



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Fermions, criticality and superconductivity

She, J.H.

Citation

She, J. H. (2011, May 3). *Fermions, criticality and superconductivity*. *Casimir PhD Series*. Faculty of Science, Leiden University. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/17607>

Version: Corrected 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/1887/17607>

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

SAMENVATTING

De veel-deeltjessystemen om ons heen, gecreëerd door de natuur of door de mens, bestaan uit elektronen. Elektronen zijn fermionen. De fermionische golffunctie verandert van teken wanneer twee fermionen van plaats verwisseld worden. Dus als we een kwantummechanische som over alle veel-deeltjestoestanden uitvoeren, dan tellen we termen op met zowel positief als negatief teken, en het netto resultaat zal hevig oscilleren. Dit leidt tot het beruchte fermionische mintekenprobleem, dat zo complex is als zijn kan, genaamd niet-deterministisch polynomiaal (NP) moeilijk in wiskundige termen. Het minteken-probleem verhindert in het algemeen een wiskundig exacte oplossing van het veel-deeltjessysteem.

Verrassend genoeg zijn er verscheidene wisselwerkende fermionische systemen, bijvoorbeeld normale metalen en ^3He bij lage temperaturen, die op een bevredigende manier beschreven kunnen worden met een fenomenologische theorie van Landau, gebaseerd op de aanname van adiabatische verbondenheid met het vrije Fermi gas. Echter, in de afgelopen decennia is er meer en meer experimenteel bewijs verzameld waarbij het erop lijkt dat het Landau paradigma het begeven heeft en de helse fermionische mintekens vrij spel hebben. Deze exotische materialen bevinden zich meestal nabij een nultemperatuur-faseovergang naar een andere stabiele fase. Geassocieerd met dit singuliere punt worden abnormale schalingseigenschappen voortdurend waargenomen in een eindig gebied van het fasediagram. Dit is de motivatie van het idee van kwantumkritikaliteit, om te proberen de vreemde eigenschappen van het systeem bij eindige temperatuur te beschrijven in termen van lage-energie vrijheidsgraden van de grondtoestand.

In dit proefschrift verkennen we de minteken-volle fermionische wereld. In hoofdstuk 2 en 3 bestuderen we het fermionische minteken-probleem in het wereldlijk padintegraal formalisme, waarin het minteken-probleem het meest transparant is. In hoofdstukken 4 tot en met 6 analyseren we het idee van kwantumkritikaliteit. We leggen de nadruk op de instabiliteiten van de kwantum-kritische punten (KKPen) bij lage temperaturen, alwaar exotische nieuwe fases ontstaan.

In hoofdstuk 2 presenteren we een simpele oefening met minteken-volle wereldlijk-padintegralen. We leggen met behulp van dit formalisme het mechanisme achter het Anderson-Higgs effect voor een gas van geladen bosonen met een achtergrond magnetisch veld uit, and vervolgens gebruiken we deze methode om de afwezigheid van dit effect voor een gas van fermionen te bewijzen.

In dit formalisme wordt de fermionische statistiek gecodeerd door het gebruik van aanvullende Grassmann coördinaten op een manier die leidt tot manifeste wereldlijn-supersymmetrie. Deze extra symmetrie is de spil om de afwezigheid van het effect voor geladen fermionen te demonstreren.

In hoofdstuk 3 beginnen we het fermionische minteken-probleem op te pakken in het wereldlijn-formalisme. Het inzichtelijke werk van Ceperley om fermionische padintegralen te construeren in termen van begrensde wereldlijnen wordt herhaald. In deze representatie worden de mintekens geassocieerd met de Fermi-Dirac statistiek op zelfconsistente wijze vertaald naar een geometrische begrenzingstructuur, het nodale hyperoppervlak, die werkt op een effectieve bosonische dynamica. Werkend met de padintegraal in impuls-ruimte laten we zien het Fermi gas begrepen kan worden door analogie met een Mott isolator in een harmonische val.

In hoofdstuk 4 verkennen we de instabiliteiten van KKPen die ontstaan door competitie tussen de bosonische orde-parameters. De fases nabij KKPen worden verondersteld om of klassiek of kwantummechanisch te zijn en worden aangenomen afstotend te wisselwerken via een kwadraat-kwadraat wisselwerking. We ontdekken dat voor willekeurige dynamische exponent en voor willekeurige dimensionaliteit een voldoende sterke wisselwerking KKPen instabiel maakt, en dat deze de overgangen naar eerste-orde dringt. We stellen voor dat deze instabiliteit en het begin van eerste-orde overgangen leidt tot ruimtelijk inhomogeen toestanden in praktische materialen nabij vermoedelijke KKPen.

In hoofdstuk 5 onderzoeken we de instabiliteit van fermionische vrijheidsgraden nabij KKPen. In het bijzonder bestuderen we de instabiliteit in het deeltje-deeltje kanaal, en we presenteren een simpele fenomenologische schalingstheorie voor supergeleiding in kwantumkritische metalen. Onder de aanname dat de normale toestand een sterk-wisselwerkende kwantumkritische toestand van fermionen is, stellen we voor dat de parings susceptibiliteit relevant wordt, in plaats van de marginale BCS-vorm, met het effect dat de paringsinstabiliteit veel sterker wordt. Zelfs met een zwakke wisselwerking kunnen we een hoge overgangstemperatuur krijgen vergelijkbaar met wat in echte materialen wordt gevonden. We bespreken ook de gedraging van het orbitaal-gelimiteerde hogere kritisch magnetisch veld als functie van de nultemperatuur koppelingsconstante. Vergeleken met de variatie in de overgangstemperatuur zou het kritisch veld een grotere variatie kunnen laten zien afhankelijk van de waarde van de dynamische kritische exponent.

In hoofdstuk 6 stellen we voor om een tweede-orde Josephson-effect te gebruiken als directe detector van het Cooper-kanaal van kwantumkritische metalen, om het probleem van onconventionele supergeleiding in zulke systemen te belichten. Om experimentatoren van sjablonen te voorzien, berekenen we de parings susceptibiliteit voor verscheidene verschillende scenario's. De evolutie van de piekstructuur in het imaginaire deel van de susceptibiliteit wordt in detail onderzocht. We ontdekken dat modellen die aannemen dat elektronen zich in een kritische normale toestand bevinden substantieel verschillen van het Fermi

vloeistof BCS-model en zijn moderne uitbreidingen.

