



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **Deciphering fermionic matter: from holography to field theory**

Meszéna, B.

### **Citation**

Meszéna, B. (2016, December 21). *Deciphering fermionic matter: from holography to field theory*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/45226>

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/1887/45226>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/45226> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Meszéna, B.

**Title:** Deciphering fermionic matter: from holography to field theory

**Issue Date:** 2016-12-21

# Samenvatting

De theoretische beschrijving van fermionische systemen met sterke wisselwerkingen is een zeer uitdagende open vraag in de natuurkunde. De meest bekende (maar niet de enige) experimentele realisatie van dit soort systemen zijn de koper-oxide supergeleiders die geen enkele elektrische weerstand vertonen. Zelfs wanneer men een goed microscopisch model heeft voor de beschrijving van deze materialen, is het zeer moeilijk dit in macroscopische waarneembaarheden te vertalen die in principe experimenteel geverifieerd kunnen worden.

Het probleem is dat men in het geval van een zogenaamde relevante interactie geen Taylor expansie kan doen in termen van de koppelingsconstante voor de lage energieën waarin wij het meest geïnteresseerd zijn. Anderzijds — vanwege het fermionisch-teken-probleem — werken Monte Carlo numerieke technieken (die met bosonische modellen wel succesvol zijn) niet voor fermionen met eindige dichtheid.

Dit proefschrift is gericht op de toepassing van verscheidene methoden op het hierboven beschreven onderzoeksgebied. Het gemeenschappelijke thema van deze technieken is dat zij (gedeeltelijk) gemotiveerd zijn vanuit de hoge-energie-fysica: de onderzoeksrichting die zich bezig houdt met deeltjesfysica, snaar-theorie, etc.

In het Introductie hoofdstuk van dit proefschrift geven wij een overzicht van een aantal eigenschappen van Fermi-liquids (een toestand van materie die we zeer goed begrijpen) en non-Fermi-liquids (waar onze kennis tekort komt). Vervolgens introduceren wij een aantal methoden die op vaste-stofsystemen kunnen worden toegepast. Deze omvatten large- $N$ -methoden, conformal-field-theories en holography. Bij de discussie van dit laatste punt zullen wij ook laten zien hoe deze ideeën tezamen komen in AdS/CFT en een dualiteit beschrijven tussen zwak-gekoppelde zwaartekracht-theorieën en sterk-gekoppelde large- $N$ -systemen. Na deze algemene ideeën gaan wij over naar de presentatie van verscheidene onderzoeksprojecten.

In Hoofdstuk 2 beschouwen wij een holografisch model voor dynamische paar-vorming in supergeleiders. BCS-theorie beschrijft met succes de paar-vorming in supergeleiders waar de normale phase van het metaal een zwak-gekoppeld Fermi-liquid is. Daarentegen vertonen de hoge-temperatuurs-phase van high- $T - c$ -materialen non-Fermi-liquid ge-

drag. Zoals we in de Introductie laten zien, voorspelt AdS/CFT non-Fermi-liquid toestanden in een aantal holografische modellen. Het is daarom voor de hand liggend om supergeleidend-paar-vorming in non-Fermi-liquids met AdS/CFT te bestuderen. Wij nemen een eerste stap naar dit doel door paar-vorming in een holografisch Fermi-liquid te bestuderen waarbij de ruimte-tijd geometrie die van AdS is met een hard-wall. Om dit te doen introduceren wij een parings-interactie tussen de fermionen en een order-parameter veld. Afgezien van de gefixeerde achtergronds-geometrie lossen wij het fermion-ijkveld-scalar systeem zelf-consistent op. Wij laten zien dat de studie van dit iets vereenvoudigd model nog steeds kleurrijke, en soms nieuwe ongebruikelijke natuurkunde blootlegt. We geven ook algemenere argumenten dat met de toevoeging van interacties in de bulk er subtiliteiten zijn in de gewoonlijke vertalingsregels tussen AdS en CFT.

In Hoofdstuk 3 analyseren wij een interessant sterk-gekoppeld vastestof model met een nieuwe velden-theoretische methode. Het systeem bestaat uit fermionen met eindige dichtheid (en daarom een Fermi-oppervlak) gekoppeld aan een dynamisch order-parameter-veld in 2+1 dimensies. Dit is het simpelste model dat non-Fermi-liquid gedrag vertoont als men de massa van de boson naar zijn kritieke waarde fijn stelt (massa nul in dit geval). Dit systeem is niet-perturbatief en men moet zich daarom beroepen op onconventionele technieken. Wij maken twee benaderingen. Ten eerste nemen wij aan dat de kromming van het Fermi-oppervlak klein is. Ten tweede maken wij gebruik van de zogenaamde quenched approximation, dat wil zeggen dat wij alle fermion-loops negeren. Formeel kan dit systematisch gebeuren door een aantal fermion soorten te introduceren ( $N_f$ ) en vervolgens de limiet  $N_f \rightarrow 0$  te nemen. Met deze vereenvoudiging zijn wij in staat de expliciete vorm van de fermionische spectral functie te bepalen. Deze laat non-Fermi-liquid gedrag zien en daarnaast een opsplitsing van het Fermi-oppervlak.

In hoofdstuk 4 vervolgen wij dit onderzoek door  $N_f$  nu eindig te houden terwijl we nog steeds de kromming van het Fermi-oppervlak klein houden. Een belangrijke vereenvoudiging die hieruit volgt is dat zelfs voor eindige  $N_f$  de boson-propagator alleen maar op één-loop niveau wordt gecorrigeerd. Deze zogenaamde Landau-damping bijdrage heeft een belangrijk gevolg in het IR regime van de fermion Green's functie. Wij analyseren deze twee-punts-functie om te verhelderen hoe het tussen de sterk-Landau-damped vorm en het quenched resultaat interpoleert.