



Albert Einstein geeft een les in het Carnegie Instituut voor Technologie. © AP

Het pleit is beslecht: Einstein had ongelijk. De natuur is weldegelijk spookachtig en volgt regels die tegen ieders intuïtie ingaan. Delftse fysici dragen vandaag het klassieke wereldbeeld definitief ten grave. Het moet plaatsmaken voor een spookachtig quantum.

[Trouw](#)

Het lijkt een waarheid als een koe: voorwerpen hebben hun eigenschappen en als er iets gebeurt, ligt de oorzaak in de buurt. Tomaten zijn rood en als je ze loslaat, vallen ze door hun gewicht op de grond. Maar de quantumfysica zegt dat dit beeld niet deugt.

Volgens die theorie, die begin vorige eeuw werd ontwikkeld en die de atomaire wereld beschrijft in termen van kansen, kunnen voorwerpen

verschillende eigenschappen tegelijk hebben. In de quantumwereld zijn de objecten rood én groen, bol én vierkant. En reageren ze met-een op elkaar, ook al zijn ze lichtjaren van elkaar verwijderd.

### **Spookachtige werking op afstand**

Bij dat laatste kon Albert Einstein zich niet neerleggen. In 1935 beschreef hij een gedachtenexperiment waarmee hij deze 'spookachtige werking op afstand' in twijfel trok. Die werking was in strijd met zijn eigen relativiteitstheorie die zegt dat informatie reist met de snelheid van het licht en dat het dus even duurt voordat objecten op elkaar reageren. De objecten beïnvloeden elkaar ook niet over die afstand, dacht Einstein. Het probleem is alleen dat wij de diepere theorie die beschrijft hoe ze dan wel reageren, nog niet kennen.

Dertig jaar later stelde de Britse fysicus John Stewart Bell een experiment voor waaruit zou moeten blijken of zo'n diepere theorie bestond, maar het zou nog tot begin jaren tachtig duren eer dat experiment kon worden uitgevoerd. Wat bleek? Die theorie bestond niet en de wereld had die vreemde quantumfysica maar te accepteren.

Dat bewijs bevatte echter een paar valkuilen. Misschien draaide de natuur de wetenschap wel een rad voor ogen en zagen de fysici een selectie van hun meetresultaten waardoor het alleen leek alsof Bell Einstein ongelijk gaf. Of slaagden de quantumobjecten er stiekem via een achterdeurtje toch in om informatie uit te wisselen.

Aan die onzekerheid maken natuurkundigen van de TU Delft definitief een einde. In het vakblad Nature beschrijven ze vandaag hoe ze metingen hebben verricht aan twee elektronen die 1300 meter van elkaar verwijderd waren. Dat is ver genoeg om de elektronen niet de tijd te gunnen met elkaar te communiceren terwijl de fysici het experiment uitvoeren. Bovendien hebben de Delftenaren ervoor gezorgd dat ze alle metingen meenamen.

### **De finale nagel aan de doodskist van het realisme**

Opnieuw zakt Einstein voor de Bell-test en nu is er geen ontkomen meer aan. Het realistische wereldbeeld dat iedereen intuïtief heeft, is slechts schijn. Het zijn de vreemde wetten van de quantumtheorie die

regeren.

De commentator van Nature kraakt nog een klein kritisch nootje. De Delftenaren baseren hun betoog op 245 metingen. Dat is voldoende om hun conclusie zoals dat heet, statistisch significant te maken. Maar het is denkbaar dat de natuur hen ook hier een loer heeft gedraaid en een uitzonderlijke toevalstreffer heeft voortgebracht. Extra metingen zullen uitsluitel bieden, schrijft hij.

Maar eigenlijk twijfelt ook hij niet. "Dit is de finale nagel aan de doodskist van het realisme", schrijft hij. En hij feliciteert de Delftenaren met het bereiken van deze mijlpaal in de natuurkunde.

## Interview met Ronald Hanson, hoogleraar quantumfysica aan de TU Delft

Het was een wedloop waarin wereldwijd diverse groepen streden om als eerste de definitieve Bell-test uit te voeren. Een race die gewonnen werd door de vakgroep van Ronald Hanson, hoogleraar quantumfysica aan de TU Delft. Reden voor een feestje. "Ja hoor. Dit is een mijlpaal. Er was al lang niemand meer in de fysica die aan deze uitkomst twijfelde, maar je hebt toch één experiment nodig dat alle achterdeurtjes dichtgooit. En dat is dit experiment."

*Was het een spannende race?*

"Op het eind wel. Maar het opmerkelijke is dat wij pas in het voorjaar van 2013 besloten om ons hierop te richten. Toen is een promovendus ermee aan de slag gegaan. Andere groepen joegen al jaren op dit resultaat. Eén groep was er al 25 jaar mee bezig."

*Hoe konden jullie hen dan zo snel inhalen?*

"Een verschil in aanpak. Andere groepen prepareren lichtdeeltjes en schieten ze dan weg. Wij werken met elektronen die we eerst op afstand zetten en dan pas prepareren. De voorbereiding is lastiger, maar als het eenmaal is gelukt, kun je exacter meten. En kun je het bestaan van achterdeurtjes uitsluiten."

Dat vergt enige uitleg. In het gedachtenexperiment van Albert Ein-

stein en de test van John Bell is een centrale rol weggelegd voor de zogeheten verstrengeling. Quantumdeeltjes zoals elektronen of fotonen (lichtdeeltjes) kunnen innig met elkaar verbonden zijn en een gezamenlijke eigenschap bezitten. Het vreemde is dat die gezamenlijke eigenschap vaak bekend is en vastligt, terwijl die van de afzonderlijke deeltjes vaag blijft. De een is plus en de ander min, of andersom. De een wijst naar rechts, de ander naar links.

Je weet niet wat het is, maar als je de eigenschap bij de een meet, weet je de ander. Is de een plus, dan is de ander min. En dat weet je meteen, ook al liggen ze mijlenver uiteen. Einstein geloofde dit niet en dacht dat de afzonderlijke eigenschappen al voor de meting vastlagen. En dat wij de theorie die dat beschreef, nog niet kenden. De Bell-test geeft daarover uitsluitsel.

*Hoe gingen jullie te werk?*

"Wij hielden twee elektronen vast in diamantkristallen, in twee laboratoria op onze campus die 1300 meter uiteen liggen. We lieten de elektronen allebei een lichtdeeltje uitzenden en die brachten we bijeen in een derde lab. Zo waren ook de elektronen verstrengeld."

*Klinkt ingewikkeld.*

"Dat was het ook. Het was een hele toer om die fotonen bij elkaar te krijgen. In anderhalve kilometer glasvezel gaat er veel verloren. We zonden er tienduizend per seconde uit, maar het lukte maar eens per uur om ze bijeen te krijgen. Reken het succespercentage maar na."

*Maar als het een keer lukte, ging de meting zelf eenvoudig?*

"Nou ja, wat heet eenvoudig. We hadden daar vier microseconden voor. Vier miljoenste van een seconde om met een generator een meting te kiezen, deze uit te voeren en de uitslag af te lezen. Dan waren we snel genoeg om te voorkomen dat het andere elektron kon 'weten' wat ze hadden gedaan. Maar dat was niet zo lastig als het tot stand brengen van de verstrengeling."

*En nu is het klaar. Het klassieke wereldbeeld is passé, de quantumtheorie heeft gewonnen.*

"Dat is half waar. Het idee van Einstein is definitief ontzenuwd. In theorie bestaat de kans dat ons resultaat een uitschieter was, maar

daar gaat niemand van uit. En ons resultaat is consistent met de quantumtheorie. Maar of een theorie waar is, weet je natuurlijk nooit."

© 2017 de Persgroep Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden