

# Kwantumeffecten zijn niet bizar, Dirk Bouwmeester: Op twee plekken tegelijk zijn is heel logisch!

• 16 juli 2014

Waarom kan een kwantumdeeltje op twee plekken tegelijk zijn en wij mensen niet? Dirk Bouwmeester, hoogleraar experimentele kwantumfysica aan de Universiteit Leiden, probeert een antwoord te vinden.



*Dirk Bouwmeester. Foto: NWO/Ivar Pel*

Je krijgt 2,5 miljoen euro! Ben je al wat bekomen van het nieuws?

‘Het was een enorme verrassing. Het is voor een onderzoeker een geschenk uit de hemel: de

mogelijkheid om verder te gaan met je onderzoek in de zekerheid dat het geld er is. Als je

experimenteel onderzoek doet, ben je constant bezig de financiering rond te krijgen. Dit geeft me

heel veel extra ruimte om me nog meer op onderzoek te richten.’

## En kwantumonderzoek is vast niet goedkoop?

‘Dat klopt. Ik denk dat ik de laatste 15 jaar toch wel een budget van een miljoen per jaar nodig heb gehad voor de experimenten. Het lijkt een hoop geld, maar bij dit soort onderzoek gaat het snel. Een van mijn experimenten maakt gebruik van heel lage temperaturen. Het is enorm duur om dat draaiende te houden. Ik ben NWO dus enorm dankbaar. Dat is trouwens niet voor het eerst, dankzij een beurs van NWO heb ik in 1996 in Oxford bij Roger Penrose kunnen werken, een natuurkundige die mij enorm geïnspireerd heeft. Als promovendus in de kwantumopticagroep aan de Universiteit Leiden heb ik geleerd zorgvuldig en degelijk experimenten te doen. Met alleen de sprankelende ideeën van Penrose kom je er niet. Je moet heel hard en gedegen werken, en blijven doorzetten. Alleen dan kun je heel bijzondere experimenten doen.’

## Die experimenten doe je zowel in Nederland als in de Verenigde Staten. Hoe zit dat?

‘Het onderzoek heeft die twee plekken nodig. De experimenten moeten worden verricht bij extreem lage temperaturen. Al ruim honderd jaar is het Kamerlingh Onnes-laboratorium in Leiden daarin gespecialiseerd. De nanostructuren die naar die extreem lage temperaturen gebracht worden, moeten met geavanceerde technieken gemaakt worden. En daar zijn ze aan de Universiteit van Californië in Santa Barbara erg goed in. Mijn studenten in Santa Barbara werken aan het maken en het testen van de materialen. Als die goed zijn, worden ze of opgestuurd of ik neem ze zelf mee naar Leiden. En soms nemen de studenten ze mee als ze meedoen aan het onderzoek in Leiden.’

*Wist u dat? Een kwantumdeeltje kan op een en hetzelfde moment op twee verschillende plaatsen zijn*

## Met jullie experimenten wil je de grenzen van de kwantummechanica oprekken. Wat houdt dat in?

‘De kwantummechanica gaat over het gedrag van materie en energie op atomair niveau. Op die schaal zie je rare dingen. Zo kan een kwantumdeeltje (een heel klein deeltje, red.) op een en hetzelfde moment op twee verschillende plaatsen zijn. Maar wij kunnen dat niet. Wij mensen kunnen niet tegelijkertijd op deze stoel en op de stoel in de kamer hiernaast zitten. Een belangrijke vraag in de kwantummechanica is waarom we die kwantum-effecten in het dagelijks leven niet waarnemen. Waarom kan een kwantumdeeltje op twee plekken tegelijk zijn, maar wij niet? Door grotere objecten in kwantumtoestanden te brengen willen wij daar een antwoord op vinden. We willen de schaal waarop kwantumeffecten plaatsvinden groter maken.’

## Hoe zit dat experiment in elkaar?

‘We bekijken een kwantumdeeltje dat in twee richtingen kan bewegen. Het is een foton, het deeltje waar licht uit bestaat. Dat foton is in kwantumsuperpositie, een kwantumtoestand waarin het op hetzelfde moment in beide richtingen beweegt. Die superpositie brengen we over op een groter object, een overigens nog altijd zeer klein spiegeltje. Hoe we dat doen? Aan het einde van beide bewegingsrichtingen is een holte. In een daarvan staat dat spiegeltje op een veertje. Botst er een

foton tegenaan, dan gaat het spiegeltje trillen. De verplaatsing door die trilling is zeer klein, veel minder dan de afmeting van het spiegeltje zelf, maar hij is groot genoeg om op te merken. Doordat het foton in superpositie is, geldt dat ook voor het spiegeltje, dat tegelijkertijd trilt en niet trilt. Het spiegeltje is met andere woorden op twee plaatsen tegelijk, met als grootste afstand tussen die plekken de maximale uitwijking van de trilling.'

- Dirk Bouwmeester [Ik zie keer op keer dat kwantummechanica zo fantastisch werkt en eigenlijk ook zo eenvoudig is.](#)

### **Sorry hoor, maar dat is bizar!**

'Als je je maar lang genoeg met kwantummechanica bezig hebt gehouden is dat juist logisch. De objecten zoals we die uit het dagelijks leven kennen, hebben een snelheid en een plaats. Ze doorlopen een pad en daarom zijn ze niet op twee plaatsen tegelijk. Maar in de kwantummechanica blijkt dat dit voor heel kleine deeltjes niet geldt. In plaats daarvan is er voor kwantumdeeltjes een golfbeschrijving noodzakelijk. Een deeltje beweegt niet in een lijn, maar als een golf door de ruimte-tijd. En het bizarre is juist dat het uiteindelijk als een deeltje op een plek gedetecteerd wordt. Dat is natuurkundig gezien veel bizarder dan de onderliggende kwantumwereld. In de huidige natuurkundetekstboeken wordt er vaak nog vanuit gegaan dat we vanuit de klassieke wereld, zoals je die om je heen ziet, moeten begrijpen hoe de kwantumwereld in elkaar zit. Maar je moet het juist andersom doen! Je moet de kwantumbeschrijvingen als uitgangspunt nemen en jezelf dan de vraag stellen hoe daaruit onze klassieke wereld ontstaat. Hoe komt het dat een deeltje een enkel pad in de ruimte doorloopt?'

### **En heeft de kwantummechanica daar een antwoord op?**

'Daar bestaat nog discussie over. Op het moment dat we aan een deeltje gaan meten, maken we een sprong van de kwantumwereld, waarin golven dus de hoofdrol spelen, naar de klassieke wereld, waar een deeltje zich op een bepaalde plek in de ruimte kan bevinden. Dat moment wordt 'het instorten van de golf functie' genoemd. Een belangrijke vraag die ter discussie staat is: wat is het mechanisme hierachter? In principe heeft de kwantumtheorie daar een goed antwoord op. Je hebt namelijk het deeltje dat je wilt detecteren gekoppeld aan een groot meetapparaat dat we klassiek kunnen beschrijven. En dat houdt in dat het deeltje verstrengeld raakt met allerlei deeltjes in het meetapparaat. Die verstrengeling is zo complex dat we vanaf dat moment niet meer experimenteel kunnen aantonen dat er een superpositie is. Kwantummechanisch gezien is die superpositie er nog steeds. Maar het systeem gedraagt zich vanaf dat moment in grote mate als een klassiek systeem zonder golfachtige eigenschappen.

Maar dat is niet het enige mogelijke antwoord. Het zou kunnen dat er nog een extra effect een rol speelt waar we nu nog geen weet van hebben en dat ervoor zorgt dat de kwantumwetten voor grotere objecten niet opgaan. Dat is wat Penrose vermoedt. Hij denkt dat elke superpositie na

verloop van tijd ineen zal storten, ook als je daar niet zelf voor zorgt door een meting. Volgens hem speelt gravitatie daar een belangrijke rol in. Hij vermoedt dat hoe zwaarder een deeltje is, hoe sneller een superpositie ineenstort. Bij heel kleine deeltjes, zoals elektronen en atomen, duurt het instorten te lang om tijdens de huidige experimenten te kunnen waarnemen. Maar bij grote objecten zou je die ineenstorting wel kunnen opmerken. Wat we met onze experimenten willen testen is of de kwantummechanica ook netjes werkt voor grotere objecten, en of het instorten van de golf functie volledig kwantummechanisch te begrijpen is of niet.'

- Dirk Bouwmeester **Ik weet werkelijk niet wat ik verwacht en voor mij maakt dat het experiment de moeite waard**

### **Wat verwacht je dat eruit komt?**

'Ik weet werkelijk niet wat ik verwacht. En voor mij maakt dat het experiment de moeite waard. Ik ken maar heel weinig experimenten waarbij niet bij voorbaat duidelijk is wat de uitkomst zou moeten zijn. Meestal geldt: een experiment is gelukt als eruit komt wat je had verwacht. En anders probeer je het opnieuw. Maar dat gaat voor dit experiment niet op. Als het daadwerkelijk lukt om de superposities van die spiegeltjes te maken, kan ik niet voorspellen wat er dan gebeurt. Aan de ene kant voel ik wel wat voor de ideeën van Penrose. Gravitatie speelt een enorm belangrijke rol in de natuurkunde, maar is volgens mij nog niet goed begrepen. Er is nog ruimte voor verrassingen daar. Aan de andere kant zie ik keer op keer dat kwantummechanica zo fantastisch werkt en eigenlijk ook zo eenvoudig is. Het geeft zulke fraaie en duidelijke beschrijvingen van hoe de microscopische wereld in elkaar steekt, dat ik geen moeite heb om aan te nemen dat ook grotere objecten in superpositie kunnen zijn.

Ik verwacht dat de eerste experimenten met nog relatief kleine deeltjes zullen aantonen dat de kwantummechanica dan nog steeds heel netjes werkt. Of er bij grotere deeltjes afwijkingen gemeten gaan worden zullen we moeten afwachten. En als dat het geval blijkt te zijn, dan moeten we serieus gaan kijken naar de voorstellen van Penrose en andere theoretici met vergelijkbare ideeën. Maar als de kwantummechanica ook werkt voor grotere objecten, dan betekent dat dat we ons wereldbeeld behoorlijk moeten bijstellen. Dan is het werkelijk mogelijk dat alles, ook mensen, in enorm complexe superposities bestaan.'

### **Wat zouden de gevolgen zijn?**

'Je kunt je in dat geval heel gekke experimenten voorstellen. Stel, ik maak een apparaatje waarin ik een foton in een superpositie breng. Dat foton beweegt dan tegelijkertijd naar links en naar rechts. Aan beide kanten plaats ik een detector. Voor het experiment begint, neem ik een besluit. Bijvoorbeeld: als de ene detector afgaat zeg ik mijn baan in Santa Barbara op en ga ik alleen in Leiden werken. Gaat de andere detector af, dan zeg ik juist mijn baan in Leiden op. Op het moment

dat het foton gedetecteerd wordt kom ik kwantummechanisch gezien in een superpositie. Daarin bestaat de realiteit dat ik alleen in Leiden ga werken tegelijk met de realiteit dat ik alleen in Santa Barbara zal werken.

Het frappante is: als zoiets gebeurt, zouden we ons dat niet realiseren, want we kunnen geen meting doen waaruit blijkt dat de twee mogelijkheden naast elkaar bestaan. Maar als kwantummechanische wetten ook voor grotere objecten gelden, zoals mogelijk uit het onderzoek in Leiden zal blijken, is dat wel de conclusie. Mijn groep was de eerste die dit soort dwaas onderzoek opstartte, maar inmiddels zijn er minstens vijftig groepen in de wereld die naar superposities van grotere en nog grotere objecten toe werken.'

### **Een race tegen de klok om als eerste te zijn?**

'Ik wil de wetenschap niet als een race zien. Ik ben vooral blij dat dit onderzoek enorm is aangeslagen en dat zoveel mensen het de moeite waard gevonden hebben om hier aan te werken. Dat maakt het zeker dat de vraag uiteindelijk beantwoord zal worden. Natuurlijk hoop ik wel dat ons onderzoek daar een hoofdrol in zal spelen. Met deze nieuwe financiering door de Spinozapremie is daar grote kans op. Maar dat is niet mijn drijfveer. Het is enorm inspirerend om aan de basis van nieuw onderzoek te staan. Steeds weer sta ik versteld van hoeveel er ontdekt en ontwikkeld is in de laatste honderd jaar. Het is door die kennis dat op dit moment de wetenschappelijke wereld aan het exploderen is.

Onze huidige kennis van medicijnen en biologie is mogelijk gemaakt door de kwantumtheorie. Er wordt geweldig onderzoek gedaan naar nieuwe medische behandelingen dat alleen mogelijk is dankzij de precieze kennis van de DNAstructuren en andere structuren binnen levende cellen. En dat is allemaal te danken aan de kwantummechanische beschrijving daarvan. Hoe moleculen zich vormen kun je met de kwantummechanica berekenen. Waarom bepaalde moleculen zich wel aan elkaar binden en andere juist niet? Dat zijn puur kwantummechanische berekeningen. En met die kennis staat er nog zo verschrikkelijk veel te gebeuren in de toekomst.'

- Auteur: Anouschka Busch
- Fotografie: Ivar Pel
- Dit interview verscheen eerder in de Experiment NL-special
- [NWO-Spinozapremies 20 jaar](#), een samenwerking van NWO en Quest.