

# Logboek van een nerd

INAUGURELE REDE DOOR DR. JEROEN VAN DEN BRINK

Radboud Universiteit Nijmegen



INAUGURELE REDE DOOR  
DR. JEROEN VAN DEN BRINK



In dit persoonlijk betoog komen in enkele mythes uit de moderne natuurkunde aan de orde. Mythes drijven vakgebieden als quantum computing en nanowetenschappen gedeeltelijk voort. Op hoger abstractieniveau zijn in de fysica de mythes van het reductionisme en constructionisme actief. In

deze oratie stelt Van den Brink dat deze mythes functioneel zijn en nut hebben. Beeldvorming en ongefundeerde veronderstellingen inspireren wetenschappers en publiek tot een intellectuele zoektocht naar fundamenteel begrip van de natuur. Dat deze natuurwetenschappelijke queeste binnenkort ten einde zou zijn, is daarentegen een nutteloze mythe.

Jeroen van den Brink studeerde natuurkunde aan de Rijksuniversiteit Groningen en promoveerde aldaar in 1997. Zijn proefschrift behelsde nieuwe vormen van ordening die verschijnen als gevolg van sterke wisselwerkingen tussen elektronen in oxidische vaste stoffen, zoals bijvoorbeeld hogetemperatuur supergeleiders.

Zijn bevinding dat er universele limieten zijn aan quantumcoherentie, haalde nog onlangs de internationale media. Deze limieten zijn van groot belang omdat zij de beperkende factor kunnen zijn bij het ontwerp van toekomstige quantumcomputers.

Als hoogleraar in Nijmegen zal Van den Brink zijn onderzoek aan fundamentele aspecten van de quantummechanica en quantumcomputers voortzetten. Daarnaast zal zijn werk aan oxidische materialen zich met name richten op zogeheten multiferroïca. Deze materialen staan sterk in de belangstelling omdat zij twee interessante eigenschappen combineren: ze blijken tegelijkertijd magnetisch en ferro-elektrisch. Het theoretisch begrip van multiferroïca staat nog in de kinderschoenen.

LOGBOEK VAN EEN NERD

**nerd** (de ~ (m.), ~s)

iemand die graag leert, computert e.d., maar achterblijft op het sociale, emotionele en motorische vlak.

Bron: [www.VanDale.nl](http://www.VanDale.nl)

**nerd** (n.)

n. 1. [*mainstream slang*] Pejorative applied to anyone with an above-average IQ and few gifts at small talk and ordinary social rituals.

2. [*jargon*] Term of praise applied (in conscious ironic reference to sense 1) to someone who knows what's really important and interesting and doesn't care to be distracted by trivial chatter and silly status games.

Source: *Jargon File* 4.4.7

## Logboek van een nerd

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de Theorie van de gecondenseerde materie aan de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Radboud Universiteit Nijmegen op vrijdag 10 februari 2006*

**door dr. Jeroen van den Brink**

Vormgeving en opmaak: Nies en Partners bno, Nijmegen  
Drukwerk: Thieme MediaCenter Nijmegen

ISBN 909018045911

© Dr. Jeroen van den Brink, Nijmegen, 2006

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt middels druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de copyrighthouder.

*Mijnheer de rector magnificus,  
zeer gewaardeerde toehoorders,*

12 december 1988. Sinai.

“Gestrekt liggend op de rotsige bodem zag ik gister nacht, hier in de Sinai woestijn, voor het eerst in mijn leven de melkweg. JP wees boven onze hoofden de sluier van zwak oplichtende sterren aan. Als halfstadse jongen had ik de melkweg nog nooit gezien – nooit is zelfs de gedachte bij me opgekomen dat ie met het blote oog te ontwaren zou zijn.

Ik lig op mijn rug en staar naar de donkere hemel. Het is kraakhelder en koud – alleen de rotsen geven nog wat warmte af van de dag. Ik zie het licht van duizenden sterren. Hoe langer ik kijk, des te meer ik er zie. Miljoenen sterren. Sterren zoals onze zon, maar duizenden lichtjaren van ons vandaan. Sterren met planeten? Planeten met leven?

Licht van duizend jaren oud valt in mijn oog. Zo ver weg zijn de sterren, maar ik voel dat ik ze kan aanraken als ik mijn arm maar zou uitstrekken. Ik voel mezelf kleiner en kleiner worden. Mijn eigen ik verschrompelt, verdwijnt, wordt opgezogen door de melkweg. Eén met de kosmos.”

*Deze sentimentele natuurobservatie is een fragment uit mijn dagboek van meer dan zeventien jaar geleden. Net 20 geworden en tweedejaars student natuurkunde in Groningen. Met twee vrienden, Niko en JP, op rondreis in Egypte. Onbevangen en bevlogen. Met romantische denkbeelden over de natuurwetenschap. Nog zonder besef van de kracht van mythes en van beeldvorming. Ook in de natuurkunde. Dat kwam later.*

15 juni 2004. Seattle.

“Gistermiddag in Vancouver nog ons artikel aan vakblad *Physical Review Letters* opgestuurd. Ruim twee jaar werk, maar het is, in alle bescheidenheid, een juweeltje geworden. Dat vinden ook promovendus Jasper en collega Jan.

En mazzel met timing. De laatste jaren is het fonkelnieuwe vakgebied van de ‘quantum computing’ ontstaan. Al is een quantumcomputer nog toekomstmuziek, er wordt volop onderzoek aan gedaan door collega’s bij universiteiten en industrie, over de hele wereld – van het Amerikaanse IBM tot het Japanse NTT. Wij hebben een fysische beperking van een toekomstige quantumcomputer blootgelegd. Daar zullen de dames en heren collega’s van opkijken!

Vanavond naar de George and Dragon, de oude stamkroeg van Y., om samen met andere Europeanen en in voetbal geïnteresseerde Amerikanen de wedstrijd Nederland - Duitsland te zien.”

*Een fragment van niet lang daarna:*

“Bijna twee weken staat het paper ook als preprint op het web. Normaal lopen dan de e-mails binnen met op en aanmerkingen van collega's. Nu nog niets, alleen berichten van zonderlingen met esoterische medelingen. ‘Quantum mechanics must be wrong’, dat soort werk. Zou het door de zomervakantie komen?”

*Een half jaar later:*

*Physical Review Letters* heeft twee anonieme referenten geconsulteerd voor advies over publicatie van het quantumcoherentie paper. Rapporten zijn positief van toon, maar de publicatieadviezen vooralsnog negatief. Kritiek is dat een paar zaken niet duidelijk genoeg opgeschreven zijn. Daar passen we makkelijk een mouw aan, denk ik. Kat in ‘t bakkie! Straks maar eens een goeie whisky.”

*Toen in de Sinai, echter, waren het niet scoringsdrift en beeldvorming die de boventoon voerden. Integendeel. Neem het fragment van 13 december 1988:*

“JP kwam met het plan om deze ochtend zo vroeg te vertrekken dat we de zonsopgang vanaf de top van de Berg Sinai zouden kunnen aanschouwen. Maar we hebben onvoldoende zaklantaarns om een dergelijke nachtelijke tocht bij te lichten. Godzijdank. Zo hebben Niko en ik hem af weten te brengen van dit onzalige en oneindig vermoeiende idee. In plaats daarvan vandaag in het ochtendgloren de berg op. Rozerode en zandkleurige rotsen, weidse uitzichten over een steenwoestijn zonder een spoor van leven.

Het universum bestaat ongeveer tien miljard jaar, de aarde een paar miljard, de mensheid misschien een paar miljoen en een menselijke aardbewoner wordt met wat geluk honderd jaar oud. De verhouding tussen leeftijd van een mens en de leeftijd van het heelal is ongeveer  $10^8$ . Op de afstand van Nijmegen tot Rome, leeft een mens gedurende ongeveer 1,2 cm. De lengte van mijn neus: 1,2 cm op een reis naar Rome. Verwaarloosbaar, betekenisloos.

We zitten een tijdje op een verdwaalde planneet, in een uithoek van het heelal. Dan ga je dood. Hoeveel mensen hebben al voor mij geleefd? Een tiental miljard? Zouden we die naast elkaar zetten dan vormen ze een rij van 5 miljoen kilometer. De afstand van Nijmegen tot aan de maan. Daar sta je gezellig tussen, netjes in het gelid. Hoeveel namen kennen wij nog van personen in die rij? Wat hebben die miljarden met zijn allen nagelaten? Hoeveel van die tien miljard hebben ook niet naar de sterren getuurd en zich nietig gevoeld?

Waarom dat navelstaren, van ik naar mij, van wij naar ons? Wat is er zo interessant aan de vraag of er al of geen LEVEN is op de planeet Ork?

Wat vindt een kat het meest interessante op deze wereld, waardoor worden katten gebiologeerd? Niet door zwarte gaten of olieboorplatforms. Ook niet door een mag-

netronoven of een ander wonder der techniek. Een kat interesseert zich wel voor muizen en ook voor het baasje. Maar niets is zo fascinerend voor katten als... een andere kat.

Kijk naar de natuur en haar wetten, bestudeer de big bang of de kosmos: de conclusie is onontkoombaar dat het menselijk gewriemel volslagen irrelevant is. Onderzoek nu niet het allergrootste, maar het allerkleinste: de moleculen opgebouwd uit atomen opgebouwd uit elektronen en neutronen, protonen, opgebouwd uit quarks.... bestudeer de quantummechanica van een stukje ijzer dat uit meer dan  $10^{23}$  van die atomen en elektronen is samengesteld.... alles speelt zich af alsof er nergens een sterfeling bestaat of bestaan heeft.

De rol van de mens is niet meer dan die van een toevallige toeschouwer. En voor de aanwezigheid van die toevallige toeschouwer bestaat geen enkele noodzaak. Wij zijn geïnteresseerd in het universum, maar het universum niet in ons.

*Dat zijn misschien sombere constatering van zeventien jaar geleden. Maar voor mij ook fascinerend genoeg om bevlogen door te nerden. Juni 2005:*

“Paper is deze week gepubliceerd. Is opgepikt door Buchanan, journalist van het populair wetenschappelijk blad de *New Scientist!* Schreef vandaag een paar e-mails met vragen over de impact van ons onderzoek: hebben wij nu bewezen dat quantumcomputers al binnen een paar seconden zullen vastlopen?”

*De volgende dag:*

“Besloten nu zelf een persbericht te maken. Eigenlijk te laat. Moeten we beter timen, een volgende keer. Kreeg uitstekende hulp van promovendus Jasper en de wetenschapsvoorlichters van FOM; vanmiddag is het persbericht uitgegaan, het staat ook meteen bij FOM op de website.”

*Een maand daarna:*

Geweldig gescoord in de pers: *Volkskrant*, *NRC*, de Britse *Guardian*. Bij wetenschappelijk topmagazine *Nature* komen we terecht in de rubriek ‘Research Highlights’. Mooiste kop hebben we in de *Sueddeutsche Zeitung*: ‘Alzheimer: Verlieren Quantencomputer Daten?’.”

*14 december 1988 Jeruzalem.*

Ben mijn vrienden een dag vooruit gereisd. Een lange, stoffige bustocht uit de zandwoestijn naar de eeuwige stad. Hoofd leeg en het grootste gedeelte van de dag zwiingend langs de morsige busgordijntjes naar buiten getuurd. Wat bedoelen natuurwetenschappers eigenlijk met ‘de Natuur’? Misschien: alles wat wij om ons heen waarnemen. Alles wat te meten is, de hele buitenwereld. Door analyse van die waarnemingen leiden

fysici dan natuurwetten af. Met behulp van wiskunde zijn deze wetten scherp te formuleren. Zo wordt een ondubbelzinnig beeld van de Natuur geconstrueerd. De grandioze kracht van de fysica is dat dit wiskundige wereldbeeld ons in staat stelt eenduidige, meetbare voorspellingen te doen over de wereld om ons heen. Kortom, er is geen Natuur naast de Natuur en de wiskunde is haar taal.

Maar wat is wiskunde? Het lijkt me een wetenschap van abstracte objecten: getallen, structuren, patronen. Een object wordt dan gedefinieerd door een aantal eigenschappen. Zo is een priemgetal gedefinieerd door de eigenschap dat het slechts deelbaar is door 1 en door zichzelf. Met strikt logisch redeneren kunnen dan verdere eigenschappen gevonden worden. Zo is bijvoorbeeld eenvoudig te bewijzen dat er oneindig veel priemgetallen zijn.

Een ander voorbeeld van een absolute waarheid.

Een cirkel is een tweedimensionale figuur. Zij wordt gevormd door alle punten die dezelfde afstand hebben tot een gekozen middelpunt. De verhouding tussen de omtrek en doorsnede van een cirkel is  $\pi$  en  $\pi$  is 3, 1415926535 8979323846 2643383279 5028841971 6939937510 5820974944 5923078164 0628620899 ... Dit getal is wiskundig exact te bepalen, er valt niet over te discussiëren.<sup>1</sup> Behalve dan in Amerika. Daar werd in 1897 in de staat Indiana door het Huis van Afgevaardigden unaniem de  $\pi$ -wet aangenomen. In wet nummer 246 werd verordonneerd dat het getal  $\pi$  voortaan gelijk gesteld moest worden aan 3,2. De opsteller van de wet was Edwin J. Goodwin, een amateur-wiskundige. De indiener was afgevaardigde Taylor. De reden was niet alleen gemak, maar Goodwin had er ook financieel belang bij. Door zijn uitvinding van ' $\pi = 3,2$ ' kon hij royalty's ontvangen.

Was de  $\pi$ -wet niet later door de senaat verworpen, dan hadden we vandaag nog veel geld kunnen verdienen door bijvoorbeeld olie aan Indiana te leveren in vaten en deze in containers terug te kopen.

Overigens lijken het vooral totalitaire regimes te zijn, die de neiging hebben zichzelf machtiger dan de natuur te verklaren. Karel van het Reve schrijft over de bemoeienis van de Sovjet overheid met wetenschappelijke vraagstukken<sup>2</sup>: "In de jaren na Stalins dood trok het regime zich uit steeds meer gebieden terug. Reeds onder Stalin zelf had de terugtocht plaats uit de taalwetenschap. De marxistische taalwetenschap werd afgeschaft. Andere wetenschappen volgden na Stalins dood. De leer trok zich terug uit de natuurkunde. Men accepteerde bijvoorbeeld de coördinatenloze ruimte. De relativiteitstheorie van Einstein, hoewel in strijd met de geniale uitspraken van Friedrich Engels over natuurkunde, werd niet langer beschouwd als zionistisch bedrog, maar geaccepteerd als zeer belangrijke theorie. De leer, en daarmee de overheid trok zich terug uit de biologie, uit de genetica...."

Gelukkig hebben Nederlandse politici niet de gewoonte zichzelf te ridiculiseren met stellingnames in wetenschappelijke kwesties. (U ziet, Dames en Heren, *de Volkskrant* van 21 mei 2005 liet nog zeventien jaar op zich wachten. Daarin lanceert minister Van der Hoeven van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap de moderne variant van  $\pi = 3,2$  met haar oordeel dat 'Je toch moet erkennen dat de evolutietheorie niet compleet is...'.)

*De volgende dag: 15 december 1988 Jeruzalem.*

"Het getal  $\pi$  heeft zelf weer frappante eigenschappen. Zo is elk willekeurige eindige reeks cijfers als een aaneengesloten reeks terug te vinden in de decimalen van  $\pi$ . Maar ik dwaalde gisteren af. De constatering waar ik heen wilde was: wiskunde is een logisch construct dat leeft in hoofden van mensen.

Blijkbaar zijn onze waarnemingen van de natuur op de een of andere manier te relateren aan hetgeen zich in onze hoofden afspeelt. Immers, dat is wat natuurkunde is. Met onze binnenwereld hebben we blijkbaar grip op de buitenwereld.

Is dat geen mirakel? De natuur, die gaat haar gang wel. Dat zij precies zo in elkaar gezet zou zijn opdat een mens haar kan begrijpen... dat zou een nogal enggeestig vooroordeel zijn van onze particuliere diersoort. Waarom te begrijpen voor een homo sapiens maar niet voor een lumbricus terrestris? Tenminste, het is aan te nemen dat het zenuwstelsel van een regenworm nooit in staat zal zijn de algemene relativiteitstheorie van Einstein te bevatten. Gewoon te kleine hersentjes.

Het brein van Einstein was omvangrijk genoeg voor het scheppen van de relativiteitstheorie. Maar het voldeed niet voor het scheppen van de theorie van de quantumzwaartekracht. En nog altijd is die theorie, die de quantummechanica van Heisenberg en Bohr met de zwaartekrachtstheorie van Einstein moet verenigen, de heilige graal van de theoretische natuurkunde.

Hoe subtiel – of juist beestachtig complex – is de ware aard van de Natuur? Onbekend. Hoeveel grijze massa is er nodig om haar te bevatten?

Wij zien duidelijk hoe ontwikkeld ons zenuwstelsel is vergeleken met dat van een regenworm, maar we hebben geen benul hoe adequaat of inadequaat het onze is om de wetten van de Natuur te bevatten.

'Wetenschap is de titanische poging van het menselijk intellect zich uit zijn kosmische isolement te verlossen door te begrijpen!' (citaat: W.F. Hermans<sup>3</sup>)"

Toen ik deze oratie tot zo ver aan mijn vader had voorgelezen, zei hij "Jongen, het is mooi te horen dat je plezier hebt in je werk en ambitieus bent. Maar in het begin zei je wat van 'de kracht van mythes in de natuurkunde', daar heb je het verder niet over. Trouwens vanwege dat van 'De natuur die gaat haar gang wel', daar zal je geen professor om geworden zijn. Dat kunnen een metselaar of automonteur je ook wel vertellen.

Daar kom je wel achter wanneer de fundering voor een huis legt of een versnellingsbak wilt reviseren. Wat mij wel interesseert is die quantumcomputer, wat is dat voor een ding en wat hebben jullie er nu over bewezen?”

“Nou”, zeg ik, “daar heb je wel gelijk in, want dat ‘De natuur die gaat haar gang wel’ schreef ik bijna twintig jaar geleden, en toen wilden ze me in Nijmegen nog niet als hoogleraar hebben. Maar dat je vraagt naar die quantumcomputer, dat komt goed uit, want een paar maanden geleden is precies daarover een artikeltje verschenen in de *Scientific American*, dat ik vertaald heb in mijn logboekfragment van...”

27 september 2005

Titel: ‘Quantum Bug’ (‘Quantum panne’), *Scientific American*, oktober 2005. “Qubits kunnen binnen seconden spontaan vervallen. Computers die de buitenissige eigenschappen van de quantummechanica benutten, kunnen conventionele computers verre overtreffen bij het oplossen van bepaalde problemen, zoals het breken van veelgebruikte versleutelcodes. Toch moeten natuurkundigen nog een fundamenteel obstakel overwinnen voordat quantumcomputers een praktische realiteit worden: decoherentie. Dit is het verlies van de quantumeigenschappen waarop zulke computers gebaseerd zijn. Decoherentie wordt veroorzaakt door minieme, toevallige wisselwerkingen met de omringende omgeving. Daarom tracht men bij het ontwerp voor een quantumcomputer de gevoelige elementen van de omgeving te isoleren.

Echter, Jeroen van den Brink en collega’s van de universiteit Leiden in Nederland (die collega’s zijn Jasper van Wezel en Jan Zaanen), wijzen erop dat zelfs perfecte isolatie decoherentie niet op een afstand zal houden. Een proces dat spontane symmetrie breking heet, zal de delicate toestand die nodig is voor quantum computing aantasten. Voor een specifiek supergeleidende quantum bit (qubit) voorspellen zij dat de nieuwe bron van decoherentie de qubit binnen louter een paar seconden te gronde zal richten.

Het kenmerk van qubits is dat zij in een zogenaamde superpositie kunnen bestaan; de essentie is dat zij 0 en 1 tegelijk kunnen zijn. Dit in tegenstelling tot bits in een standaard computer, die één bepaalde waarde moeten hebben (een bit in een standaard computer is namelijk of 0 of 1, nooit en 0 en 1). Een qubit dat zich in superpositie bevindt, is typisch in een toestand met een hoge symmetrie. Zo circuleert bijvoorbeeld in een supergeleidende qubit een kleine elektrische stroom zowel met de klok mee als tegen de klok in. Spontane symmetrie breking verstoort dat evenwicht. Dit proces komt overal in de natuurkunde voor – een bal die op de top van een heuvel ligt, zal, bijvoorbeeld, geneigd zijn naar beneden te rollen, naar de ene of de andere kant, zodat de symmetrische (maar instabiele) toestand van de bal die op de top balanceert, telooft. In het geval van een supergeleidend ringetje, veroorzaakt spontane symmetrie breking een voorkeur van de qubit om één specifieke toestand te kiezen, zodat de superpositie verloren gaat.”

Toen ik dit artikel tot zo ver aan mijn vader had voorgelezen, zei hij “Jongen, dat klinkt allemaal behoorlijk futuristisch. Zo’n quantumcomputer, zal dat echt kunnen, ooit, of is het een fabeltje? Dikt zo’n tijdschrift dat allemaal maar wat aan, voor de verkoop?”

“Wacht even” zeg ik “laat me eerst rustig dit van de *Scientific American* uitlezen. Hebben we het daarna over mythes in de natuurkunde.”

“De resultaten van de Leidse onderzoekers gelden alleen voor qubits die uit een groot aantal deeltjes bestaan. Dit is het geval voor supergeleidende qubits, omdat de elektrische stroom uit vele miljoenen elektronen bestaat. Het geldt niet voor qubits die gemaakt zijn uit één enkel deeltje, zoals een ion dat in een magnetische val zweeft, of een enkel elektron op een quantumpuntcontact op een chip. Inderdaad hebben in augustus natuurkundigen van het *National Institute of Standards and Technology* een qubit van één enkel ion laten zien, met een coherentietijd van meer dan tien seconden.

Niet iedereen is het erover eens dat de beperking van een paar seconden een serieus obstakel is voor supergeleidende qubits. John Martinis van de Universiteit van California in Santa Barbara: “één seconde is voor ons als experimentatoren voldoende, omdat we andere natuurkundige beperkingen zullen tegenkomen lang voordat we die tijdschaal bereiken.” En theoreticus Steven M. Girvin van Yale University zegt dat “indien we erin slagen een coherentietijd van een seconde voor een supergeleidende qubit te krijgen, dan zal decoherentie waarschijnlijk helemaal geen beperking zijn”.

Dit komt, volgens Girvin, omdat, wanneer de coherentietijd eenmaal lang genoeg is, decoherentie effectief bestreden kan worden met behulp van quantumfoutcorrectie procedures. Door gebruik te maken van groepen van qubits die ieder op zich maar een seconde meegaan, kan een quantumcomputer als geheel oneindig lang blijven doorwerken. Tot op heden gaan supergeleidende qubits in het laboratorium ongeveer 500 nanoseconde mee voordat decoherentie haar tol eist. Girvin wijst er op dat enkele jaren geleden decoherentie tijden nog maar een paar nanoseconde waren, zodat 500 nanoseconde “een geweldige vooruitgang is”. “

Tot zo ver het artikel in *Scientific American*.

Nu: wat is het realiteitsgehalte van een quantumcomputer? In hoeverre is het een mythisch apparaat? Voordat we deze vraag uitdiepen, eerst de volgende vaststelling. De natuur, die gaat haar gang wel, maar los daarvan gaan de natuurkundigen, ook weer hun eigen gang. Niet als soldaten in dienst der wetenschap, maar als gepassioneerde, misschien ijdele en eigenwijze individuen met particuliere belangen. Zoveel kun je lezen in het dagboek van een fysicus.<sup>4</sup>

De menselijke drang is om immer exotischer oorden te bezoeken, hogere bergen te beklimmen, dieper in de zeeën af te dalen en verder de ruimte in te reizen. De fan-

tasie is om door in het verdere, hogere en diepere door te dringen, iets nieuws, iets oorspronkelijks, te vinden. Intuïtief verwachten we aan het einde van de regenboog een pot met goud. Dat is een mythe. De vraag is: levert zo'n mythe iets op?

Volgens de Amerikaanse politieke filosoof Leo Strauss heeft een maatschappij om zich te handhaven mythes nodig. "Myths are necessary to give ordinary people meaning and purpose, and so ensure a stable society" (Mythes geven gewone burgers doelen en waarborgen zo een stabiele sociale orde). Het zou de taak van leiders zijn om, tot behoud en voorspoed der natie, die mythes waar nodig te creëren en in stand te houden. Laten we dit 'functionele mythes' noemen.

Voorbeeld: Saddam zou beschikken over massavernietigingswapens. Dat was een als juist aanvaarde, maar niet op feiten berustende veronderstelling: een mythe, dus. Door deze mythe ontstond draagkracht voor een oorlog. Deze was, volgens sommigen onvermijdelijk vanwege andere, complexere redenen. Voor deze voorstanders van de Irak-oorlog was de onjuiste veronderstelling over de aanwezigheid van massavernietigingswapens een functionele mythe.

Kunnen we de politieke theorie van Strauss toepassen op het bedrijf van de natuurwetenschappen? De natuur trekt zich vanzelfsprekend niets aan van onze opvattingen, waardeoordelen en mythes, dat is duidelijk. Maar natuurkundigen, wetenschappers in het algemeen en wetenschappelijke tijdschriften wel.

Zonder omhaal van woorden, de quantumcomputer is in mijn perceptie een functionele mythe. Een quantumcomputer wordt pas daadwerkelijk interessant wanneer die in staat is berekeningen te doen die normale computers te boven gaan. De huidige stand van zaken op dit vakgebied is zodanig, dat er geen grond is aan te nemen dat zoiets op afzienbare termijn (zeg: tien jaar) zal gebeuren. Decoherentie nekt de quantumcomputer – niet in principe, maar in de praktijk.

Nu is het natuurlijk niet uit te sluiten dat er een grote sprong voorwaarts plaatsvindt: dat er door iemand een qubit gemaakt wordt dat geen last van decoherentie heeft. Daar zijn zelfs theoretische ideeën over: zogenaamde topologische qubits zullen geen last hebben van decoherentie. Maar hoe zo'n qubit experimenteel te realiseren: onbekend.

In principe KAN die grote sprong voorwaarts, die alle problemen met decoherentie oplost, plaatsvinden, misschien vindt die wel nu plaats terwijl ik hier sta en u hier zit. Maar het argument dat een grote doorbraak in principe mogelijk is, dat gaat op voor alle levende vakgebieden van de natuurkunde.

Toch is de mythe van de quantumcomputer functioneel. Veel onderzoek dat gesubsidieerd wordt onder de noemer "quantum computing" is "cutting edge", aan het wetenschappelijke voorfront. Nieuwe wiskunde en informatica ontstaat bij het ontwikkelen van quantumalgoritmes. Nieuwe technieken worden ontwikkeld bij het maken

van qubits. Deze experimentele ontwikkelingen drukken onze neus op het aloude quantummeetprobleem. Dit is een fundamenteel probleem uit de quantummechanica, sinds de dagen van Einstein en Bohr. Het vooruitzicht om met de qubits van heden of toekomst daarover iets elementairs te kunnen leren, doet mij zinderen. En mij niet alleen.

De quantumcomputer is niet de enige functionele mythe in de natuurkunde. Collega Zaanen ging onlangs in het Leidse Universiteitsblad *Mare* de weddenschap aan dat: 'het over vijf jaar af te raden is het voorvoegsel 'nano' in de titel of abstract van een onderzoeksvoorstel te gebruiken'. De inzet is een fles whisky.

Collega Frenken, daarentegen, wedde dat 'over twintig jaar meer geld omgaat in de verkoop van nanotechnologie-onderdelen dan in de verkoop van computers', waarop hij 'een fles port' zette 'uit het uitstekende portjaar 1997' want die is, volgens Frenken, 'over twintig jaar misschien wel op zijn hoogtepunt.'

Gezien deze stand van zaken, blijf ik af van de mythische kant van 'nanotechnologie'. Anders raak ik met zekerheid aan een van de twee bovengenoemde heren een fles buitenlands gedistilleerd kwijt.

In de hoge energie fysica, ook wel elementaire deeltjes fysica geheten, zijn twee mythes aan te wijzen: die van het reductionisme en het constructionisme<sup>6,7</sup>. Deze mythes zijn ook in andere deelgebieden van de natuurkunde te ontwaren, bijvoorbeeld de fysica van de gecondenseerde materie, maar voor het gemak beperk ik me tot de hoge energie fysica.

Wanneer deeltjes met hoge energie op elkaar botsen, vallen ze uit elkaar zodat hun inwendige structuur zichtbaar wordt. Alle atomen blijken uit exact dezelfde bestanddelen te bestaan: ze zijn te reduceren tot protonen en neutronen, samengeklonterd in een atoomkern met een schil van elektronen eromheen. Waar bestaan de neutronen en protonen uit? Botsingsexperimenten, gecombineerd met vernuftige theoretische modellen geven het antwoord: uit quarks en gluonen. Dit zijn onomstotelijk feiten, geen mythen.

Toch, als we het doel van de beschreven experimenten nader beschouwen, zijn er functionele mythes te ontwaren. Het zijn de wetenschappers die, waar nodig, ter behoud en voorspoed der wetenschap, die mythes creëren en in stand houden.

Het streven in deze hoge energie experimenten is om de bouwstenen van de Natuur bloot te leggen. Vervolgens worden de stenen netjes gestapeld. Zo construeren we de wereld om ons heen. Wanneer dit is gelukt, proberen we te ontdekken uit welke kleinere delen onze aanvankelijke bouwstenen weer bestaan. Dit reductionisme, deze zoektocht naar het kleinere, is oneindig. Er lijkt dus altijd iets kleiner, iets nieuws te zijn om te begrijpen.

Aan dit reductionisme liggen twee functionele mythes ten grondslag. De eerste mythe is: hoe kleiner, hoe eenvoudiger, des te elementairder en des te belangrijker.

Ten eerste: waarom zou het kleinere ook eenvoudiger of simpeler moeten zijn? Dit kan uiteindelijk blijken zo te zijn, maar het tegendeel evengoed. Is het niet mogelijk dat we aan het eind van het pad, bij hogere en hogere energieën zullen verdwalen in een dieren-tuin aan deeltjes, met steeds weer andere eigenschappen?

Als we in een rivier de stroom opvaren komen we splitsing na splitsing tegen. Welke stroom we ook opvaren, steeds weer zijn er splitsingen in kleinere stroompjes. Elke keer wanneer we een andere stroom opvaren komen we uiteindelijk bij een andere bron uit. Een bron is kleiner en eenvoudiger dan de rivier. Maar voor de rivier als geheel is hij volkomen onbelangrijk.

In de hoge energie fysica zouden we tegen een soort periodieke tabel van elementaire deeltjes kunnen aanlopen, hoe kleiner des te meer. Zeker de theoretisch fysici in de zaal zullen de rillingen over de rug lopen bij deze gedachte. Een ware nachtmerrie: ons ultieme begrip van de wereld, zal dan zoals dat heet, van smerige details aan elkaar hangen – als ware zij door de baarlijke duivel geschapen. Oerlelijk. Maar onze esthetiek zal de natuur worst zijn.

De mythe is in dit geval dubbel functioneel omdat ie niet alleen de wetenschap, maar ook de wetenschappers op de been houdt. Alleen al het feit dat dit vakgebied wordt bevolkt door een populatie uitzonderlijk getalenteerde natuur- en wiskundigen maakt dit de moeite waard.

De tweede mythe die we in het reductionistische wereldbeeld kunnen ontwaren is die van het constructionisme. Die mythe kan het best geïllustreerd worden met een voorbeeld: dat van een mier.

We kunnen een enkele mier bestuderen, bepalen wat hij eet, hoe snel hij kan lopen, hoe zijn looprichting samenhangt met de stand van de zon of maan en zo verder, totdat we complete kennis hebben van de mier als geheel. Daarna kunnen we de delen van de mier gaan bestuderen, de pootjes ontleden en het mierenzenuwstelsel in kaart brengen, bepalen bijvoorbeeld welke visuele stimulus waar in het brein verwerkt wordt en hoe dit de looprichting van de mier bepaalt ten opzichte van de zon.

Zo kunnen we de mier in kaart brengen. Dit reductionisme werkt: door alle details van een mier te onderzoeken, door steeds naar een diepere laag te gaan, leren we begrijpen hoe een mier van binnen werkt, hoe in een mierenlijfje oorzaak en gevolg met elkaar samenhangen.

Maar werkt het constructionisme ook? Dat is: wanneer ons een kaart gepresenteerd zou worden van het mierenoog, poot en zenuwstelsel, kunnen we dan daaruit de eigenschappen van de mier bepalen? Dat dit praktisch onmogelijk is, mag blijken door het voorbeeld van een mier een trapje hoger in de hiërarchie te beschouwen.

Wanneer we alle eigenschappen van een mier precies weten, kunnen we dan daaruit het collectieve gedrag van een mierenkolonie voorspellen? Kunnen we bijvoorbeeld voorspellen waar precies een kolonie van duizenden mieren een mierenhoop zal opbouwen? Of kunnen we de taakverdeling tussen de mieren in die mierenhoop voorspellen? De vraag is of we de eigenschappen van het collectief, de mierenhoop, kunnen voorspellen met alle kennis van de basale bouwstenen, de individuele mieren?

Het moge duidelijk zijn dat dit in principe kan, dat dit MOET kunnen. Alle benodigde kennis hebben we. Echter, de vraag is te moeilijk. Om er een betrouwbaar antwoord op te vinden is het systeem eenvoudigweg te complex.

De reden daarvoor is dat de gedragingen van het systeem als geheel niet bepaald worden door alleen de bouwstenen, maar voor het grootste deel door de wisselwerking tussen de bouwstenen. Als de mieren geen wisselwerking met elkaar zouden hebben, zich in hun gedrag niets van elkaar zouden aantrekken, dan zouden ze ongeorganiseerd kriskras door elkaar heenlopen.

Maar ook wanneer we de interacties tussen individuele mieren exact zouden weten, dan zouden we nog steeds niet de complexe structuur van een mierenhoop kunnen voorspellen. Deze organisatie, dit systeem als geheel, blijkt nieuwe eigenschappen te hebben, zoals een taakverdeling tussen de mieren. Het collectief voldoet zagezegd aan nieuwe wetten: door meer mieren bij elkaar te zetten doemen die nieuwe wetten als het ware ineens op.

In de fysica zijn talloze voorbeelden te vinden van opdoemende natuurwetten. Neem de hydrodynamica, die het gedrag van vloeistoffen beschrijft. Beschouw een vraag als: hoe plant in de zee een tsunami zich voort, of waarom breken golven in de branding? Om een antwoord op zo'n vraag te vinden is het erg onpraktisch om te beginnen met een precieze studie van de eigenschappen van een enkel watermolecuul, om daarna de wisselwerkingen tussen de moleculen te onderzoeken en dan de wetten van de hydrodynamica af te leiden. Deze wetten kunnen veel eenvoudiger bepaald worden door de eigenschappen te bestuderen van water als vloeistof, dus als collectief van watermoleculen.

Sterker nog: de hydrodynamische wet van Bernoulli, bijvoorbeeld, was al meer dan anderhalve eeuw bekend voordat het bestaan van moleculen aan het licht kwam. Op nieuwe lengteschalen doen zich nieuwe fenomenen voor. In de natuurkunde willen we die fenomenen vatten in natuurwetten. Er is niet alleen de dimensie van hoger, verder of dieper, maar ook de dimensie van hoeveelheid, de dimensie van meer. Meer is anders. Het geheel is niet alleen meer dan de som der delen, het geheel is ook ANDERS dan de som der delen. Dit verschijnsel heet in het natuurkundig jargon "spontane symmetrie breking". Precies dit leidde er in het quantum computer verhaal toe dat qubits decohereren: quantum bits met veel deeltjes worden anders. Ze worden namelijk klassieke bits.

Constructionisme, dat er vanuit gaat dat we een collectief van veel deeltjes kunnen begrijpen door het te ontleden in afzonderlijke delen, is meestal een onpraktische mythe. Maar dat dit in principe wel *KAN* is van het grootste belang, omdat we anders ons geloof in de natuurwetenschappelijke methode helemaal zouden verliezen. Constructionisme is een functionele mythe.

Ik eindig met een laatste mythe. Tien jaar geleden schreef de wetenschapsjournalist John Horgan een boek met de titel *The end of science*<sup>8</sup>. Dit boek lijkt inmiddels tot de folklore te horen. Horgan betoogt dat de natuurwetenschappen eindig zijn, dat we op een gegeven moment alle fundamentele natuurwetten ontdekt zullen hebben en dat hetgeen ons daarna nog rest slechts het toepassen van die wetten is om zo bepaalde praktische problemen op te lossen. Zo'n praktische vraag zou bijvoorbeeld kunnen zijn hoe de meest efficiënte vorm van een vliegtuigvleugel te berekenen.

In zijn boek beschrijft Horgan hoe volgens de moderne wetenschappelijke inzichten na de big bang het universum ontstaan is, de zon, planeten en het leven. Dat verhaal, geschoeid op wetenschappelijke leest, staat voor het grootste gedeelte, er zijn niet veel gaten meer in onze kennis, en dus is er voor toekomstige generaties wetenschappers niet veel fundamenteels meer te ontdekken. Het verhaal dat de natuurwetenschappen te vertellen heeft, is bijna af.

Wat op de eerste plaats opvalt is de arrogantie van deze veronderstelling. Hoe kunnen we met ons opgekrikte regenwormbrein ooit bepalen hoe subtiel – of juist beestachtig complex – de ware aard van de Natuur is? Bovendien: de moderne fysica is vol met fundamentele problemen: waar komen in de kosmos de donkere energie en donkere materie vandaan, is er een onderliggende reden voor het tegen elkaar wegval- len van oneindigheden in de theorie van de quantum-electrodynamica, hoe zit het met het meetprobleem in de quantummechanica, hoe zijn de theorie van quantummecha- nica en de zwaartekracht te verenigen, in welke nieuwe toestand van materie bevinden zich de zogenaamde hoge temperatuur supergeleiders, hoe kunnen we turbulentie begrijpen? Fundamentele vragen te over.

Ten tweede onderschat Horgan het belang van experimenten, het belang van meten. Opvallend is dat wanneer hij schrijft over het einde van de fysica, hij alleen maar schrijft over het einde van de theoretische fysica. Is de experimentele fysica dan al ten einde? Natuurkunde is ten diepste een proefondervindelijk vak. En steeds weer vinden we dat de Natuur veel inventiever is dan de saaie menselijke geest zich kan voor- stellen. Alleen een krankzinnige had de theorie van de quantummechanica kunnen bedenken zonder experimentele aanwijzingen.

Als derde en laatste punt: Horgan lijkt op zoek te zijn naar een “narrative”, naar een verhaal hoe de wereld is ontstaan, gebaseerd op wetenschappelijke feiten. Het natuur- wetenschappelijke scheppingsverhaal, als het ware. Horgan is op zoek naar een mythe.

“Maar”, zei ik tegen mijn vader, “bètawetenschap gaat niet over het vertellen van verhalen, maar over het doen van preciese voorspellingen. Dat lijkt misschien saai, maar voorspellen betekent begrijpen. Als toevallige toeschouwer die ik ben, de wereld begrijpen, dat is zinvol. Daarom is het voor mij noodzaak om nerd te zijn.”

Aan het einde van mijn oratie gekomen, wil ik nog graag een kort woord van dank uitspreken.

Op de eerste plaats dank ik U allen die aanwezig is op deze voor mij zo bijzondere dag.

Geachte leden van het College van Bestuur en bestuur van de Faculteit Natuur- wetenschappen, Wiskunde en Informatica. Ik wil u van harte danken voor het in mij gestelde vertrouwen.

Geacht FOM-bestuur. Graag dank ik de Stichting FOM voor de ondersteuning van mijn wetenschappelijke loopbaan door de jaren heen.

Beste collega-onderzoekers in Nijmegen. Hartelijk dank voor het warme welkom dat jullie me bereid hebben. Met plezier zal ik mij inspannen om bij te dragen aan de groei en bloei van het Instituut voor Moleculen en Materialen.

Waarde collega's Katsnelson en Lichtenstein, beste Misha and Sasha, dankzij jullie sta ik vandaag op deze plaats. Bosjoe spasibo.

Beste collega-onderzoekers in Leiden. Het is een vreugde zo velen van jullie vandaag hier te zien. De wetenschappelijke ambiance op het Instituut Lorentz is onovertroffen. Daarvan deel uit te kunnen maken is een dagelijks genoegen.

Waarde collega's Sawatzky, Khomskii en Zaanen, beste George, Daniel en Jan, mijn hartelijke dank voor jullie inspirerende mentorschap door de jaren heen.

Beste familie, beste vrienden, dank voor jullie support.

Lieve oma, ouders en zus, om jullie te bedanken voor jullie onvoorwaardelijke liefde en steun bestaan geen woorden.

Lieve Yolande, ik dank je voor je ruimhartigheid en voor al die positieve bijdragen die je gegeven hebt, niet alleen aan deze oratie, maar ook aan mijn leven.

*Ik heb gezegd.*

## NOTEN

- 1 Interessante eigenschappen van  $\pi$  zijn te vinden bij [www.wikipedia.nl](http://www.wikipedia.nl)
- 2 Karel van het Reve, *De ondergang van het morgenland*, Uitgeverij G.A. van Oorschot, Amsterdam (1990).
- 3 Willem Frederik Hermans, laatste zin van het eerste hoofdstuk in *Nooit meer slapen*, De Bezige Bij, Amsterdam (1966).
- 4 Frans W. Saris, *Dagboek van een fysicus*, rede uitgesproken op 11 mei 1981 bij het aanvaarden van het ambt van bijzonder hoogleraar in de faculteit wiskunde en natuurwetenschappen aan de Rijksuniversiteit Utrecht.
- 5 Hier verwoordt door Adam Curtis in de BBC documentaire *Power of Nightmares* (2004).
- 6 P.W. Anderson, *More is Different*, *Science* 177, 393 (1972).
- 7 Robert B. Laughlin, *A different Universe*, Basic Books (2005).
- 8 John Horgan, *The End of Science*, Addison-Wesley Publishers (1996).