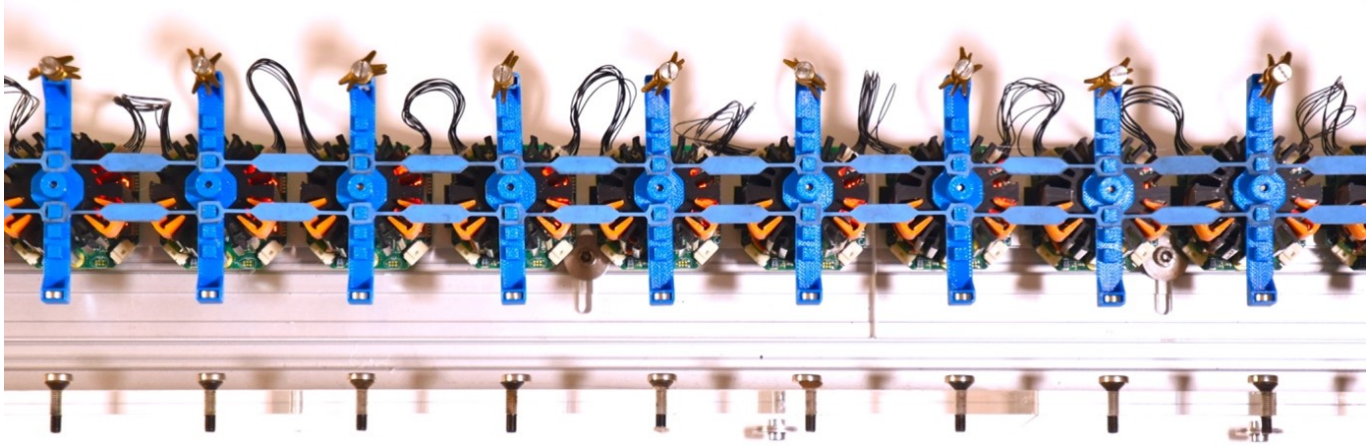
De golf die blijft ademen

Solitonische golven – golven die langdurig dezelfde vorm en bewegingsrichting houden – intrigeren natuurkundigen al bijna twee eeuwen. In de praktijk doven zulke golven uiteindelijk uit door energieverlies. Een team van UvA-natuurkundigen heeft nu ontdekt hoe een bepaald soort interactie kan worden gebruikt om heel stabiele solitonen te creëren, zelfs in omstandigheden waarin energie niet behouden blijft.



Een keten van oscillatoren met niet-reciproke interacties. Deze interacties zorgen ervoor dat solitonische, ademende golven ontstaan die lange tijd kunnen blijven bestaan.

Een ongewone golf

In 1834 zag John Scott Russell iets bijzonders in het Union Canal in Schotland. Nadat een langsvarende boot tot stilstand was gekomen, bleef de boeggolf van de boot met vrijwel dezelfde snelheid en vorm door het kanaal bewegen. Het zou meer dan een halve eeuw duren, tot het werk van de Nederlandse wiskundigen Diederik Korteweg en Gustav de Vries in 1895, voordat het fenomeen dat Russell waarnam tot in detail wiskundig was verklaard. Wat Russell had gezien, was een ‘solitaire golf’, een verschijnsel dat nu beter bekend staat als een *soliton*.

Tegenwoordig weten we dat dergelijke solitonen niet alleen in ondiep water voorkomen, maar ook in de optica, in magnetische velden en in vele andere takken van de natuurkunde

waar golfverschijnselen een rol spelen. In tegenstelling tot typische golven die zich over de ruimte verspreiden en daarbij in sterkte afnemen, verplaatsen solitonen zich als deeltjes en behouden ze hun golfvorm over lange afstanden. In systemen in de echte wereld – waar wrijving of energieverlies onvermijdelijk is – overleven zulke solitonen echter meestal niet heel lang. Als John Russell de door de boot veroorzaakte golf was blijven volgen, zou hij die uiteindelijk hebben zien uitdoven.

Asymmetrische interactie

In hun nieuwste onderzoek, deze week gepubliceerd in het tijdschrift Physical Review X, gaat een team van natuurkundigen aan de Universiteit van Amsterdam de uitdaging aan om solitonen te stabiliseren onder zulke niet-ideale, realistische omstandigheden. In de voetsporen van hun UvA-voorgangers Korteweg en De Vries hebben eerste auteur Jonas Veenstra en zijn zes collega's nu een manier gevonden om een speciaal soort soliton te creëren, een zogenaamd 'ademend' soliton, en om de golf gedurende een lange periode in stand te houden, zelfs in systemen waar energie niet behouden is.

Om dat te bereiken, bouwden de onderzoekers in het lab van groepsleider Corentin Coulais een systeem van 'actieve mechanische oscillatoren' – kleine staafjes die kunnen draaien, aangedreven door individuele, minuscule motortjes, en die zijn verbonden door elastiekjes. Wanneer een oscillator in beweging komt, beweegt zijn buurman ook, en zo kunnen golven ontstaan – inclusief solitonische. De specifieke oscillatoren die in de experimenten werden gebruikt, hebben een interessante eigenschap: ze kunnen elkaar op een niet-reciproke manier beïnvloeden. Dat wil zeggen dat een oscillator zijn buurman anders beïnvloedt dan de buurman met de oorspronkelijke oscillator doet. Toen de natuurkundigen onderzochten hoe deze niet-reciproke interacties het gedrag van solitonen beïnvloedden, ontdekten ze dat de asymmetrie de sleutel was tot langlevende solitonen. Het gebrek aan symmetrie zorgde ervoor dat de solitonische golf kon versnellen en vervolgens in een constante, onveranderlijke beweging kon komen, zonder zijn vorm of energie te verliezen.

Van waarneming tot toepassing

Het was altijd heel lastig geweest om dit waargenomen gedrag te bereiken met zogenaamde 'ademende' solitonen die constant van vorm veranderen tijdens hun beweging. Toch was dat

precies wat de onderzoekers nu zagen: een aanhoudend, ademend soliton. Hoewel niet geheel nieuw – de groep had het eerste ademende soliton zes jaar geleden al experimenteel waargenomen – was de nieuwe en nauwkeurigere experimentele opstelling die sindsdien was ontwikkeld nodig om de exacte omstandigheden vast te stellen waaronder ademende solitonen zich stabiel voortbewegen dankzij niet-reciprociteit.

De resultaten tonen het bestaan aan van robuuste, langlevende solitonen, zelfs in systemen waar energie verloren gaat. Dit is niet slechts een mooi verschijnsel dat je in het laboratorium kunt waarnemen net als John Russell twee eeuwen geleden het allereerste soliton in een kanaal zag. Aanhoudende solitonische golven hebben ook nuttige toepassingen: ze kunnen worden gebruikt om signalen of energie efficiënt te transporteren, wat ze veelbelovend maakt voor toepassingen in sensoren, energieopwekkende apparaten en robotsystemen.

Met het oog op dergelijke praktische toepassingen proberen Veenstra en collega's momenteel verder te kijken dan alleen ketens van oscillatoren, en onderzoeken ze hoe vergelijkbare golven zich gedragen in tweedimensionale oppervlakken van niet-reciproke oscillatoren. Hun onderzoek opent nieuwe mogelijkheden voor de ontwikkeling van slimme materialen die gebruikmaken van stabiele, zichzelf in stand houdende golfbewegingen – een stap in de richting van adaptieve systemen die betrouwbaar functioneren in allerlei dynamische omgevingen.

Publicatie

Nonreciprocal Breathing Solitons, Jonas Veenstra, Oleksandr Gamayun, Martin Brandenbourger, Freek van Gorp, Hans Terwisscha-Dekker, Jean-Sébastien Caux, and Corentin Coulais, Phys. Rev. X **15**, 031045.