



De weerstand tegen quasikristallen

Nobelprijswinnaar Chemie 2011 Daniel Shechtman sluit op 30 mei Fysica-Chemie 2012 af met een lezing over zijn ontdekking van quasikristallen. Pas na 12 jaar kreeg hij er wetenschappelijke erkenning voor en nog eens 17 jaar later dé prijs. C2W blikt terug.

CLAUD BIEMANS

“H et is terecht dat Daniel Shechtman uiteindelijk de Nobelprijs voor de Scheikunde heeft gekregen”, stelt Ted Janssen. In de tijd dat Shechtman zijn ontdekking deed (zie kader), werkte Janssen in Nijmegen samen met Aloysio Janner en Peter Wyder aan de relatie tussen symmetrie en fysische eigenschappen van kristalstructuren die perfect geordend, maar niet-periodiek zijn: de incommensurabele fasen. Dat is een andere klasse niet-periodieke kristallen, in 1964 ontdekt door professor Pim de Wolff uit Delft. De ontdekking van Shechtman was voor het onderzoek van de Nijmegenaren van groot belang.

EERST RÖNTGENDIFFRACTIE

Janssen: “Shechtman heeft als eerste een nieuwe klasse ontdekt, waarin de niet-periodiciteit veel fundamenteeler aanwezig is dan in de incommensurabele fasen. De klasse van de quasikristallen bood veel meer mogelijkheden om de consequenties van niet-periodiciteit te

onderzoeken.” Volgens Janssen heeft dit geleid tot belangrijke inzichten in de fysica van de vaste stof. Ook heeft het, bijvoorbeeld in de wiskunde, aanleiding gegeven tot interessante vragen. “Ik denk wel dat als professor Pim de Wolff nog had geleefd hij zeker een goede kandi-

‘Hij had net zo goed de Nobelprijs voor Natuurkunde kunnen krijgen’

daat geweest zou zijn om de prijs met Shechtman te delen.”

Voor de groep in Nijmegen betekende de ontdekking van Shechtman een uitbreiding van de mogelijkheden van een daar ontwikkelde wiskundige methode. Die werd al gebruikt voor de kristallografische beschrijving van andere niet-periodieke structuren, maar was nu ook toe te passen op quasikristallen. Janssen: “De methode beschrijft niet-periodieke kristallen met behulp van periodieke structu-

ren in meer dimensies, een methode die tegenwoordig de standaard is.”

Direct na de publicatie van Shechtman doken onderzoekers wereldwijd het onderwerp in. Shechtman: “Binnen een week kreeg ik telefoontjes van mensen die zeiden ‘Danny, dit is fantastisch!’ Zij hadden dezelfde resultaten. Er ontstond een avant-garde groep van jonge onderzoekers, voornamelijk fysici, met enkele chemici, materiaalwetenschappers en wiskundigen die met quasiperiodieke materialen aan de slag gingen.”

De groep supporters groeide snel, maar er was ook weerstand. De belangrijkste opponent was de International Union of Crystallography (IUCr). Die organisatie beslist wereldwijd over wat goed en wat fout is in de kristallografie en gaat over definities. Shechtman: “Zij accepteerde mijn resultaten en die van mijn collega’s niet. Ons kristallografische bewijs was gemaakt met elektronenmicroscopie en elektronendiffractie. De IUCr geloofde niet in die techniek en wilde bewijs zien dat was gemaakt met röntgendiffractie.”

3 jaar lang kon niemand dat bewijs leveren, omdat je daarvoor een enkel

kristal nodig hebt dat zo groot is als een zandkorrel. "Onze kristallen waren 1 of 2 micron. Pas eind 1987 produceerden onderzoekers in Frankrijk en Japan zulke beelden. Ze stuurden de resultaten naar mij en ik presenteerde die tijdens een bijeenkomst van de IUCr in Perth, Australië." Shechtman kreeg toen de verlossende reactie 'Oké Danny, nu geloven we wat je zegt, we accepteren je resultaten'. Er kwam een comité dat het begrip kristal moest herdefiniëren, zodat quasiperiodieke kristallen er ook onder zouden vallen. "Dat betekende dat de grondslagen van de kristallografie werden aangepast."

QUASIWETENSCHAPPERS

Ondanks de erkenning was er nog steeds tegenstand, met name van één persoon, tweevoudig Nobelprijswinnaar en scheikundige Linus Pauling. Hij zei: "Danny Shechtman verkoopt onzin. Quasiperiodieke materialen bestaan niet, er bestaan alleen quasischepers." Pauling claimde dat de resultaten werden veroorzaakt door periodieke kristallen die *twinning* vertonen, dat wil zeggen dat ze domeinen bevatten met dezelfde structuur, maar een onderling verschillende oriëntatie.

Shechtman: "Vanaf dag één, in april 1982, wist ik dat dat niet het geval kon zijn." Hij had die optie getest, maar kon daar geen aanwijzing voor vinden. "Pauling geloofde me niet en hij stond niet alleen, want hij was de *godfather* en het idool van de American Chemical Society. Dat is een machtige organisatie met honderdduizenden leden." Pauling was een eminente wetenschapper en een van de belangrijkste chemici van de twintigste eeuw. Maar toen hij stierf in 1994 viel de tegenstand helemaal weg.

Toch duurde het nog 17 jaar voordat Shechtman de Nobelprijs kreeg. Het gebeurt vaker dat er een lange tijd zit tus-



Daniel Shechtman ten tijde van de Nobelprijstiteluitreiking.

sen een ontdekking en een toekenning van de Nobelprijs. Soms wacht het Nobelcomité op een bevestiging van een theorie door experimenten, zoals in het geval van Gerard 't Hooft en Tini Veltman. Het is enigszins vreemd dat Shechtman de prijs pas kreeg 17 jaar nadat alle tegenstand verdween.

'De grondslagen van de kristallografie werden aangepast'

Shechtman: "In de tussentijd heb ik veel andere grote prijzen gekregen en iedereen vroeg me steeds waarom ik de Nobelprijs nog niet had. Ik zei altijd 'Die wordt gegeven aan wetenschappers die het waard zijn. Maar niet alle wetenschappers die het waard zijn krijgen de Nobelprijs'. Ik vel geen oordeel over degenen die beslissen wie de Nobelprijs krijgt.

Niemand heeft me verteld waarom ik in 2011 ben uitgekozen en ik heb er ook niet naar gevraagd. Ik respecteer de beslissing en ik waardeer het dat men nu besloten heeft dat de ontdekking van quasiperiodieke materialen de Nobelprijs verdient."

FYSICA OF CHEMIE

Shechtman heeft de Nobelprijs voor Chemie heeft gekregen, terwijl het in Nederland vooral natuurkundigen zijn die quasiperiodieke materialen bestuderen. Janssen heeft daarvoor wel een verklaring: "Kristallografie is een discipline die in het ene land behoort bij de scheikunde (zoals op de meeste plaatsen in Nederland), in het andere tot de natuurkunde, en weer elders tot de geowetenschappen. Het is zo dat het Nobelcomité voor scheikunde aan Shechtman heeft gedacht. Hij had net zo goed de prijs voor natuurkunde kunnen krijgen."

Al tijdens de eerste bijeenkomsten over quasikristallen toendertijd viel het

DE ONTDEKKING

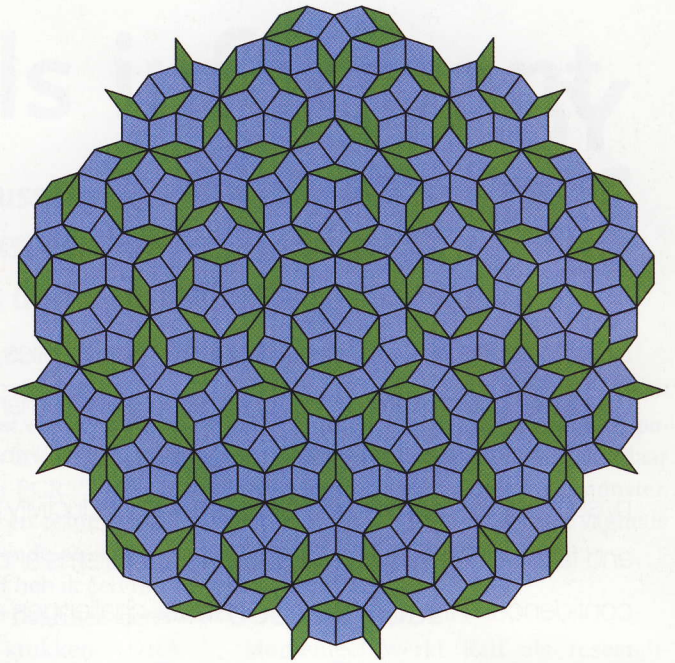
In april 1982 bestudeerde de Israëlische materiaalkundige Dan Shechtman (1941) de structuur van een aluminium-mangaanlegering. Tot zijn verbazing vond hij daarin een vijfvoudige symmetrie. Dat is vreemd, want het is onmogelijk om met die eenheden een driedimensionale structuur zoals een kristal op te bouwen. Shechtman was ervan overtuigd dat hij een tot dan toe onbekend verschijnsel gevonden had, maar daarin stond hij lange tijd alleen.

Pas in 1984 vond hij iemand die met hem wilde samenwerken, Ilan Blech. "Hij ontwikkelde een model dat mijn ontdekking kon beschrijven", vertelt Shechtman via skype. "In de zomer van 1984 schreven we samen een artikel en stuurden het naar het *Journal of Applied Physics*. Dat werd afgewezen, omdat het niet interessant zou zijn voor fysici. Ik stuurde het toen naar *Metallurgical Transactions*, waar ze het artikel accepteerden. Het publicatieproces was echter zeer traag, waardoor het pas na meer dan een

half jaar zou verschijnen. In de tussentijd was ik teruggegaan naar het National Bureau of Standards, waar ik toen mijn zomers doorbracht. Ik liet mijn gastheer, John Cahn, mijn resultaten zien. Hij werd meteen erg enthousiast en stelde voor om een ander kort artikel te schrijven, dat snel was te plaatsen. Ik stemde toe en dat artikel werd geaccepteerd en onmiddellijk gepubliceerd door *Physical Review Letters* in november 1984." Het eerste artikel over quasiperiodieke materialen was een feit.



Daniel Shechtman (links) discussieert met collega's over de verrassende atoomstructuur (1985).



Voor de ontdekking van quasikristallen waren er al mathematische voorbeelden bekend van perfect geordende structuren met een symmetrie die niet kan voorkomen in een periodiek kristal, zoals een Penrosebetegeling.

► Janssen op dat er zoveel disciplines vertegenwoordigd waren: fysici, chemici, kristallografen, metallurgen, wiskundigen en later zelfs kunstenaars, die vooral voor de Penrosepatronen kwamen. "Al die mensen waren echt nodig om de problemen rond structuur en eigenschappen op te lossen. Het onderzoek van quasikristallen was werkelijk interdisciplinair. Dat toont ook weer aan dat de oude universitaire indeling in faculteiten niet nuttig meer is."

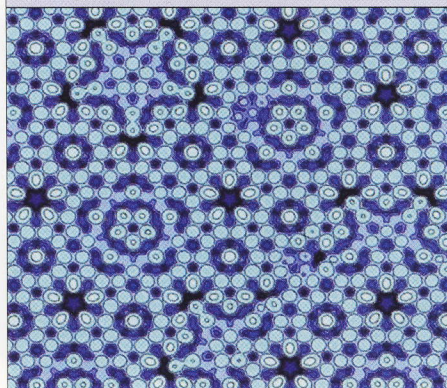
Ook Shechtman meent dat quasiperiodieke materialen zonder twijfel hebben bijgedragen aan de vervagende grenzen tussen de verschillende disciplines. "Toen het onderzoeksgebied startte hadden wiskundigen, natuurkundigen, scheikundigen en materiaalkundigen ieder hun eigen taal." In 1986 kwamen zestig vooraanstaande wetenschappers van quasiperiodieke materialen voor het eerst samen in de internationale school in Les Houches, in de Franse Alpen. "Aan het eind van die conferentie van een week hadden we geleerd elkaars taal te begrijpen en hadden we een gezamenlijke taal voor quasiperiodieke materialen ontwikkeld. Dat was een prachtige gebeurtenis", vertelt Shechtman.

De Utrechtse kristalonderzoeker Martin Lutz ziet de grenzen tussen de disciplines eveneens vervagen. Bij de

Faculteit Scheikunde van de Universiteit Utrecht onderzoekt hij met röntgendiffractie structuren van eenkristallen voor chemici in Nederland. Daarnaast is hij secretaris van de Nederlandse Vereniging voor Kristallografie. Lutz: "In mijn dagelijkse werk is het een beetje eenrichtingsverkeer, ik heb veel profijt van ontwikkelingen in de

WAT IS EEN QUASIKRISTAL?

In een quasikristal zijn de atomen gerangschikt in een schijnbaar regelmatig, maar zich niet herhalend patroon. De afbeelding laat een voorbeeld zien: het oppervlak van een Al-Pd-Mn-quasikristal. Hierin zijn er deelpatronen aan te wijzen met vijfvoudige symmetrie, maar die herhalen zich niet periodiek, het kenmerk van een quasiperiodiek materiaal.



natuurkunde. De laatste jaren is er veel verbeterd aan focusering van de straling van de röntgenbron. En binnen de natuurkunde zijn nieuwe detectoren ontwikkeld waar we baat bij hebben."

TOEKOMST

Volgens Lutz zijn chemische kristallografen alleen nog te vinden in Utrecht en Nijmegen, in totaal zijn dat misschien tien mensen. Het meeste kristallografische onderzoek in Nederland wordt momenteel verricht aan eiwitten, als onderdeel van de biologie. "Daar zijn de Nederlandse kristallografen het sterkst in. Ongeveer honderd onderzoekers in Nederland in Utrecht, Amsterdam, Groningen en Leiden werken hieraan", weet Lutz.

Quasikristallen kennen tot nog toe weinig toepassingen, maar Lutz meent dat daar wel verandering in kan komen. "Het zou mij niet verbazen als in de toekomst blijkt dat een groot aantal materialen, bijvoorbeeld heterogene katalysatoren, aan het oppervlak quasikristallijn zijn. Er is tot nu toe vooral naar de bulk gekeken, maar als er verder onderzoek gedaan wordt, kan blijken dat de bovenste lagen een heel andere structuur hebben. Dit veld is nog zo nieuw dat het nog even afwachten is, maar ik denk dat we nog maar aan het begin staan van de mogelijkheden."