



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Integer and fractional quantum hall effects in lattice magnets

Venderbos, J.W.F.

Citation

Venderbos, J. W. F. (2014, March 25). *Integer and fractional quantum hall effects in lattice magnets*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/24911>

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/1887/24911>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/24911> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Venderbos, Jörn Willem Friedrich

Title: Integer and fractional quantum hall effects in lattice magnets

Issue Date: 2014-03-25

SAMENVATTING

Voor een groot aantal vaste stoffen geldt dat hun eigenschappen slechts kunnen worden begrepen door de (soms sterke) wisselwerking tussen de elektronen in die vaste stof in beschouwing te nemen. Wisselwerkingen ofwel interacties tussen de elektronen, voortvloeiend uit de repulsieve Coulomb-kracht, zijn namelijk verantwoordelijk voor een grote verscheidenheid aan fysische verschijnselen en materiaaleigenschappen. Men kan denken aan Mott-isolatie, diverse vormen van magnetisme, orbitaal-ordening, ferro-elektricititeit en supergeleiding. In dit proefschrift bestuderen we interacties tussen elektronen op verschillende manieren en kijken we specifiek naar het karakter van de elektronische grondtoestand.

In het eerste deel van dit proefschrift bestuderen we de wisselwerking tussen gelokaliseerde elektronen en anderzijds elektronen die door het kristalrooster kunnen bewegen. Gelokaliseerde elektronen behoren toe aan een specifiek atoom in het kristalrooster en vormen (gelokaliseerde) spin momenten. Een dergelijke wisselwerking zorgt er in het algemeen voor dat de gelokaliseerde spin momenten de neiging hebben allemaal in dezelfde richting te wijzen, dat wil zeggen een “ferromagnetische” toestand te realiseren. De interactie tussen de gelokaliseerde spin momenten zelf daarentegen, is van “anti-ferromagnetische” aard en heeft daarom de neiging om deze spin momenten in tegenovergestelde richting te laten wijzen. Het systeem kan niet tegelijk aan beide neigingen toegeven omdat ze met elkaar in strijd zijn. Afhankelijk van de materiaal-specifieke relatieve grootte van die twee met elkaar strijdige interacties vindt het systeem een middenweg. Een dergelijk compromis kan leiden tot nieuwe en interessante magnetische en elektronische toestanden. Voor zowel ferromagnetische en anti-ferromagnetische toestanden kunnen we altijd een as vinden waarlangs we alle spins kunnen leggen. Dat soort toestanden heten “collineair”: alle spins liggen op één lijn. Toestanden waarvoor dat niet geldt, maar waarvoor alle spins in één vlak liggen heten “coplanair” (coplanar). Dan zijn er nog toestanden waarvoor ook dat laatste niet geldt, en die worden doorgaans aangeduid met de term “niet-coplanair” (non-coplanar). Zulke toestanden zijn zeldzaam, maar kunnen juist ontstaan als gevolg van met elkaar strijdige interacties.

In de hoofdstukken twee tot en met vier laten we zien hoe nieuwe interessante magnetische toestanden worden gevormd als compromis tussen met elkaar strijdende interacties. Een belangrijke factor bij het vinden van een dergelijk compromis blijkt de structuur van het kristalrooster te zijn. Als het kristalrooster “gefrustreerd” is geeft dat vaak aanleiding tot niet-coplaire toestanden. De magnetische energie van een verzameling spins op een rooster wordt meestal uitgedrukt als som over de energie van naburige paren spins. Een gefrustreerd rooster is een rooster waarvoor geldt dat de magnetische energie niet voor elk paar naburige spins minimaal kan zijn. Hoofdstuk drie bespreekt de spin-elektron interactie voor een hexagonaal grafeen-rooster, ook wel kippengasrooster genoemd, en dat is een voorbeeld van een rooster dat juist niet gefrustreerd is. Hoofdstuk vier behandelt vervolgens het gefrustreerde schaakbordrooster (in het Engels “checkerboard”). Niet alleen is dit een voorbeeld van een gefrustreerd rooster, het heeft ook de eigenschap dat de magnetische interactie tussen de spins geen unieke toestand selecteert die de laagste energie heeft. Er bestaat een hele verzameling magnetische toestanden die de totale magnetische energie minimaliseren. Elektronen die met de gelokaliseerde spins wisselwerken veranderen dat en kiezen een speciale toestand als unieke grondtoestand.

Waarom zijn deze bijzondere magnetische toestanden die ontstaan door de wisselwerking van gelokaliseerde spins en niet-gelokaliseerde elektronen interessant? De reden is de volgende: als de spins niet allemaal in een vlak liggen (een niet-coplaire toestand) en de elektronen door deze magnetische toestand bewegen, dan lijkt het voor hen net alsof ze door een echt magneetveld bewegen. Van elektronen in een magneetveld weten we dat dit leidt tot de speciale Landau-kwantisatie van de energieën en het Quantum Hall Effect. Het Quantum Hall Effect kan ook optreden zonder magneetveld in het geval elektronen met spins wisselwerken die een magneetveld nabootsen. Die eigenschap maakt van de materialen waarin dit verschijnsel voorkomt topologische isolatoren. Topologische isolatoren zijn elektrisch isolerende materialen die speciale geleidende randtoestanden hebben.

In het tweede deel van dit proefschrift gaan we een stap verder en kijken we naar mogelijkheden om niet alleen het Quantum Hall Effect zonder magneetveld na te bootsen in magnetische materialen, maar het Fractionele Quantum Hall Effect. Het Fractionele Quantum Hall Effect in een twee-dimensionaal elektrongas ontstaat als gevolg van de sterke interactie tussen elektronen in het laagste “Landau-level”, de volkomen vlakke elektronenband die ontstaat als gevolg van het magneetveld. Nu we weten dat een dergelijke elektronenband ook kan ontstaan zonder magneetveld, rijst de vraag of de mogelijkheid bestaat dat effectieve interacties tussen elektronen in die band tot een Fractioneel Quantum Hall Effect kunnen leiden. Op die vraag wordt in de hoofdstukken vijf tot en met zes ingegaan en we tonen aan dat die mogelijkheid inderdaad bestaat.

In het derde deel van dit proefschrift kiezen we een ander perspectief om het effect

van elektron correlaties te onderzoeken. Het vetrekpunt is de vrije bandenstructuur van het materiaal, die afhangt van het kristalrooster. De dichtheid van electronen bepaalt het Fermi-oppervlak en we stellen de vraag hoe interacties de bandenstructuur dicht bij dat Fermi-oppervlak veranderen. We gaan ervan uit dat de interacties tussen elektronen aanleiding geven tot elektronische ordening die beschreven kan worden met dichtheidsgolven. Dat kunnen ladingsdichtheidsgolven, spindichtheidsgolven, maar ook paardichtheidsgolven of fluxdichtheidsgolven zijn. Al deze dichtheidsgolven klassificeren we op grond van de roostersymmetrieën die zij behouden of breken. Vervolgens laten we voor zowel roosters met dezelfde symmetrie als een vierkant rooster, als roosters met dezelfde symmetrie als een driehoeksrooster zien dat de symmetrie van een dichtheidsgolf al heel veel vertelt over de elektronische eigenschappen van de dichtheidsgolf. In het bijzonder leert de symmetrie van de dichtheidsgolf ons veel over het topologische karakter van de bandenstructuur die bij de dichtheidsgolf hoort. Daarmee kunnen we een licht laten schijnen op de manier waarop, en onder welke omstandigheden, interacties tussen elektronen topologische toestanden der materie induceren.

