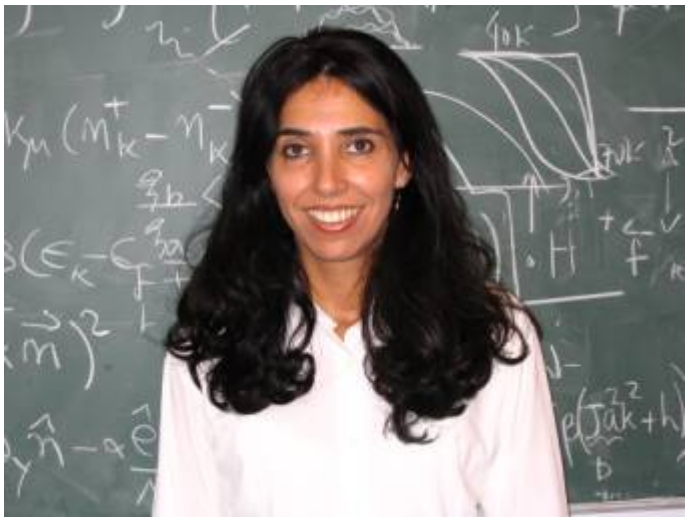
Topologische materialen en quantumcomputers

De Nobelprijs voor Natuurkunde ging dit jaar naar het exotische vakgebied van topologische materialen, dat nog volop in ontwikkeling is. Zo heeft FOM-werkgroepleider en hoogleraar theoretische fysica Cristiane Morais Smith (Universiteit Utrecht) met theoretisch onderzoek naar bosonen in een optisch rooster interessante nieuwe materiaaleigenschappen ontdekt. Collega-onderzoekers in het lab gaan op korte termijn experimenteel aan de slag om het rooster te maken, en de resultaten te verifiëren.



Afbeelding 1. Cristiane Morais SmithMorais Smith publiceerde haar bevindingen op 12 oktober 2016 in Physical Review Letters.

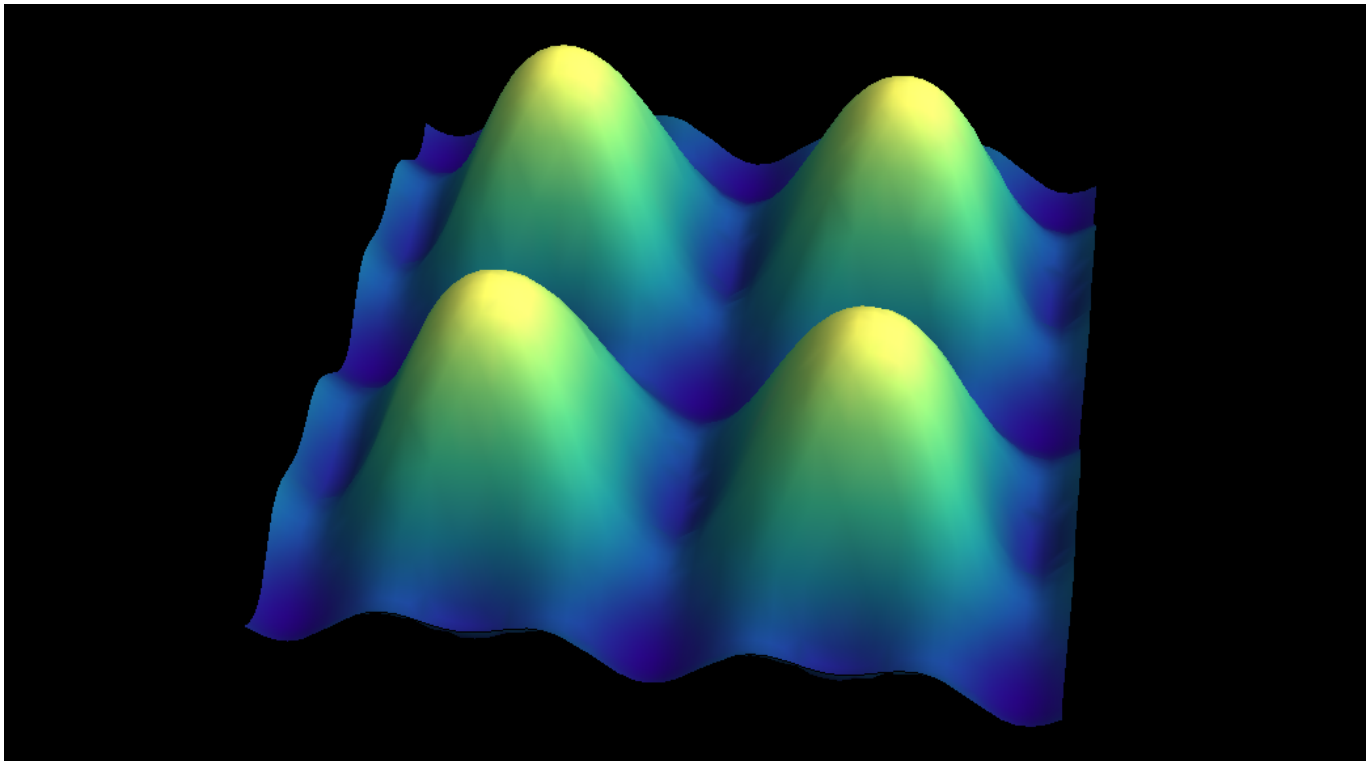
“In het dagelijks leven kennen we geleidende materialen, zoals koper, en isolerende materialen, zoals plastic of glas. Er zijn echter ook topologische isolatoren, met heel eigenaardige eigenschappen,” vertelt de Utrechtse hoogleraar. “Deze materialen zijn van binnen niet geleidend, maar kunnen aan de randen wél stroom geleiden. Bovendien is de geleidbaarheid *gequantiseerd*: die gaat in discrete stappen omhoog, afhankelijk van de topologie van het materiaal.”

Spinstromen

Topologische materialen stellen fysici voor allerlei verrassingen. Zo kunnen niet alleen elektronen zich vrij langs de randen bewegen. Ook de informatie over spin, grofweg de mate waarin de deeltjes draaien, kan zich langs de randen van deze materialen verplaatsen. Morais Smith: “Als alle elektronen met opwaartse spin zich de ene kant op verplaatsen en die met neerwaartse spin de andere kant op, is er netto geen lading verplaatst, maar wel spin-informatie. Dit verschijnsel is belangrijk in de spintronica, de gecombineerde studie van elektrische en spin-eigenschappen van het elektron. Vanwege de gequantiseerde geleidbaarheid maken topologische materialen quantumspintronica mogelijk. Bovendien is de topologie zo robuust, dat kleine onzuiverheden er geen invloed op hebben.”

Roostersystemen

In gewone materialen zijn dit soort topologische effecten al bijzonder. Morais Smith en haar collega’s gaan nog een stap verder en bestuderen systemen van *optische roosters* waar de effecten ook blijken op te treden. “Experimentele onderzoekers zijn al in staat om met lasers roosters van licht te maken, waarin ze koude atomen op hun plaats kunnen houden. Dit zijn eigenlijk ideale quantumsimulatoren: ze simuleren een perfect materiaal, zonder onregelmatigheden of onzuiverheden. Met deze roosters kunnen we exotische eigenschappen en toestanden van materialen creëren en bestuderen”, vertelt ze. “Omdat je elk gewenst atoom in zo’n optisch rooster kunt vangen, zijn ze heel geschikt voor onderzoek naar fermionen en bosonen. Naar die eerste soort deeltjes is al veel onderzoek gedaan, maar over het gedrag van bosonen in een optisch rooster is nog veel onbekend.”



Afbeelding 2. Het Lieb-roosterHet optische Lieb-rooster dat Morais Smith onderzocht, lijkt op een soort eierdoos, met diepe en minder diepe plekken waarin bosonen gevangen kunnen worden. Wanneer de bosonen in geëxciteerde toestand zijn, gaan er stromen lopen rond de 'bergen' in het rooster en wordt het systeem topologisch. (Bron: Marco Di Liberto)

Bosonenroosters

Morais Smith onderzocht bosonen in een exotisch optisch rooster, het zogeheten *Lieb Lattice*. Dit rooster simuleert exact het rooster zoals het voorkomt in hogetemperatuursupergeleiders. Zij ontdekte dat de onderlinge interacties tussen bosonen in het rooster in sommige gevallen voor bijzondere stromen zorgen. "Wij zagen dat bosonen in de grondtoestand rondgaan om de energieheuvels in het Lieb-rooster", aldus Morais Smith. "Er ontstaat een materiaaltoestand met supervloeibare eigenschappen die veelbelovende mogelijkheden biedt voor toekomstige quantumcomputers. Hoewel de grondtoestand geen topologische eigenschappen bezit, zijn de aangeslagen toestanden – bijvoorbeeld aangeslagen door geluidsgolven – wél topologisch. We hebben inmiddels contact met een Oostenrijkse onderzoeksgroep waar ze onze theoretische resultaten proberen te realiseren met een experimenteel optisch rooster."

Het werk aan bosonen in een optisch rooster is binnen de Universiteit Utrecht uitgevoerd

door Morais Smiths promovendus Marco Di Liberto, in samenwerking met de Universiteit van Hamburg. Het viel binnen het kader van de Vici-beurs die Morais Smith in 2008 ontving van NWO. Momenteel werkt Morais Smith in een project samen met Duncan Haldane, die met David Thouless en Michael Kosterlitz de Nobelprijs kreeg voor zijn baanbrekende werk op het gebied van topologische materialen. Bron: FOM.