

■ *Natuurkunde Qubits*

Mission possible

Lang dachten fysici dat ze niet konden bestaan, tot onlangs onderzoekers in niet een maar twee labs ze wisten te maken: **tjdkristallen, esoterische bouwsels** die eeuwig blijven bewegen. En dat zonder batterij of stekker.

Door **George van Hal** Foto **Studio V**

'D

'Dit was een wereldwijde race. Samen met Google zijn we als eerste over de eindstreep gegaan', zegt on-

derzoeker Tim Taminiau van QuTech over het tijdskristal dat hij met collega's bouwde in het lab van onderzoeksinstituut QuTech in Delft en dat van hun concurrenten bij techgigant Google in de Verenigde Staten. Beide kristallen hebben bovendien hun eigen primeur. 'Dat van Google is het grootste - het bestaat uit twee keer zoveel qubits - en dat van ons leeft zo'n tienmaal langer.'

Dat klinkt bijzonder, maar... tijdskristallen? Qubits? Net zoals je beter niet zonder warming-up aan een marathon kunt beginnen, is het ook beter een klein stapje terug te doen voor we het meest vooruitgeschoven front van de moderne natuurkunde betreden.

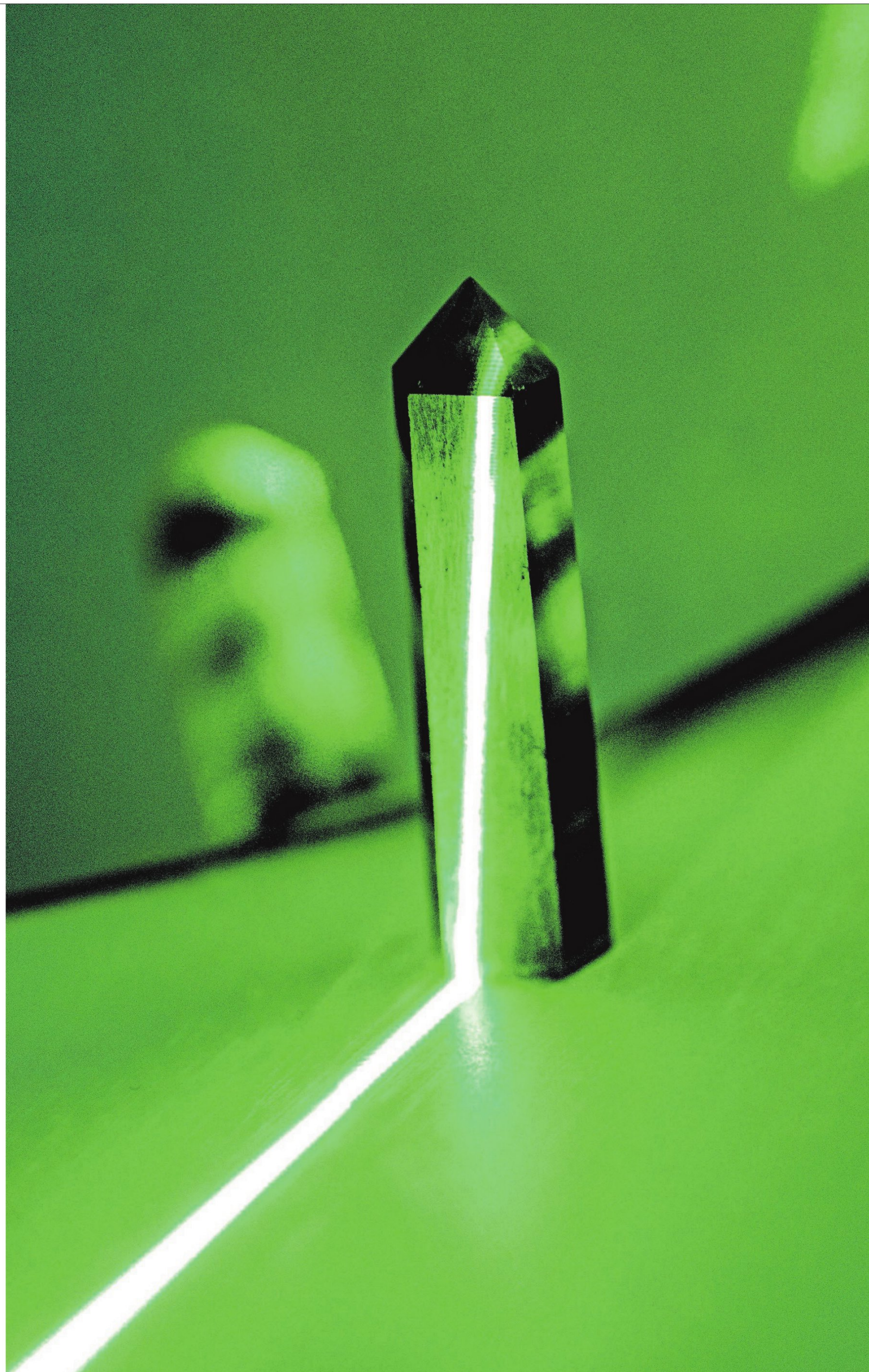
Of het nu een fonkelende diamant is of een ordinair korreltje tafelsout, kijk diep in hun binnenste en je ontdekt een serene orde. Ver voorbij de menselijke maat, een factor tienduizend kleiner nog dan een coronavirus, betreed je de wereld van atomen, de bouwsteentjes van alles om ons heen. In

kristallen zoals diamant en zout zitten al die atomen in een keurig raster met tussen elk deeltje evenveel afstand - een kristalrooster. 'Gewone' kristallen zijn daarmee in essentie ruimtekristallen, geordend in de drie ruimtelijke dimensies: boven/onder, links/rechts, voor/achter.

In de wereld van de natuurkunde is men gewend niet te denken in drie dimensies, maar in vier. Met daarin ook een dimensie van tijd: eerder/later. Niet vreemd dus dat fysicus en Nobelprijswinnaar Frank Wilczek in 2012, terwijl hij college stond te geven over 'gewone' kristallen, plots dacht: kan dit niet ook in de tijd?

In tijdskristallen zouden deeltjes geen regelmatige posities hebben, maar regelmatig gedrag in de tijd vertonen. Ze zouden bewegen en na een vaste periode weer in hun begin-toestand terugkeren. Precies zoals de wijzers van een klok: die staan na 12 uur ook weer op exact dezelfde plek.

Maar een klok is geen tijdskristal. Om die draaiende te houden moet je er continu energie in stoppen. Een batterij, een radarwerkje dat je af en toe op moet draaien, een stekker in een stopcontact - zonder werkt het niet. De tijdskristallen van Wilczek



hebben dat niet nodig. 'Ze zouden eeuwig blijven bewegen, zonder dat je er energie aan toe hoeft te voegen', zegt Taminiau.

Eeuwige beweging, die geen energie kost? Dat riekt naar een perpetuum mobile, een dwaaltechnologie die vooral populair is onder zolderkameruitvinders: een machine die eeuwig blijft bewegen en waarmee je andere machines kunt aanzwengelen. Een gratis eeuwigdurende energiebron. Bij de tijdskristallen van Wilczek is dat onmogelijk, zegt Taminiau. 'Er gaat geen energie in, maar het komt er óók niet uit.'

Desondanks gingen de alarmbellen bij veel fysici af, nadat Wilczek en collega Alfred Shapere het idee in 2012 hadden gepubliceerd in natuurkundebled *Physical Review Letters*. In 2014 volgde daarom de weerlegging, gepubliceerd in hetzelfde tijdschrift: tijdskristallen konden nooit bestaan.

Totdat een andere onderzoeksgroep er per abuis alsnog eentje ontdekte. Hun 'pi spin-glass phase', zoals ze het oorspronkelijk noemden, bleek bij nader inzien een tijdskristal. Het basisingrediënt? Een rij van aan elkaar gekoppelde qubits, een variant op de 'gewone' bit, de nullen en enen van informatie. Ze beschreven hoe zulke qubits konden omklappen wanneer je er met een laser op schijnt: '001010' wordt dan bijvoorbeeld plots '110101'. Dat omklappen vertoont een vaste periode, en - belangrijk - de qubits verbruiken daarbij netto geen energie uit de laserstraal. Ze zitten dus, zogezegd, niet in het stopcontact. Samen vormen ze op die manier een tijdskristal dat, zolang de laser aan blijft staan, beweegt als een klok die eeuwig tikt: 001010, *tik* 110101, *tak* 001010, *tik* 110101, *tak* 001010, ad infinitum.

De conclusie: tijdskristallen ontstaan in tegenstelling tot 'gewone' kristallen nooit spontaan. Je hebt iets nodig, een invloed van buitenaf, een laserstraal, of iets vergelijkbaars. Je moet ze maken.

De rij verbonden qubits uit 2016 werd theoretisch verbeterd en uiteindelijk ook in het lab gebouwd, maar toch vormde dat nog geen definitief bewijs voor tijdskristallen. Ze konden ook iets anders zijn dat - als je het experiment lang genoeg zou laten lopen - vanzelf zou stoppen met bewegen.

De vraag was alleen: hoe zie je het verschil? Ook echte tijdskristallen zullen in het lab na verloop van tijd uitdoven. In dat geval niet om fundamentele redenen, maar omdat uit zo'n experiment altijd energie naar de buitenwereld lekt. Via een omweg kon zowel Google als QuTech alsnog bewijzen een echt kristal te hebben gebouwd.

QuTech en Google zetten daarvoor hun quantumcomputers in, de voorlopers van een rekenbeest dat bepaalde sommen veel sneller

“

Wat we hiermee kunnen, is een open vraag. Belangrijker is wat we hiervan leren over hoe de natuurkunde werkt

Tim Taminiau
Onderzoeker QuTech



kan oplossen. Sommige kenners dromen onder meer dat die computers speciaal op de persoon toegespitste medicijnen kunnen ontwerpen, of materialen die het energieprobleem kunnen oplossen. 'Dit demonstreert hoe je zo'n quantumcomputer op een nieuwe manier kunt gebruiken', zei Gabriel Perdue van het Amerikaanse Fermilab, zelf niet betrokken bij het onderzoek, tegen tijdschrift *Popular Science*.

Race afgesloten, tijdskristal gebouwd... en nu? 'Wat we hiermee kunnen, is een open vraag', zegt Taminiau. Ideeën zijn er wel: tijdskristallen zijn mogelijk handig voor de bouw van betere quantumcomputers, of als heel gevoelige sensoren. 'Maar belangrijker is wat we hiervan leren over hoe de natuur werkt.'

En dan is er nog de filosofische impact. Waar fysici ruimte en tijd al decennia op een hoop veegen, weet iedereen dat er eigenlijk een verschil moet bestaan. 'Je kunt immers wel achteruit door de ruimte, maar niet terug in de tijd', zegt Taminiau. Dat tijdskristallen in tegenstelling tot de gewone varianten niet in de natuur ontstaan, illustreert dat verschil. 'Dit leert ons iets over de diepere relatie tussen ruimte en tijd.'