

Carlo Beenakker

Tegen de magie

Twee handboeken om de natuurwetten te doorgronden

De Academische Boekengids 50, mei 2005, pp. 5-6.

Moderne natuurkunde gaat zozeer tegen onze intuïtie in, dat het wel op toverkunst lijkt. Is het mogelijk de trucs in alledaagse woorden uit te leggen, of kun je alleen op de abstractie van de wiskunde vertrouwen?

Eén op de drie Nederlanders denkt nog eens in een tijdmachine te zullen stappen; één op de vier vindt het waarschijnlijk dat we ons in de toekomst zullen kunnen laten overstralen ('teleportereren', zoals in de StarTrek televisieserie). Aldus een recente enquête van het maandblad *Quest* naar onze toekomstverwachtingen. Waarom hebben velen van ons zulke onrealistische verwachtingen van wat wetenschap en techniek te bieden hebben? Het is, denk ik, een logisch gevolg van wat de *wet van Clarke* genoemd wordt, naar een uitspraak van de Engelse astrofysicus en sciencefictionauteur Arthur C. Clarke: 'Elke ver geavanceerde technologie is niet te onderscheiden van magie.' Door de dagelijkse confrontatie met techniek die we met ons gezonde verstand niet kunnen bevatten, hebben we geen goed gevoel meer voor wat mogelijk is en wat onmogelijk. En dat is toch het wezenlijke onderscheid tussen magie en wetenschap: wetenschap is gebonden aan natuurwetten, die onverbiddelijke grenzen stellen aan wat kan en wat niet. Toverkunst staat buiten de natuurwetten.

Om de natuurwetten te leren kennen, is een handboek nodig. Roger Penrose en Brian Greene hebben ieder zo'n handboek geschreven, mooi op tijd voor het *Jaar van de Natuurkunde*, 2005. Hoewel beide auteurs Engelstalig zijn, spreken de twee boeken een verschillende taal: Penrose geeft in *The Road to Reality* de natuurwetten volgens de oertekst, door middel van wiskundige formules. Greene maakt in *The Fabric of the Cosmos* gebruik van tekeningen en beeldspraak.

Ik wil het verschil in aanpak illustreren aan de hand van de grondwet van de kwantummechanica. Dit is wellicht het meest 'magische' onderdeel van de natuurkunde, met toverkunstjes als:

- *superpositie* (op twee verschillende plaatsen tegelijkertijd zijn);
- *tunnelen* (door een ondoordringbare muur heen stappen);
- *interferentie* (licht + licht = donker);
- *de kat van Schrödinger* (die zowel dood is als levend);
- *verstrengeling* (een 'spookachtige werking op afstand', aldus Einstein);
- *teleportatie* (overstralen zoals in StarTrek).

Al deze wonderlijke verschijnselen, en meer, zijn via de regels van de wiskunde af te leiden uit de formule

$$\frac{\partial}{\partial t} \Psi + \frac{\hbar}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi$$

Je kunt deze zogenaamde Schrödingervergelijking vinden op pagina 499 van *The Road to Reality*, bijna halverwege het boek. Een groot deel van de voorafgaande 500 pagina's is gewijd aan de uitleg van dit raadselachtige mengsel van Romeinse en Griekse letters (plus nog wat tekens die in geen enkel bestaand schrift voorkomen).

Die uitleg zal veel lezers te ver gaan, maar Penrose stelt zich voor dat je als niet-natuurkundige ook best naar zo'n formule kunt kijken, zoals hij in zijn jeugd als niet-schaker naar schaakdiagrammen keek. Zonder de moeite te nemen om de schaakzetten na te spelen, kon hij uit de beschrijving van het spelverloop toch een idee krijgen van de strategie die eraan ten grondslag lag. Zoals de offers en gambieten in een schaakpartij kunnen boeien zonder dat je precies weet wat het verschil ertussen is, zo zou je wellicht de Schrödingervergelijking kunnen appreciëren zonder het verschil te kennen tussen gewone en partiële afgeleiden of tussen reële en imaginaire getallen.

Ik heb het uitgeprobeerd. Turend naar de Schrödingervergelijking met half dichtgeknepen ogen, zie ik een letter *t* en een letter *x*, die ik herken als de symbolen voor tijd en plaats. Ook zie ik de afkorting *m*, voor massa. Kennelijk beschrijft deze vergelijking de plaats en tijd van een deeltje, met een zekere massa. Het imaginaire getal *i* waarschuwt mij dat het deeltje alleen in mijn verbeelding bestaat. En ik herinner me dat Griekse letters vaak gebruikt worden om een golf aan te duiden. Inderdaad, de Schrödingervergelijking beschrijft de beweging van een golfdeeltje, die wonderlijke constructie in de kwantummechanica die zich soms voordoet als een deeltje en soms als een golf - afhankelijk van hoe je ernaar kijkt. Het is deze dubbelzinnigheid die bovengenoemde toverkunsten van hun magie ontdoet.

'DOOR DE DAGELIJKSE CONFRONTATIE MET TECHNIEK DIE WE MET ONS GEZONDE VERSTAND NIET KUNNEN BEVATTEN, HEBBEN WE GEEN GOED GEVOEL MEER VOOR WAT MOGELIJK IS EN WAT ONMOGELIJK.'

Het boek van Penrose is uniek en heroïsch. Acht jaar heeft hij gewerkt om te komen tot een *Complete Guide to the Laws of the Universe*. Ik ken geen andere poging op deze kolossale schaal (ruim 1100 bladzijden) om de natuurwetten in hun oorspronkelijke wiskundige taal aan een breed publiek uit te leggen. Zo'n inspanning wordt begrijpelijk als je weet dat Sir Roger Penrose een wiskundige is (en een heel beroemde), maar geen natuurkundige. Wiskundige begrippen, zoals een imaginair getal, zijn voor hem méér dan een efficiënt hulpmiddel om de realiteit te beschrijven. Mathematische abstractie en fysische realiteit zijn één voor Penrose.

Voor de meeste natuurkundigen is de wiskunde een taal, niet meer en niet minder. Het is handig om de natuurwetten als wiskundige formules op te schrijven, maar de inhoud moet ook in niet-wiskundige termen kunnen worden uitgelegd. In *The Fabric of the Cosmos* van Brian Greene zul je vrijwel geen formules tegenkomen. Geen Schrödingervergelijking dus: 'You don't need to know anything about this equation...' stelt de auteur de lezer gerust, om te vervolgen met de beschrijving van de golfdeeltjedubbelzinnigheid aan de hand van een tekening: elektronen die één voor één door een spleet worden geschoten, doen op het achterliggende scherm een golfpatroon ontstaan.

De tekeningen worden gecombineerd met beeldspraak, dikwijls in de vorm van een analogie. De dubbelzinnigheid van het golf-deeltje wordt vergeleken met 'je dubbel voelen'. Greene vertelt een amusant verhaal over een winkelier die twijfelt of hij een dierbaar schilderij aan een geïnteresseerde klant zal verkopen of niet. Hij denkt tegelijkertijd 'ja' en 'nee', zoals het elektron tegelijkertijd 'golf' en 'deeltje' kan zijn. Uiteindelijk zwicht hij en doet afstand van het schilderij. Terugdenkend heeft hij het gevoel dat hij eigenlijk altijd al heeft geweten dat hij het zou verkopen. Het 'nee' is verdwenen uit zijn geheugen, alleen het 'ja' is overgebleven. Maar als hij besloten zou hebben het schilderij zelf te houden, dan zou juist het 'ja' verdwenen zijn. Net zoals de dubbelzinnigheid van de gedachte verdwijnt door de daad van de verkoop, zo verdwijnt de dubbelzinnigheid van het golf-deeltje zodra je het elektron probeert waar te nemen.

'GELUKKIG IS KENNIS VAN DE WISKUNDE NIET NODIG OM EEN VERSTANDIG OORDEEL TE VELLN OVER DE KANS DAT DE MENS OOI NOG EENS ZAL REIZEN IN DE TIJD OF ZICH ZAL LATEN OVERSTRALEN DOOR DE RUIMTE.'

Ik houd wel van dit soort analogieën, omdat ze je op nieuwe ideeën kunnen brengen, vooral als je gaat afvragen waar de analogie ophoudt. Een te ver doorgevoerde analogie geeft slechts de illusie van begrip. Greene is zich hier gelukkig goed van bewust. Vorig jaar mocht hij de natuurwetten uitleggen tijdens een Paleislesing in Amsterdam, op uitnodiging van onze koningin. Nadat hij de eigenschappen van elementaire deeltjes had omschreven in menselijke termen (gezellig, aantrekkelijk, afstotend), kwam uit de zaal de vraag waarom hij zich liet verleiden tot antropomorfisme. Greenes antwoord: 'Omdat u geen wiskunde kent.'

Gelukkig is kennis van de wiskunde niet nodig om een verstandig oordeel te vellen over de kans dat de mens ooit nog eens zal reizen in de tijd of zich zal laten overstralen door de ruimte. Greene legt uit dat beide toekomstverwachtingen, hoewel niet uitdrukkelijk verboden door de natuurwetten, toch uiterst onwaarschijnlijk zijn. Reizen naar de toekomst vereist een versnelling die het menselijk lichaam niet zal overleven (om over reizen naar het verleden maar te zwijgen), en de miljard keer miljard atomen in ons lijf kunnen niet afgebroken en opgebouwd worden zonder een kankerverwekkende steek te laten vallen. Deze technologie zal dus magie moeten blijven. Hoewel?

Wie veertig jaar geleden naar een aflevering van StarTrek keek, zal zich wellicht evenzeer verwonderd hebben over het overstraalapparaat in het ruimteschip als over de boordcomputer. Wanneer dezelfde aflevering vandaag de dag op de televisie herhaald wordt, dan zien de computers er maar ouderwets uit; in dit geval heeft de werkelijkheid onze toekomstverwachtingen ingehaald. Wie weet welke magische technologie nog eens de overstap naar de wetenschap zal maken.

Tot besluit, een koopadvies. *The Road to Reality* is een boek om mee te nemen naar een onbewoond eiland. Het zal je verstand bezighouden gedurende vele, vele maanden, met geraffineerde wiskundige concepten en hun natuurkundige toepassingen. De sommen die Penrose aanbiedt om je kennis te testen, zijn uitdagingen die je de honger en de eenzaamheid zullen doen vergeten. Als je iets van de moderne natuurkunde wilt leren, maar voorlopig geen verblijf op een onbewoond eiland voorziet, dan zou ik *The Fabric of the Cosmos* aanbevelen. Greene schrijft in een geestige, toegankelijke stijl die uitnodigt tot lezen. Omdat de wiskunde is vervangen door beeldspraak, is een veel geringere inspanning nodig om het boek door te werken.

Carlo Beenakker is hoogleraar natuurkunde aan het Instituut-Lorentz van de Universiteit Leiden.

Besproken boeken:

The Fabric of the Cosmos. Space, Time and the Texture of Reality
door **Brian Greene**
Vintage Books. New York 2005.
592 pag., € 15,25

The Road to Reality. A Complete Guide to the Laws of the Universe
door **Roger Penrose**
Alfred Knopf. New York 2005.
1136 pag., € 26,55