



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Luttinger liquid on a lattice

Zakharov, V.

Citation

Zakharov, V. (2025, September 23). *Luttinger liquid on a lattice*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4261489>

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/1887/4261489>

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

Samenvatting

Het begrijpen van wisselwerkingen in quantum-veeldeeltjessystemen blijft een van de diepgaandste en moeilijkste uitdagingen in de theorie van de gecondenseerde materie. Terwijl systemen zonder wisselwerkingen met één-deeltjesmethodes exact kunnen worden opgelost, maakt de introductie van interacties het probleem snel onhandelbaar. De Hilbertruimte groeit exponentieel, buiten het bereik van exacte methodes.

Om dit aan te pakken, grijpt men meestal naar numerieke methodes door het systeem op een rooster te discretiseren. Deze aanpak werkt over het algemeen goed voor één-dimensionale problemen, waaronder de problemen die worden beschreven door de Schrödinger-vergelijking. De Dirac-vergelijking voor relativistische, massaloze deeltjes is ingewikkelder. Een naïeve discretisatie stuit op het probleem van fermion-duplicatie, geformaliseerd in de Nielsen-Ninomiya-stelling, die in de weg staat van een discretisatie die de fundamentele symmetrie van het probleem behoudt.

Het eerste deel van mijn proefschrift is gemotiveerd door dit probleem: de noodzaak om één-dimensionale, sterk wisselwerkende systemen numeriek te beschrijven en de moeilijkheid om dit op een rooster te doen in het geval van massaloze relativistische deeltjes. Het Luttinger-model is een paradigma voor dit probleem en staat centraal in het proefschrift.

We introduceren en valideren een nieuwe numerieke aanpak gebaseerd op tangens-fermionen (zo genaamd omdat de dispersie-relatie door een tangens beschreven wordt). In Hoofdstuk 2 discretiseren we ruimte en tijd in het quantum Monte Carlo algoritme. Voor het eerst slagen we er zo in om het Luttinger-model op een rooster uit te rekenen, met resultaten die goed overeenkomen met de bestaande bosonisatie theorie in het continuum.

In Hoofdstuk 3 wordt de tangens-fermion aanpak uitgebreid naar tensor-netwerk-methoden. Dit stelt ons in staat de beperkingen van quantum Monte Carlo te overstijgen en meer algemene situaties te onderzoeken. We tonen aan dat tangens-fermionen een compacte en efficiënte tensor-netwerkrepresentatie

ondersteunen, die de bosonisatie-resultaten van de Luttinger-model nauwkeurig benaderen. Dit bevestigt de veelzijdigheid en consistentie van de methode.

Het tweede deel van het proefschrift heeft een ander thema, het richt zich op twee-dimensionale systemen zonder sterke wisselwerkingen. Hoofdstuk 4 behandelt de metaal-isolator overgang in supergeleiders met Majorana deeltjes. We tonen aan dat deze overgang verloopt via de percolatie van topologische domeinwanden.

Tenslotte onderzoekt hoofdstuk 5 de Landau-quantisatie in systemen met generaliseerde Van Hove-singulariteiten. We ontwikkelen een algemene methode om magnetische breakdown in deze materialen te berekenen en ontdekken hoe coherente netwerken minibanden kunnen vormen die bulkgeleiding onder een magnetisch veld mogelijk maken — soms zelfs sterker dan de randgeleiding. Deze kenmerken bieden experimenteel toetsbare effecten die gekoppeld zijn aan de onderliggende zadelpuntenstructuur.