

SCHEIKUNDE IJS-18

Nieuwe ijssoort ontdekt: zwart, 2700 graden Celsius en mogelijk een antwoord over het binnenste van Uranus en Neptunus



Beeld Getty / beeldbewerking Rein Janssen

Er is een nieuwe verschijningsvorm van water ontdekt, ijssoort nummer 18. Die kan raadsels oplossen over het binnenste van Uranus en Neptunus en over het ontstaan van leven op aarde.

George van Hal 5 juli 2019, 13:59

Het is pikzwart en loeiheet. Zo'n 2.700 graden Celsius, grofweg half zo heet als het oppervlak van de zon. En toch is het ijs. Wie bij bevroren water dobberende, hagelwitte schotsen voor zich ziet, de troebelwitte laag aan de binnenkant van je vriezer, of het perfect gladde spul waarover schaatsers in Thialf naar wereldrecords glijden, denkt te veel in alledaagse, aardse kaders. Want ijs, zo weten natuur- en scheikundigen, kan onder extreme omstandigheden voorkomen in een bonte verzameling verschijningsvormen.

Achttien soorten onderscheidt de wetenschap inmiddels, waarvan de meest recent ontdekte – officiële naam: ijs-18 – met afstand de meest bizarre is. Maar het wonderlijke materiaal is niet alleen een chemische curiositeit. Het biedt ook nieuwe inzichten in de vreemde eigenschappen van ijsplaneten zoals Uranus en Neptunus. En het kan mogelijk zelfs de vraag helpen beantwoorden waarom het leven bestaat.

## Lasers

Ijs-18 dook afgelopen mei voor het eerst op in het Laboratory for Laser Energetics in New York, op een manier die nog het meest doet denken aan de beschrijving van een vuurgevecht uit sciencefictionfilmreeks *Star Wars*. Zes van 's werelds krachtigste lasers schoten in het Amerikaanse lab agressieve, felle pulsen op een enkel laagje water, dat gevangen zat tussen twee stukjes diamant. Binnen een fractie van een fractie van een seconde liep de temperatuur op tot duizenden graden Celsius. De druk steeg tegelijk tot onmenselijke proporties: miljoenen malen de atmosferische druk op het aardoppervlak. De pulsen persten de deeltjes in het water zelfs zo stevig op elkaar, dat het gloeiend hete water niet kon verdampen. Sterker nog: het water begon kenmerken te vertonen van een vaste stof. Het 'bevroor'. Veranderde in ijs. Gloeiend heet ijs.

Het maken van ijs-18 is volgens kenners een waar huzarenstukje, een overwinning van wetenschap en techniek op de beperkingen van de alledaagse natuur. 'Dit is een experimentele prestatie die zijn gelijke niet kent', jubelt scheikundige Christoph Salzmann van het University College London. Salzmann ontdekte zelf eerder ijs-13, ijs-14 en ijs-15, maar was bij dit onderzoek niet betrokken. 'Met de technologie in mijn lab was dit nooit gelukt. Dit kun je alleen doen met heel sterke lasers en een heel slim opgezet experiment.'

Hij is vooral onder de indruk van de manier waarop de onderzoekers controleerden of ze inderdaad een nieuwe ijssoort hadden gemaakt. 'De dramatische toename van de druk onder invloed van de laserpulsen duurt maar héél kort', zegt hij. In die tijd, niet meer dan enkele nanoseconden, moest de controle plaatsvinden. 'Dat lukte hun door op precies dat moment röntgenstraling door het ijs te sturen. Heel knap.'

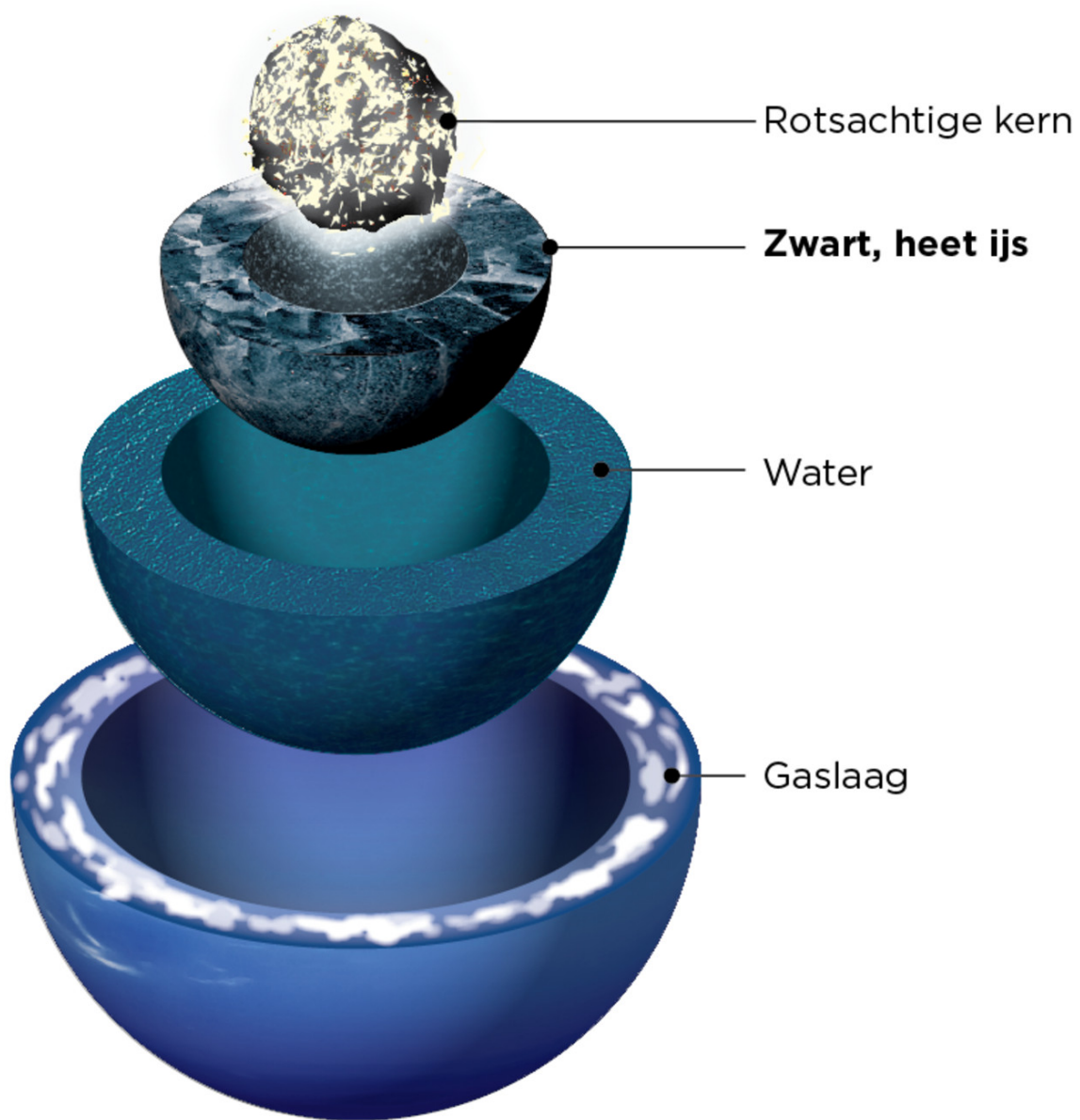
De röntgenfoto bevestigde dat in het experiment iets bijzonders was gebeurd, zegt Federica Coppari, die met haar collega's de resultaten van hun onderzoek samenvatte in een artikel [in het vakblad Nature](#). 'Wanneer je er röntgenstraling doorheen stuurt, ziet vloeibaar water er volkomen anders uit dan ijs. Zodra de gegevens binnenkwamen, wisten we: dit heeft een kristalstructuur. Dit is ijs.'

## Geen alledaags ijs

Nadere analyse liet zien dat ze niet zomaar alledaags ijs hadden gemaakt. In het experiment ontstond ijs-18, ook bekend als 'superionisch' ijs. Die vorm van water (H<sub>2</sub>O) is chemisch gezien half vast en half vloeibaar, maar gedraagt zich in de praktijk toch vooral als vaste stof. Het spul krijgt zijn stevigheid doordat de zuurstofatomen (O) uit het water een rigide rooster vormen, waar de compleet van het zuurstof losgekoppelde waterstofatomen (H) vervolgens als een soort vloeistof tussendoor klotsen.

Dat superionisch ijs, waarvan het bestaan al eerder werd voorspeld in computermodellen, echt opdook in het lab, is goed nieuws voor astronomen. Zij vragen zich al langer af waarom de magneetvelden van de meeste planeten in het zonnestelsel – van de aarde tot die van Jupiter – als twee druppels water op elkaar lijken, terwijl die van de zogeheten 'ijsreuzen' Uranus en Neptunus compleet anders zijn.

# HEET IJS IN PLANETEN NEPTUNUS EN URANUS



060719 © de Volkskrant - willum morsch - Bron: Quantamagazine

Beeld de Volkskrant infographics/Willum Morsch

Het antwoord blijkt ijs-18. 'De druk in het binnenste van reuzenplaneten zoals Neptunus en Uranus is hoog genoeg om superionisch ijs te maken', zegt Marius Millot, die samen met Coppari aan het onderzoek werkte. Omdat de planeten naar verwachting voor zo'n 65 procent uit water bestaan, konden de onderzoekers berekenen vanaf welke diepte de oplopende druk dat water tot ijs-18 perst. 'Dat gebeurt op grofweg eenderde van de straal van de planeet', zegt Millot. Met andere woorden: tweederde bestaat uit een vaste stof, zodat alleen het bovenste deel vloeibaar is. Bij het stromen en klotsen van die laag ontstaat het magneetveld.

Vergelijk dat met de aarde, die een harde stenen korst heeft en daaronder bestaat uit materiaal dat op lange tijdschalen een beetje kneedbaar is, en je snapt waarom het magneetveld van de aarde zo verschilt

van die van de ijsreuzen. ‘De geometrie van de magnetische velden van Uranus en Neptunus is geheel verklaarbaar wanneer het grootste gedeelte van hun binnenste inderdaad uit ijs bestaat’, zegt Millot.

En het leuke is: dat betekent dat het heelal best eens tjokvol ijs-18 zou kunnen zitten. Astronomen hebben om andere sterren namelijk hordes planeten ontdekt die lijken op Uranus en Neptunus. Als die ook allemaal een kern van ijs-18 bezitten, dan is het ijs waarop wij in de winter schaatsen op kosmische schaal een uitzondering en niet de regel. Millot: ‘Zwart, heet ijs zou best de meest voorkomende watervorm in het universum kunnen zijn.’

## Nieuw licht op eigenschappen van water

De ontdekking van ijs-18 kan bovendien nieuw licht werpen op de fundamentele eigenschappen van water. Want hoewel H<sub>2</sub>O net zo alledaags is als zuurstof en zandkorrels, blijken zijn eigenschappen nog lang niet begrepen. ‘Water heeft [41 gedocumenteerde](#) vreemde eigenschappen’, zegt vloeistoffysicus Daniel Bonn (Universiteit van Amsterdam). Dat wil zeggen: gevallen waarin het zich anders gedraagt dan ‘gewone’ materialen. Zo is water een van de weinige stoffen waarvan de vaste vorm (ijs) kan drijven op de vloeistof, en heeft het chemisch gezien een verrassend hoog kookpunt. ‘Het is gewoon heel raar spul.’

Dat water zich zo mal gedraagt, is vermoedelijk zelfs een van de redenen dat op aarde leven kan bestaan. Kijk bijvoorbeeld maar naar eiwitten, zegt Bonn, een belangrijke bouwsteen van het aardse leven. Om te werken, moeten die eiwitten zich op de juiste manier opvouwen. ‘In het lichaam werkt dat goed, maar in het laboratorium krijgen we datzelfde gedrag van eiwitten niet voor elkaar. De reden is waarschijnlijk dat we een van de vele eigenschappen van water nog niet goed begrijpen.’

Om al die eigenschappen te doorgronden, is het belangrijk fundamenteel onderzoek naar water en ijs te blijven doen, meent Salzmann. ‘En dan niet alleen onder alledaagse condities, maar ook onder de extreme omstandigheden die elders in het heelal voorkomen.’

Een manier waarop chemici dat doen, is met simulaties. Over de hele wereld zijn onderzoekers bezig om het gedrag van water in computerprogramma's te vangen. Zodra nieuwe experimenten, zoals het maken van ijs-18, laten zien hoe water zich onder extreme omstandigheden gedraagt, gaan de simulatiebouwers ook aan de slag. ‘Zo'n resultaat is voor hen heel spannend’, zegt Salzmann. Voorspelt het computermodel datzelfde gedrag? Zo ja, dan zitten ze in de goede richting. Zo niet, dan moeten ze terug naar de tekentafel. ‘Het perfecte watermodel, dat alle eigenschappen correct simuleert, bestaat nog niet. Dat is de heilige graal.’

## Waarom water zich zo complex gedraagt

Dat water zo lastig te modelleren is, komt vooral vanwege iets dat chemici waterstofbruggen noemen – de verbindingen die waterstofatomen van het ene watermolecuul aangaan met de zuurstofatomen van een ander watermolecuul. Die waterstofbruggen hebben een voorkeursrichting: in de ene richting kun je twee moleculen wel aan elkaar plakken, terwijl het onder een andere hoek onmogelijk blijkt. En dan gaan die moleculen onder hoge druk, zoals bij ijs-18, ook nog eens zó dicht op elkaar zitten dat waterstofbruggen onmogelijk worden. ‘Al die opties en ingebouwde beperkingen maken het gedrag van water complex’, zegt Salzmann.

De hoop is daarom dat een beter begrip van de ene eigenschap van water leidt tot een breder begrip van de achterliggende fysica en chemie. Want pas als we water echt begrijpen, kunnen we antwoord vinden op vragen zoals waarom het aardse leven werkt zoals het werkt. En dus blijven onderzoekers zoals Salzmann, Coppari en Millot zoeken naar nieuwe vormen van ijs. ‘Dit is een heel competitief vakgebied’, zegt Millot. ‘Water spreekt iedereen aan.’

Wie straks als eerste ijs-19 ontdekt – en hoe die stof in elkaar zit – is nog onduidelijk. Wat wel zeker is: opties zijn er genoeg. ‘Moleculen zijn net lego. Met dezelfde bouwblokjes kun je allerlei nieuwe structuren bouwen’, zegt Salzmann. ‘Laatst lieten collega's van ons zien dat je op papier wel 70 duizend soorten ijs kunt maken.’

## UNIEKE IJSOORT

Het is behoorlijk onwaarschijnlijk dat nieuwe ijssoorten nóg extremer zullen zijn dan het hete, zwarte ijs-18. 'Alle andere ijssoorten die we tot nog toe kennen zijn gewoon wit, al verschillen andere chemische eigenschappen natuurlijk wel', zegt chemicus Christoph Salzmann. Alleen ijs-18 is zwart, omdat het al het zichtbare licht absorbeert. 'Het is heel raar en exotisch', zegt ontdekker Federica Coppari. Volgens haar zijn alle andere potentiële ijstypen vooral variaties op een thema. Ze hebben dan bijvoorbeeld een net iets andere kristalstructuur, of lagen die verschillend gestapeld zijn. 'Maar ijs-18 is half vloeibaar en half vast. Dat maakt het echt uniek.'

