewonnen. Tot hun generaal sprak Ruimtewezen Twee door de simultaancomputer:

‘Zeg ons, Aardling: waarom zijn jullie niet boven de atmosfeer uitgestegen? Waarom een luchtmacht, als je een ruimtemacht had kunnen zijn?’

“Omdat wij zijn aangesteld voor het behoud van nationale waarden. Wij moeten dus dicht bij het land blijven, al zijn wij een luchtmacht. Bovendien is echte ruimtevaart zó moeilijk en duur, dat internationale samenwerking noodzakelijk is, dus zijn wij daar op tegen.”

‘Nationale waarden?’ schamperde Twee. ‘Die zijn in de Melkweg al kort na de Oerknal afgeschaft. Vanuit de ruimte zijn je treurige stippellijnen volkomen onzichtbaar. Als jullie echt de ruimte waren ingegaan, en jullie planeet als een saffieren bal hadden zien zweven, was je dat geloof in lapjes land wel kwijtgeraakt.’

Ook de generaal ging dus onverrichterzake terug. Hij had intussen genoeg van het ruimteschip gezien om zich te realiseren dat zijn atoombommen hier niets konden uitrichten, en alleen maar bruikbaar zijn voor het verdedigen van de nationale waarden van Aardse landen.

**Toen** kwam de zakenman. Ook voor hem was het geld een makkie, maar hij was laat want er was enige discussie geweest over het motorvermogen en het aantal *airbags* van zijn raket-van-de-zaak. Tot hem sprak Ruimtewezen Drie:

‘Leuke raket, wel. Occasionnetje?’

“Ja hee, voor een geintje zie ik je straks wel in barretje Betelgeuze. Hoe heb ik het nou met jullie, jongens, ons opblazen? Dat is kapitaalvernietiging! Met nationaliteiten heb ik niks, wij zakenlui voelen veel meer voor globalisering. We maken een *deal*. Galactische globalisering. U moet

ons niet vernietigen, maar hier investeren. Een ruimtestation vestigen, of zoiets. Wij zorgen voor skyboxen op Mars, OK? Als u zich wilt vestigen – en dat wilt u – dan niet op zomaar een planeet, maar op Aarde – *de* planeet.”

Ruimtewezen Drie was even stil, en zei toen:

‘Weet je – die vent heeft een punt.’ Maar Een, Twee en Vier zeiden: ‘Niks! Veel te riskant, investeren in zo’n bananenplaneetje waar de apen nog maar net sprekend uit de bomen zijn afgedaald. Korte metten mee maken. Opblazen!’

**Vervolgens** reisde de onderwijzer naar het ruimtestation. Eigenlijk had dat niet mogen gebeuren, maar op Aarde had een of andere lumperik een *lump sum* financiering bedacht, en de gezamenlijke scholen hadden daar één hele grote *lump* van gemaakt, genoeg om de bovenmeester met een twee-fasenraket naar boven te schieten. En zo zat hij dan tegenover de buitenaardse Vierschaar.

“Niet doen,” riep de onderwijzer zodra hij nog maar half uit de luchtsluis was, “denk aan onze kinderen!”

‘Onzin, kinderen zijn hetzelfde tuig als jullie, alleen wat kleiner. We hebben ze door onze telescopen zien housen. Wat denken jullie wel, dat we hier een galactische hangplek willen vestigen? Op Aarde zijn de stations ook al een broeïnest van drugshandel, prostitutie en geweld. Denk je dat we jullie kinderen in onze galactische stations nodig hebben?’

“Fout! Helemaal fout gedacht. Je moet eerbied hebben voor het kind, want het kan nog van alles worden.”

Opnieuw was het even stil aan boord.

‘Tja, daar zit wat in,’ zei Twee. Maar Een en Vier merkten op dat Aarde alleen met algemene stemmen ontzien kon worden, en dus bleef het besluit staan om de planeet weg te poetsen.

**Als vijfde** kwam de wetenschapper. Die had geen cent te makken, maar omdat hij en zijn collega’s de enigen waren die raketten begrepen en konden bouwen, hadden zij er zelf een in elkaar geflanst die bij de eerste poging perfect bleek te werken, omdat er geen tonnen papier met *mission specifications* hoefden te worden ingevuld.

‘Kijk eens aan,’ sprak Vier, en de simultaancomputer slaagde er warempel in om een mengsel van spot en respect weer te geven. ‘Niet gek

gedaan, voor een aap. Weet je wat - kom jij maar met ons mee, dan laten we de rest ploffen.'

"Ben je bedonderd?" vroeg de wetenschapper. "Ik heb nog drie promovendi en een paar dozijn studenten om voor te zorgen. Heb je de onderwijzer niet gehoord? Jullie hebben gelijk, we weten nog bijna niks, maar juist daarom! Er valt nog zoveel te ontdekken!"

'Wat weten jullie dan al?' sprak Vier, en de computer gaf ook zijn sarcasme aardig weer.

"Het Heelal bestaat uit deeltjes, ruimte, en tijd," begon de wetenschapper.

Een oorverdovend geraas vulde de commandobrug van het ruimteschip. Het duurde even voordat de wetenschapper begreep dat dit het galactisch equivalent was van een Homerisch gelach. Gelukkig was de wetenschapper dikwijls op internationale conferenties geweest, hij had al menige visitatiecommissie te woord gestaan, en ook was hij weleens opgedraafd in televisie-praatprogramma's, dus hij was gehard tegen uitlachen.

"Jamaar, we zijn er inmiddels ook achter dat ruimte en tijd eigenlijk hetzelfde zijn," vervolgde hij. Het lawaai werd wat minder. "We hebben ontdekt dat wij niet het middelpunt van het Heelal zijn. Ook is ons bekend dat wij een soort aap zijn, en wij verwachten niet dat een pissebed de Algemene Relativiteitstheorie begrijpt, dus waarom zouden wij dan wèl het Heelal kunnen begrijpen? Toch zit er nog wel schot in: sommigen van ons denken dat deeltjes ook ruimte-structuren zijn, maar dan in een hogere dimensie."

'Waarom werken jullie dat idee dan niet verder uit?' wilde Vier weten.

"Wel, dat komt doordat wetenschappers door commissies worden benoemd. Zij hebben dus uitstekende sociale vaardigheden, maar zij zijn meestal middelmatig, en doodsbang voor nieuwe ideeën. Bovendien zijn wij allemaal het merendeel van onze tijd kwijt aan het maken van rapporten over wat wij zouden hebben kunnen doen als we tijd voor onderzoek hadden gehad."

'Een pestplaneetje dus. Opblazen maar. Jammer voor jullie, je bent op de goede weg,' zei Vier korzelig, en draaide zich om.

**Tenslotte** bracht de kunstenaar een bezoek aan het ruimteschip. Die kwam het laatst, omdat hij de meeste moeite had om geld bijeen te scharen. Gelukkig was zijn vierdimensionale portret van het staatshoofd zó

populair gebleken dat hij van de verkoop, en wat brandstof op de pof, de reis net kon bekostigen.

Tot hun verbazing bemerkten de ruimtewezens dat de kunstenaar niet was gekomen om te proberen hen op andere gedachten te brengen.

“Ik wil eens zien hoe het er hier uitziet,” zei hij. “Ik heb begrepen dat jullie de hogere dimensies al aardig beheersen, en ik ben nou eenmaal verslingerd aan ruimtelijk werk.”

‘Maar daar heb je toch niks aan als we de Aarde opblazen?’ zei Vier.

“Ach, dood gaan we toch. De kunst heeft zich altijd al tegen de dood aangeschurkt, en waarom zou ik niet? Mooi uitzicht heb je hier trouwens. En dan daarbij: die priester had wel een beetje gelijk, want wat ik voel neem je me toch niet af. Zitten aan de zee als de zon ondergaat, kijken naar de sterren die één voor één zichtbaar worden, niet met telescopen maar met het blote oog; de sterren die verder reiken, voorbij de plek waar jullie vandaan komen, waar dat ook is.”

‘Zover kun je niet kijken, dat weet elk galactisch kind,’ sputterde Vier tegen.

“Nee, maar ik kan het wel zien. En al kijkend luister ik naar de dichter Bashō, die zijn penseel pakt en schrijft:

*Een woedende zee!*

*Tot aan het eiland Sado  
strekt zich de Melkweg.”*

‘Van de Melkweg heb je dan tenminste gehoord,’ zei Vier smalend.

“Maar *jij* weet niet wat het eiland Sado is.”

‘Nou en?’

“Dat is het belangrijkste deel van het gedicht. Sado is een eiland bij het land dat wij Japan noemen. Het is een gevangenseiland. Daar worden mensen neergezet die iets gedaan hebben wat de andere mensen afkeuren. Daar moeten ze dan dwangarbeid doen, jaren achter elkaar.”

‘Shit,’ fluisterde Drie tegen Vier. ‘Die apen weten dus niets van neuronische herprogrammering! Opblazen die planeet!’

“Deze haiku,” vervolgde de kunstenaar, “beschrijft de Melkweg als een brug van ragfijn licht die de verschoppelingen verbindt met de mensen in het moederland. Zelfs de woedende zee kan ze niet blijvend isoleren op hun onherbergzame eiland. Zo worden wij allemaal, jullie ook, verbonden

door paden van licht in het Heelal. Dankzij de wetenschapper die het ontdekt heeft, en dankzij de onderwijzer die het mij heeft verteld, kan ik door het Heelal reizen. Ik kom verder dan jullie ooit zullen komen, zootje technoploerten met je galactische flitstrein. Ik ga nu naar het strand, 't wordt al avond. Ik wil die laatste zonsondergang niet missen. Je ziet maar.”

**Toen** de kunstenaar vertrokken was, heerste er lange tijd stilte in het buitenaardse ruimteschip.

‘t Zijn wel apen, maar ze kunnen hun beperkte kennis toch aardig toepassen. Misschien kunnen we er investeren, om ze goedkoop dingen te laten assembleren. Positronica en zo, je weet wel,’ sprak Twee.

‘In de rapporten heb ik gelezen dat er twintig parsec verder ook een hyperruimte-ingang te bouwen zou zijn,’ zei Drie. ‘Klopt,’ zei Een, en klom in de commando-capsule.

*‘Een woedende zee!*

*Tot aan het eiland Sado*

*strekt zich de Melkweg,’*

fluisterde Vier. ‘Goed idee, Drie. Die apen hier mogen blijven. Je moet maar denken, de soort is nog zo jong.’

‘Heb eerbied voor wat jong is,’ mompelde Drie. ‘Het kan nog van alles worden.’

## Meneer Broere

DE DERDE en vierde klas op mijn lagere school waren samengevoegd. Dat kwam door de problemen na de oorlog en nog niet door de bezuinigingsgekte in Nederland, het rijkste land ter wereld. Er zaten dus vijftig leerlingen in een klas, geleid door meneer Broere. Die had daarmee geen enkel probleem, want de oorvijg was toen nog een wettig didactisch betaalmiddel. Ook toen al was naar school gaan voor de helft tijdverspilling, want erg moeilijk was de lesstof niet. Gelukkig wist meneer Broere daar wel raad mee: als je klaar was met je werk, mocht je een boek uit de kast nemen en stil lezen. De kasten stonden vol jaargangen van een tijdschrift met de plechtige naam *Voor het jonge volkje*. In twee jaar heb ik de hele kast een paar maal doorgelezen. Propvol informatie, talloze bladzijden met teksten en tekeningen over vreemde volkeren, stoommachines, ontdekkingsreizen, Zeppelins, elektromagnetisme, woudreuzen en sterren. Geweldig!

Toen kwam het Gymnasium. Het talenonderwijs was voortreffelijk, maar van de natuurkunde en wiskunde klopte niks. Dat merkte ik zelfs. Wiskunde werd gegeven door een gesjeesde luitenant-ter-zee die de meisjes in hun borsten kneep en de jongens afblafte. De natuurkundeleraar was de goedheid zelve, maar op elke vraag antwoordde hij “Dat krijgen we volgend jaar.” Niet dus. De leraar scheikunde was goed, maar had geen enkele belangstelling voor onderzoek. Toen ik eens, na een week griep, terugkwam op school met uitgewerkte tekeningen van de isomeren van een of ander ingewikkeld molecuul, zei de leraar: “Ach ja, de heer Icke heeft weer een geniale ontdekking gedaan.” Toen ik hem vroeg waarom nu eigenlijk zuurstof ‘in statu nascendi’ zo extreem reactief is, dus wat er eigenlijk gebeurt, keek hij mij niet-begrijpend aan. U zult het vast net zo fijn vinden als ik dat de Nobelprijs Scheikunde in 1999 is gegeven voor het oplossen van dat soort problemen.

Meester Broere heb ik in die tijd erg gemist.

En toen ontdekte ik *Scientific American*. Ik zou eigenlijk moeten zeggen *Natuur & Techniek*, maar eerlijk is eerlijk: dat kwam pas later. *Scientific American* werd het volgende drukwerk dat ik heb gelezen tot de letters

---

Natuur & Techniek, 6 januari 1999

losraakten van de bladzijden. Ook waren er boekjes met titels als ‘Relativiteitstheorie voor de leek’. Woorden zoals ‘leek’ mochten toen nog, hoewel oorvijgen in onbruik begonnen te raken.

Ach, weet u, ik ben gewoon nieuwsgierig geboren. Daar gaat het ook helemaal niet om. Wat wel van belang is, is dat je daarin wordt gesteund. Dat deden mijn ouders, een enkele leraar, en bladen als *Scientific American*.

En nu is daar de nieuwe versie van *Natuur & Techniek*, dat alle ambitie en kwaliteit heeft om de Nederlandstalige versie van *Scientific American* te gaan worden, ja zelfs om dat voorbij te streven.

Meester Broere, als u er nog bent moet u nu ergens in de tachtig zijn, maar of u nog leeft of niet: hartelijk dank voor alles. Ergens door worden gefascineerd is maar het begin. Die fascinatie komt makkelijk genoeg, dat zie je aan elk kind, al is het bij iedereen anders. Het gaat erom, wat er met die fascinatie gebeurt, en vooral door wie je wordt gesteund. Door meneer Broere of door Sinterklaas die je een abonnement geeft op *Natuur & Techniek*.

## Van niets tot iets

NIEMAND WEET wie Janet Jones is. Dus zal ik het u vertellen. Janet was een postdoc aan het *Institute of Astronomy* te Cambridge, waar ik haar in 1973 ontmoette. Zij had zojuist een artikel geschreven waaruit bleek dat, uitgaande van de regels van de quantummechanica, het Heelal eigenlijk niet zou kunnen bestaan, omdat het in de absurd korte tijd van  $10^{-35}$  seconden uitelkaar zou moeten ploffen. Dat komt door de “vacuum-fluctuaties”, het quantummechanische gedrag van de ruimte op sub-atomair kleine schaal. Ik vond het een fascinerend verhaal, maar het spreekt vanzelf dat Jones het stuk aan de straatstenen niet kwijt kon. Het is dan ook nooit gepubliceerd, hoewel er op de fysica niets aan te merken was.

Dat is op zichzelf nog niet eens zo vreemd, want er is in de kosmologie veel raars in omloop. Als ik een cent kreeg voor elk stuk kletsboek dat over de kosmologie wordt uitgekraamd, was ik de rijkste man ter wereld. Op de een of andere manier trekt het onderwerp hele en halve gekken aan; op de Sterrewacht heb ik acht volle ordners staan met min of meer malle paperassen van allerhande goedwillenden die ook hun zegje doen over het Heelal. Toch is kosmologie een echt vak, dat niet alleen malloten maar ook genieën bezighoudt, van Newton via Einstein tot Feynman. Maar in tegenstelling tot de amateurs, richten de beroepskrachten zoals Jones zich niet op grandioze schema's maar op schijnbaar simpele zaken. Waaruit bestaat de materie in het Heelal? Hoe is die in de ruimte verdeeld? Hoe verandert dat in de tijd? Wat kun je daarvan waarnemen?

Wat wèl vreemd is, is dat exact hetzelfde idee over het quantumgedrag van de ruimte tien jaar later een hoofdrol zou gaan spelen in theorieën over het ontstaan van het Heelal. Over die periode gaat het autobiografische boek van Alan Guth. Om zijn interessante bijdrage aan dit onderwerp te kunnen plaatsen, moeten we eerst eens gaan kijken naar de stand van zaken in dit onderzoek.

Als wij de leeftijd van het Heelal – in werkelijkheid zo'n 15 à 20 miljard jaar – zouden samenpersen tot een enkele week, te beginnen om

---

Bespreking van A.H. Guth, *The inflationary universe – the quest for a new theory of cosmic origins*, Addison-Wesley, Reading (MA, USA). *Amsterdamse Boekengids*, 15 februari 1999

middernacht op maandagmorgen, dan zou het Heelal in de eerste dertig seconden een ziedende, ondoorzichtige massa zijn van licht en gloeiende sub-atomaire deeltjes. Om één minuut na middernacht zou het Heelal zo ver zijn uitgedijd en afgekoeld dat het doorschijnend werd voor licht. Vanaf kwart voor twee die vroege maandagochtend beginnen de eerste melkwegstelsels te ontstaan, af en toe opflitsend tot verblindende helderheid als quasars omtrent de ochtendspits op dinsdag. Het merendeel van het midden van de week wordt gebruikt voor de vorming van nog meer melkwegstelsels, met vaak meer dan honderd miljard sterren per stelsel. Tegen donderdag zouden duizend generaties van zeer zware sterren gevormd en ontploft zijn, daarbij de ijle leegten tussen de sterren bezaaiend met de chemische elementen waaruit wij allen ooit zouden ontstaan. Het Zonnestelsel, en de Aarde daarin, werd gevormd tijdens een bakje koffie op vrijdagochtend. De eerste verschijning van levende cellen met celkernen zou goed passen in het late journaal van die vrijdagavond. Mensen, als biologische soort, verschijnen pas om twee minuten voor middernacht op zondag. De eerste menselijke makers van stenen werktuigen verschijnen drie seconden voor de laatste slag van middernacht het einde van de kosmische week aankondigt.

Het Heelal dijt uit. Vandaag zijn de sterrenstelsels verder van elkaar dan gisteren; morgen zullen zij nog verder uiteen liggen. Vroeger was er minder ruimte in het Heelal; materie en energie hadden dus een hogere dichtheid toen het Heelal jonger was. Als wij het spoor van het Heelal in de tijd terug volgen, dan komt er een tijd dat materie en energie oneindig dicht waren: het Heelal was ooit oneindig kompakt en oneindig heet. Dit ‘punt Oneindig’ markeert het begin van tijd en van ruimte. Men noemt dit de *Oerknal*, in het Engels *Big Bang*. Er bestaat niet zoiets als ‘voor’ de Oerknal, omdat niets bestond, ook de tijd zelf niet: werkwoorden zoals ‘zijn’, ‘ontstaan’ en ‘bestaan’ hebben hier geen betekenis. Alleen wiskundige beschrijvingen kunnen hier uitkomst bieden.

Sterrenkundigen hebben de vroege geschiedenis van het Heelal ten dele ontraadseld. Wij weten iets over de manier waarop het Heelal uitdijt, en hoe het vroeger uitdijde. Wij kunnen aantonen dat het altijd heeft moeten uitdijen, vroeger veel sneller dan nu. Wij weten hoe oud het Heelal is: de uitdijning begon zo’n 15 miljard jaar geleden. Wij weten dus dat het verleden een eindige hoeveelheid tijd omvat. Een van de geweldige verrassingen die de sterrenkunde de mensheid heeft geschonken, is het

inzicht dat het Heelal niet oneindig oud is, maar een bepaalde leeftijd heeft.

Zodoende komen we tot de vraag: hoe ziet de verdeling van sterrenstelsels in de ruimte er uit, en hoe kunnen deze bewegen? Kijken we naar de verdeling van de sterrenstelsels aan de hemel, dan wacht ons een verrassing. Want het blijkt dat die her en der chaotisch verspreid zijn. Er is wel enige structuur in te onderscheiden, maar het lijkt niet op de strakke banden van de Dierenriem en de Melkweg.

Dat lijkt nu vervelend, want hoe zouden we uit zo'n chaos iets kunnen besluiten over de manier waarop sterrenstelsels zijn verdeeld en vooral over de manier waarop zij bewegen? De waarnemingen tonen het volgende aan: *op zeer grote schaal ziet het Heelal er gemiddeld overal hetzelfde uit*. Wij nemen aan dat de gemiddelde aanblik van het Heelal niet alleen voor ons zo is, maar ook voor mogelijke bewoners van planeten elders, waar dan ook in de kosmos. *Wij nemen in het Heelal geen speciale positie in, in de ruimte noch in de tijd*.

Met de bovenstaande waarnemingen en met de gedane veronderstelling, kunnen we afleiden hoe het Heelal zich moet bewegen. Dat kan omdat deze extreme gladheid van het Heelal extreme beperkingen oplegt aan de manier waarop het bewegen kan. Het blijkt dat het Heelal *alleen maar kan bewegen door verandering van de ruimtelijke schaal*. Hiermee wordt bedoeld: als we het Heelal van vandaag vergelijken met dat van gisteren, ziet alles er gisteren precies zo uit als vandaag, behalve dat de gemiddelde afstanden tussen de sterrenstelsels overal iets kleiner waren. Dus kunnen we de toestand van het Heelal morgen afleiden uit die van vandaag door alle afstanden met eenzelfde factor, de *schaalfactor*, te vermenigvuldigen (we moeten een uitzondering maken voor afstanden binnen gebonden systemen zoals atomen en sterrenstelsels, maar op dit detail gaan we niet verder in).

Dat is een heel bijzondere conclusie: uit de chaotische verdeling van de sterrenstelsels volgt dat *de enige grootschalige beweging die is, waarbij de radiële snelheden domineren*.

Als ik dus de blauwdruk voor de bouw van ons Heelal in handen zou krijgen, dan merk ik dat dit document slechts op één manier verschilt van de bouwtekening in het verleden of in de toekomst: het enige verschil is de schaalfactor. Stond er vandaag "schaal 1:100", dan stond er twee miljard jaar geleden "schaal 1:90"; twee miljard jaar na nu zou er 1:110

hebben gestaan. Dus: het Heelal dijt uit, overal op dezelfde manier. De schaalfactor zorgt voor de uniforme uitdijning. Uit waarnemingen blijkt dat het Heelal thans inderdaad uitdijt op de beschreven manier.

We merken ook op, dat het er niet toe doet vanuit welk sterrenstelsel je de snelheden meet. Door de uniforme expansie lijkt het overal in het Heelal alsof alle stelsels radieel wegvliegen. Zodoende is ieder punt het middelpunt van het Heelal! Wij zijn intuïtief geneigd te zoeken naar een bepaalde plaats in het Heelal waar het middelpunt van de uitdijning te vinden is. Maar dat is onmogelijk. Vanwege onze Copernicaanse veronderstelling heeft elk punt van het Heelal evenveel recht om als middelpunt beschouwd te worden. Als we het Heelal op steeds vroegere tijden bekijken, zien we dat alles samenvloeit, niet alleen ter plaatse van de Melkweg, maar ook bij de quasar 3C273 en overal elders. Het heeft dus geen zin om over de “werkelijke” plaats van het expansiecentrum te spreken. Evenmin heeft het zin om over de “rand” van het Heelal te spreken: er is nergens een midden, nergens een rand.

Maar die uitdijning blijft niet altijd hetzelfde. Ze wordt bepaald door twee getallen: de snelheid van de uitdijning op een gegeven moment (het ‘Hubble getal’) en de dichtheid van massa en energie (vanwege de regels van de relativiteit is dat hetzelfde), genaamd Omega. Het Hubble getal kan men vrij redelijk meten, maar Omega is zeer onzeker. Als het Heelal zo beweegt dat de uitdijning juist tot nul is teruggelopen op tijd oneindig, is per definitie Omega gelijk aan 1. Dijt het sneller uit dan is Omega kleiner, en als Omega groter is dan 1 zal het Heelal ooit instorten. Waarnemingen wijzen erop dat Omega ongeveer 0,1 is, en vrijwel zeker niet groter dan 0,3. Het Heelal zal dus eeuwig blijven uitdijen.

Maar waarom ligt Omega zo dicht bij de bijzondere waarde van 1? Je kunt aantonen dat, om vandaag de dag omstreeks 1 uit te komen (en 0,1 is ‘bijna’ 1), het Heelal in het begin bijna exact  $\Omega=1$  gehad moet hebben. Waarom? Daar heeft Guth iets aan gedaan, door een verband te leggen tussen de toestand thans en de tijd onmiddellijk na de hete Oerknal. Hoe zag het Heelal er toen uit en hoe kunnen we aansluiting vinden tussen dat verre verleden en het heden?

Laten we de bouwstenen van het Heelal eens beschouwen. Er zijn grote zwermen van sterrenstelsels; deze laatste zijn, zoals onze Melkweg, opgebouwd uit honderden miljarden sterren. Op hun beurt bestaan de sterren uit gas (voornamelijk waterstof) en dit gas is samengesteld

uit atomen. Een waterstofatoom is een elektron dat door een quantum-elektrostatistische kracht is gebonden aan een proton. Een proton is een samenstel van drie nog kleinere deeltjes, *quarks* genaamd. Misschien hebben de quarks ook een inwendige structuur.

Bestonden deze bouwstenen ook toen het Heelal nog jong was? Zeer zeker niet. Vanwege het feit dat het Heelal vroeger minder ruimte bevatte, was er ooit een tijd dat sterrenstelsels niet onafhankelijk konden bestaan, omdat ze zo dicht bijeen zouden staan dat ze met elkaar in aanraking moesten zijn. In het verleden bevatte het Heelal minder ruimte voor dezelfde hoeveelheid massa en energie, zodat het Heelal een hogere temperatuur had dan nu. Overall in het jonge Heelal heersten temperaturen die nu alleen nog binnen sterren voorkomen. Bij zulke temperaturen konden elektronen en atoomkernen niet in samengebonden vorm bestaan. Op nog vroegere tijden was de temperatuur zelfs zo hoog, dat atoomkernen niet gebonden konden zijn.

Het opmerkelijke van dit alles is, dat er een verband bestaat tussen de wereld van de kosmologie, die de Natuur op de allergrootste schaal bestudeert, en de wereld van de allerkleinste schalen, zoals die onderzocht wordt in de natuurkunde der elementaire deeltjes. Als we maar ver genoeg teruggaan in de tijd, belanden we altijd in een periode waarin de energie, de temperatuur en de dichtheid zo hoog waren dat zelfs de meest exotische sub-atomaire deeltjes een belangrijke rol speelden. In die periode zoeken we dan ook naar de oorsprong van de donkere materie in het Heelal, die wellicht de oorzaak was van de vorming van zwermen van sterrenstelsels.

Gewapend met onze kennis van de wisselwerking tussen sub-atomaire deeltjes willen we teruggaan in de tijd, naar een ogenblik waarop het Heelal zo compact en zo heet was dat de deeltjeskrachten een beslissende rol speelden. De hedendaagse natuurkunde is helaas niet toereikend voor het beschrijven van die eerste fasen. Wat ons ontbreekt is een theorie waarin zowel de zwaartekracht als de quantummechanica zijn opgenomen; en een dergelijke quantumgravitatie hebben wij nog niet. Op grond van eenvoudige berekeningen kunnen we wel schatten vanaf welke tijd de thans bekende natuurkunde zou kunnen worden toegepast, althans in principe:  $t = 10^{-43}$  seconden, een welhaast onvoorstelbaar korte tijd. Maar we weten nog niet genoeg van elementaire deeltjes af om echte berekeningen te doen aan een zo jong heelal.

Paradoxaal genoeg is het niet het gedrag van de deeltjes, maar het

gedrag van het vacuüm dat ons parten speelt. Men denkt over het algemeen dat het vacuüm een lege ruimte is, een soort onzichtbaar grafiekenpapier waarop ons Heelal is getekend, een onbevolkte arena waarin de deeltjes hun weg gaan. Maar moderne inzichten leren anders. Wij spreken dan ook niet van “lege ruimte” of iets dergelijks, maar gebruiken bewust het woord *vacuüm*. Reeds Descartes betoogde dat de ruimte moet worden beschouwd als “iets” inplaats van “niets”, op grond van het feit dat ruimte fysische eigenschappen heeft (bijvoorbeeld afmetingen, de drie ‘dimensies’ van links-recht, voor-achter, op-neer). Einstein liet zien dat ruimte inderdaad echt iets is, een onlosmakelijk onderdeel van het Heelal, en dat je dus over de ruimte vragen kunt stellen zoals over materie (hoeveel is er van, wat is de structuur, enzovoort). Einstein’s theorie over de structuur van tijd en ruimte, de *algemene relativiteitstheorie*, bewees dat zwaartekracht slechts een historisch gegroeide naam is voor wat in feite de structuur (kromming) van de ruimte is.

Ook op andere manieren is gebleken dat het vacuüm een actieve rol speelt in de Natuur. Die activiteit is een gevolg van twee stukken natuurkunde: relativiteit en quantummechanica. Doordat in een relativistische quantumwereld spontaan deeltjesparen kunnen ontstaan en vergaan, gaat het vacuüm een actieve rol spelen. Overal kunnen voor kortere of langere tijd spontaan deeltjesparen worden gevormd. Deze *virtuele paren* hebben een subtiele maar onmiskenbare invloed op het gedrag van de krachten tussen deeltjes. Een van de gevolgen van de activiteit van het vacuüm is, dat het nooit echt ‘leeg’ is. Grof gezegd, vanwege de onzekerheid in het quantummechanische gedrag van de deeltjes *weet je nooit zeker* of een gegeven stukje vacuüm wel leeg is. ‘Echt leeg’ heeft dus in de wereld van het allerkleinste geen betekenis meer.

In de kosmologie speelt de activiteit van het vacuüm een bijzondere rol. Omdat het vacuüm nooit als echt leeg kan worden beschouwd, heeft het onder sommige omstandigheden een sterke invloed op het Heelal als geheel. Guth was een van de eersten die kwantitatief uitrekende wat de actieve rol van het vacuüm betekent voor de uitdijning van het Heelal. Hij veronderstelde dat de vorming van sub-atomaire deeltjes verantwoordelijk is voor veel van de tegenwoordige eigenschappen van het Heelal. Met het ontstaan van deze deeltjes is een enorme hoeveelheid energie gemoeid vanwege de equivalentie van massa en energie. Deze energie komt ten goede aan de uitdijning van het Heelal.

Vanwege de relativiteit is de massa van een systeem geen constante grootte meer. In plaats daarvan is de *som van de massa en de energie* constant. In een gas gebruiken we niet de massa van de individuele deeltjes, maar de hoeveelheid per volume, de dichtheid. Zo ook hebben we de energie per volume, die gasdruk wordt genoemd. In een relativistisch gas is de som van de massa-dichtheid en de druk constant.

Als de ruimte dus ‘leeg’ is, dwz. de laagste massa-energietoestand heeft, dan is deze som gelijk aan nul. Dan is de druk gelijk aan de dichtheid, maar met een negatief teken: een negatieve gasdruk dus. Nu komt de grap: als de energiedichtheid niet nul is omdat er uit het vacuüm deeltjes aan het ontstaan zijn, dan is de gasdruk ook ongelijk aan nul. Maar omdat de massa-dichtheid het omgekeerde teken heeft betekent dat, dat het Heelal zich gedraagt *alsof er een negatieve massa in is*. Daardoor ontstaat het omgekeerde van wat massa gewoonlijk doet: de delen van het Heelal *stoten elkaar af*, en er ontstaat een enorme opblazing.

De vorming van de deeltjes ging dus gepaard met een toename van de uitdijning. Dit effect werd door Guth *inflatie* genoemd. Het Heelal kookte even over, zo te zeggen. Deze enorme extra expansie maakte dat het Heelal bijna perfect glad werd, zoals een strakgespannen ballon minder rimpels heeft dan een verschrompelde appel. Maar dit overkoken veroorzaakte plaatselijk natuurlijk wel heftige beroering. Dit effect wordt verantwoordelijk gesteld voor de oneffenheden die later tot sterrenstelsels zouden samentrekken. Tot een tijd van  $t = 10^{-32}$  seconden ondergaat de kosmos een periode van inflatie, waarin de afstanden tussen de deeltjes met een faktor van wel  $10^{30}$  kunnen toenemen.

Die extreme uitdijning wordt thans verantwoordelijk gesteld voor een aantal treffende eigenschappen van het Heelal. In de eerste plaats de enorme homogeniteit en isotropie: overal ziet het Heelal er gemiddeld hetzelfde uit, waar je ook bent, waarheen je ook kijkt. De inflatie heeft bijna alle rimpels gladgestreken. Bovendien moet de energie in de beweging van het Heelal en de energie in de materie die de uitdijning probeert tegen te gaan, exact gelijk zijn. Als we dus oneindig lang zouden wachten, zou de uitdijning op tijd oneindig precies tot stilstand gekomen zijn. We zeggen dat zo’n heelal een *kritische dichtheid* heeft, Omega gelijk aan 1. Waarnemingen tonen aan dat het Heelal inderdaad verrassend dicht bij die kritische dichtheid zit: in ons Heelal is Omega ongeveer 0,1.

De berekeningen van Guth, en zijn zeer talrijke navolgers, kloppen nog

niet echt met wat we waarnemen, maar het is zo'n goed idee dat de meeste kosmologen ervan overtuigd zijn dat er 'wel iets van waar moet zijn'. In zijn boek neemt Guth ons mee langs de *Werdegang* van zijn theorie, en tevens van hemzelf.

Guth's uitleg over de grondslagen van de kosmologie is vaak zeer kort door de bocht, en af en toe ronduit fout (bijvoorbeeld: de roodverschuiving waarmee we de uitdijing van het Heelal meten is *niet* hetzelfde als een Doppler-verschuiving van de kleur van het licht). Maar daar gaat het niet om, het boek is een *document humain*, het laat zien hoe het er in de keiharde wereld van de bèta-wetenschap aan toegaat. Het is een wereld die heel veel harder is voor haar bewoners dan de gemiddelde zakenhaai zich kan voorstellen. Guth maakt er geen geheim van dat hij door niemand werd gezien, en op een haar na voor eeuwig de wetenschap was uitgestoten door het kringetje van jaloerse bonzen en bonsjes dat de dienst uitmaakt. Maar plotseling kreeg hij overal aanbiedingen dankzij die ene vondst. Dus niemand weet wie Janet Jones is, maar iedereen kent nu Alan Guth. Dit is een zeer bijzonder boek, voortreffelijk geschreven, en voor honderd procent waarheidsgetrouw over de sociologie van de kannibalenstam der theoretici.

Het is sympathiek dat Guth in zijn persoonlijke verhaal niet verhult hoe dicht hij aan de afgrond heeft gestaan. Net als het inflatie-Heelal is ook hij in zekere zin van niets tot iets gekomen.

## Kosmologie rondom het millennium

DE STERRENKUNDE stelt de grootste vragen over de grootste dingen: wat is er om ons heen? Hoe is dat zo gekomen? Wat zal er mee gebeuren? De grootste van die grote vragen is natuurlijk die, welke vraagt naar de oorsprong en evolutie van het Heelal. Nu het millennium nadert, is het passend om ons te bezinnen op de stand van zaken in de kosmologie.

Het is opvallend hoe actueel het artikel van professor Oort uit 1967 nog is. Toch zijn er dramatische nieuwe ontwikkelingen, waarvan de voorname zijn: de voorspelling van structuur in het Heelal op schalen tot honderd miljoen lichtjaar, en de waarnemingen daarvan; resultaten van de kosmische nucleosynthese, waarbij helium en lithium uit waterstof ontstaan; de wisselwerking tussen de kosmologie en de hoge-energie fysica der “elementaire” deeltjes; de bevinding dat 90% van de materie in het Heelal onzichtbaar is; en de verbluffende gladheid van de kosmische microgolf-achtergrondstraling.

Na 1980 kon men, dankzij de snelle vooruitgang van de computertechnologie, serieuze berekeningen gaan doen over de vorming van structuren in het Heelal, zoals sterrenstelsels en clusters daarvan. Het bleek dat uit kleine oneffenheden in de verdeling van de materie, enorme wolken van sterrenstelsels konden ontstaan. Die wolken hadden een grillige, meestal langgerekte, vorm. Daartussen bevonden zich gebieden van lagere dichtheid die veel bolvormiger waren. Deze computerresultaten bevestigden analytische berekeningen.

In het midden van de jaren '80 kwamen, dankzij de invoering van nieuwe optische detectoren zoals CCD's, steeds meer gegevens beschikbaar over de positie en roodverschuiving van sterrenstelsels. Door de roodverschuiving (met behulp van de regel van Hubble) te interpreteren als een afstand, kon men de driedimensionale verdeling van sterrenstelsels in kaart brengen. Hierdoor werden de theoretische berekeningen treffend bevestigd: op lengteschalen tot honderd miljoen lichtjaar bestaat het Heelal uit enorme cellen die vrijwel leeg zijn. Op de wanden tussen die cellen bevinden zich tamelijk platte concentraties van sterrenstelsels. Waar die wanden samenkomen in snijlijnen vindt men langgerekte slierten van stelsels, en

daar waar die slierten gevierden bijeenkomen treft men zeer compacte knooppunten (clusters) van sterrenstelsels aan. Men bedenke hierbij dat de gemiddelde afstand tussen sterrenstelsels slechts een half miljoen lichtjaar is! Kennelijk is het Heelal op deze lengteschalen bepaald niet glad.

Het oerknalmodel van het Heelal leert, dat er vroeger minder ruimte was dan nu. Berekeningen op grond van de algemene relativiteitstheorie laten zien, dat er zo'n 15 miljard jaar geleden zelfs helemaal geen ruimte of tijd was: ons Heelal bestond toen uit een enkel exact punt waaruit ruimte en tijd ontstonden. Dat betekent, dat vroeger de materie en de energie samengepakt zaten in een veel kleinere ruimte. Bijgevolg waren toen de dichtheid van de materie en de temperatuur veel hoger dan nu: willekeurig hoog zelfs. Als u mij een temperatuur geeft, dan kan ik u een tijd geven vóór welke het Heelal heter was dan die temperatuur. Daaruit volgt ook, dat alles eens moet zijn ontstaan: immers, ieder object (of het nu de Aarde is of een atoomdeeltje) kan vernietigd worden als je er maar hard genoeg op slaat, als je maar genoeg energie hebt.

Het vroege Heelal was dus compact en heet. Bijvoorbeeld, de kooktemperatuur van water (ongeveer 400 kelvin) werd bereikt toen het Heelal 50 miljoen jaar oud was. De temperatuur was 7000 kelvin (vergelijkbaar met het oppervlak van de Zon) ten tijde 500.000 jaar; 10 miljoen kelvin, zoals in het inwendige van sterren, was de temperatuur van het Heelal toen het twee à drie minuten oud was. Deze situatie gaf aanleiding tot kosmische nucleosynthese, waarbij helium en lithium uit waterstof ontstonden via dezelfde processen die de sterren doen schijnen. Echter met dit verschil, dat door de uitdijning van het Heelal de temperatuur al spoedig zo laag werd, dat de zwaardere elementen (koolstof en zwaardere) niet konden ontstaan; die zijn later alle in sterren gevormd.

Er werd berekend dat 75% van de massa in het Heelal waterstof bleef, dat bijna 25% helium werd, en een spoortje materie vormde lithium, beryllium, en borium. Deze gegevens zijn door waarnemingen bevestigd; hieruit kunnen wij ook afleiden dat de dichtheid van de *baryonen* (protonen en neutronen) slechts een paar procent is van de dichtheid die nodig zou zijn om de uitdijning van het Heelal tot staan te brengen (de zgn. kritische dichtheid). Ook kon men laten zien, dat de deeltjes (quarks) waaruit protonen en neutronen zijn opgebouwd, moesten bestaan uit een drietal "families". Deze voorspelling is later bevestigd door grote en ingewikkelde experimenten met deeltjesversnellers bij CERN.

Omdat de temperatuur in het Heelal willekeurig hoog kan worden gemaakt door naar verder verleden tijden terug te kijken, moeten in het zeer jonge Heelal processen met bijzonder hoge energie hebben plaatsgevonden. Dat betekent dat de deeltjesbotsingen die men thans met superversnellers bestudeert, een beeld geven van de toestand vlak na de Oerknal. Zodoende is er een direkt verband tussen de kosmologie en de hoge-energie fysica der “elementaire” deeltjes. Dat bleek al bij de nucleosynthese, maar ook de theorieën en experimenten over de kleinste sub-atomaire deeltjes zijn direkt van toepassing op de evolutie van het vroege Heelal. Omgekeerd kunnen wij uit de kosmologie ook voorwaarden afleiden waaraan elementaire deeltjes moeten voldoen (zoals met de “drie families”).

Een dramatisch voorbeeld hiervan is het verschijnsel van *inflatie*. Zoals wij zagen, betekenen de hoge temperaturen in de Oerknal dat alles ooit moet zijn ontstaan, ook de “elementaire” deeltjes. Nu blijkt uit de theorie die zulke deeltjes beschrijft, dat zij niet zomaar straffeloos uit het vacuüm kunnen ontstaan. Als deeltjes worden gevormd, gaat een hoeveelheid energie gelijk aan de creatie-energie zitten in de uitdijning van de ruimte. Dat betekent dat bij het ontstaan van die deeltjes het Heelal even “overkookte”. Ten tijde  $10^{-36}$  seconde nam de uitdijning van het Heelal gedurende een fractie van een seconde zo dramatisch toe, dat de ruimte miljarden maal miljarden keren groter werd. Dit noemt men inflatie. Door deze inflatie-periode werd het Heelal op grote schaal zo uitgerekt, dat het vrijwel perfect glad leek.

Tijdens het inflatie-overkoken van het Heelal ontstond zo’n heftige beroering, dat de materie niet meer glad verdeeld bleef, maar kleine oneffenheden gingen vormen. Men vermoedt dat hierin de oorsprong ligt van de rimpelingen die te zijner tijd zouden ineensorten tot sterrenstelsels en clusters.

Waarnemers hebben ontdekt, dat veel materie in het Heelal onzichtbaar is. Hoe dat kan, is als volgt in te zien. Stel dat de Zon totaal geen licht gaf. Dan kun je toch merken dat er een grote massa in het midden van ons zonnestelsel staat, doordat de planeten niet rechtuit vliegen maar in ellipsbanen rondom een centrum draaien. Op dezelfde manier kunnen wij, uit de bewegingen van sterrenstelsels, afleiden hoeveel massa er in sommige gebieden in het Heelal zit. De resultaten zijn onthutsend: wel 90% van de materie zendt geen licht uit! Bovendien weten wij, uit de berekeningen aan nucleosynthese, dat het niet kan gaan om gewone ma-

terie zoals baryonen, anders zou het Heelal veel meer helium en lithium bevatten dan wordt waargenomen. Wat die materie dan wèl is, is een groot raadsel. Misschien bestaat zij wel uit neutrino's, of andere deeltjes overgebleven uit een inflatie-fase in het zeer jonge Heelal.

Dat het Heelal vroeger zeer heet was, is onomstotelijk komen vast te staan door de ontdekking van de gloed van de Oerknal. Dit verschijnsel was in de late jaren '40 door theoretici voorspeld. Het werkt gewoon zo: in het verleden was het Heelal zeer heet, en vanwege het feit dat de lichtsnelheid eindig is (300.000 km/s, astronomisch gezien minder dan een slakkegang) betekent uitkijken in de ruimte ook terugkijken in de tijd. In welke richting wij ook kijken, altijd komt er een afstand (van 15 miljard minus 500.000 lichtjaar) waarop wij het Heelal zien toen het heter was dan 7000 kelvin. Bij zulke temperaturen kunnen elektronen en atoomkernen niet bijeenblijven: de atomen zijn *geïoniseerd*. De vrije elektronen in een geïoniseerd gas belemmeren de voortbeweging van het licht: een heet heelal is ondoorzichtig.

Dus als wij maar ver genoeg weg kijken, kruist onze gezichtslijn vanzelf het gebied waar het Heelal een gloeiende, ziedende, ondoorschijnende massa was. Die gloed kunnen wij waarnemen, maar niet bij een temperatuur van 7000 kelvin! Vanwege de regel van Hubble (snelheid is evenredig met afstand) beweegt dat gloeiende plasma zich met bijna de lichtsnelheid van ons vandaan. Zo zien wij, door de roodverschuiving, de straling van de Oerknal op een veel lagere temperatuur: 2,7 kelvin. Bij zulke lage temperaturen komt de meeste straling voor op golflengten van een paar millimeter. Daarom spreken wij van de kosmische microgolf achtergrondstraling (CMBR in het Engels). Deze voorspelde straling is later bij toeval ook werkelijk waargenomen.

De waarnemingen van de CMBR laten zien, dat het hier inderdaad gaat om straling die vrijwel perfect in thermisch evenwicht is (zgn. zwartlichaam-straling, kortweg "zwarte straling"). In mei 1992 bleek uit de gegevens van een jaar waarnemen met de COBE satelliet, dat de temperatuur van de CMBR  $2,732 \pm 0,002$  kelvin is; dat de oneffenheden in de temperatuur 1:90.000 zijn; en dat de rimpelingen in de dichtheid die daarmee samengaan, behoorlijk kloppen met die welke door inflatietheorieën werden voorspeld.

Hoe verbluffend glad de CMBR is, kun je zo zien: als het IJsselmeer net zo glad was, was de grootste golf slechts een handlengte hoog. De

gladheid van de CMBR is zo extreem, dat wij nu met een eigenaardige tegenspraak zitten. Enerzijds voldoet het Oerknal-model veel beter dan wij ooit hadden durven dromen. Anderzijds blijkt uit berekeningen van structuurvorming en uit waarnemingen, dat het Heelal op schalen van 100 miljoen lichtjaar een spons- of bellen-achtige materieverdeling heeft. Ook hier is de theorie uitstekend. Maar die twee zijn lijnrecht met elkaar in tegenspraak: het vroege Heelal is veel te glad om, na een luttele 15 miljard jaar, reeds zulke enorme structuren op te leveren.

Dit probleem is nog niet begrepen. Ongetwijfeld heeft de donkere materie iets te maken met de oplossing van dit raadsel. Maar het is goed dat er nog veel te doen is: op naar het volgende millennium!

## Geen zin

Vincent Icke – 070199

*Vertel alles aan de vrouwen van deze Universiteit*, stond er in de advertentie in *Mare*. Een aardige voorzet, maar toch heb ik niet gereageerd; en, naar ik begrijp, andere mannen evenmin. Ik denk dat ik wel weet hoe dat komt: de botteriken, de *male chauvinist pigs*, deden toch al niet mee, en de ‘gevoelige’ mannen zijn inmiddels volkomen kopschuw geworden. Laat ik dat eens proberen toe te lichten.

In de eerste plaats reageerde ik niet omdat de feiten over de positie van vrouwen zó overduidelijk zijn dat discussie overbodig is. Vrouwen worden over de volle lengte en breedte van deze planeet tegengewerkt, op talloze manieren: van grof (islam) via iets minder grof (christendom) tot subtieler (universiteiten en andere bedrijven). De achterliggende ideologieën zijn verschillend maar de resultaten zijn steeds ruwweg hetzelfde.

Zolang het gaat over zichtbare tegenwerking, zoals in Afghanistan waar vrouwen in een soort linnen gevangenis over straat moeten, is alles klip en klaar en dus nauwelijks interessant. Als iemand “stomme nikker” tegen een Surinamer zegt, kan deze met een muilpeer antwoorden (voorbeeld van zinvol geweld), dat is rechttoe rechtaan. Wat mij boeit zijn de subtielere mechanismen die hier te lande werken, in de trant van de (uiteraard mannelijke) voorzitter van een sollicitatiecommissie, die over een kandidate vraagt “Ja maar, hoe lang zal zij blijven?” hetgeen code is voor “Die gaat toch kinderen krijgen.” Of zoals een declaratieformulier dat ik onlangs van de Universiteit van Utrecht kreeg, waarop mannen hun naam moesten invullen, en vrouwen hun naam *en meisjesnaam*. Dus volgens de UU in 1999 hebben vrouwen zelf geen naam, en zijn zij eigenlijk ‘meisjes’. Soms is die subtiliteit zelfs wiskundig van aard. Meet bijvoorbeeld hoe snel mensen kunnen hardlopen, en reken het gemiddelde uit. Dat ligt bij mannen een fractie hoger dan bij vrouwen. Daaruit concludeert menige man: “mannen lopen sneller dan vrouwen,” maar dat is een uiterst tendentieuze samenvatting, die verhult dat Ellen van Langen 99.99% van alle mannen op haar slofjes voorbijrent.

Tegen domheid strijden zelfs de goden vergeefs, dus een sterveling zou zich er buiten moeten houden. Dat is een goede reden om op zo’n advertentie niet te reageren. Maar er is nog een tweede, belangrijker, reden om je gedeisd te houden, namelijk het abominabele peil van het discours over dit

onderwerp. Dat is grotendeels de schuld van ‘vrouwenstudies’-types zoals Dessaur, Braidotti *e tutte quante*. Van meet af aan wordt alles gedomineerd door ideologische rimram, waarin een man *ipso facto* niet kan deugen. Daar zit ook een heilsleer achter, even verwerpelijk als die van de Talibaan, en – als de dames Kalasjnikovs bezaten – met vergelijkbare resultaten. Want van ideologie komt alleen maar oorlog en andere ellende, dat heeft de mensheid afdoende bewezen. Iedereen die in het schootsveld komt van de virtuele mitrailleurs van de vrouwenstudenten wordt neergemaaid, man of niet; zoals Malou van Hintum ondervond na publicatie van haar boek *Macha, macha*.

En zoals alle ideologieën slaat ook deze haar aanhangsters met selectieve blindheid. In het Utrechtse alumni-sufferdje zag ik een stuk over een natuurkundestudente die naast haar eigenlijke werk vrouwenstudies was gaan doen. Zij schrijft: “Alle deeltjes die niks doen, die bij wijze van spreken passief zijn, zijn vrouwelijk. De actieve deeltjes zijn daarentegen mannelijk.” Welnu, er zijn twee typen deeltjes waaruit ons Heelal is gebouwd: fermionen en bosonen. Bij de wisselwerking daartussen zijn beide soorten deeltjes gelijkelijk betrokken: er is geen onderscheid tussen ‘actief’ en ‘passief’. Tot zover de natuurkunde. Taalkundig gezien zijn de deeltjes onzijdig: alle namen eindigen op *-on*, en de verkleiningsuitgang *-ino* is ook onzijdig. In onze leerboeken staat de beschrijving helemaal niet zo, maar in de vorm van exacte vergelijkingen. Wiskundige formules zijn de meest geslachtsloze uitingsvorm die de mensheid ooit heeft bedacht. Het bewijs lijkt mij dus geleverd dat die vrouwenstudie-stelling over “mannelijke deeltjes” lariekoek is.

“Dan valt opeens op dat het in zo’n mannenwereld niet gebruikelijk is dat je je twijfels over je onderzoeksmethode of je uitkomsten kenbaar maakt,” vervolgt de studente. Ook hier ontkent zij de feiten. Juist omdat de bèta’s (mannen en vrouwen!) voortdurend twijfelen, is de natuurwetenschap zo hard. Er studeert bij mij geen student af, er promoveert niemand, zonder dat hij of zij er volledig van doordrongen is dat het niet alleen gebruikelijk, maar zelfs noodzakelijk is om je onzekerheden te melden. Zulke enormiteiten doen afbreuk aan de wetenschap, en beschadigen vrouwen die een bèta-vak studeren of dat willen gaan doen. Het is des te erger omdat het overduidelijk is dat vrouwelijke studenten een veel hogere berg te beklimmen hebben dan mannen.

Wat mij van zulke uitspraken ook steeds weer teleurstelt is het onweten-

schappelijke ervan. Wij zien een onrechtvaardigheid, bijvoorbeeld dat er veel minder vrouwelijke dan mannelijke hoogleraren zijn. Je zou dan willen uitzoeken hoe het fijnmazige en verbluffend sterke web dat vrouwen gevangen houdt wordt geweven, en vooral door wie. Maar in plaats daarvan verzint iemand een oppervlakkige uitleg en blijft steken in banale beschuldigingen.

Het is zonneklaar dat vrouwen bitter te lijden hebben van mannen met acute testosteron-vergiftiging, maar ik denk toch dat direct geweld (in woord of daad) niet het grootste gevaar is. De constante stroom van subtiele signalen is het ergst: de indirecte aanval, het schouderophalen, de superieure glimlach, de paniecreactie van pa en ma als hun dochter beter met de computer overweg kan dan zoonlief. Een leraar die je niet *au sérieux* neemt, troef je af met een tien voor wiskunde. Een klasgenoot die je ongevraagd beetpakt geef je een hengst voor z'n kanus. Maar wat doe je tegen een moeder die je een Barbie geeft inplaats van Lego?

In de derde plaats zinkt de moed me in de schoenen als ik zie wat vrouwen *elkaar* aandoen. Zij zijn gevangen in een web waarvan de schering de mannelijke kant is, maar waarvan de inslag geleverd wordt door vrouwen. Zie Afrika: de geslachtsdelen van meisjes worden verwoest in een rituele marteling waarbij moeder wordt geholpen door tantes, oma's en buurvrouwen. Allemaal gedreven door diezelfde anecdotes, die bij de socio-softies doorgaan voor 'waardevolle en betekenisvolle alternatieven voor de westerse, door mannen gedomineerde, kennis.'

Een afschuwelijk voorbeeld van zo'n gebrek aan solidariteit trof ik aan in het Leidsch Dagblad van 2 januari 1999. Daar prijkt een foto van het archetypische domme blondje: ruim vallend haar, ruim vallende D-cup borsten met 30 centimeter décolleté van halskuiltje tot tepels - alhoewel, niet bepaald vallend, want opgedrukt door haar eronder gekruiste armen. Kijk, dat is Fiorella. Studeerde, zo heet het, natuurkunde met "een in Los Angeles aan de befaamde MIT universiteit behaalde specialisatie in astrofysica". Geeft niet dat MIT in Boston is gevestigd, diagonaal aan de andere kant van het continent, want Fiorella la Bombonella heeft al die kennis toch niet nodig. Voor haar geen computers, want: "Ik voel me meegesleurd in de kolossale blauwe en purperen stofwolken van mijn minnaar", ergens in het sterrenbeeld Orion. "Tegelijk hebben die sterren van haar een super geseksualiseerd wezen gemaakt. Ze vertelt met graagte over eeuwig durende

orgasmes in de ruimte, zoals die van de twee aan elkaar gekoppelde sterrenstelsels ‘Mice’, en de rillingen die ze voelt bij het observeren van een komeet,” schrijft de interviewer met één hand. La Bombonella zelf doet er nog een schepje op: “Het is de meest mannelijke, meest verleidelijke en in potentie meest gewelddadige van alle hemellichamen. Een soort van kosmische spermatozo op zoek naar de vruchtbare grond waar hij zich in kan boren.”

Wat nu? Aan de onschuldige lezers van die overigens redelijk goede krant uitleggen dat een komeet een stoffige sneeuwbal is die net tussen Leiden en Den Haag past? Van leer trekken tegen het ultieme stereotype van de vrouw die denkt met haar billen? Bij zoveel walgelijks staat een echte astrofysicus als ik volkomen sprakeloos.

Tenslotte dan, misschien het belangrijkste: ik voel me helemaal geen man, in de zin dat ik dingen doe *omdat* ik toevallig XY-chromosomen heb. Van alle dingen waar ik warm voor loop is er geen enkele die gebaseerd is op mijn mannelijkheid, of daar aanspraak op maakt. Theoretische natuur- en sterrenkunde zijn geslachtsloos, en ook in de kunst speelt mijn man-zijn geen rol. Seks dan? Ook niet, want het feit dat ik het bed met een vrouw deel berust op de toevallige omstandigheid dat ik hetero ben. Ik ben beter in de ‘vrouwelijke’ kunsten dan 95% van alle vrouwen: koken, kleding maken, huishouden, noem maar op. Voor mij zou Cisca Dresselhuys een stukje aan haar maffe meetlat moeten plakken. Maar wie zijn gevoel voor identiteit ontleent aan zijn (on)vaardigheid met de stofzuiger is niet goed snik. Er zijn maar twee dingen die ik moet ontberen omdat ik man ben: het meervoudig orgasme en kinderen krijgen. Naar beide ben ik dan ook zeer nieuwsgierig. Toch wel jammer dat reïncarnatie flauwekul is.