

Het nut van fractale viezigheid

Schooiend zuurstof geeft hint voor supergeleiding

Het moet niet gekker worden. Onlangs lichtte de snaartheorie een tipje van de sluier op die over supergeleiding hangt. Nu steken de curieuze fractals een helpende hand toe.

Het is een van de grote vragen uit de natuurkunde. Hoe kan het dat supergeleiding, het fenomeen waarbij een elektrische stroom geen enkele weerstand ondervindt, veel makkelijker optreedt in rommelige materialen dan in metalen, de stroomgeleiders bij uitstek? Koper of kwik moeten tot bijna het absolute nulpunt worden afgekoeld voordat elektronen er ongeremd doorheen gaan. Maar bij gekke keramische baksels ligt dat kritische punt vele tientallen graden hoger.

'We kunnen er nog steeds geen touw aan vastknopen,' zegt Leids fysicus Jan Zaanen. 'Sinds de ontdekking van deze hoge temperatuur supergeleiders heeft een heel leger fysici zich op deze kwestie gestort. Onder hen de helft van alle Nobelprijswinnaars. De vele experimenten suggereren dat er een mooie wiskundige theorie achter schuil gaat, maar de theoretici hebben daar nog nauwelijks een vinger achter weten te krijgen.'

Zwart gat

Vorige week kwam er hulp uit onverwachte hoek. Amerikaanse wetenschappers meldden in Science dat het gedrag van de elektronen in zo'n keramisch materiaal, een cupraat, goed kan worden beschreven met formules uit de snaartheorie. Formules nota bene die zijn bedoeld om de eigenschappen van een zwart gat te berekenen.

De nieuwste hint komt uit een vakgebied dat nog esoterischer lijkt: de wereld van de fractals, die curieuze figuren met een structuur die zichzelf tot op oneindig kleine schaal herhaalt. Fractals zijn schaalinvariant, heet dat officieel.

Italiaanse fysici hebben ontdekt dat de kwaliteit van een supergeleider (of preciezer: de hoogte van de temperatuur waarbij een cupraat supergeleidend wordt) afhangt van zijn kwaliteit als fractal. Hoe groter de schaal waarbinnen die fractale structuur zich herhaalt, schrijven ze in Nature, hoe hoger de kritische temperatuur.

Schooiers

Verbazingwekkend, schrijft Zaanen in het commentaar dat Nature bij de Italiaanse publicatie voegt. Cupraten hebben hun succes als supergeleider te danken aan de aanwezigheid van zuurstofatomen. In de chemie staat zuurstof juist bekend als de schooier onder de elementen. De atomen zwerven rond in het materiaal, vormen overal verbindingen en nestelen zich zomaar ergens als het materiaal wordt afgekoeld.

Zaanen: 'En juist deze viezigheid van zuurstof blijkt een fantastische ordening te hebben. Er zit een geometrisch patroon in de zuurstofverbindingen dat er op verschillende schalen gelijk uitziet: van een micrometer (een duizendste millimeter) tot enkele millimeters.'

De Italianen gebruikten voor hun onderzoek een bekend cupraat, lanthaankoperoxide. Dat maakten ze op twee verschillende manieren. Het resultaat was exact gelijk, alleen hield het fractale karakter van het ene cupraat op bij 400 micrometer en van het andere bij 180 micrometer. De 'mooie' versie was supergeleidend tot 40 Kelvin (233 graden onder nul), terwijl de rommelige variant zijn omslagpunt had bij 32 Kelvin.

Kwantum-kritisch

Hoe kan dat nou, vraagt Zaanen zich als commentator af. 'Supergeleiding heeft iets te maken met elektronen die in paren door de stroomgeleider zoeven. Hoe kan een schaaleffect dat bij een factor duizend hoger optreedt, daarop van invloed zijn?'

Het antwoord moet worden gezocht in de kwantum-kritikaliteit, vertelt hij via de telefoon vanuit China. 'Dat is de toestand die de elektronen vormen vlak voordat het materiaal supergeleidend wordt. Met miljoenen tegelijk nemen ze dan een configuratie aan die er op allerlei schalen hetzelfde uitziet. Van het microscopische tot het macroscopische. Dat moest de hoge temperatuur supergeleiding verklaren, dacht men altijd. Maar hoe? We tasten met zijn allen in het duister.'

Het zwarte gat uit de snaartheorie waarover Science berichtte, gaf een eerste hint. Zaanen zelf overigens stond vorig jaar aan de basis van deze gedachte. 'Het idee is dat materialen, als ze eenmaal in die kwantum-kritische fase zitten, wel supergeleidend moeten worden. Net zoals het binnen een bepaalde range onmogelijk is om aan een zwart gat te ontsnappen. En het tweede idee: als je met je snaartheorie precies weet te beschrijven wat er in een zwart gat gebeurt, begrijp je ook de supergeleiding beter.'

Stockholm

En hoe zit het dan met die fractals? 'Een wezenlijke eigenschap van schaalinvariantie is dat dergelijke systemen andere systemen negeren,' zegt Zaanen. 'Dat zou kunnen betekenen dat als de 'vieze' zuurstof schaalinvariant is, de elektronen dat het liefst ook worden. Maar vervolgens leidt dat ertoe dat ze, à la een zwart gat, gedwongen worden richting supergeleiding te gaan. Ik geef toe, het is een wilde speculatie, maar volgens mij moeten we het daar ergens zoeken. Wellicht lukt het dan om supergeleiders bij kamertemperatuur te maken. Eén ding weet ik wel zeker: wie het antwoord vindt, kan een telefoontje uit Stockholm verwachten.'

Joep Engels

Michela Fratini e.a. 'Scale-free structural organization of oxygen interstitials in $\text{La}_2\text{CuO}_{4+y}$ ', in Nature van 12 augustus 2010

Voeg uw reactie toe

- **Uw naam**

- **E-mail**

- **Reageer**

-

-

-