



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Experimental investigation of potential topological and p-wave superconductors

Trần, V.B.

Publication date
2014

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Trần, V. B. (2014). *Experimental investigation of potential topological and p-wave superconductors*.

General rights

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), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Nederlandse samenvatting

Supergeleiding speelt al meer dan 100 jaar een vooraanstaande rol in gecondenseerde materie, maar nog steeds stelt dit intrigerende verschijnsel onderzoekers voor experimentele en theoretische uitdagingen. Bijna alle huidige theoretische interpretaties beschouwen Cooper paren, zoals afgeleid in de microscopische theorie van Bardeen, Cooper en Schrieffer (BCS) in 1957, als het basisingrediënt van supergeleidende condensaten. In deze context kunnen supergeleiders als conventioneel (BCS) of onconventioneel geclassificeerd worden, gebaseerd op de symmetrie van de Cooperparen. Zeker opmerkelijk was dus in 2000 de ontdekking van supergeleiding in de UGe_2 omdat ferromagnetische orde (volgens het BCS formalisme) de vorming van Cooperparen in spin-singlet toestanden tegen werkt. Vervolgens zijn er nog enkele supergeleidende ferromagneten ontdekt: URhGe (2001), UIr (2004) en UCoGe (2007). Geavanceerde theoretische behandelingen die microscopisch het bestaan van supergeleidende ferromagneten proberen te verklaren, maken gebruik van modellen met spin fluctuaties dichtbij een quantum kritisch punt. Dit betekent dat het spin fluctuaties zijn in plaats van roostertrillingen, die supergeleiding mogelijk maken. Wat precies het mechanisme is achter de ferromagnetische supergeleiders is echter nog steeds een punt van discussie.

In de afgelopen jaren heeft een ander veld van onderzoek veel belangstelling gegenereerd, namelijk dat van topologische isolatoren en supergeleiders. Deze materialen kunnen, onder bepaalde omstandigheden, Majorana zero modes ondersteunen, die op hun beurt weer kandidaat zijn voor toepassing in topologische quantum berekeningen en computers. Onderzoek naar en het begrip van de intrinsieke eigenschappen van topologische supergeleiders zijn dus niet alleen cruciaal voor de realisatie van nieuwe toestanden van materie, maar kunnen ook leiden naar toepassing in nieuwe technologieën. Dit promotieonderzoek is een experimentele studie naar de onconventionele eigenschappen van de supergeleidende ferromagneet UCoGe en twee potentiële topologische supergeleiders: $Cu_xBi_2Se_3$ and YPtBi. De belangrijkste technieken gebruikte bij dit onderzoek zijn elektrische weerstand, magnetische metingen en μ SR. De experimenten zijn er met name op

gericht om het gecompliceerde Cooper-paringsmechanisme in deze nieuwe supergeleiders te verhelderen.

In Hoofdstuk 2 worden de experimentele technieken beschreven die gebruikt zijn tijdens het onderzoek voor dit proefschrift. De apparatuur die gebruikt is voor de metingen bij lage temperatuur en in hoge magneetvelden wordt geïntroduceerd. Ook wordt de ijking van de RuO₂ thermometer in hoog magneetveld en de ijking van de hoge druk cel besproken. De SR techniek gebruikt bij het Paul Scherrer Institute wordt ook kort beschreven.

Hoofdstuk 3 geeft een beknopt overzicht van de theoretische thema's die van toepassing zijn op dit project. Een algemene achtergrond wordt geschetst, die in latere hoofdstukken aan het experimentele werk wordt gekoppeld. Een overzicht van supergeleiding, quantum criticaliteit en quantum faseovergangen wordt gegeven en gerelateerd aan een nieuwe klasse van quantum materie: de supergeleidende ferromagneet. Dit wordt vervolgd met een beschrijving van de intrigerende eigenschappen van het laatste ontdekte familielid: UCoGe. Het hoofdstuk wordt vervolgd met een kort overzicht van deze recent ontdekking en gaat in op de robuuste eigenschappen van topologische isolatoren en supergeleiders. Vervolgens wordt de onderdrukking van supergeleiding in magnetische velden besproken. Met name worden de variaties in temperatuur van het bovenste kritische veld voor conventionele BCS *s*-wave en onconventionele supergeleiders belicht. De analyse van het bovenste kritische veld wordt in detail beschreven in Hoofdstukken 4 en 5 voor Cu_xBi₂Se₃ en YPtBi, respectievelijk.

Door middel van transport en magnetische metingen aan de potentiële topologische supergeleider Cu_xBi₂Se₃, is (in Hoofdstuk 4) de response van supergeleiding in dit systeem op een magneetveld en hoge druk, tot 2.3 GPa, onderzocht. Een hogere druk leidt tot een geleidelijke onderdrukking van de supergeleiding, die verdwijnt bij $p_c \sim 6.3$ GPa. Tegelijkertijd verliest het materiaal geleidelijk zijn metallische gedrag. Deze observaties kunnen verklaard worden aan de hand van een simpel model dat supergeleiders met een lage elektrondichtheid beschrijft. De analyse van het bovenste kritische veld toont aan dat de $B_{c2}(T)$ data met een universele curve beschreven kunnen worden. Deze curve verschilt duidelijk van het standaard gedrag van een zwak gekoppelde, orbitaal gelimiteerde, spin-singlet supergeleider. Alhoewel een anisotrope spin-singlet toestand niet uitgesloten kan worden, duiden de afwezigheid van Pauli beperking en de gelijkheid van $B_{c2}(T)$ met een polaire-toestandsfunctie op spin-triplet supergeleiding. Deze observaties zijn in overeenkomst

met theoretische voorstellen die suggereren dat $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ een veelbelovende kandidaat is voor de realisatie van een topologische supergeleider.

Transport, magnetische en μSR metingen aan YPtBi (één van de kandidaten voor topologische supergeleiding in de Half Heusler familie) worden gepresenteerd in Hoofdstuk 5. AC-susceptibiliteit en DC-magnetisatie data tonen aan dat er eenduidig sprake is van bulk supergeleiding. Een bovengrens voor het spontane inwendige veld, mogelijk geassocieerd met oneven-pariteit supergeleiding, is verkregen uit de nul-veld Kubo-Toyabe relaxatie snelheid bepaald uit de SR data. De afhankelijkheid van het bovenste kritische veld $B_{c2}(T)$ van de temperatuur, afgeleid van de elektrische weerstandsmetingen van kamerdruk tot en met 2.3 GPa, laat zien dat er sprake is van een supergeleidende toestand die afwijkt van het standaard BCS scenario. De $B_{c2}(T)$ data duiden op de aanwezigheid van een oneven-pariteit Cooperparingscomponent in de supergeleidende orde parameter, dit komt overeen met theoretische voorspellingen voor noncentrosymmetrische en topologische supergeleiders.

Al laatste wordt in Hoofdstuk 6 een uitgebreide studie van de magnetoweerstand aan eenkristallijne preparaten van de ferromagnetische supergeleider UCoGe gepresenteerd. Hierbij is het magneetveld in de bc - en ac -vlakken van de orthorhombische eenheidscel gericht. Er wordt een karakteristieke structuur in de magnetoweerstand waargenomen wanneer de component van het magneetveld langs de c -as een waarde van $B^* = 8.5$ T bereikt. Hoekafhankelijke metingen tonen aan dat dit door het magneetveld geïnduceerde effect een uniaxiale anisotropie heeft. Magnetoweerstandsmetingen onder hydrostatische druk laten een ruwweg lineair en snel stijgend verband zien tussen B^* en de druk: $dB^*/dp = 3.2$ T/GPa. De uniaxiale aard van B^* en zijn grote variaties in druk zijn consistent met de interpretatie dat de verandering in magnetoweerstand gerelateerd is aan een ongebruikelijke polarizatie van de U en Co magnetische momenten. Metingen van het bovenste kritische veld bevestigen de bijzondere S-vorm van de $B_{c2}(T)$ curve voor een magneetveld langs de b -as. Alhoewel dit onderzoek, samen met vergelijkbare studies, helpt de eigenschappen van UCoGe nader te bepalen, is er, om uiteindelijk het fascinerende materiaal UCoGe in detail te begrijpen, met name wat betreft het nauwe verband tussen het veldgeïnduceerde verschijnselen zoals een quantum kritisch punt of Lifshitz transitie en supergeleiding, vervolg onderzoek nodig om de sterk anisotropische thermische, magnetische en transport eigenschappen in deze belangrijke supergeleider te doorgronden.