



AFBEELDING 5. | Het Koriak Gebergte is grote delen van het jaar niet of nauwelijks begaanbaar.
(Foto: commons.wikimedia.org/wiki/File:Koryaks. Copyright foto: Vladimir Yu. Arkhipov).

Quasi-kristallen en kosmische krachten

A.J. (Tom) VAN LOON
GEOCOM CONSULTANTS
VALLE DEL PORTET 17
03726 BENITACHELL

SPANJE
GEOCOM.VANLOON@GMAIL.COM

Kristallen zijn opgebouwd uit atomen die geordend zijn in roostercellen die zich 'eindeloos' herhalen. Ze vertonen bepaalde geometrische vormen die, gedraaid om een rotatie-as, na 360° , 180° , 120° , 90° of 60° weer hetzelfde beeld vertonen (1-, 2-, 3-, 4- of 6-voudige rotatiesymmetrie). Andere kristalvormen bestaan niet: ze *kunnen* niet bestaan. Dat was althans de opvatting tot 1984.

Wat zijn quasi-kristallen?

Die opvatting moest worden herzien toen de fysicus Paul Steinhardt een artikel publiceerde waarin hij op theoretische gronden aantoonde dat er omstandigheden kunnen zijn waardoor ook stoffen met een andere

kristalstructuur zouden kunnen ontstaan. Niet veel later publiceerde Dan Shechtman een artikel waarin hij meedeelde een kristalachtige stof met een vijfvoudige rotatiesymmetrie te hebben vervaardigd (Afb. 1).

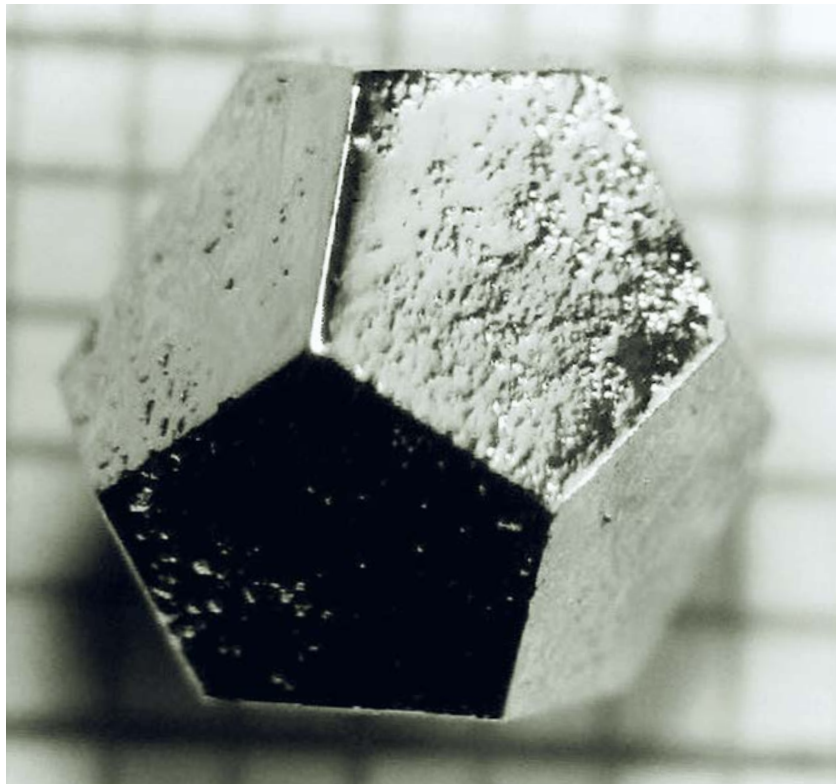


Deze stof, en ook andere kort hierna geproduceerde stoffen met een vergelijkbare structuur bleken opgebouwd uit zodanig geordende atomen dat ze bij onderzoek met röntgenstraling een herkenbaar diffractiepatroon opleverden waarin de vijfvoudige symmetrie goed zichtbaar is (Afb. 2). De kristalstructuren vertoonden, in tegenstelling tot 'gewone' kristallen, echter geen zich steeds herhalend, periodiek patroon, maar een patroon bestaande uit een gering aantal van componenten die steeds, maar niet periodiek, terugkeren (Afb. 3). Tijdens de kristallisatie moet de interne structuur zich daarom steeds veranderd hebben. Om deze reden werden dergelijke kristallen aangeduid als quasi-periodieke kristallen of, kortweg, 'quasi-kristallen'.

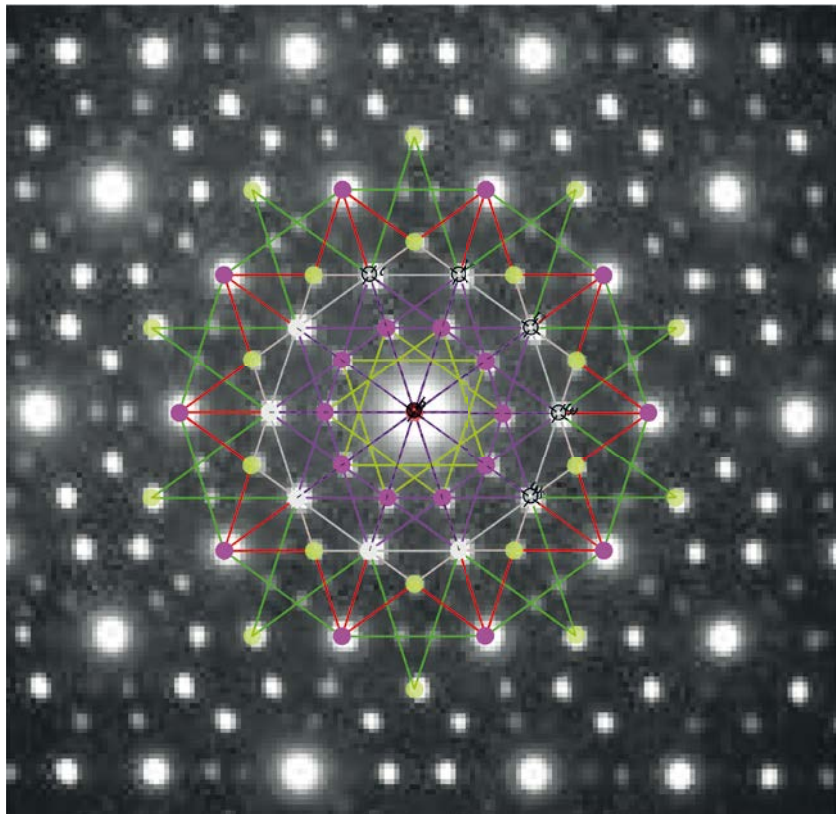
Sindsdien zijn er meer dan honderd verschillende stoffen ontdekt die quasi-kristallen kunnen vormen, en hoe dat in het laboratorium kan gebeuren. Simpel gezegd komt het er op neer dat de samenstellende elementen in vloeibare vorm zeer goed worden gehomogeniseerd en vervolgens op een voor iedere stof met specifieke snelheid worden afgekoeld. De zo gevormde kristallen bleken voor het overgrote deel echter metastabiel, omdat ze in een 'echte' kristalvorm een lagere energiewaarde vertegenwoordigen. Daarom werd ook, bij ontstentenis van natuurlijke quasi-kristallen, lange tijd gedacht dat de natuur die niet zou vormen.

Natuurlijke quasi-kristallen!

Ook die opvatting bleek een kleine tien jaar geleden echter niet langer houdbaar. Steinhardt en zijn collega Luca Bindi van het Museum voor Natuurlijke Historie van de Universiteit van Florence (later opgegaan in het Instituut voor Aardwetenschappen van die universiteit) vonden namelijk een korreltje van een mineraal dat was opgebouwd uit aluminium, koper en ijzer, en dat een vijfvoudige



AFBEELDING 1. | Dodecaëder: een kristal met twaalf regelmatige vijfhoeken, dus met twaalf vlakken loodrecht op een vijfvoudige rotatie-as. Alle ribben zijn 2.2 mm lang. Dit kristal is kunstmatig vervaardigd en bestaat uit een legering van holmium (een lanthanide met atoomnummer 67), magnesium en zink. De 3 elementen werden gesmolten, de smelt werd goed gehomogeniseerd en daarna langzaam afgekoeld van 700 °C tot 480 °C, waarna deze kristallen werden gevormd. (Foto: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ho-Mg-ZnQuasicrystal.jpg>. Copyright foto: Ames Laboratory, U.S., Department of Energy).



AFBEELDING 2. | Röntgen-diffractogram van een kunstmatig vervaardigde Ho-Mg-Zn dodecaëder. De vijf-voudige structuur is goed te herkennen en geeft aan dat het om een geordend patroon gaat. (Foto: commons.wikimedia.org/wiki/File:Ho-Mg-Zn_E8-5Cube.jpg. Copyright foto: Jgmoxness).



symmetrie vertoonde. Het korreltje was afkomstig uit een klein monster van de Khatyrka meteoriet (Afb. 4); van deze meteoriet zijn slechts enkele kleine fragmenten gevonden in het Koryak Gebergte (Rusland).

Steinhardt moet hebben gedacht dat wie goed zoekt uiteindelijk ook zal vinden, want met zijn medewerkers vond hij in 2015 een tweede fragment van dezelfde meteoriet, uiteraard weer in het Koryak Gebergte (Afb. 5). En ook in dat nieuwe fragment bleek een korrel van hetzelfde quasi-kristal voor te komen. Dat is van belang, want het betekent dat de eerste vondst niet berust op verkeerde waarnemingen of metingen, en het bevestigt dat quasi-kristallen in de natuur voorkomen. Alleen zijn ze wel heel erg zeldzaam ...

Theorie over het ontstaan van quasi-kristallen

Een onderzoeksteam onder leiding van de geoloog en geochemicus Paul Asimow, hoogleraar aan het California Institute of Technology (Caltech), lijkt een verklaring te hebben gevonden voor zowel het ontstaan van quasi-kristallen als de zeldzaamheid ervan. Ze kwamen op het idee nadat ze een stukje van de meteoriet hadden onderzocht, waarbij ze vaststelden dat die aan een extreme hoge druk en temperatuur moest zijn blootgesteld voordat hij op aarde terecht kwam. De druk moet zo hoog geweest zijn dat die alleen verklaard kan worden door de botsing met een ander hemellichaam. Dit is op zich niet ongewoon, want zeker in de tijd waarin ons zonnestelsel zich vormde en een grote hoeveelheid voorlopers van planeten en andere fragmenten zich in bepaalde gordels rondom de zon concentreerden, moeten botsingen tussen zulke grote en kleine brokstukken aan de orde van de dag zijn geweest. Asimow en zijn collega's menen nu dat de energie die vrijkwam bij een dergelijke botsing leidde tot de vorming van quasi-kristallen door een snelle opeenvolging van samenpersen, verhitten, decompressie en afkoelen; dit alles met exact de goede snelheid. Dat verklaart ook waarom er tot nu toe slechts één meteoriet met quasi-kristallen is gevonden.

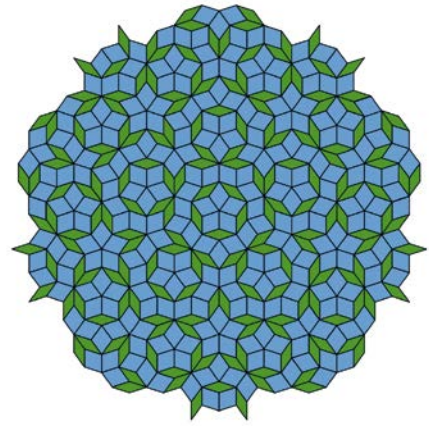
Een tweede reden waarom bij dergelijke botsingen tussen hemellichamen slechts zelden (bijna nooit?) quasi-kristallen ontstaan, ligt verborgen in de aard van de betrokken fragmenten. In het geval van de Khatyrka meteoriet zou het gaan om een hemellichaam met een ongewone chemische samenstelling.

Proef op de som

Om de hypothese over het ontstaan van de quasi-kristallen te testen, simuleerde Asimow de botsing tussen twee asteroïden in zijn laboratorium. Daartoe stopte hij zeer dunne plakjes van een koper/aluminium-legering uit de Khatyrka meteoriet in een stalen monsterhouder met de vorm van een ijshockey puck. Die puck schroefde hij op het uiteinde van een soort luchtbuys van 4 m lang met een loop waarvan de binnenzijde een doorsnede had van 20 mm. Bij het afschieten van de buis werd de puck geraakt met een snelheid van bijna een kilometer per seconde.

De getroffen 'puck' werd vervolgens open gezaagd, gepolijst en microscopisch onderzocht. De afzonderlijke plakjes van de koper/aluminium-legering bleken met elkaar te zijn versmolten; op sommige plekken waren microscopisch kleine quasi-kristallen gevormd.

Volgens Asimow is dit overtuigend genoeg om aan te nemen dat natuurlijke quasi-kristallen door een heftige schok worden gevormd. Wel erkent hij dat niet alle vragen door het experiment zijn beantwoord. Zo is het nog onduidelijk wanneer precies tijdens het experiment de quasi-kristallen ontstonden. Maar er resten ook nog meer fundamentele vragen: waar kwam bijvoorbeeld de koper/aluminium-legering in de Khatyrka meteoriet vandaan? Zo'n legering is nooit elders in de natuur op aarde of in een meteoriet aangetroffen. Een andere vraag is of quasi-kristallen ook kunnen ontstaan wanneer het uitgangsmateriaal uit andere componenten bestaat. Dat wil Asimow nog uitzoeken door zijn proeven te herhalen met combinaties van andere mineralen. Maar dat kosmische krachten werkzaam moeten zijn geweest, lijkt wel zeker; aardse krachten lijken onvoldoende, want anders zouden er immers ook wel natuurlijke quasi-mineralen in aardse gesteenten zijn gevonden.



AFBEELDING 3. | Zogeheten Penrose tegelpatroon, een tweedimensionale variatie op de driedimensionale structuur van quasi-kristallen. Er zijn slechts twee vormen (resp. blauw en groen), die een oneindig vlak geheel kunnen vullen, maar die geen periodiciteit kent. (Foto: commons.wikimedia.org/wiki/File:Penrose_Tiling_(Rhombi). Copyright foto: svg.Inductiveload).



AFBEELDING 4. | Fragment van de Khatyrka meteoriet. Het lichtgekleurde materiaal bestaat vooral uit spinel, clinopyroxeen en olivijn; het donkere deel bevat vooral khatyrkiet en cupaliet. De Cu-Al quasi-kristallen zijn niet zichtbaar met het blote oog. (Foto: www.mindat.org/loc-2717.html. Copyright foto: Paul Steinhardt, Princeton University Press).

LITERATUUR

- Asimow, P.D., C. Lin, L. Bindi, C. Ma, O. Tschauner, L.S. Hollister & P.J. Steinhardt, 2016. *Shock synthesis of quasicrystals with implications for their origin in asteroid collisions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, doi:10.1073/pnas.1600321113.

