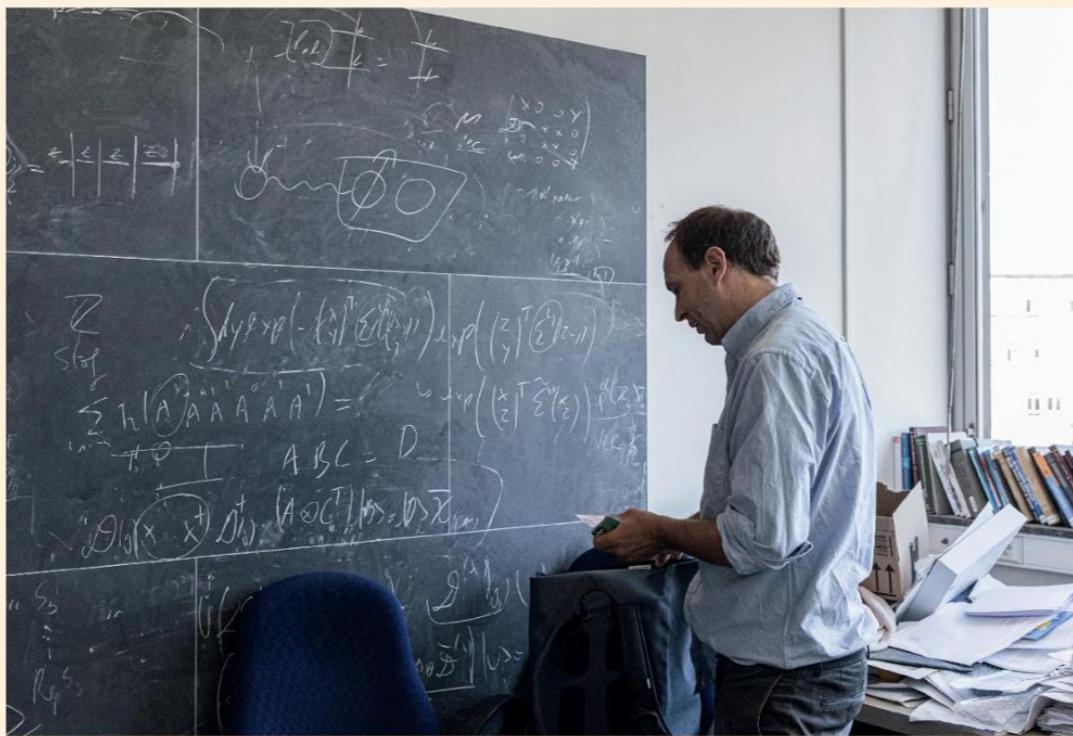


Nog even en een nieuwe kwantumrevolutie kan alles op z'n kop zetten: hoe we energie opwekken, geneesmiddelen maken, oorlog voeren en het internet beveiligen. Toch weet haast niemand iets over kwantumphysica. De Belgische **topfysicus Frank Verstraete** schreef er met zijn partner Céline Broeckaert een inzichtelijk boek over.

## 'We werken allemaal elke dag met kwantumphysica'



Frank Verstraete: 'Eigenlijk zitten we 99 procent van onze tijd te prutsen. Je voelt dat er iets zit, maar wat precies?' © SISKA VANDECASSELE

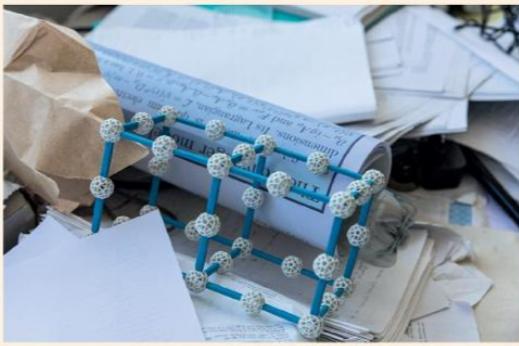
### STEPHANIE DE SMEDT

**S**ensatie op de sociale media en de beurzen deze zomer, nadat Zuid-Koreaanse onderzoekers een bommetje hadden gedroppt. Ze ziden een supergeleider op kamertemperatuur te hebben gevonden. X ontplakte en andelen die van ver of dicht met supergeleiding te maken hebben, schoten omhoog. 'Duizenden en duizenden mensen tegelijk waren erover bezig', zegt Frank Verstraete (51), professor kwantummechanica aan de universiteiten van Gent en Cambridge.

Vanwaar al die opwinding? Supergeleiding, waarbij een materiaal in zo'n toestand komt dat de elektrische weerstand nul wordt, bestaat al. Ze laat de Japanse magneetzuifstreinen met 600 kilometer per uur boven hun rails zweven. Ze zorgt ervoor dat MRI-scanners medische beelden kunnen nemen en dat deeltjesversnellers zoals die in het Zwitserse CERN werken. Alleen, tot vandaag zijn extreem koude temperaturen nodig om dat mogelijk te maken.

Een supergeleider op normale temperatuur zou een ongeziene doorbraak betekennen. 'Als die onderdaad is gevonden, is de impact niet te overzien', zegt Verstraete. De batterij van je gsm zou honderd keer langer meegaan. Elektrische auto's zouden veel langer rijden. Er zouden geen verliezen meer zijn op het stroomnet. Onze energiekosten zouden worden gedecimeerd.

Er is sceptis over de claim van de Zuid-Koreaanen. Het zou niet de eerste keer zijn dat luid getoeter over een nieuwe supergeleider overvloeden blijkt. Dat het nieuws zo veel losmaakt, zegt vooral veel over de



**Kwantumphysica is zo anders dan alles wat we ervaren in onze dagelijkse wereld dat ons brein het simpelweg niet kan vatten.**

Frank Verstraete  
Fysicus

hooggespannen verwachtingen rond alles wat de kwantumphysica ons kan brengen. Nieuwe materialen zoals supergeleiders zijn daar deel van.

'We staan aan de vooravond van een nieuwe kwantumrevolutie', zegt Verstraete. Ze kan straks alles op z'n kop zetten: hoe we communiceren, geneesmiddelen maken, een nieuw arsenal aan groene chemicaillen vinden, oorlog voeren, het internet beveiligen en de wereld naar onze hand zetten.

### Schoonheid

Verstraete staat in de voorhoede van die ophanden zijnde revolutie. De West-Vlaamse dokterszoon bouwde zijn carrière in de kwantumphysica. Zijn onderzoek moet



een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van de kwantumcomputer, nog zo'n grote belofte. Hij werkte aan de meest vooruitstaande instituten in de theoretische fysica, waaronder het California Institute of Technology (Caltech).

In 2018 won hij de Francqui-prijs, ook wel de Belgische Nobelprijs genoemd. In zijn dankwoord zei hij toen: 'Ik versta niet waarom zo veel mensen zich door het boek "Oorlog en vrede" (van de Russische schrijver Leo Tolstoj, red.) worstelen, maar de moeite niet doen om een veel groter kunstwerk als het boek der kwantummechanica aan te roeren.'

Vijf jaar later heeft die ontsteltenis een boek opgeleverd. Al gebeurde dat niet zonder slag of stoot. Het idee om het be-

lang - en de schoonheid - van de kwantumphysica voor een breed publiek uit te leggen was er eigenlijk al sinds die Francqui-prijs, toen de uitgever op de deur was komen kloppen. 'Ik dacht, hoe moeilijk kan het zijn?', zegt Verstraete.

Tijdens corona schreef hij de eerste pagina's. Het oordeel van zijn tienjarige dochter was vernietigend. 'Ze lachte me uit. Veel te moeilijk en te technisch.' Het plan verdween in de koelkast en kwam een jaar geleden weer boven tijdens een van de lange fietsritten met zijn partner Céline Broeckaert, theatermaestro en romanciste. 'Tijdens een rit van 250 kilometer was hij me het verschil tussen fermionen en bosonen aan het uitleggen', vertelt ze. 'Ik wist daar niets van, maar raakte gefascineerd. Ik bleef vragen stellen en pushen om het me opnieuw uit te leggen als ik het niet begreep.' Toen kwam de ingeving: Broeckaert zou de pen vasthouden van het verhaal dat Verstraete wilde vertellen.

Het duo zit vandaag samen in zijn kantoor in Gent. Op tafel liggen een stapel fysicaboeken en een boek over de Franse schrijver Voltaire en zijn muze Emilie du Châtelet, een Franse wiskundige en vertaalster van het werk van Isaac Newton. Op een bord aan de muur staan lijnen vol hemelse formules in wit krijt. De koffie komt in allemaal verschillende koppen.

De titel van het boek klopten ze samen af: 'Waarom niemand kwantum begrijpt, en iedereen er toch iets over moet weten'. Dat vat het prima samen, gelooft hij. Eerst en vooral is er de geruststelling voor het lekenbrein: kwantumphysica is niet te begrijpen. 'Je went er gewoon aan', legde de geniale wiskundige John von Neumann het ooit uit. Verstraete haalt de schouders op. 'Wat is dat ook, begrijpen? Het is zo anders dan alles wat we ervaren in onze dagelijkse wereld dat ons brein het simpelweg niet kan vatten. Het botst met elke intuïtie.'

'Maar het is niet omdat het moeilijk is dat het mysterieus is. We werken elke dag met kwantumphysica. We vinden er dingen mee uit. Geen enkele wetenschappelijke theorie is zo succesvol geweest. De invloed op onze technologie en economie is onzagelijk. Tegelijk is het onstendelijk hoe weinig mensen er iets van kennen. Of de schoonheid ervan ervaren. Ze blijven ervan weg omdat ze denken dat het iets raars is. Iedereen die geïnteresseerd is in de wereld kent iets van literatuur, muziek, geschiedenis en economie. Wel, dit is ook deel van onze cultuur.'

### Het allerkleinste niveau

De eerste inzichten in de kwantumphysica dateren van honderd jaar geleden. 'Het was een tijd waarin alles moet breken', zegt Verstraete. 'Op mijn nachtkastje ligt al heel lang het boek *De man zonder eigenschappen* van de Oostenrijker Robert Musil. Dat gaat ook over dat woelige begin van de zestiende eeuw. Dat fascineert me. Overal kwamen nieuwe ideeën: in de kunst, in de muziek en dus ook in de natuurkunde.'

In die jaren kwam het ongemakkelijke besef dat de klassieke wetten van de fysica tekortschieten om de wereld op het allerkleinste niveau te beschrijven en te verklaren. Hoe beweegt een elektron? Waarom vinden chemische processen plaats? Waarom is materie hard? Daar was geen antwoord op.

Stap voor stap werd duidelijk dat de natuur vol onzekerheid en dubbelzinnigheid zit. Neem licht. In de klassieke fysica was men ervan overtuigd dat licht uit deeltjes bestond. Geleidelijk aan daagde het dat licht zich soms ook gedraagt als golven. Meer nog, het kunnen deeltjes of golven zijn, en soms allebei tegelijk.

Door zich te verdiepen in hoe atomen en moleculen zich gedragen, ging een nieuwe wereld open. Plots kon men begrijpen waarom we kleuren zien (dat heeft te maken met hoe elektronen in atomen reageren op licht), waarom de tabel van Mendelejiv is wat ze is, hoe planten aan fotosynthese doen.

Op basis van die inzichten werden nieuwe technologieën ontwikkeld en zo slopen de kromkelige wetten van de kwantumphysica in ons leven van elke dag. De laser in de scanner van de supermarkt. Een kettingreactie van botsingen tussen elektronen en fotoïonen die een krachtige

lichtstraal oplevert. Zonder begrip van hoe de wereld op het allerkleinste niveau werkt, zouden we vandaag geen chips in onze gsm's hebben, geen supersnelle beeldverwerking op onze PlayStations, geen zonnenpanellen, geen ledlampjes in ons koffiezetapparaat. We zouden geen routes vinden via Google Maps, geen voorstellen maken met weerapps, geen modellen bouwen voor AI-chatbots.

### Zelf bouwen

En dat is dus pas het begin. 'De eerste kwantumrevolutie draaide rond het sluitend krijgen van de theorie', zegt Verstraete. 'Die heeft ons veel gebracht, maar we zitten nog maar aan een fractie van wat mogelijk is. De transistor is een product van die eerste revolutie. Hij bestaat omdat we de theorie begrijpen. Maar het is nog geen kwantummechanisch object. Hij werkt nog met nullen en enen zoals een klassieke computer. In deze tweede revolutie gaan we zelf experimenteren. We gaan kwantumsystemen zelf controleren.'

Door gebruik te maken van het feit dat deeltjes in meerdere toestanden tegelijk bestaan (*superpositie*) en dat ze - zelfs over grote afstanden - elkaar toestand beïnvloeden (*verstrekking*), moeten die systemen baanbrekende nieuwe technologieën opleveren.

Vraag een klassiek deeltje om zijn uitweg te vinden uit een labyrint en het zal al de mogelijkheden een na een testen. Een kwantumdeeltje zal alle wegen simultaan uittesten, omdat het op veel plaatsen tegelijk kan zijn. Dat moet een kwantumcomputer in staat stellen complexe problemen op te lossen die vandaag zelfs met de krachtigste supercomputer niet op te lossen zijn. Veelkoppige monsters waar we nu geen vat op krijgen. Hoe kunnen we uitdagingen in mondiale aanvoerketens aanpakken? Hoe werkt ons immunnsysteem? Waar zit de magische chemische mix voor een nieuwe medicijn?

'Kwantumcomputers zullen de klassieke computers niet vervangen', zegt Verstraete. 'Je kan niet gebruiken als gigantische bibliotheek vol informatie. Daar is een goede metafoor voor. In een klassiek boek kan je één pagina of enkele pagina's door elkaar lezen en je zal een idee krijgen over het verhaal. In een kwantumboek gaat dat niet. Elke pagina op zich is irrelevant. Het verhaal zit in de verbanden tussen alle pagina's. Scheur één pagina uit het kwantumboek, dan is alle informatie voorgoed verloren.'

Maar een kwantumcomputer kan wel een gigantisch chemisch labo zijn', zegt hij. 'In plaats van stoffen in een echt labo te mengen en te zien wat gebeurt, kan je alles tegelijk simuleren.' Zo zou onder meer kunnen worden gezocht naar een groener alternatief voor het belaamde Haber-Boschproces. Dat proces ligt aan de basis van de productie van ammoniak, dat wordt gebruikt om kunstmest te maken. Het proces heeft de wereld gered van hongersnoden, maar staat ook voor 1,4 procent van de globale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Vandaag heeft niemand de instrumenten om een beter alternatief te vinden, omdat de zoektocht onbegonnen werk is.

### Belgische banken

Met nieuwe kwantumtechnologie zullen we ook dingen kunnen meten die we nooit eerder hebben gemeten, zoals minime verschillen in temperatuur, zwaartekracht of tijd. Dat moet het mogelijk maken ondergrondse kaarten te maken, vulkaanuitbarstingen te voorspellen of precieze breinscanners te ontwerpen. 'Het is vandaag misschien een slecht voorbeeld, maar je zou veel nauwkeuriger kunnen opsporen waar olie in de grond zit', zegt Verstraete. 'Als je naar de geschiedenis van de fysica kijkt, zijn de nieuwe theorieën er altijd gekomen dankzij betere meetingen.'

Kwantumsensoren kunnen tot compleet nieuwe detectie- en navigatiemethodes leiden. Een gps-signalen zou niet meer nodig zijn, duikboten zouden zo gespot worden. En er dreigt nog meer te worden blootgelegd: de hele veiligheid van het internet staat straks op het spel. Online informatie wordt vandaag versleuteld via wiskundige codes. Ze wordt pas leesbaar als een systeem kan aangeven welke twee ge-

### Profiel

**Frank Verstraete** (51) studeerde burgerlijk ingenieur aan de KU Leuven en later fysica aan de Universiteit Gent. Na een doctoraat in Leuven trok hij naar het Max-Planck-Institut für Quantenoptik in München en Caltech in Californië. In 2006 werd hij hoogleraar aan de Universiteit van Wenen.

**Na een sabbatjaar in 2012, waarin hij onder meer enkele maanden aan de slag was bij het Amerikaanse hedgefonds Renaissance Technologies, kwam hij via een Odysseus-beurs terug naar België. Aan de Universiteit Gent bouwde hij een eigen onderzoeksgroep uit. Sinds 2022 is hij de Leigh Trapnell Chair of Quantum Physics aan de universiteit van Cambridge.**

**Verstraete verwierf bekendheid** met de ontwikkeling van een taal die toelaat om veeldeeltjesproblemen in de kwantumfysica te beschrijven. Voor dat werk kreeg hij in 2018 de Francqui-prijs, ook wel de Belgische Nobelprijs genoemd.

**Céline Broekaert** is geboren in 1981 en studeerde toneelregie aan het Rites en taal- en letterkunde aan de Vrije Universiteit Brussel en in Bologna. Ze gaf Nederlands aan onderstaligen en werkte jarenlang bij Theater Antigone en Muziektheater LOD. Sinds 2015 is ze impactproducent voor documentaires. In 2017 schreef en bracht ze de theatermonoloog 'Drie stemmen, een kankemonoloog'.

**Een kwantumcomputer kan een gigantisch chemisch labo zijn. In plaats van stoffen in een echt labo te mengen en te zien wat gebeurt, kan je alles tegelijk simuleren.**

**Frank Verstraete**  
Fysicus

tallen je moet vermenigvuldigen om een welbepaald groot getal van een paar honderd cijfers te komen.

'Dat klinkt als een eenvoudige rekenoefening, maar's werelden snelste computer is daar oneindig lang zoet mee', zegt Verstraete. 'De encryptie beveilt je aankoop op Amazon of als je een bericht verstuur via WhatsApp. Alleen, een kwantumcomputer lost dat straks op in een flits. Dat baart zorgen, en dus zijn er dezer dagen overal conferenties over hoe we ons daar nu al tegen kunnen wapenen. Samen met andere kwantumfysici hebben we nu bijvoorbeeld een project met Belgische banken. Hoe vermijden we dat informatie die nu veilig opgeslagen is over twintig jaar op de straatstenen ligt?'

De ontwrichting die de kwantumrevolutie teweeg kan brengen, mobiliseert miljarden. Overheden begrijpen dat heel wat op het spel staat: zowel de Verenigde Staten, Europa als China pompen fors wat geld in onderzoeksprogramma's. Grote techbedrijven zoals IBM, Google en Microsoft investeren tegen elkaar op in de race naar kwantumsuprematie.

'Als wetenschappers kijken we met grote ogen naar hoeveel er de jongste vijf jaar is geïnvesteerd door die bedrijven en hoe ze het verkopen', zegt Verstraete. 'Ja, de impact kan straks enorm zijn, maar het gaat nog jaren duren voor we een werkbare kwantumcomputer hebben.' Om echt interessante problemen op te lossen zijn kwantumcomputers nodig met minimaal duizend qubits (de kwantumversie van de klassieke databit, die dus in meerdere toestanden kan bestaan en verstrengeld is met andere qubits). De huidige systemen halen er 'maar' een honderdtal. 'We zitten dus nog altijd in de fase van het fundamenteel onderzoek.'

### Prutsen en kicken

Het is de weg ernaartoe die Verstraete als wetenschapper boekt. Hij pioniert met een nieuwe wiskundige taal om verstrengelingen te beschrijven, een essentieel bouwblad voor kwantumsystemen. 'Met die taal proberen we een betere manier te vinden om complexe problemen te begrijpen.'

Dat gebeurt met vallen en opstaan. 'Eigenlijk zitten we 99 procent van onze tijd te prutsen. Te prutsen om iets te doen werken, iets te vinden. Je voelt dat er iets zit, maar wat precies? Door een kwantumcomputer te bouwen leren we enorm veel bij over hoe kwantummechanica werkt. In eerste instantie is het vooral een instrument om de fysica zelf beter mee te begrijpen. Om te achterhalen of er paradoxen zijn of dingen die we nog niet juist zien. Er is nog veel te ontdekken.' Verstraete grijnst. 'Natuurlijk draait het ook om de kick om als eerste iets te verstaan.'

Die hunger heeft hem al die jaren in het wetenschappelijk onderzoek gehouden, ook al was er een korte uitstap naar de financiële wereld. Tijdens een sabbatical in 2012 ging hij enkele maanden aan de slag bij het discrete Amerikaanse hedgefonds Renaissance Technologies. Opgericht door de wiskundige Jim Simons werkt dat fonds alleen met de knapste koppen uit de wiskunde en de fysica. Zij maken modellen waarmee ze de beurs jaar na jaar schameeloos overklissen. De jongste jaren was er een gemiddeld jaarlijks rendement van 61 procent.

Niemand kan investeren in het fonds, alleen de werknemers profiteren. Verstraete kon er sloten geld verdienen. 'Het was een bizarre ervaring. Elk jaar verdubbelde je loon. Dat was slim gezien. Maar ik kon er niet aarden. Toen ik er enkele maanden zat, gebeurde de kernramp in Fukushima. Zo'n crisis was voor hen een cadeau. In één dag verdienende ze 500 miljoen dollar, omdat ze zoveel slimmer waren dan de rest. Dat voelde voor mij niet goed. Ik ben weggegaan. Als professor verdien ik misschien honderd keer minder, maar ik heb de luxe om nieuwe dingen te vinden en mensen te inspireren. Dat is me meer waard.'

Wetenschap draait uiteindelijk om verwondering, vindt hij. 'Er is een quote van de beroemde kwantumfysicus Richard Feynman. Een kunstenaar werpt hem voor de voeten dat de wereld voor een wetenschapper toch saai moet zijn. Je ziet een bloem en je denkt aan waar de kleuren vandaan komen. Dan kan je toch niet genieten?' Feynman antwoordt dat het net omgekeerd is, dat het begrijpen alles net nog wonderbaardlijker maakt. Er zit zoveel schoonheid in de kwantumfysica, zoals de symmetrie die overal in de natuur te vinden is. Het is prachtig hoe ingenuus dat in elkaar zit. Bij het schrijven hadden we dat in het achterhoofd: dat de lezer na het lezen van dit boek een beetje anders naar de wereld kijkt.'

**'Waarom niemand kwantum begrijpt, en iedereen er toch iets over moet weten'** van Céline Broekaert en Frank Verstraete is uitgegeven bij Lannoo, tel 328 pagina's en kost 25,99 euro.

# ‘Kwantumfysica is net zoals muziek en literatuur een deel van onze cultuur’

Topfysicus Frank Verstraete en schrijfster Céline Broeckaert geven een inkijk in ‘de succesvolste wetenschappelijke theorie ooit’ **P50-51**