



Universiteit
Leiden
The Netherlands

On transport properties of Weyl semimetals

Baireuther, P.S.

Citation

Baireuther, P. S. (2017, April 26). *On transport properties of Weyl semimetals*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/48876>

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/1887/48876>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/48876> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Baireuther, P.S.

Title: On transport properties of Weyl semimetals

Issue Date: 2017-04-26

Samenvatting

Topologische halfmetalen zijn een nieuwe klasse van materialen, waarin de geleidingsband en de valentieband elkaar toevalligerwijs raken in afzonderlijke punten van de Brillouin-zone. In de nabijheid van deze raakpunten, is de dispersierelatie lineair en bewegen de massalose excitaties zich met een energie-onafhankelijke snelheid (net zoals de lichtsnelheid voor fotonen). Dit veroorzaakt fascinerende transporteigenschappen die waargenomen zijn in het tweedimensionale halfmetaal grafeen.

In drie dimensies wordt het verhaal nog een stuk interessanter. De toevallige raakpunten zijn dan beschermd door de topologie van de derde ruimtelijke dimensie. Nabij de Fermi-energie bestaat het spectrum uit een even aantal conussen, die elk beschreven worden door de Weyl-vergelijking uit de relativistische quantummechanica. De Weyl-conussen hebben een linkshandige of rechtshandige draaiing die “chiraliteit” of “Berry-kromming” wordt genoemd. Deze unieke eigenschappen veroorzaken opmerkelijke elektromagnetische eigenschappen, zoals een zeer grote negatieve magnetoweerstand, chirale Landau-niveaus, en het chirale magneto-elektrische effect. Aan het oppervlak van een Weyl halfmetaal bestaat het Fermi-oppervlak uit open contours, de zogenaamde Fermi-bogen. Fermi-bogen beginnen en eindigen bij de projectie van de Weyl-conussen in het binnenste op de Brillouin-zone aan het oppervlak. Deze topologisch beschermde toestanden en hun transporteigenschappen vormen het hoofdonderwerp van dit proefschrift.

We beginnen in hoofdstuk twee met de studie van de hieraan verwante antiferromagnetische topologische isolatoren. In deze systemen is tijdsymmetrie lokaal gebroken maar globaal hersteld door de combinatie met translatie over een halve eenheidscel. Anders dan de afzonderlijke tijdsymmetrie, wordt deze gecombineerde symmetrie verstoord door wanorde. In onze studie vinden we echter dat de symmetrie *gemiddeld* behouden blijft. (Dit is een voorbeeld van een *statistische* topologische isolator.) Bij de faseovergang tussen een gewone isolator en een antiferromagnetische topologische isolator sluit de energie-gap zich op afzonderlijke punten in de Brillouin-zone. Daar ontstaat een lineair spectrum van Weyl conussen.

In een Weyl halfmetaal wordt de antiferromagnetische koppeling vervan-

Samenvatting

gen door een ferromagnetische koppeling. Dit breekt de tijdomkeersymmetrie en stabiliseert de halfmetallische fase. In hoofdstuk drie van dit proefschrift bestuderen wij één van de meest kenmerkende transporteigenschappen van een Weyl halfmetaal, het zogenaamde chirale magnetische effect. Dit is één van de eigenschappen die een Weyl halfmetaal onderscheiden van grafeen. Voor dit effect is een sterk magnetisch veld met Landauniveaus nodig. Wat we ontdekten hebben, is dat er een variant van hetzelfde chirale magnetische effect mogelijk is in een zwak magnetisch veld, zonder Landauniveaus. Deze variant is vermoedelijk eenvoudiger waar te nemen in een experiment.

In het vierde hoofdstuk vervolgen we de studie van de oppervlakte Fermi-bogen. Terwijl deze duidelijk waargenomen zijn in optische experimenten, kunnen sommige van hun unieke eigenschappen alleen onderzocht worden in transportexperimenten. De grote moeilijkheid bij het uitvoeren van zo'n transportexperiment is dat een Weyl halfmetaal, in tegenstelling tot een topologische isolator, zowel een geleidend oppervlak als een geleidende binnenkant heeft. Het is daardoor moeilijk om oppervlakte en binnenkant van elkaar te onderscheiden. Wij benaderen dit probleem door het Weyl halfmetaal in contact te brengen met een supergeleider. De supergeleider heeft geen invloed op de binnenkant van het Weyl halfmetaal, maar het splitst de Fermi-bogen in bijna ladingsneutrale Majorana banden. We laten zien hoe we door middel van een tunnelbarrière Majorana deeltjes kunnen opsluiten.

In het vijfde hoofdstuk verlaten wij het terrein van de halfmetalen om Fermi-bogen te bestuderen in supergeleiders. In koperhoudende supergeleiders bij hoge temperatuur zijn Fermi-bogen waargenomen en geïnterpreteerd als tekenen van een nieuw soort paarvorming van de elektronen, genaamd Ampère-paarvorming omdat de aantrekkende kracht lijkt op de Ampèrekracht tussen gelijkgerichte evenwijdige stroomdraden. We onderzoeken hoe de Andreev-verstrooiing van elektronen in gaten door de Ampère-paarvorming beïnvloed wordt. We sluiten af met een voorstel voor een geleidingsexperiment in een Y-vormige junctie, dat gebruikt zou kunnen worden om de Ampère-paarvorming te detecteren.