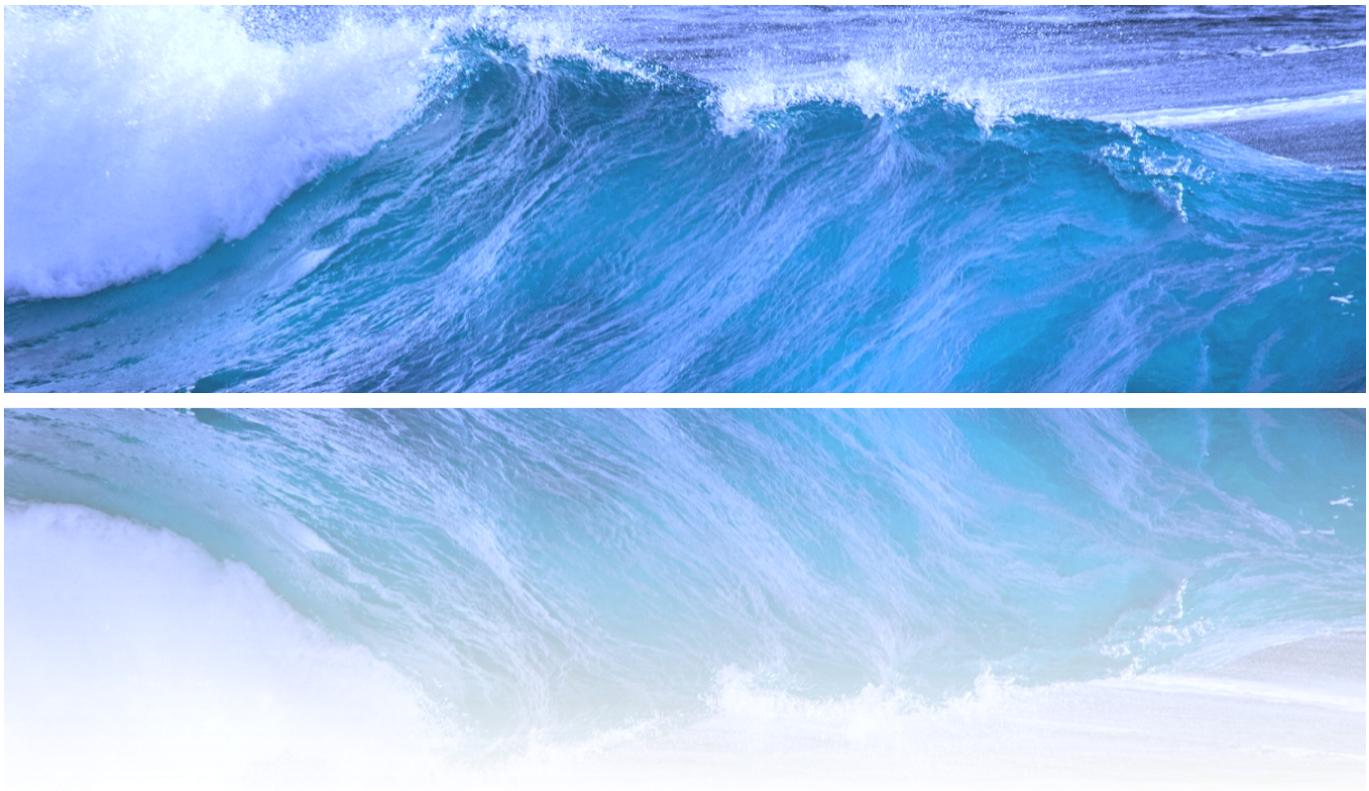
Kinks, skinks en supersymmetrie

Supersymmetrie is een symmetrie waarvan vaak wordt verondersteld dat die tussen elementaire deeltjes in de natuur voorkomt. In een nieuw artikel doen natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam en QuSoft een voorstel voor een systeem waarin supersymmetrie ook waargenomen kan worden tussen klompjes energie in een materiaal – zogeheten kinks en skinks.



Kinks, skinks en supersymmetrie. Kinks en skinks zijn gelokaliseerde klompjes energie die door een materiaal kunnen bewegen, vergelijkbaar met hoe watergolven zich verplaatsen. Afbeelding via MaxPixel.

Supersymmetrie – een natuurkundig hulpmiddel

Supersymmetrie is een hypothetische symmetrie in de natuur die de bekende soorten elementaire deeltjes verbindt met andere deeltjes die daar heel erg op lijken: hun

‘superpartners’. Geïnspireerd door de schoonheid van dit idee hebben vaste-stoffysici voorgesteld om supersymmetrie ook te gebruiken voor een beter begrip van de ingewikkelde problemen, zoals het gedrag van grote groepen van sterk wisselwerkende quantumdeeltjes – berekeningen waarvoor vaak een numerieke benadering, hoewel beperkt, de enige optie is.

Dat is in het bijzonder het geval voor elektronen in vaste-stofsystemen die interacties met elkaar hebben: een bron van onbeantwoorde vragen. Een goed voorbeeld is de vraag waarom en wanneer sommige materialen, bij relatief hoge temperaturen, volledig hun weerstand voor elektrische stroom kunnen verliezen en supergeleiders worden.

Om dergelijke vragen te kunnen beantwoorden hebben natuurkundigen theoretische modellen ontworpen die expliciet gebruikmaken van supersymmetrie. Het doel is om een beter begrip te krijgen van de quantumtoestanden van materie die bestaat uit fermionen, een deeltjesfamilie met soortgelijke eigenschappen als het elektron. Een bijzonder natuurlijk voorstel werd in 2003 gedaan in twee opeenvolgende artikelen van UvA-natuurkundigen Kareljan Schoutens, Jan de Boer en Bernard Nienhuis samen met Paul Fendley (tegenwoordig in Oxford).

Kinks en skinks

Tot nu toe waren de bovenstaande overwegingen vooral het werkterrein van de theoretici. In hun nieuwe artikel stellen Jiří Minář, Bart van Voorden en Kareljan Schoutens echter voor het eerst voor hoe zulke supersymmetrische systemen mogelijk ook in een laboratorium gerealiseerd kunnen worden, door gebruik te maken van neutrale aromen die afgekoeld worden tot een temperatuur vlak boven het absolute nulpunt, meer dan 270 graden Celsius onder nul. De atomen worden gemanipuleerd met lasers, waardoor ze in een hoge aangeslagen toestand worden gebracht, de zogeheten *Rydbergtoestand*, die het overbrengen van interacties tussen de atomen vergemakkelijkt. Zulke systemen van Rydbergatomen worden tegenwoordig veel gebruikt in laboratoria (waaronder labs van de Universiteit van Amsterdam en TU Eindhoven), onder meer omdat ze een van de meest veelbelovende platforms vormen voor de realisatie van een quantumcomputer.

Het in het nieuwe artikel bestudeerde systeem kent ‘topologische quasideeltjesexcitaties’ – gelokaliseerde klompjes energie die ook wel *kinks* worden genoemd – plus hun door supersymmetrie vereiste superpartners, de *skinks*. De onderzoekers waren in staat om een

expliciet experimenteel protocol op te stellen om de dynamica van zowel kinks als skinks in te stellen en te detecteren. De opmerkelijke eigenschap van het system is dat de manier waarop de gemeten grootheden in de loop van de tijd veranderen identiek is voor kinks en skinks. Dat is een duidelijk experimenteel teken dat deze quasideeltjes inderdaad heel veel op elkaar lijken – met andere woorden: het toont de onderliggende supersymmetrie.

Op weg naar meer dimensies

Het nieuwe onderzoek richtte zich op het eenvoudigste scenario: een ééndimensionaal rooster waarin de atomen allemaal op een lijn zijn gerangschikt. Het werk biedt daarom niet alleen inspiratie voor mogelijke experimentele realisaties van supersymmetrie aan de hand van bestaande technieken, maar ook voor het ontwerp van complexere simulatoren van supersymmetrische modellen in meer dan één dimensie – waarin de atomen in een plat vlak gerangschikt zijn, of zelfs in alle drie de dimensies. Er is bekend dat zulke systemen heel bijzondere eigenschappen hebben, waarvan de onderliggende natuurkunde nog altijd slecht begrepen is. Een quantumsimulator van Rydbergatomen zou het juiste gereedschap kunnen zijn om in de toekomst dergelijke intrigerende vragen te beantwoorden.

Publicatie

Kink dynamics and quantum simulation of supersymmetric lattice Hamiltonians, J. Minář, B. van Voorden en K. Schoutens. Phys. Rev. Lett. 128, 050504 (2022).

De eerdere artikelen die in de tekst genoemd worden:

Lattice Models with N=2 Supersymmetry, P. Fendley, K. Schoutens, and J. de Boer. Phys. Rev. Lett. 90, 120402 (2003).

Lattice fermion models with supersymmetry, P. Fendley, B. Nienhuis, and K. Schoutens. J. Phys. A 36, 12399 (2003).