



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Spin-momentum locking in oxide interfaces and in Weyl semimetals

Bovenzi, N.

Citation

Bovenzi, N. (2018, October 23). *Spin-momentum locking in oxide interfaces and in Weyl semimetals*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/66481>

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/1887/66481>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/66481> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Bovenzi, N.

Title: Spin-momentum locking in oxide interfaces and in Weyl semimetals

Issue Date: 2018-10-23

Samenvatting

Elektronen in een kristal hebben eigenschappen die kunnen verschillen van de eigenschappen van vrije elektronen in vacuüm. De effectieve massa kan verschillen van de vrije elektronenmassa, en deze kan zelfs nul worden, zodat het elektron in sommige opzichten beweegt zoals een relativistisch massaloos deeltje als een foton zou bewegen. Het magnetische moment van het intrinsieke draaimoment, de elektronenspin, kan ook verschillen van dat van een elementair deeltje. Bovendien kunnen elektronen spin-achtige vrijheidsgraden ontwikkelen, genaamd “pseudospin” of “isospin”.

Al deze vrijheidsgraden zijn interessant omdat men er informatie in kan opslaan en mee kan vervoeren — men spreekt van “spintronics” en “valleytronics” als alternatieven voor “electronics” — en recent zijn ze van belang geworden in de context van topologische quantumtoestanden. Om deze redenen is het van belang om het samenspel te onderzoeken tussen de ruimtelijke beweging van de elektronen en hun spin (of spinachtige) vrijheidsgraden. Dit heet “spin-baankoppeling”.

Dit proefschrift bevat het resultaat van onderzoek naar de effecten van sterke spin-baankoppeling, in het bijzonder de gevolgen van “spin-momentum locking”, in twee klassen van materialen: oxide-grenslagen en Weyl halfmetalen.

Wat betreft de oxide-grenslagen is onze aandacht uitgegaan naar het $\text{LaAlO}_3 / \text{SrTiO}_3$ (strontium-titanaat / lanthaan-aluminaat) grensvlak, dat een twee-dimensionaal elektronengas bevat met hoge mobiliteit. Het is een uniek systeem, met eigenschappen die niet in andere halfgeleider heterostructuren voorkomen. Hoewel LaAlO_3 and SrTiO_3 isolatoren zijn, kan het grensvlak toch geleidend worden, en zelfs supergeleidend bij temperaturen onder 1 Kelvin.

Men is actief op zoek naar het verband tussen supergeleiding enerzijds, en spin-baankoppeling vanwege gebroken inversiesymmetrie anderzijds. Hiervoor is een goed begrip van de spin-baankoppeling nodig. Eerdere studies in de literatuur hebben dit effect afgedaan als te zwak om van invloed te kunnen zijn op de geleiding in het grensvlak. Men legde in plaats daarvan de nadruk op de effecten van interacties tussen de elektronen. In samenwerking met experimentatoren in Delft hebben we aanwijzingen gevonden dat de gemeten grote magnetoweerstand gedreven wordt door

de spin-baankoppeling, zelfs in afwezigheid van interacties.

In hoofdstuk twee van dit proefschrift laten we zien dat de anisotropie van de magnetoweerstand ook op deze manier kan worden verklaard. We hebben gevonden dat de amplitude en de vorm van de magnetoweerstand-oscillaties direct gerelateerd zijn aan de spin-baankoppeling in Blochtoestanden aan het Fermi-niveau.

Vanaf hoofdstuk drie richten we ons op Weyl halfmetalen. Dit zijn driedimensionale materialen met de bijzondere combinatie van een lineaire dispersie binnenin het materiaal (“drie-dimensionaal grafeen”) en topologische toestanden aan het oppervlak (“Fermi arcs”). In de afwezigheid van tijdomkeersymmetrie en/of inversiesymmetrie heeft de bandstructuur een conische vorm met snijpunten, zogenaamde “Weyl nodes”, die ongevoelig zijn voor lokale verstoringen en een bepaalde “chiraliteit” bezitten.

In dit proefschrift hebben we “magnetische” Weyl halfmetalen onderzocht (dus met gebroken tijdomkeersymmetrie), die een enkel paar Weyl conussen hebben in de Brillouinzone. Chirale Weylfermionen hebben een spin die is uitgelijnd met de impuls, parallel of antiparallel. Weyl halfmetalen van type I, met een puntvormig Fermi-oppervlak, zijn het onderwerp van hoofdstuk drie en vier. In hoofdstuk vijf breiden we de studie uit naar type II, waarin de Weyl conus is gekanteld, en naar Weylfermionen met een topologische lading groter dan één (hogere orde Weylpunten).

In hoofdstuk drie laten we zien dat er geen Andreev-reflectie optreedt aan het grensvlak tussen een magnetisch Weyl halfmetaal en een conventionele supergeleider (*s*-wave spin-singlet). De reden hiervoor is dat de vereisten van afwezigheid van transport van impuls of spin aan de Cooperparen niet te rijmen zijn met de “spin-momentum locking” van de Weylfermionen.

In hoofdstuk vier onderzoeken we het magnetotransport in een Fermi-oppervlak dat een 8-vorm heeft. Dit treedt op in een dunne film van een magnetisch Weyl halfmetaal waarin eveneens de inversiesymmetrie is gebroken. De kruising in de “8” is het gevolg van menging van toestanden aan het oppervlak van de dunne film en binnenin. In een sterk loodrecht magnetisch veld ontstaan twee type van randkanalen, die in tegengestelde richting bewegen: het ene type is nauw, het andere breed, afhankelijk van hoe diep het randkanaal zich in het binnenste van het materiaal uitstrekt. Door middel van een aangelegde spanning kan men selectief het nauwe of het brede randkanaal bevolken, en de elektrische stroom kan zo van de ene naar de andere rand verschoven worden door de richting van het magneetveld te inverteren. Deze effecten zijn karakteristiek voor de 8-vorm van het Fermi-oppervlak en zouden gemeten kunnen worden.

In hoofdstuk vijf bereken we de quantumcorrecties op de Bohr-Sommerfeld kwantisatieregels voor cyclotronbeweging in verschillende soorten Weylpun-

ten. Deze correcties verschuiven de fase van de magneto-oscillaties van grootheden zoals de magnetisatie of de geleiding. De faseverschuiving heeft verschillende bijdragen: er is de Maslov-fase ten gevolge van de brandpunten in de cyclotronbaan, er is de Berry-fase die informatie bevat over de topologie van de bandstructuur, en er is de fase ten gevolge van tunnels tussen banen dicht bij het Weylpunt (“magnetic breakthrough”). We vinden dat voor de 8-vormige cyclotronbanen de faseverschuiving bij een hogere orde Weylpunt goed gequantiseerd is, ten gevolge van het wegvallen van bijdragen van elektronen en van gaten.