

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/68031> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Lahabi, K.

Title: Spin-triplet supercurrents of odd and even parity in nanostructured devices

Issue Date: 2018-12-04

SAMENVATTING

Dit proefschrift heeft als onderwerp triplet supergeleiding, waarmee een condensaat van Cooperparen bedoeld wordt dat bestaat uit elektronen met gelijk-gerichte spins. De supergeleidende golffunctie van een triplet is zodanig dat of het tijdsafhankelijke deel of het plaatsafhankelijk deel wordt gerepresenteerd door een oneven functie. Deze soorten triplet supergeleiding worden respectievelijk 'odd-frequency' en 'odd-parity' triplets genoemd. Wij gebruiken hybride magnetische structuren om de eerste type triplets te onderzoeken, en mesoscopische structuren gefabriceerd van het materiaal strontium ruthenaat (Sr_2RuO_4) om het tweede type te bestuderen.

TRIPLET CORRELATIES IN MAGNETISCHE HYBRIDES

Hoewel odd-frequency (even pariteit) triplet supergeleiding tot nu toe niet in de natuur is waargenomen, is het wel mogelijk om tripletcorrelaties met een grote correlatielengte te genereren in zorgvuldig ontworpen supergeleider-ferromagneet hybriden. Deze spin-gepolariseerde Cooperparen staan centraal in het nieuwe gebied van de *supergeleidende spintronica*. Dit gebied houdt de belofte in van een nieuwe generatie technologie gekarakteriseerd door een laag energieverbruik en laag warmteverlies, met toepassingen zoals state-of-the-art sensoren, supergeleidende circuits, kwantum computing en niet-vluchtig cryogeen geheugen. Normaliter ligt de focus daarbij op het spin-gepolariseerde karakter van de triplets, dat mogelijk kan worden gebruikt voor het met lage dissipatie schakelen van magnetisatie. Het fundamentele mechanisme voor het genereren van triplet-correlaties levert echter ook een uitzonderlijk niveau van controle over de supergeleiding zelf. We tonen dit aan door het combineren van state-of-the-art micromagnetische simulaties en transportexperimenten in mesoscopische preparaten. In Hoofdstuk 4 beschrijven we hoe zulke micromagnetische simulaties kunnen worden gebruikt om Josephson juncties te ontwerpen waarin het pad van de spin-triplet superstroom door de junctie beïnvloed kan worden. We gebruiken hiervoor een schijfvormige Josephson-junctie met een dunne kobalt laag als barrière. Deze schijfvormige laag bevat een magnetische vortex, met een kern in het midden. We tonen aan hoe de superstroomkanalen gecontroleerd kunnen worden door het verplaatsen van de vortex met het aanbrengen van een magnetisch veld.

Het injecteren van lange-afstand tripletcorrelaties in een ferromagneet vereist een bepaalde mate van magnetische inhomogeniteit aan het grensvlak van supergeleider

en ferromagneet. Tot nu toe werd dit gerealiseerd door middel van meerdere (minstens twee) ferromagnetische lagen met niet-collineaire magnetisatie. In Hoofdstuk 4 zijn hiervoor nikkel contacten op de kobalt schijf gebruikt. Het beheersen van de magnetisatie van de individuele lagen is echter een stevige uitdaging. Eenvoudiger zou zijn om de spintextuur van een enkele ferromagneet te implementeren. Dit type structuur, dat we de spin-getextureerde Josephson junctie noemen, wordt beschreven in Hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk demonstreren we hoe tripletstromen worden gegenereerd door de exchangeveld gradienten van een ferromagnetische wervel in een kobalt schijf. Deze structuren laten dynamische controle toe van de fase, amplitude, en ruimtelijke distributie van triplet superstromen.

De spin-getextureerde juncties zijn ook veelbelovend als niet-vluchtige supergeleidende geheuelementen. De maximale superstroom die onze juncties aankunnen voor ze weerstand vertonen (de kritische stroom van de junctie) hangt af van de configuratie van de transport kanalen en wordt bepaald door de positie van de ferromagnetische wervel of wervels in de kobalt schijf. Er is een aantal stabiele magnetische ‘nul-veld’ configuraties waarin het systeem kan worden gebracht en elke toestand heeft een eigen kritische stroom (variërend van maximaal tot nul). De waarde van deze nul-veld kritische stroom kan dus gezien worden als een “bit” die de junctie kan opslaan (bv. 0 voor de minimumwaarde van de kritische stroom en 1 voor het maximum). Hoewel de structuur supergeleidend is om het bit te “lezen”, gaat de informatie niet verloren wanneer het systeem gedurende langere tijd tot kamertemperatuur wordt opgewarmd.

‘ODD-PARITY’ IN Sr_2RuO_4

Sr_2RuO_4 is een van de weinige materialen die ‘oneven-pariteit’ triplet supergeleiding vertoont. In het specifieke geval van strontium ruthenaat is de verwachting dat de supergeleidende golf functie een eindig baanimpulsmoment heeft. Dit kan worden beschouwd als een relatieve baanbeweging van de twee elektronen in een Cooperpaar, met de klok mee dan wel tegen de klok in. Het onderscheid tussen de draairichtingen wordt ‘chiraliteit’ genoemd, waarbij de chiraliteiten corresponderen met twee ontaarde grondtoestanden (grondtoestanden met gelijke energie). Een interessante consequentie hiervan is het bestaan van zogeheten supergeleidende chirale domeinen in bulk Sr_2RuO_4 kristallen, die van elkaar gescheiden zijn door domeinwanden. Ondanks het experimentele werk van de laatste twee decennia, zijn deze domeinwanden nog nooit waargenomen. In Hoofdstuk 7 presenteren we een nieuwe experimentele aanpak waarbij gebruik gemaakt wordt van hoge kwaliteit mesoscopische structuren van strontium ruthenaat. In deze structuren kan de domeinconfiguratie op een goed gecontroleerde manier gemaakt worden, zoals blijkt uit theoretische simulaties van de supergeleidende ordeparameter. In het bijzonder richten we ons op de domeinwand tussen twee naburige domeinen,

die gedrag vertoont van een onconventionele Josephson-junctie door de lokale onderdrukking van het supergeleidende condensaat. Het type structuren dat gebruikt wordt in Hoofdstuk 7 zijn mesoscopische ringen gefabriceerd uit een enkel Sr_2RuO_4 kristal. Simulaties van de ordeparameter in de ring voorspellen een grondtoestand met meerdere domeinen, waarbij een domeinwand gevonden kan worden in beide armen van de ring. Hierdoor ontstaan Josephson-juncties op de locaties van de domeinwanden. Door het bestuderen van dit systeem met behulp van transportmetingen, vinden we kritische stroom-oscillaties vergelijkbaar met die van een DC SQUID (een ‘Superconducting Quantum Interference Device’) met twee symmetrische Josephson-juncties.

Een van de meer fascinerende aspecten van de chirale domeinwand-juncties is het gedrag van de Josephson-energie als functie van het faseverschil van het condensaat aan beide kanten van de junctie. In tegenstelling tot klassieke Josephson-juncties vertoont de Josephson-energie als functie van het faseverschil φ : van een chirale domeinwand-junctie *twee* ongelijke minima: één daarvan is een globaal minimum en daarmee stabiel (φ_0), terwijl het andere metastabiel is (φ'). Hierbij worden φ_0 en φ' bepaald door de oriëntatie van de domeinwand ten opzichte van de stroomrichting en kunnen ze waardes aannemen variërend van 0 tot π . We beschrijven hoe deze Josephson energie met twee minima zich manifesteert in een stroom-spannings karakteristiek met meerdere spannings-stappen, zoals wij vinden in onze transportmetingen.

Naast het leveren van overtuigend bewijs voor het bestaan van chirale domeinwanden in Sr_2RuO_4 , presenteren we een nieuw vooruitzicht op het gebruik van chirale domeinwanden als Josephson-juncties met aanpasbare grondtoestandsenergie. De stroom die door de Josephson-junctie loopt wordt gedreven door het eerder genoemde faseverschil tussen de contacten. In klassieke Josephson-juncties is dit faseverschil intrinsiek 0 of π (beide resulteren in afwezigheid van stroom door de junctie). In het geval van de chirale domeinwand is het faseverschil echter een arbitraire waarde tussen 0 en π . Hierdoor kan er een superstroom door de junctie lopen zonder dat er een spanningsverschil is aangelegd. Dit maakt dit een van de weinige bekende gevallen waarin zowel tijdomkeer-symmetrie als chirale symmetrie gebroken is. Naast een belofte voor interessante fysica in deze systemen, bieden ze mogelijke toepassingen voor kwantumcomputers en als fasebatterij of gelijkrichter.

