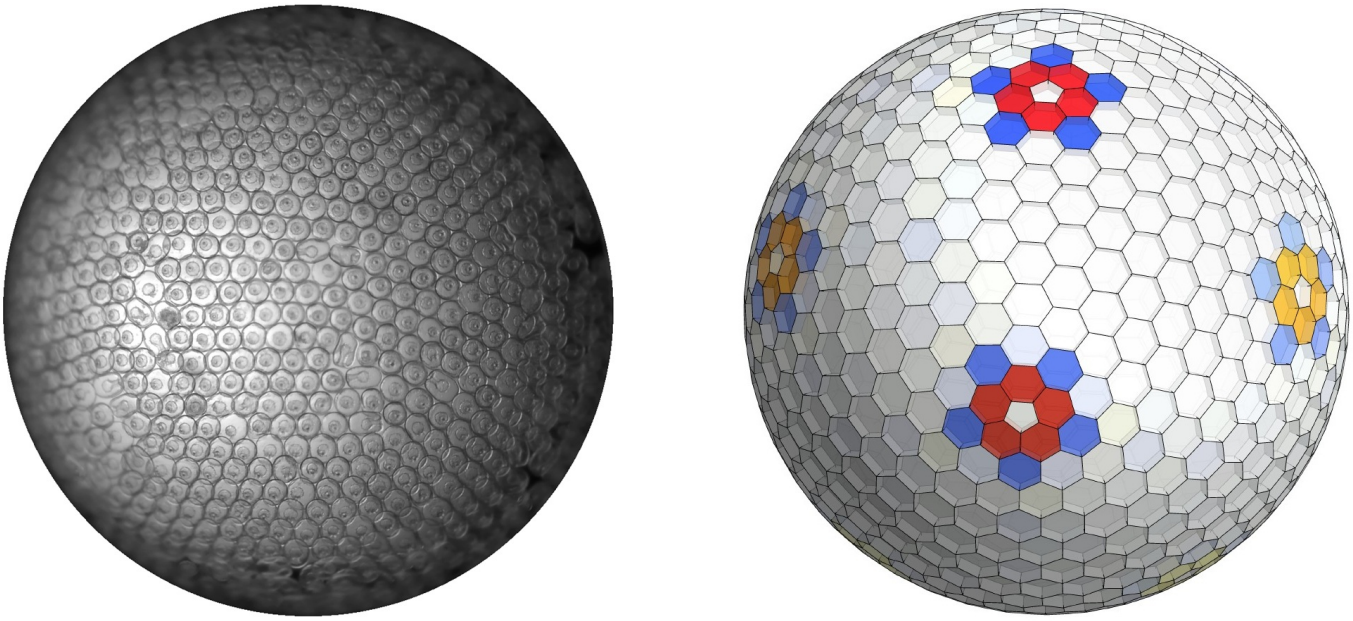
Waarom kromming ertoe doet

Veel materialen, zowel biologische als kunstmatige, worden van binnenuit aangedreven. Wetenschappers hebben uitgebreid onderzocht hoe dergelijke ‘actieve’ materialen werken, maar tot nu toe vooral in situaties waarin de kromming van de omgeving geen rol speelt. Een team van natuurkundigen stelde deze zomer een raamwerk voor om de werking van actieve materialen in een gekromde omgeving te beschrijven. Het raamwerk verklaart opvallende observaties uit de biologie en zou ertoe kunnen leiden dat geometrie als ontwerpparameter voor nieuwe materialen wordt ingezet.



Waarom kromming ertoe doet. Links: Zeesterembryo’s vormen van nature een zeshoekig patroon, maar op het gekromde wateroppervlak in een reageerbuis (van bovenaf gezien) vertoont het patroon enkele onregelmatigheden of ‘defecten’. Rechts: in computersimulaties worden de defecten – plekken waar vijf in plaats van zes zeshoeken samenkomen – duidelijk zichtbaar.

Leven op een gekromd oppervlak

Veel materialen, zowel biologische als kunstmatige, worden van binnenuit aangedreven. Voorbeelden zijn weefsels die bestaan uit bewegende cellen, en mechanische metamaterialen die gebruikmaken van ingebouwde motoren of actuatoren. Een belangrijk verschil tussen dergelijke actieve materialen en gewone materialen zit in de manier waarop ze vervormen. Als je op een gewoon materiaal duwt, vervormt het op de plek waar de kracht wordt uitgeoefend. Actieve materialen kunnen daarentegen extra krachten genereren die vervormingen een andere richting op sturen, wat leidt tot allerlei onverwacht, maar vaak erg nuttig gedrag.

Een treffend voorbeeld is afkomstig uit biologische experimenten, waarbij werd waargenomen dat zeesterembryo's zich op een wateroppervlak spontaan organiseerden tot kristalachtige structuren. Hierbij speelt een extra factor een rol: het wateroppervlak in de gebruikte reageerbuizen is niet vlak, maar licht gekromd – net als het wateroppervlak in een gewoon drinkglas, dat omhoog buigt op de plek waar het water het glas raakt. Een gevolg van deze kromming is dat de zeesterembryo's niet in een volledig regelmatig patroon op het oppervlak passen; in plaats daarvan vertoont het patroon hier en daar onregelmatigheden of *defecten*.

De rol van kromming in kaart gebracht

Het feit dat deze levende kristallen door de kromming van het oppervlak op natuurlijke wijze defecten vormen, bracht een groep onderzoekers ertoe een eenvoudige maar fundamentele vraag te stellen: hoe bepaalt kromming het gedrag van actieve materialen in het algemeen? Om deze vraag te beantwoorden bracht het team, aangestuurd vanuit de Universiteit van Amsterdam, expertise op het gebied van zowel theorie als experimenten samen, met deelname van onderzoekers van het Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems in Dresden, Duitsland; de Technische Universiteit van Wrocław, Polen; en het MIT in Boston, VS. Gezamenlijk ontwikkelde het team een raamwerk om de vraag te beantwoorden.

Video: Zeesterembryo's op een gekromde meniscus. Video: Na verloop van tijd ordenen zeesterembryo's op

een gekromd wateroppervlak zich tot een patroon dat grotendeels zeshoekig is, met een klein aantal defecten.

Het raamwerk verklaart hoe interne activiteit en oppervlaktekromming samenwerken om het mechanische gedrag van de actieve materialen te bepalen. Yuan Zhou, de eerste auteur van het artikel, legt uit: ‘We laten zien dat kromming veel meer doet dan alleen het materiaal buigen. De kromming bepaalt waar energie wordt ingebracht, creëert nieuwe gelokaliseerde trillingen rond de onvermijdelijke defecten en zorgt ervoor dat randen veel gemakkelijker gaan trillen dan het binnenste. Latere computersimulaties bevestigden de voorspellingen van onze theorie.’

Geometrie als ontwerpparameter

Het onderzoek doet veel meer dan alleen opvallende waarnemingen bij zeesterembryo’s verklaren. Corentin Coulais, de hoofdonderzoeker van de groep, blikt vooruit: ‘Dit werk suggereert dat geometrie kan dienen als ontwerpparameter voor actieve materialen met een praktische toepassing. Door een oppervlak zorgvuldig vorm te geven, is het wellicht mogelijk om te sturen waar mechanische activiteit, trillingen en energie zich concentreren.’ De auteurs hopen dat hun raamwerk nieuwe experimenten zal inspireren, zowel met levende weefsels als met actieve metamaterialen, en uiteindelijk kan leiden tot materialen waarvan de functie niet alleen door de samenstelling, maar ook door de vorm wordt bepaald.

Publicatie

Curved odd elasticity, Yuan Zhou, Lazaros Tsaloukidis, Jack Binysh, Yuchao Chen, Nikta Fakhri, Corentin Coulais, and Piotr Surówka. Phys. Rev. Lett. (2026). Phys. Rev. Lett. **137** (2026) 088301.