

University of Groningen

Unconventional magnetic states and defects

Barts, Evgenii

DOI:
[10.33612/diss.784926551](https://doi.org/10.33612/diss.784926551)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2023

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Barts, E. (2023). *Unconventional magnetic states and defects*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.784926551>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

In de afgelopen paar eeuwen heeft onze wereld een snelle industrialisatie en verstedelijking meegemaakt, wat de wereldwijde economische groei blijft stimuleren. Het is echter cruciaal om de uitdagingen te erkennen die gepaard gaan met deze groei, met name het hoge energieverbruik dat nodig is voor snelle ontwikkeling. Dit niveau van energieverbruik is op de lange termijn niet duurzaam vanwege de dreigingen van de opwarming van de aarde en de beperkingen van onze natuurlijke hulpbronnen. Daarom is het van groot belang om manieren te vinden om het wereldwijde energieverbruik te controleren en te verminderen. Informatie vormt de kern van alle belangrijke energieverbruikende landen, aangezien apparaten die gegevens verwerken en opslaan aanzienlijke energie vereisen. Door te zoeken naar innovatieve en efficiënte methoden voor gegevensopslag met een laag energieverbruik werken we aan een duurzamere toekomst voor onze planeet.

Magnetisch geheugen is een essentiële technologie die wordt gebruikt in moderne harde schijven om gegevens op te slaan. Het maakt gebruik van grote streepdomeinen van magnetisatie die ofwel omhoog of omlaag worden gericht om de informatieve bits te vertegenwoordigen. Een voorgesteld idee om deze technologie te verbeteren, was het gebruik van cilindrische domeinen van omgekeerde magnetisatie, genaamd magnetische bubbels. Helaas bleek deze aanpak niet zo efficiënt te zijn als het halfgeleidergeheugen, dus bleven onderzoekers op zoek naar nieuwe manieren om magnetisch geheugen te verbeteren.

Een veelbelovende aanpak is het gebruik van iets dat magnetische Skyrmions wordt genoemd. Deze kleine magnetische deeltjes zijn zeer stabiel en kunnen worden verplaatst door een elektrische stroom. Deze eigenschappen maken Skyrmions ideale kandidaten voor racetrack-geheugentoestellen, waarbij de Skyrmions zich langs een nanodraad bewegen, vergelijkbaar met een trein op een spoor. Deze technologie kan magnetische geheugentoestellen veel efficiënter en krachtiger maken dan ze momenteel zijn.

Wetenschappers bestuderen ook intensief andere onconventionele magnetische toestanden en defecten in materialen. Ze zoeken naar nieuwe opkomende fasen van materie, robuuste nanoschaal kwantum- Skyrmions en nieuwe soorten topologische defecten in niet-collineaire antiferromagneten. Door specifieke materialen te bestuderen, streven we ernaar beter te begrijpen hoe deze nieuwe toestanden kunnen worden gestabiliseerd en gecontroleerd. Deze inzichten zijn cruciaal voor het begrijpen van hoe magnetisch geheugen werkt op microscopisch niveau en hoe het in de toekomst kan worden verbeterd.

In deze scriptie hebben we ons gericht op realistische magnetische materialen waarvan experimenteel is aangetoond dat ze unieke magnetische toestanden te herbergen, die conventionele magnetische modellen niet kunnen beschrijven. We hebben gebruikgemaakt van state-of-the-art analytische en numerieke methoden, zoals gedetailleerd beschreven in Hoofdstuk 1. Hoofdstuk 1 presenteert ook de belangrijkste mechanismen in de magnetische energieën van deze materialen die niet-collineaire magnetische texturen stabiliseren, en onderzoekt dit vanuit zowel microscopisch als macroscopisch perspectief.

In Hoofdstuk 2 hebben we theoretisch onderzoek gedaan naar magnetisme in dunne films van SrRuO_3 . Dit ferromagnetische materiaal vertoont opmerkelijke stabiliteit van het Skyrmionkristal bij temperatuurveranderingen en gekantelde magnetische velden. We ontdekten een interessante wisselwerking tussen magnetostatische, tweede- en vierde-orde anisotrope interacties. Deze combinatie leidt uiteindelijk tot de robuuste Skyrmionkristalfase in dit materiaal.

In Hoofdstuk 3 hebben we de niet-collineaire antiferromagneet, $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, genaamd Fe-gebaseerd langasite, theoretisch bestudeerd. Recente experimenten toonden aan dat dit complexe materiaal onconventionele magnetische structuren herbergt als gevolg van meerdere concurrerende spininteracties. Om deze structuren te begrijpen, hebben we een effectief model ontworpen dat grootschalige magnetische superstructuren in dit materiaal beschrijft en hun gedrag onder invloed van aangelegde magnetische velden heeft bestudeerd. Door dit model te gebruiken, hebben we succesvol experimentele resultaten gereproduceerd. Ons onderzoek leidde tot de ontdekking van nieuwe magnetische toestanden, zoals de driedimensionale Skyrmion en andere tweedimensionale vortices. Interessant is dat vergelijkbare deeltjesachtige toestanden werden voorspeld in andere fysische contexten, zoals de deeltjesfysica en superfluïde ^3He . Dit werk heeft aanzienlijke implicaties, omdat het nieuwe mogelijkheden opent om naar andere materialen te zoeken die compacte niet-collineaire structuren in drie dimensies herbergen. Dergelijke materialen kunnen worden gebruikt in driedimensionale ontwerpen van geheugentoestellen en de weg effenen voor spannende vooruitgang op dit gebied.

In Hoofdstuk 4 leiden we een effectief spinmodel af van het ferromagnetische van der Waals-materiaal, CrI_3 . CrI_3 is bijzonder interessant omdat het een van de eerste

magnetische materialen was die met succes werden geëxfolieerd tot een monolaag, waardoor het een magnetische analogie van grafeen is die het mogelijk maakt om magnetisme in twee dimensies te bestuderen. Een uniek kenmerk van dit materiaal is zijn het zware jodium, waarvan voorspeld werd dat deze bindingsafhankelijke anisotropie van spininteracties veroorzaakt. Deze anisotrope Kitaev-interacties vormen de basis van een van de meest intrigerende ideeën voor het verkrijgen van niet-vluchtige kwantumberekeningen. Onze modelberekeningen verduidelijken de oorsprong van spinafhankelijke interacties tussen magnetische ionen en leggen een solide basis voor het gebruik en verder onderzoek van deze anisotrope tweedimensionale magneten.

In Hoofdstuk 5 bestuderen we numeriek het proces van magnetisatieomkering in het Zn-gedotteerde kamiokiet $\text{Fe}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Mo}_3\text{O}_8$. Dit ferrimagnetische materiaal vertoont een sterke koppeling tussen magnetische en ferro-elektrische ordening. Onze simulaties verklaren de recent waargenomen bulten in elektrische polarisatie tijdens het magnetische omschakelingsproces van dit materiaal. Verrassend genoeg komen de pieken in de elektrische polarisatie voort uit de metastabiele antiferromagnetische fase die zich tussen de magnetische omhoog- en omlaagtoestanden bevindt. Deze ontdekking werpt licht op de wisselwerking tussen het magnetische en elektrische gedrag van dit materiaal en draagt bij aan een beter begrip van zijn unieke gedrag.

