

# De kwantummechanica: onbegrijpelijk, maar o zo fascinerend

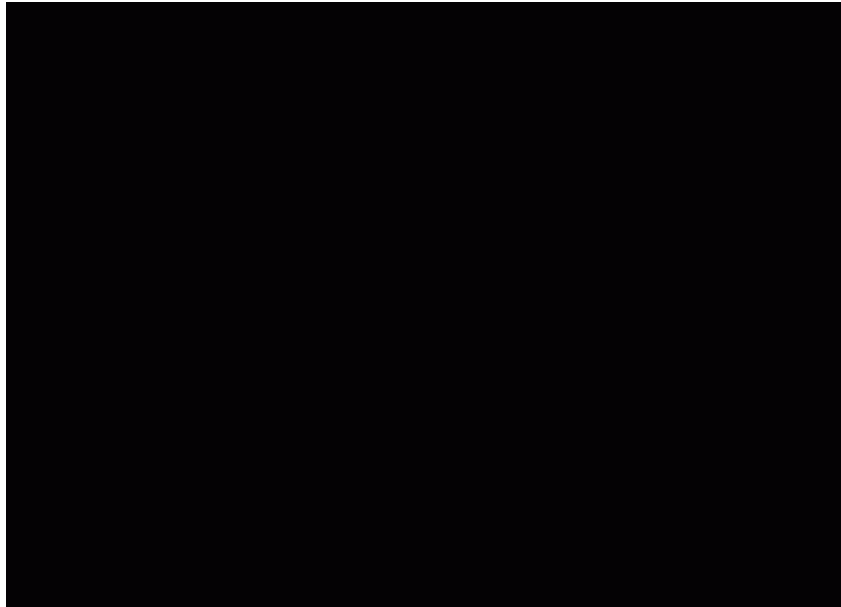
www.scientias.nl  
april 8ste, 2017

**Wat is kwantummechanica? Waarom is het zelfs voor Nobelprijswinnaars onbegrijpelijk? En waarom kunnen we absoluut niet zonder?**

Misschien heb je je wel eens in de kwantummechanica proberen te verdiepen en zakte de moed je na twee of drie alinea's al in de schoenen. Want: waar gáát het eigenlijk over? Voor al die mensen die er niets van begrepen hebben, hebben we goed nieuws. Want je bent in goed gezelschap. "Ik denk dat ik rustig kan zeggen dat niemand de kwantummechanica begrijpt," zei Richard Feynman - natuurkundige (één van de beste uit zijn tijd) en Nobelprijswinnaar - ooit. En anno 2017 is die uitspraak nog steeds steekhoudend. Want nog steeds doorgronden we de kwantummechanica niet. En toch flirten onderzoekers wereldwijd volop met de mogelijkheden die deze ons te bieden heeft. Hoogste tijd om ons toch eens te verdiepen in het onbegrijpelijke: de kwantummechanica.

## Set vergelijkingen

"Eigenlijk is kwantummechanica niets anders dan een set vergelijkingen die we gebruiken om de werkelijkheid te beschrijven," vertelt professor Ton van Leeuwen, werkzaam aan de TU Eindhoven, aan *Scientias.nl*. "Het is eigenlijk het beste model dat we hebben om de natuur te beschrijven, maar de gevolgen van het model zien we alleen op klein niveau." Je moet dan denken aan atomaire of zelfs subatomaire schaal. "En die gevolgen gaan vaak tegen de intuïtie in." Zo zijn er binnen de kwantummechanica bijvoorbeeld geen simpele uitspraken te doen zoals 'Voorwerp A bevindt zich op deze plek'. "In de kwantummechanica worden waarschijnlijkheids-uitspraken gedaan." Dus: de kans dat voorwerp A zich op deze plek bevindt, is 25 procent.



Over de kwantumtheorie is al veel gediscussieerd. Dat begon al in 1927 tijdens een internationale conferentie in Solvay, kort nadat de kwantumtheorie het levenslicht had gezien. Onder meer Albert Einstein, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Max Planck en Marie Curie schoven aan.

### **Op twee plekken**

“Maar als je dus niet precies weet waar het voorwerp zich bevindt, kan het eigenlijk op twee plekken tegelijk zijn,” gaat Van Leeuwen verder. En experimenten met kleine deeltjes onderschrijven dat. “Stel je een scherm met daarin twee heel smalle spleetjes voor. Stel nu dat je miljoenen elektronen op dat scherm afvuurt en vervolgens achter het scherm gaat kijken waar die elektronen zijn beland. Dan zie je iets bijzonders: er zijn plekken achter dat scherm waar de deeltjes nooit terechtkomen.” Dat is bijzonder, omdat je zou verwachten dat de deeltjes zich - onder meer omdat ze tegen de randen van de spleet botsen - egaal over de ruimte verspreiden. “Herhalen we het experiment nu met een scherm met daarin één spleetje, dan krijgen we wel dat egale patroon. Dat is nooit te verklaren met een simpel klassiek model. Dat is alleen te verklaren als de deeltjes zich gedragen als golven die door twee spleetjes tegelijkertijd reizen, oftewel op twee plekken tegelijkertijd zijn. Dat is heel merkwaardig.”

### **Een voetbalwedstrijd**

Afgaand op het hierboven beschreven experiment moet je wel concluderen dat de waarneembare werkelijkheid - dus wat wij in onze directe omgeving zien gebeuren - veel eenvoudiger is. “Een bal die tijdens een voetbalwedstrijd op doel wordt geschoten, kan volgens de kwantummechanica zowel in het doel als buiten het doel zijn. Maar wanneer je naar een voetbalwedstrijd zit te kijken, zie je dat nooit gebeuren. En dat is nu precies de moeilijkheid.” Experimenten op kleine schaal tonen aan dat deeltjes op twee plekken tegelijkertijd kunnen zijn, maar in het alledaagse leven zien we dat niet gebeuren. “De kwantummechanica beschrijft alles, maar de gevolgen van dingen zie je niet op groot niveau. Zodra voorwerpen groot en zwaar worden, loopt de kwantummechanica tegen zijn eigen grenzen aan.” Dat blijkt bijvoorbeeld als je het hierboven beschreven experiment - met het scherm met de twee spleeten - herhaalt met deeltjes die groter zijn dan elektronen (bijvoorbeeld atomen). “Het wordt dan al lastiger om het effect (van deeltjes die op twee plekken tegelijk kunnen zijn, red.) te creëren. En met nog grotere objecten - bijvoorbeeld een bal of een kogel - gaat het gewoon niet. Het leert ons dat dit effect lastiger of zelfs helemaal niet waarneembaar is als voorwerpen groter en zwaarder worden.”

### **Onmisbaar**

De kwantummechanica is - met name dankzij rare verschijnselen zoals deeltjes die op twee plekken tegelijkertijd kunnen zijn - heel fascinerend. Tegelijkertijd is de kwantummechanica ook onmisbaar, benadrukt Van Leeuwen. “Neem bijvoorbeeld de transistoren in moderne elektronica.” Omdat ze zo klein zijn, vereisen ze een kwantummechanische omschrijving. “Geen enkele transistor werkt zonder kwantummechanica.”

### **Verstrengeling**

Deeltjes die op twee plekken tegelijkertijd kunnen zijn: het is slechts één van de rare verschijnselen die de kwantummechanica rijk is. Zo kunnen twee deeltjes tevens met elkaar ‘verstrengeld’ zijn. Dat betekent dat het waarnemen van het ene deeltje gevolgen heeft voor het andere deeltje, ook al bevindt dat zich op grote afstand van het eerste deeltje. Einstein achtte dat effect onwaarschijnlijk en noemde het ‘spookachtige invloed op afstand’, maar in 2015 toonden Delftse onderzoekers aan dat het echt bestaat. Ze experimenteerden met ‘spin’: een magnetisch effectje van het elektron dat omhoog of omlaag kan wijzen. De onderzoekers verstrengelden twee elektronen. “Dan zijn ze allebei omhoog en omlaag tegelijk,” vertelde onderzoeker Ronald Hanson daar in 2015 over. “Maar zodra we er één waarnemen en ‘omhoog’ vinden, bepalen we ook dat de andere ‘omlaag’ staat. Dat effect is instantaan, zelfs als het andere elektron zich in een raket aan de andere kant van de Melkweg zou bevinden.” Verstrengelde deeltjes zijn heel interessant, omdat ze kunnen leiden tot niet af te luisteren dataverbindingen.

### **Kwantumcomputer**

Maar de kwantummechanica heeft ons zeer waarschijnlijk nog meer te bieden. “Er is een heel actief onderzoeksveld ontstaan dat kijkt hoe we de rare verschijnselen kunnen

gebruiken,” vertelt Van Leeuwen. Het leidde bijvoorbeeld tot het idee voor een kwantumcomputer. “Dat borduurt voort op het verschijnsel dat een deeltje op twee plekken tegelijk kan zijn. Als ik naar bits (eenheden van digitale informatie, zoals je die nu in de pc aantreft, red.) kijk, dan zie ik dat deze twee waarden aan kunnen nemen: 0 of 1.” Maar een kwantumbit – dat kan bijvoorbeeld een atoom zijn – kan tegelijkertijd 0 én 1 zijn. Die kwantumbits geven de kwantumcomputer een enorme capaciteit. Zeker wanneer we deze vergelijken met de geheugencapaciteit van een traditionele pc. “Neem 256 bits: zo’n beetje het kleinste geheugentje dat we kennen. Met behulp van kwantummechanische beschrijvingen zouden we in 256 atomen meer informatie op kunnen slaan dan in de gehele aarde, wanneer je deze om zou bouwen tot een USB-stick.” Maar niet alleen de capaciteit, ook de verwerkingssnelheid van een kwantumcomputer is dankzij de kwantumbits indrukwekkend. “Stel, ik geef jou een groot getal en vraag je te berekenen welke 28 priemgetallen ik vermenigvuldigd heb om tot dat grote getal te komen. Een klassieke computer zou het daar ontzettend moeilijk mee hebben. En dat is maar goed ook, want elke encryptie is hierop gebaseerd. Maar een kwantumcomputer kan dat vraagstuk wel relatief snel oplossen.” Dat komt ook weer doordat deze niet alle opties één voor één, maar tegelijkertijd kan toetsen. Het betekent dat de kwantumcomputer in theorie elke versleuteling kan opheffen. “Vandaar dat bijvoorbeeld ook de NSA (de nationale veiligheidsdienst in de VS, red.) hard aan een kwantumcomputer werkt.”

### **Hindernissen**

Op papier is de kwantumcomputer dus een fantastische machine die met zijn immense rekenkracht wellicht de grote vraagstukken van onze tijd – van klimaatverandering tot de mysteries in het universum – kan oplossen. Onderzoekers kunnen dan ook niet wachten om zo’n kwantumcomputer te bouwen. Maar dat is nog niet zo gemakkelijk. En dat heeft weer alles te maken met het feit dat de effecten van de kwantummechanica alleen op kleine schaal waarneembaar zijn. “Dus zodra het groot en complex wordt, ben je dat effect kwijt. We noemen dat ook wel decoherentie. Je moet de kwantumbits dus eigenlijk in een soort schemertoestand zien te houden en voorkomen dat ze zich naar de wetten van de klassieke mechanica gaan gedragen.” En als dat lukt, kunnen die kwantumbits ook echt benut worden en samen een kwantumcomputer vormen.

“Als je twintig natuurkundigen bij elkaar zet en over kwantummechanica laat discussiëren, heb je binnen de kortste keren ‘ruzie’”

Hoewel het nog niet gelukt is om kwantumbits langgenoeg in zo’n ‘schemertoestand’ te houden om ingewikkelde berekeningen uit te voeren, is er volgens Van Leeuwen geen enkele reden om aan te nemen dat de kwantumcomputer er niet komt. “Ik verwacht zeker de komende jaren wel enkele grote doorbraken. En de kwantumcomputer komt er ook gegarandeerd aan. Maar het kan nog wel 20 jaar duren voor het zover is.” En het doorgronden van de kwantummechanica? Dat ziet Van Leeuwen binnenkort niet gebeuren. Hij vertelt dat natuurkundigen vaak wel ideeën hebben over hoe iets in elkaar steekt, maar dat het in dit geval lastig is om een experiment te bedenken dat gebruikt kan worden om die hypothesen te toetsen. En zo blijft het bij theorieën. “Als je twintig natuurkundigen bij elkaar zet en over kwantummechanica laat discussiëren, heb je binnen de kortste keren ‘ruzie’,” vertelt Van Leeuwen. Het is te wijten aan het feit dat we ons zo moeilijk een voorstelling kunnen maken van de kwantummechanica. Het maakt dat dit onderzoeksdomein niet alleen voer is voor natuurkundigen, maar ook voor filosofen. Bijvoorbeeld als het gaat om het feit dat we de effecten van de kwantummechanica niet in de waarneembare wereld om ons heen zien. “Zo is er bijvoorbeeld de *Many Worlds*-interpretatie van de kwantummechanica. Deze stelt dat op het moment dat een voetbal op twee plekken tegelijkertijd terechtkomt, er twee parallelle werkelijkheden ontstaan: de waarnemer in de ene werkelijkheid ziet de bal in het doel gaan en de waarnemer in de andere werkelijkheid ziet deze naast gaan.” Het zijn filosofische discussies waar Van Leeuwen met plezier kennis van neemt. Hetzelfde geldt natuurlijk voor de natuurkundige discussies die volgens Van Leeuwen nog een lang

leven beschoren zijn. “Ik denk niet dat we ooit alle vragen kunnen beantwoorden.”  
Maar hij ligt daar niet wakker van. “Het is eigenlijk wel fijn. Elk mens wil toch een beetje  
mysterie in zijn leven?”