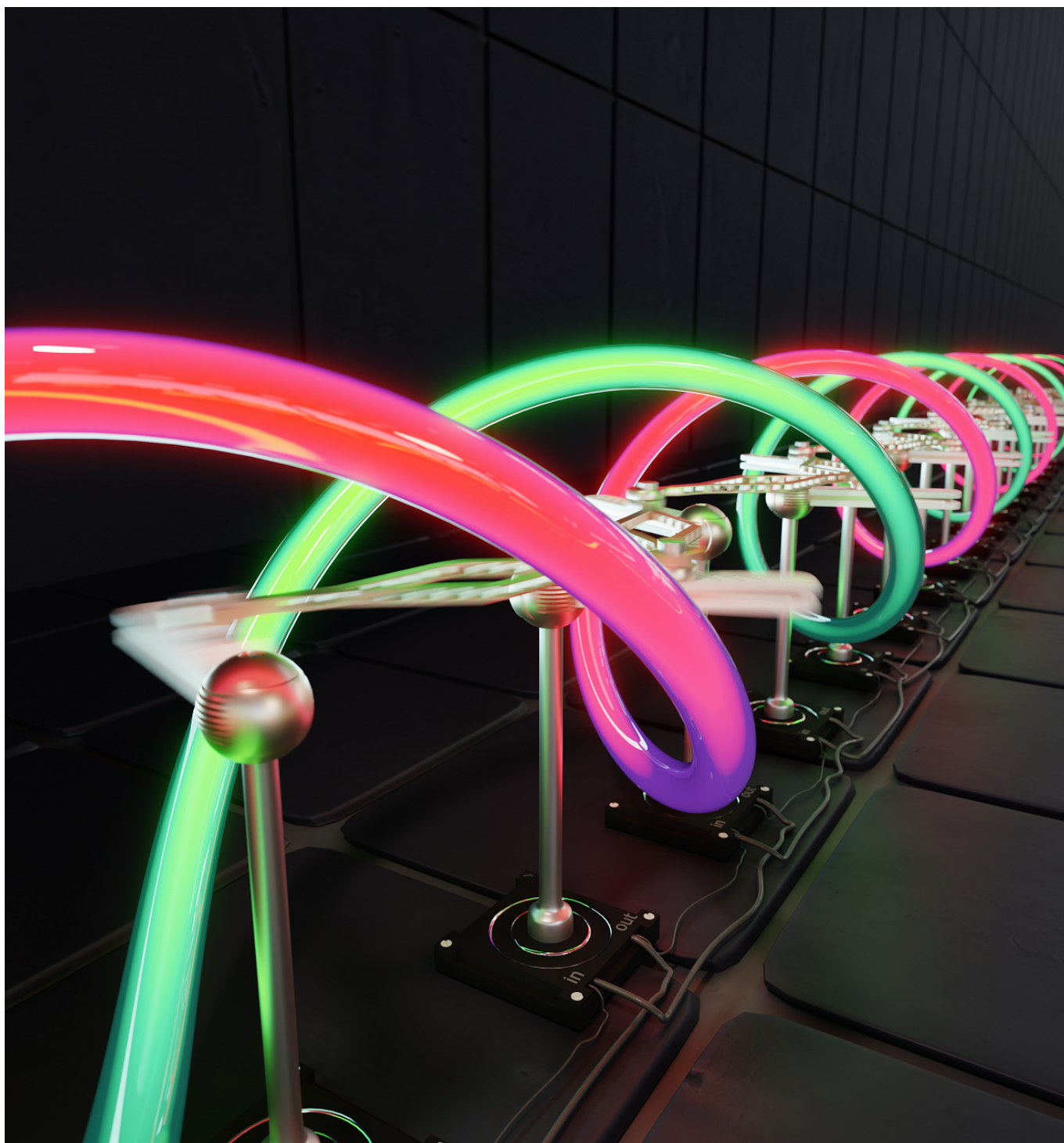


Het gaat om de inhoud

Soms kan de binnenkant van een materiaal bepalen wat er aan de buitenkant gebeurt. Een team van natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam heeft een nieuwe manier ontwikkeld om deze algemene waarheid nuttig te gebruiken, in het bijzonder in systemen waarin geen sprake is van energiebehoud.



Afbeelding 1. Een metamateriaal. Het nieuwe metamateriaal dat de onderzoekers ontworpen. Afbeelding: Coulais et al.

In de natuur- en wiskunde is [topologie](#) de studie van de meest grootschalige eigenschappen van vormen. Topologie trekt zich niet aan van de kleine details, maar stelt de vraag wat we over een systeem kunnen leren aan de hand van zijn meest globale eigenschappen. In termen van topologie zijn een donut en een trouwring bijvoorbeeld hetzelfde object: het zijn

allebei solide voorwerpen met een enkel gat erin. Een krakeling daarentegen, met drie gaten, heeft topologisch gezien een andere vorm.

Binnenkant en rand

Topologie belooft een technologische revolutie teweeg te brengen in allerlei vakgebieden, van quantumelektrodynamica tot akoestiek en mechanica. Topologie speelt ook een rol in diverse materialen. Een belangrijke eigenschap van topologische materie is de zogeheten *bulk-boundary correspondence*, de relatie tussen de binnenkant en de rand van een materiaal. Aan de hand van een eenvoudige topologische eigenschap van het binnenste van een materiaal kan het ontstaan van gelokaliseerde golven op de buitenranden van het materiaal voorspeld worden.

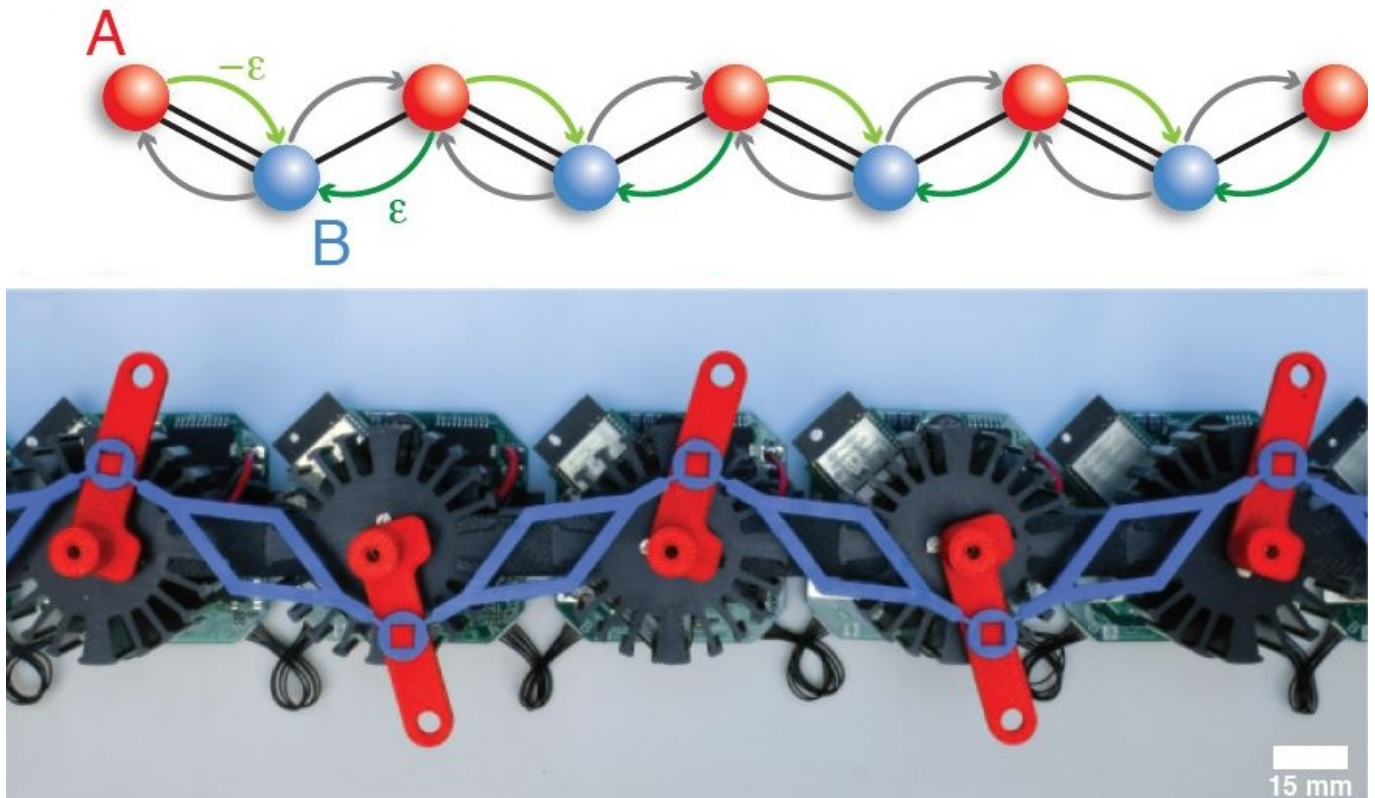
Een bekende natuurwet zegt dat energie behouden is: energie kan omgevormd worden van één vorm in een andere (door een bal van een heuvel af te laten rollen, bijvoorbeeld, waarbij zwaarte-energie wordt omgezet in bewegingsenergie) maar energie verdwijnt nooit en verschijnt nooit uit het niets. Die natuurwet geldt echter alleen in geïdealiseerde systemen die perfect geïsoleerd zijn van hun omgeving. In de praktijk gaat energie in natuurkundige systemen *wel* verloren, eenvoudigweg omdat er bijvoorbeeld energie het systeem verlaat (de energie *dissipeert*). Omgekeerd construeert men in de materiaalwetenschap tegenwoordig 'actieve materialen' die juist energie *winnen* uit hun omgeving.

Recent is er een ware explosie van activiteit geweest met als doel om het concept van topologie te veralgemeniseren naar zulke meer op de praktijk gebaseerde systemen waar energie verloren kan gaan of gewonnen kan worden. Ondanks deze grote inspanningen is er in experimenten nog geen experimentele waarneming gedaan van topologische randgolven in systemen die hun energie niet behouden. In een nieuw artikel dat deze week verscheen in het vaktijdschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences* rapporteert een team van natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam twee doorbraken in dit actieve vakgebied.

Van theorie naar materiaal

Het team ontdekte om te beginnen een nieuwe vorm van de *bulk-boundary correspondence*: een nieuw verband tussen de binnenkant van een materiaal en wat er op de rand gebeurt,

specifiek van toepassing op systemen waarin energie niet behouden is. Er werd aangetoond dat een bepaalde *verandering* in de topologie binnenin het materiaal leidt tot een verandering in de locaties van de golfeffecten op de buitenrand.



Afbeelding 2. Van theorie naar praktijk. Van een theoretisch model (boven) naar een echt metamateriaal (onder).

Vervolgens maakte het team deze theoretische ontdekking tastbaar door met behulp van tandwielen, stangen, hendels en mini-robots een specifiek metamateriaal te construeren dat de theoretisch voorspelde eigenschappen vertoont. Zulke metamaterialen, kunstmatig samengestelde systemen op basis van slim gerangschikte identieke bouwstenen, zijn de gunstigste media om de topologie van de voortplanting van golven zichtbaar te maken. De bovenstaande afbeelding toont een voorbeeld, in dit geval ééndimensionaal: elke component 'praat' alleen met zijn linker- en rechterbuur.

In geïdealiseerde scenario's praat elke eenheid in een dergelijk materiaal op een symmetrische manier met zijn burens, met energiebehoud als gevolg. In het materiaal dat de onderzoekers construeerden hebben de componenten echter een verschillende interactie met hun linker- en rechterbuur. Als gevolg daarvan kan het systeem energie winnen uit, of afstaan aan zijn omgeving. De natuurkundigen slaagden erin om aan te tonen dat het zelfs in

dit geval mogelijk is om trillingen door het systeem te laten lopen, en dat de topologie dan nog steeds verklaart hoe deze interne golven de golfverschijnselen op de rand beïnvloeden. In het bijzonder bepaalt de topologie van het systeem aan welke kant de randgolven zullen voorkomen.

Het werk kan van significante invloed zijn op allerlei vakgebieden binnen de natuurkunde, variërend van de quantummechanica van systemen die niet in evenwicht zijn, tot het vervaardigen van interessante nieuwe metamaterialen voor toepassingen waarin het nuttig is om golfeigenschappen naar believen te kunnen sturen. Mogelijke toepassingen liggen in de ontwikkeling van sensoren en de energiewinning, of bijvoorbeeld in het ontwikkelen van nieuwe materialen die schokken zeer efficiënt kunnen absorberen of verzachten.

Publicatie

[*Observation of non-Hermitian topology and its bulk-edge correspondence in an active mechanical metamaterial*](#), Ananya Ghatak, Martin Brandenbourger, Jasper van Wezel en Corentin Coulais. Proceedings of the National Academy of Sciences, Nov 2020, 202010580.