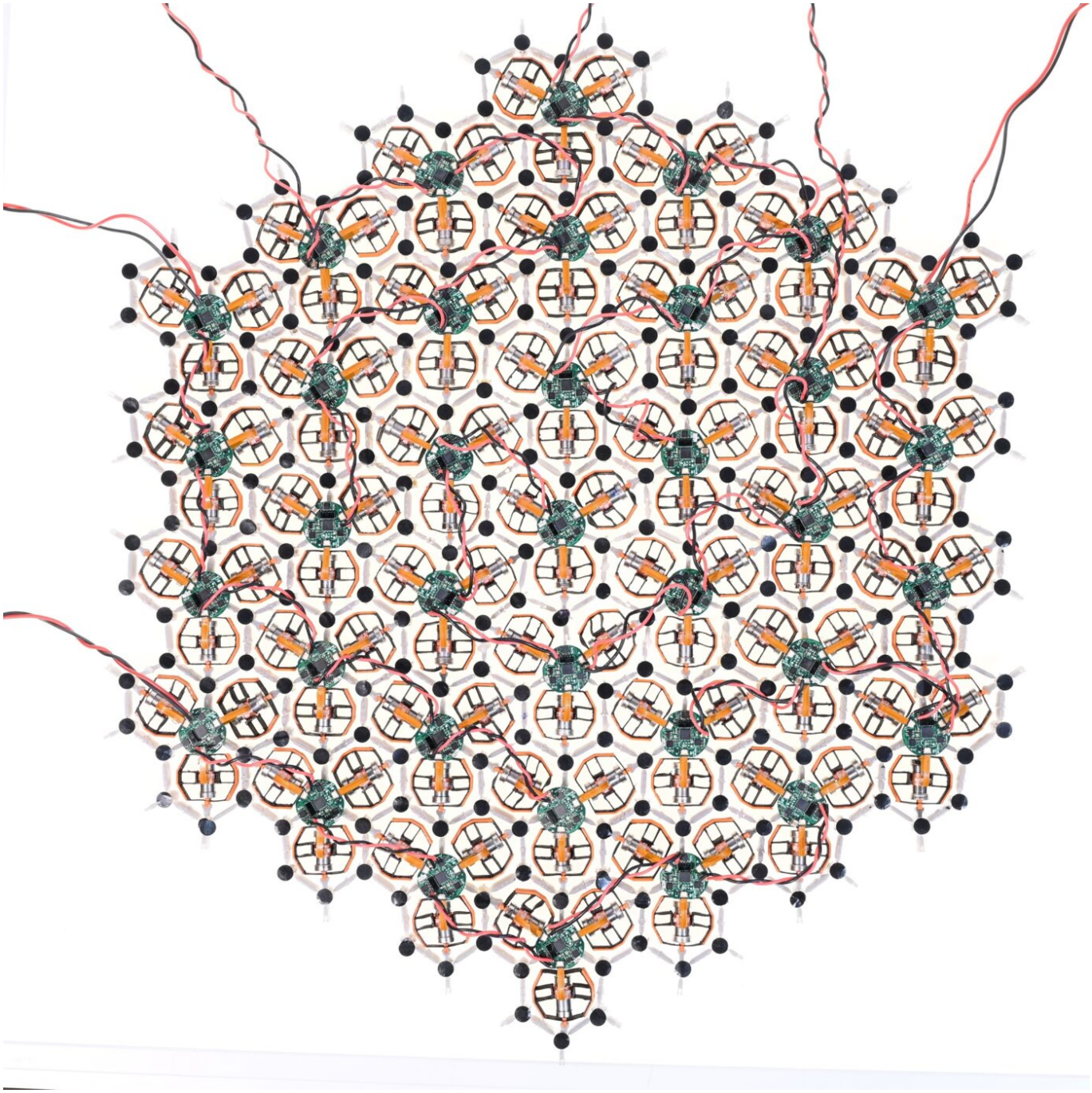
Tijdkristallen: bewegen op een intern ritme

Een team van natuurkundigen heeft één- en tweedimensionale materialen ontwikkeld die zowel tijdkristallen zijn – met patronen die zich niet alleen in de ruimte, maar ook in de tijd herhalen – als actieve materialen: ze ‘dansen’ op een intern in plaats van een extern ritme. Het ontwerp vormt een belangrijke stap in de richting van het ontwikkelen van op de biologie geïnspireerde, multifunctionele robots.



Een tijdkristal. Het tweedimensionale oppervlak dat de wetenschappers uit kleine robots hebben gemaakt. Door niet-reciproke interacties tussen de robots gedraagt dit actieve materiaal zich als een tijdkristal. Afbeelding: Veenstra, Binysh et al.

Actieve tijdkristallen

Kristallen komen overal in de natuur voor. De bekendste voorbeelden – van prachtige diamanten en edelstenen tot gewoon keukenzout – kun je zien als ‘ruimtelijke’ kristallen: toestanden van materie die zich in de ruimte volgens een regelmatig patroon herhalen. De

laatste tijd hebben natuurkundigen veel belangstelling voor een alternatief: *tijdkristallen*, structuren die ook in de tijd een patroon herhalen. Zo kan een externe, zich herhalende kracht ervoor zorgen dat een materiaal gaat resoneren en met een bepaalde frequentie gaat trillen, vergelijkbaar met een menigte op een feest die synchroon meebeweegt op het ritme van een dj.

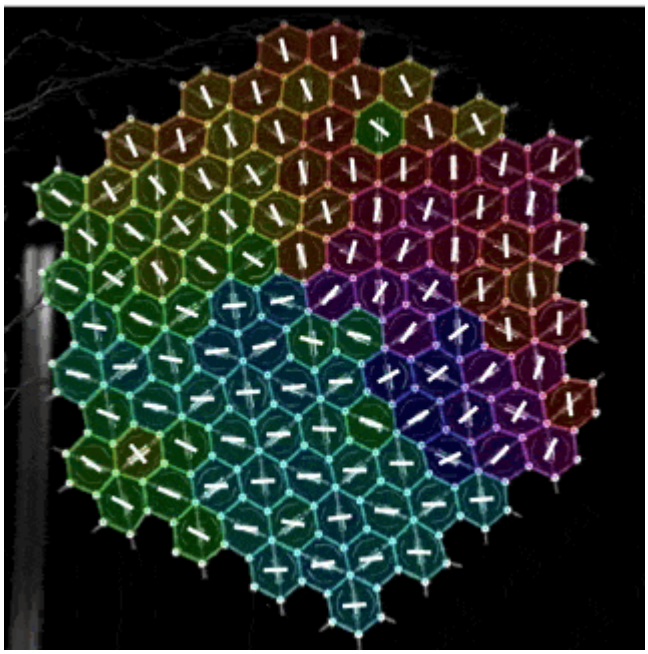
Een ander hot topic in recent natuurkundig onderzoek is *actieve materie*: configuraties van wisselwerkende deeltjes die niet alleen reageren op externe krachten, maar ook intern worden aangedreven door een eigen energiebron. Die ‘deeltjes’ hoeven geen atomen of moleculen te zijn; een voorbeeld op veel grotere schaal is een zwerm vogels die zich gezamenlijk als één actieve eenheid gedraagt.

Een internationaal team van natuurkundigen van de universiteiten van Amsterdam, Birmingham, Lyon, Delft, Leiden en Cambridge heeft deze twee ideeën nu gecombineerd. De vraag was of de interne energie in actieve materie voldoende zou kunnen zijn om een actief materiaal te laten fungeren als tijdkristal, dus zonder dat daarvoor een extern ritme nodig is. Het antwoord bleek een duidelijk ‘ja’: het team ontdekte een nieuwe manier waarop actieve materialen een gezamenlijke, stabiele trilling kunnen ontwikkelen, zonder dat een extern signaal het tempo aangeeft. Ze toonden dit aan bij twee elastische structuren: een ééndimensionale ring en een tweedimensionaal oppervlak.

Spelen met robots

Jonas Veenstra, een van de hoofdauteurs van de recente publicatie, was promovendus aan de Universiteit van Amsterdam toen het onderzoek van start ging en is nu postdoc-onderzoeker aan de ENS Lyon. De ontdekking werd gedaan terwijl Veenstra, in zijn eigen woorden, “met robots aan het spelen was”: de robots vertoonden telkens diverse specifieke trillingspatronen, maar na terugkomst van een koffiepauze bleek steeds dat het systeem zich tot het grootst mogelijke patroon had ontwikkeld. Veenstra licht toe: “Beide door ons in het lab ontworpen materialen – of *metamaterialen* – zijn voorzien van sensoren en motoren die aangrenzende delen op elkaar laten werken. De truc was om deze interactie asymmetrisch te maken: de reactie in de ene richting verschilt van die in de andere. Zodra de materialen werden aangezet, leidden ongeordende lokale trillingen al snel tot kleine, zich herhalende, golfachtige vervormingen in het metamateriaal. Vervolgens treedt een proces op dat we

‘wave coarsening’ noemen: de golven nemen geleidelijk in golflengte en amplitude toe, en bewegen tegelijkertijd steeds trager, totdat er uiteindelijk één enkele, globale vervorming in het gehele materiaal ontstaat.”



Wave coarsening. Na ‘wave coarsening’ gaat het materiaal trillen in een enkele, globale vervorming. Animatie: Veenstra, Binysh et al.

Jack Binysh, de andere hoofdauteur van het artikel, begon ook binnen de Amsterdamse onderzoeksgroep aan dit project, en is nu universitair docent robotica aan de Universiteit van Birmingham. Binysh ontwikkelde een fenomenologisch model dat precies hetzelfde gedrag vertoonde als in het laboratorium werd waargenomen. Hij legt uit waarom het simpelweg creëren van een herhalend patroon niet voldoende is om een materiaal een tijdkristal te noemen: “Cruciaal is dat zowel de experimenten als het model aantonen dat willekeurige verstoringen de collectieve ordening niet tenietdoen wanneer de omvang van het materiaal toeneemt; het herhalende patroon blijft heel stabiel. Juist deze robuuste ordening maakt van de uiteindelijke toestand een tijdkristal. Die naam legt een verband met gewone kristallen, zoals ijs, waarvan de moleculen een herhalend patroon in de ruimte vormen. In ons metamateriaal strekt die ordening zich ook uit in de tijd, doordat de bouwstenen stabiel een gecoördineerde, herhalende beweging vasthouden.”

Breed onderzoeksteam

Corentin Coulais is de groepsleider van de Amsterdamse groep waar het onderzoek zijn oorsprong vond. Coulais, die net als zijn twee voormalige medewerkers momenteel in het buitenland verblijft – hij is in Japan voor een sabbatical – benadrukt de omvang en complexiteit van het onderzoeksteam dat de nieuwe materialen heeft ontwikkeld.

Coulais: “Net als de materialen zelf bestond het onderzoeksteam dat ze ontwikkelde uit tal van bewegende en op elkaar inwerkende onderdelen. Het was een echte samenwerking: twee masterstudenten en een bachelorstudent van het Institute of Physics van de UvA deden mee, evenals partners aan de universiteiten in Delft, Leiden en Cambridge, en inmiddels dus ook in Birmingham en Lyon. We kregen enorme steun van het Technology Centre van de Universiteit van Amsterdam en lieten stagiairs de metamaterialen in elkaar zetten – voorzien van meer dan 100 sensoren en actuatoren, waarbij elke actuator op meer dan twintig punten moest worden vastgelijmd. Er werden 3D-geprinte onderdelen gemaakt van verschillende materialen, en er was een speciaal in eigen huis ontwikkelde Lorentz-actuator, die elektrische energie omzet in mechanische beweging.”

De volgende stappen

De twee tijdkristallen die tot nu toe zijn vervaardigd zijn een eendimensionale keten en een tweedimensionaal oppervlak, maar het team werkt inmiddels ook aan de ontwikkeling van driedimensionale actieve materialen. Zulke materialen bieden de bouwstenen meer interactiemogelijkheden: verschuiving, buiging en torsie kunnen allemaal optreden en elkaar beïnvloeden, wat kan leiden tot een veel gevarieerder bewegingspatroon. Het doel is om inzicht te krijgen in de werking van ‘wave coarsening’ in drie dimensies, en dit mechanisme te benutten om de vormveranderingen van een zelfdragend materiaal aan te sturen.

Veenstra: “Met het oog op mogelijke toepassingen zijn we ook gaan nadenken over multistabiliteit: ervoor zorgen dat één materiaal meerdere, duidelijk van elkaar te onderscheiden stabiele bewegingspatronen kan vertonen. Zouden we tussen deze patronen kunnen schakelen en elk patroon kunnen inzetten voor een specifieke robotfunctie, zoals een bepaalde vormverandering of bewegingsrichting? In plaats van voor elke taak een aparte structuur te ontwerpen, zouden we de verschillende bewegingen van één enkel materiaal

kunnen benutten om uiteenlopend gedrag te krijgen; dat leidt dan tot eenvoudige, maar uiterst multifunctionele robots. Ons uiteindelijke doel is een op de biologie geïnspireerde vorm van robotica, waarbij gecoördineerd gedrag voortkomt uit zorgvuldig ontworpen interacties tussen bouwstenen, in plaats van uit instructies die van een centrale aansturing komen.”

Publicatie

Wave coarsening drives time-crystallization in mechatronic metamaterials, Nature 2026, J. Veenstra, J. Binysh, V. Seinen, R. Naber, R. Solé Borràs, D. Robledo Poisson, W. van Saarloos, A. Souslov en C. Coulais. (arXiv 2508.20052)