



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Translational symmetry breaking in holographic strange metals

Balm, F.A.

Citation

Balm, F. A. (2023, May 16). *Translational symmetry breaking in holographic strange metals*. *Casimir PhD Series*. Delft-Leiden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3618303>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3618303>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Ontdekkingen die de wetenschap vooruit brengen komen vaak uit onverwachte hoek zetten. Theoretici die zich met gecondenseerde materie bezig houden staan al lange tijd voor een dilemma: bepaalde supergeleidende materialen, de zogeheten ‘cuprate strange metals’, zijn tot nu toe nog niet goed begrepen. Deze strange metals hebben bepaalde karakteristieke eigenschappen, bijvoorbeeld een weerstand die rechtevenredig met de temperatuur oploopt, zowel bij hoge als bij lage temperaturen. In andere metalen zou dit kwadratisch moeten zijn bij lage temperatuur, en het is niet begrepen waarom dit afwijkt. Dit is slechts een van vele observaties die niet verklaard zijn.

De redenen voor het gebrek aan begrip zijn uiteenlopend. Vanuit een wiskundig oogpunt speelt de grote sterkte van de wisselwerking tussen electronen in de strange metals een belangrijke rol. De vergelijkingen die de electronische sector zouden beschrijven zijn niet direct op te lossen. Wanneer deze wisselwerking echter zwak is, is het met bepaalde goed beheersbare benaderingen mogelijk om toch een berekening uit te kunnen voeren. In de strange metals is dit niet het geval. Een andere benadering zou kunnen zijn om het metaal direct met computers te proberen te simuleren. Dit gaat echter catastrofaal fout: de simpele structuur van data in onze computers, die alleen de waardes 1 en 0 aan kunnen nemen, zorgt ervoor dat dit onmogelijk is. Kwantumcomputers bieden hier wellicht uitkomst, maar deze zijn nog lang niet in een dusdanig ver gevorderd stadium dat ze voor dit probleem nuttig zouden kunnen zijn.

De verrassing komt nu uit de hoek van de snaartheorie. Rond de millenniumwisseling kwam daar naar voren dat er een merkwaardige dualiteit bestaat tussen twee verschillende theorieën die op het eerste gezicht niets met elkaar te maken zouden moeten hebben: de holografische dualiteit. Het blijkt namelijk dat de wiskundige structuur een supersymmetrische veldentheorie die niets van zwaartekracht afweet, precies dezelfde wiskundige structuur heeft als een snaartheorie met een extra ruimtedimensie, waar zwaartekracht wel een rol speelt. Dit is een erg diepgaand onderwerp waar vele tienduizenden artikelen over geschreven zijn, maar wij zijn geïnteresseerd in één specifieke realisatie hiervan, waar we niet met snaartheorie maar alleen met Algemene Relativiteitstheorie (AR) te maken hebben. Met behulp van de dualiteit kunnen we dit vertalen naar een veldentheorie, waar sterke wisselwerkingen en kwantumverstremgeling de hoofdrol hebben. Op deze manier ruilen we een onmogelijk op te lossen probleem in voor een moeilijk probleem, AR is namelijk niet bepaald makkelijk op te lossen. Er zijn ook enkele kanttekeningen die geplaatst moeten worden bij de resultaten die wij krijgen: de dualiteit is niet erg gebruiksvriendelijk, en de veldentheorie die de dualiteit beschrijft is nogal ver verwijderd van de veldentheorie die in de strange metal echt gerealiseerd wordt. Desalniettemin is het nog steeds mogelijk om bepaalde algemene waarheden te ontdekken op deze manier.

Om wat specifiek te zijn ontfermt dit proefschrift zich voornamelijk over de vraag wat er gebeurt als we de effecten van een kristalrooster na proberen te bootsen aan de kant van de AR. De niet-lineaire eigenschappen van de AR produceren enorm ingewikkelde vergelijkingen, waarvoor wij speciale computerprogramma's moesten schrijven om met behulp van de nationale supercomputers berekeningen uit te kunnen voeren. De resultaten van deze berekeningen vormen de data die dit proefschrift gebruikt worden. Hoofdstuk 4 laat zien hoe het mogelijk is om bepaalde spectraalfuncties die in fotoemissie-experimenten waargenomen worden, namelijk de zogeheten Fermi Arcs, na te bootsen. Door de hierboven genoemde kanttekeningen is het echter niet mogelijk hieruit op te maken wat het mechanisme is dat deze Fermi arcs veroorzaakt.

Het magnum opus van dit proefschrift is hoofdstuk 6. Door de data van de supercomputer te behandelen als experimentele data hebben wij geprobeerd of het mogelijk is om aan de hand van de dualiteit suggesties kunnen geven over wat er zich daadwerkelijk in de strange metals afspeelt. Wonderbaarlijk genoeg bleek het niet alleen mogelijk, maar zelfs natuurlijk om veel van de in experiment waargenomen verschijnselen na te bootsen. De conclusie die wij hieruit kunnen trekken is dat de holografische dualiteit laat zien dat er waarschijnlijk een compleet ander soort natuurkunde van belang is dan men zou verwachten in de strange metal. Dit betekent dat men de notie van elektronen die zich voortbewegen in een metaal los moet laten, en in plaats daarvan moet denken in termen waar kwantumeffecten en kwantumverstremming oppermachtig zijn. Dit staat haaks op de gewone denkwijzen in de theorieën van gecondenseerde materie, en zal daarom ook niet makkelijk op het bredere publiek overslaan.

Ook is het zo dat het onderzoek dat in dit proefschrift aan bod komt op zichzelf verre van genoeg is om hierover een finaal oordeel te vellen. Zoals in hoofdstuk 6 ook aan bod komt hebben wij wel voorstellen voor enkele experimenten die bijzonder gevoelig zouden moeten zijn voor de aan- of afwezigheid van deze nieuwe fysica. Samen met de recente groei in aandacht van de holografische dualiteit is de tijd misschien rijp voor holografie om de boel echt op te schudden in de wereld van de theoretische natuurkunde. Hopelijk dragen de resultaten en onderzoeken van dit proefschrift bij aan een soortgelijke revolutie.