

13 JUNI 1996



WETENSCHAP

NRC HANDELSBLAD
DONDERDAG 13 JUNI 1996

Medicijn voor een

krankzinnige theorie

De quantummechanica is de meest succesvolle natuurkundige theorie. Tegelijk is ze absurd: pas door te kijken zou een waarnemer een atoomkern tot beslissen aanzetten.

F.A. Muller

Stel we hebben een bakje met honderd radio-actieve polonium-atomen, die een halfwaardetijd hebben van 140 dagen. Dit betekent dat na 140 dagen ongeveer vijftig atoomkernen zijn vervallen in evenzovele lood- en helium-atoomkernen en vijftig polonium-atoomkernen zich nog in de oorspronkelijke, niet-vervallen toestand bevinden. Na nogmaals 140 dagen wachten zijn van deze vijftig nog-niet-vervallen polonium-atoomkernen er inmiddels vijfentwintig vervallen, etcetera. Voor iedere polonium-atoomkern geldt op ieder moment: vervallen of nog-niet-vervallen. Een derde mogelijkheid is er niet.

Er is echter een probleem. Volgens de meest succesrijke fysische theorie die verschijnsel als radio-actief verval beschrijft, de quantummechanica, is dit niet waar. De quantummechanica leert ons: het is niet zo, dat iedere polonium-atoomkern op ieder moment vervallen of nog-niet-vervallen is, wel is het zo dat hij zich in een *superpositie* (samenstelling) bevindt van de vervallen en de nog-niet-vervallen toestand.

De wiskundige voorstelling van zaken is van een middelbare-schoolse eenvoud. De quantummechanica stelt fysische toestanden wiskundig voor als vectoren in een abstracte ruimte. Deze ruimte, die velerlei bijzondere eigenschappen heeft en zelfs oneindig veel dimensies kan hebben, heet de *Hilbert-ruimte* en werd speciaal voor de quantummechanica bedacht door Johnny von Neumann in 1932.

De hier afgebeelde figuur beperkt zich tot twee dimensies. De begintoestand van een radio-actieve polonium-kern is een verticale vector en de vervaltoestand is een horizontale vector, beide met lengte 1. Naarmate de tijd verstrijkt draait de vector met de wijzers van de klok mee. Na 140 dagen maakt de vector een hoek van 45 graden met de verticale as. Na nogmaals 140 dagen wachten is deze hoek $45 + 45/2 = 67,5$ graden. Enzovoort. Om de vector horizontaal te zien, moet men oneindig lang wachten doordat de vector steeds langzamer draait.

Alle vectoren die een hoek maken die tussen 0 en 90 graden ligt, stellen dus noch een vervallen noch een nog-niet-vervallen toestand voor, maar superposities daarvan. Een superpositie is, wiskundig gesproken, niets anders dan een vectorsom van de verticale en de horizontale vector met coëfficiënten waarvan de som van de kwadraten gelijk is aan 1 (stelling van *Pythagoras*).

Tot zover de wiskunde. Nu de natuurkunde. De hamvraag luidt: hoe dienen wij de superpositie fysisch te begrijpen? Evenmin als een bom een

beetje ontploft en een beetje nog-niet-ontploft is kan een radio-actieve atoomkern toch ook niet een beetje vervallen en een beetje nog-niet-vervallen zijn? We zien immers altijd bommen die niet of wel ontploft zijn en nooit iets anders.

Dat laatste is natuurlijk een waarheid als een koe. Om een botsing tussen de quantummechanica en onze waarnemingen te vermijden, bedacht Von Neumann het zogeheten *projectie-postulaat*: zodra we kijken, of algemener gezegd, zodra er een meting wordt verricht, geraakt de toestand van de atoomkern vanuit een superpositie in een vervallen of nog-niet-vervallen toestand, met een kans gelijk aan het kwadraat van de coëfficiënten. (Na 140 dagen wachten zijn die kansen gelijk aan een half.) De horizontale of de verticale projectie van de vector is de toestand na de meting, waar de toestand bij een meting instantaan en onvoorspelbaar naartoe springt. Hier vindt de veelgehoorde kreet 'meten is verstoren' zijn oorsprong.

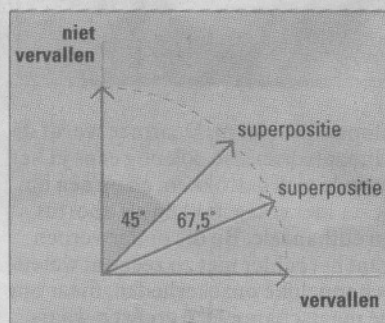
Doodstraf

Ofschoon Von Neumann met dit snelrecht de quantummechanica redde van het oordeel 'in strijd met de waarnemingen', waarop in de wetenschap nog altijd de doodstraf staat, roept dit snelrecht enkele vragen op die varen onder de vlag van het quantummechanische *meetprobleem*. Waarom springt een atoomkern instantaan en onvoorspelbaar naar een vervallen of nog-niet-vervallen toestand wanneer wij ernaar kijken? Bommen ontploffen toch ook wan-

neer niemand kijkt? Nucleaire rampen zijn toch zeker niet te voorkomen door kerncentrales te laten bemanen door blind personeel?

Hoewel velen het meetprobleem enigszins bagatelliserend als een 'filosofisch probleem' onschadelijk hopen te maken, is het meetprobleem een alleszins fundamenteel probleem

John von Neumann (1903-1957)



dat de grondslagen van de theorie betreft. Wie er zich mee inlaat, komt er nooit meer van los. Alle natuurkundigen die met de grondslagen van de quantummechanica hebben geworsteld zijn het over één ding roerend eens: de quantummechanica is een krankzinnige theorie.

De grondslagenarbeid, die in het bijzonder de laatste tijd ongekend floreert, heeft geleid tot de meest fantastische ideeën: van de intrede van het bewustzijn in de fysica tot de verwerping van de quantummechanica als een fundamentele theorie; en van de vervanging van de klassieke logica door een 'quantumlogica' tot het splitsen van het universum bij een meting in talloze andere universa, om er enkele te noemen.

Weinig natuurkundigen zijn te porren voor zulke extreme standpunten. Maar veel natuurkundigen zien in dat problemen verzwijgen en problemen oplossen twee verschillende dingen zijn. Heel misschien is het daarom dat ook natuurkundigen een fooi over hebben om een internationaal reseravaat van grondslagenonderzoekers in stand te houden, alwaar natuurkundigen, filosofen, logici en wiskundigen hun kunsten vertonen ter meerdere glorie van onder andere de quantummechanica.

Op een grondslagen-conferentie in 1985 te Finland ter ere van de vijftigste verjaardag van de paradox van Einstein, Podolsky en Rosen — die

Toestandsruimte van een radio-actieve polonium-atoomkern met massagetal 210 en atoomnummer 84 (sterk vereenvoudigd).

overigens een ander nijpend grondslagenprobleem van quantummechanica behelst (het localiteitsprobleem) — zag een nieuwe interpretatie van de quantummechanica het levenslicht van de Amerikaanse wiskundige Simon Kochen. Deze zogeheten *modale interpretatie* zoekt het niet in extremen, maar probeert na te gaan in hoe verre fysisch plausible ideeën, zoals dat een bom op ieder moment wel of niet is ontploft, nu werkelijk strijdig zijn met de quantummechanica.

Superpositie

Kenmerkend voor de modale interpretatie is de wijze waarop men tegen de beruchte superpositie aankijkt: de radio-actieve atoomkern heeft op ieder moment de *eigenschapstoestand* vervallen of nog-niet-vervallen, ook al is de wiskundige voorstelling van de *dynamische toestand* een superpositie. Het ingevoerde onderscheid tussen eigenschapstoestand en dynamische toestand, afkomstig van de in Nederland geboren wetenschapsfilosoof Bas van Fraassen, is een wezenlijk bestanddeel van de modale interpretatie.

Voorheen werden wezenlijk verschillende zaken met elkaar verward, aldus de modale interpretatoren, waardoor er zulke schreeuwende problemen ontstonden. Von Neumann's projectie-postulaat is overbodig: superposities van eigenschapstoestanden bestaan niet en superposities van dynamische toestanden zijn ongevaarlijk daar zij de eigenschapstoestanden onverlet laten. Meten is niet langer verstoren maar het onthullen van eigenschappen die de deeltjes

reeds bezaten. Het indeterministische karakter van de quantummechanica blijft gehandhaafd; niets is verder verwijderd van de modale bedoelingen dan het invoeren van 'verborgen variabelen' om de quantummechanica te herleiden tot een deterministische theorie.

In de personen van Dennis Dieks en Pieter Vermaas, beiden verbonden aan de vakgroep Grondslagen van de Natuurwetenschappen van de Universiteit Utrecht, draagt ook Nederland zijn steentje bij aan het onderzoek binnen de modale interpretatie. Deze activiteit vindt haar voorlopig hoogtepunt in de eerste internationale conferentie *The Modal Interpretation of Quantum Mechanics*, die gehouden wordt van woensdag 12 tot en met vrijdag 14 juni te Utrecht. Daar zal moeten blijken of de quantummechanica inderdaad van haar krankzinnigheid aan het genezen is.