



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Disorder and interactions in high-temperature superconductors

Sulangi, M.A.

Citation

Sulangi, M. A. (2018, July 5). *Disorder and interactions in high-temperature superconductors*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/63332>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/63332>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/63332> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Sulangi, M.A.

Title: Disorder and interactions in high-temperature superconductors

Issue Date: 2018-07-05

SAMENVATTING

Dit proefschrift is gewijd aan een gedetailleerd onderzoek naar de verschillende effecten van wanorde in hoge-temperatuur cupraat supergeleiders. Wanorde is alomtegenwoordig in deze materialen en speelt een centrale rol in een aantal verschijnselen die geobserveerd worden in verschillende fasen. Een voorbeeld hiervan is de verstrooiingsinterferentie van quasideeltjes—modulaties van de lokale toestandsdichtheid door de verstrooiing van quantummechanische golven door onzuiverheden—die gebruikt is om de structuur in de impulsruimte van elektronische excitaties in deze materialen in kaart te brengen. Een ander voorbeeld is de waarneming van een eindige toestandsdichtheid bij de Fermi-energie in de supergeleidende fase, dat typisch verklaard wordt door de aanwezigheid van wanorde. Uit deze twee voorbeelden wordt de duale rol van wanorde in deze materialen zichtbaar: als de wanorde zwak is tast het de elektronische excitaties af, maar onder bepaalde omstandigheden kan het ook nieuwe laagenergetische excitaties genereren die in een “schoon” materiaal afwezig zijn.

In dit proefschrift worden enkele verschijnselen die voorkomen in cupraten onder de loep genomen, vanuit het perspectief van wat nu bekend is over de aard van de wanorde in deze materialen. Van de metallische koperoxidevlakken is bekend dat zij geen wanorde bevatten, wat impliceert dat veel van de aanwezige wanorde veroorzaakt wordt door doping defecten die zich in de isolerende bufferlagen bevinden, op afstand van de metallische vlakken. Deze defecten zorgen voor een gedistribueerde Coulombische wanorde, een relatief gladde poten-

tiaal die gevoeld wordt door de elektronen in de metallische vlakken. Deze details zijn cruciaal, omdat in veel van de literatuur aangenomen wordt dat de wanorde zich *in* de metallische vlakken bevindt. Veel van de bestaande theorie over de verstrooiingsinterferentie van quasi-deeltjes draaide om modellen van wanorde met slechts één defect. Op een soortgelijke manier wordt er in veel modellen aangenomen dat de wanorde zich in de koperoxidevlakken bevindt om de eindige toestandsdichtheid bij de Fermi-energie te verklaren. In hoeverre de door wanorde aangedreven verschijnselen in experimenten door realistische, gedistribueerde vormen van wanorde kunnen worden verklaard is nauwelijks bestudeert.

In hoofdstuk 3 richten wij ons op verstrooiingsinterferentie van quasi-deeltjes in cupraten en beschouwen wij hoe de scherpe pieken in de tunnelingspectra van experimenten gereproduceerd kunnen worden door een reeks modellen van gedistribueerde wanorde, inclusief de modellering voor het tunnelproces tussen de koperoxidevlakken en de tip van de scanning tunneling microscoop. Wij concluderen dat zwakke puntvormige wanorde en willekeurige wanorde in de chemische potentiaal het best de experimentele spectra nabootst in zowel de reële ruimte als in de impulsruimte. Tegelijkertijd is gladde wanorde niet afdoende om de experimentele spectra te reproduceren omdat verstrooiing bij groot momentum onderdrukt wordt in dit geval. Even interessant als paradoxaal is het feit dat de pieken geobserveerd in experimenten *scherper* zijn dan de pieken die volgen uit onze simulaties.

Hoofdstuk 4 beschouwt verschillende vormen van wanorde en hun uitwerking op de toestandsdichtheid bij de Fermi-energie met variërende hoeveelheden wanorde. Hoewel sterke puntvormige onzuiverheden en wanorde in de chemische potentiaal wel tot een eindige toestandsdichtheid leiden, moet er onrealistisch veel wanorde aangenomen worden om het experiment te reproduceren. Anderzijds laten we zien dat

wanorde door defecten buiten het vlak tot realistische waarden van de toestandsdichtheid bij de Fermi-energie kan leiden zonder de supergeleidende excitaties bij middelmatige en hogere energieën aan te tasten. Wij vinden scherpe resonanties *bij* de Fermi-energie wanneer er zeer veel dotanten buiten het vlak aanwezig zijn. Wij onderzoeken ook de lokalisatielengte voor verschillende modellen van wanorde, en het wordt aangetoond dat voor alle modellen van wanorde de quasi-deeltjes bij de Fermi-energie gelokaliseerd zijn, terwijl de lokalisatielengte als functie van energie sterk gevoelig is voor het type wanorde dat aanwezig is.

Hoofdstuk 5 beschouwt wederom verstrooiingsinterferentie van quasi-deeltjes, dit keer met het oog op de effecten van zelf-energieën op de lokale toestandsdichtheid, wat toegepast wordt op relevante voorbeelden in de cupraten. In de supergeleidende toestand bestuderen we het fenomeen van *kloofvullen* versus *-dichten* dat in ARPES experimenten wordt waargenomen en wij analyseren in hoeverre scanning tunneling spectroscopie experimenten dit fenomeen ook waar kunnen nemen. De pieken in de supergeleidende spectra worden aangetoond gevoelig te zijn voor de hoeveelheid verbreding die aanwezig is: de pieken worden uitgesmeerd en worden incoherent bij grote zelf-energieën. We besturen ook de spectra in de normale toestand, waar wij aannemen dat het “vreemde metaal” goed beschreven wordt door een marginale Fermivloeistof. Wij vinden dat een belangrijk kenmerk van deze toestand de aanwezigheid van brede patronen is in het spectrum dat de verstrooiing tussen punten op het Fermi-oppervlak beschrijft. Het grootste verschil tussen de marginale Fermivloeistof en de gewone Fermivloeistof blijkt de mate van verbreding te zijn; het spectrum van een marginale Fermivloeistof heeft veel meer verbreding dan dat van een gewone Fermivloeistof.

De meest belangrijkste resultaten van dit proefschrift zijn als volgt: de gedistribueerde vormen van wanorde kan de verstrooiingsinterferentie van quasideeltjes die gezien wordt in experimenten veroorzaken, niettegenstaande de afwezigheid van duidelijk geïsoleerde onzuiverheden; de microscopische details van het tunnelproces geassocieerd met scanning tunneling spectroscopie experimenten zijn van groot belang voor de theoretische interpretatie van experimenten; wanorde buiten de vlakken is een kandidaat mechanisme voor de productie van laagenergetische excitaties die in soortelijke warmte experimenten worden waargenomen; de gevoeligheid van de verstrooiingsinterferentie van quasideeltjes in de supergeleidende toestand voor de lange levensduur van Bogoliubov quasideeltjes; en tenslotte het verrassend subtiele verschil tussen de spectra van een marginale Fermivloeistof en die van zijn conventionele broertje, de Fermivloeistof. In hoofdstuk 6 brengen wij al deze resultaten samen en plaatsen wij deze in de grotere context van wat er over de cupraten bekend is.