



**Universiteit  
Leiden**  
The Netherlands

## **On localization of Dirac fermions by disorder**

Medvedyeva, M.V.

### **Citation**

Medvedyeva, M. V. (2011, May 3). *On localization of Dirac fermions by disorder. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/17606>

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/1887/17606>

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

# Samenvatting

Dit proefschrift is gewijd aan het effect van wanorde in twee-dimensionale systemen van Dirac fermionen. Deze quasi-deeltjes komen voor in grafen (monolagen van koolstofatomen), in supergeleiders waarbij de orde parameter een  $p$ -golf of  $d$ -golf symmetrie heeft en in topologische isolatoren.

We richten onze aandacht op een specifiek gevolg van deze wanorde, namelijk het verschijnsel van lokalisatie. Het is bekend dat gewone elektronen (wier gedrag beschreven wordt door de Schrödinger vergelijking, en niet door de Dirac vergelijking), gelokaliseerd worden onder invloed van wanorde. Concreet betekent dit dat de golffunctie van een excitatie exponentieel vervalst, en geen uitgebreide vlakke golf is. Lokalisatie maakt zodoende van een metaal een isolator.

De reactie van Dirac fermionen op wanorde is kwalitatief anders dan die van gewone elektronen. Al vroeg is ontdekt dat Dirac fermionen niet gelokaliseerd kunnen worden met behulp van elektrostatische wanorde, als deze wanorde glad is op de schaal van de roosterconstante. In dit proefschrift concentreren we ons op een ander type wanorde, die in de Dirac vergelijking optreedt als een plaatsafhankelijke massa. In grafen ontstaat dit door wanorde in het substraat. Tegen de verwachtingen van eerder onderzoek in, hebben we ontdekt dat door een wanordelijke massa in grafen er geen overgang plaatsvindt naar een metallische toestand. Alle golffuncties blijven dus gelokaliseerd en grafen is isolerend.

De situatie is volledig anders voor Dirac fermionen in een  $p$ -golf supergeleider. In dit type supergeleiders verschijnt de plaatsafhankelijke massa in de Dirac vergelijking ten gevolge van elektrostatische wanorde. Voor zwakke wanorde is er lokalisatie, maar in tegenstelling tot onze bevindingen bij grafen, vindt bij sterke wanorde een overgang naar een metallische toestand plaats.

Met behulp van een roostermodel van zogenaamde “staggered” fermionen, dat voortkomt uit de kwantumchromodynamica, onderzoeken we de metaal-isolator overgang in  $p$ -golf supergeleiders. We berekenen de kritische exponent en identificeren een afstotend trikritisch punt in het fase-diagram.

Het kwalitatieve verschil tussen het gevolg van wanorde in het gedrag van Dirac fermionen in grafeen en in  $p$ -golf supergeleiders vraagt om een verklaring. Deze vinden we in de aanwezigheid van gebonden Majorana toestanden in de  $p$ -golf supergeleider. Deze “mid-gap” excitaties in  $p$ -golf supergeleiders maken resonant tunnelen en een metallische toestand mogelijk. Grafeen heeft geen gebonden Majorana toestanden en dus geen metallische toestand in de aanwezigheid van een wanordelijke massa.

Elektrostatistische wanorde in een  $d$ -golf supergeleider manifesteert zichzelf op een volledig andere wijze, namelijk als een wanordelijke vector potentiaal in de Dirac vergelijking. Met behulp van een ijktransformatie kan dit type wanorde worden verwijderd op het Fermi niveau, mits de wanorde glad is op de schaal van de roosterconstante. Hieruit volgt dat de transmissie van Dirac fermionen door een  $d$ -golf supergeleider slechts beperkt beïnvloed wordt door lange-dracht fluctuaties in de elektrostatistische potentiaal. Fluctuaties van korte dracht hebben wel een sterk effect. Zij onderdrukken exponentieel de elektrische stroom die gedragen wordt door de excitaties, terwijl ze de thermische stroom niet beïnvloeden.

In het laatste hoofdstuk van dit proefschrift keren we terug naar grafeen, en bestuderen we twee van zijn prominente eigenschappen, namelijk het vormen van een sterk geleidend twee-dimensionaal elektro-nengas en tegelijkertijd het vormen van een mechanisch stabiel membraan. Het samenspel tussen de elektrische en mechanische eigenschappen wordt bestudeerd door het berekenen van de verandering van de geleidbaarheid van opgehangen grafeen als gevolg van de vervorming door een “gate” elektrode.