



Universiteit
Leiden
The Netherlands

On the coexistence of Landau levels and superconductivity

Pacholski, M.J.

Citation

Pacholski, M. J. (2021, September 30). *On the coexistence of Landau levels and superconductivity. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3214421>

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/1887/3214421>

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

Samenvatting

Landau-niveaus zijn quantumtoestanden die ontstaan uit de periodieke cyclotronbeweging in een magnetisch veld van geladen deeltjes, zoals elektronen. De Landau-niveaus zijn verantwoordelijk voor bijzondere verschijnselen in de vaste stof, zoals het quantum-Hall-effect in twee-dimensionale halfgeleiders en het chirale magnetische effect in Weyl halfmetalen. Deze verschijnselen zijn interessant omdat zij een topologische oorsprong hebben.

Al zo'n dertig jaar geleden vroegen onderzoekers van het kaliber van Anderson, Schrieffer en Gorkov zich af of Landau-niveaux zouden kunnen optreden in supergeleiders, in het bijzonder in de hoge-temperatuur supergeleiders. Een supergeleider probeert het magnetisch veld buiten te dringen (het zogenaamde Meissner-effect), maar in de hoge-temperatuur supergeleiders kan het magneetveld toch binnendringen via wervelingen ("vortices"). Deze onderzoekslijn heeft niets opgeleverd, omdat al snel bleek dat die wervelingen de elektronen sterk verstrooien en de Landau-niveaux compleet tenietdoen.

De belangrijkste bijdrage van dit proefschrift is de ontdekking dat de Landau-niveaux wel stabiel blijven als de geladen deeltjes een zogenaamde chirale symmetrie bezitten. De chirale symmetrie beschermt de Landau-niveaux voor de verstoring door de wervelingen. Omdat de bescherming een gevolg is van een wiskundige stelling uit de topologie (het Atiyah-Singer indextheorem), spreken we van een topologische bescherming.

We onderzoeken twee type deeltjes met chirale symmetrie, die voorkomen in een Weyl supergeleider (hoofdstuk 2) en in een Fu-Kane supergeleider (hoofdstuk 5). In beide gevallen gaat het om massaloze deeltjes, in de Weyl supergeleider bewegen ze zich in drie dimensies, in de Fu-Kane supergeleider slechts in twee dimensies (namelijk aan het oppervlak van een topologische isolator).

De aanwezigheid van Landau-niveaus geeft aanleiding tot supergeleidende analogiën van het quantum-Hall-effect en het chirale magnetische effect, zoals we beschrijven in hoofdstukken 3 en 4. Een onverwachte ontdekking is dat er een elektrische stroom kan optreden die parallel loopt aan het magnetische veld, met een waarde die gekwantiseerd is. Deze stroom ontstaat zonder dat er een elektrisch veld aan te pas komt, het is een puur evenwichtsverschijnsel. Dit is een markante tegenstelling met het

Samenvatting

bekende chirale magnetische effect, wat alleen buiten evenwicht optreedt.

In hoofdstuk 6 nemen we een zijspoor, door een meer technisch probleem op te lossen: de computersimulatie van massaloze deeltjes (Dirac fermionen) op een rooster. We ontwikkelen een methode om het welbekende verdubbelingsprobleem te omzeilen (het probleem dat de discretisatie van een differentiaalvergelijking op een rooster een verdubbeling van de massaloze deeltjes veroorzaakt). De methode maakt het mogelijk om de massaloze deeltjes die in de overige hoofdstukken van het proefschrift optreden op een computer te simuleren.