



Doctoral Thesis

Interplay between superconductivity and magnetism

Author(s):

Egetenmeyer, Nikola Anna

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009796013> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21181

INTERPLAY BETWEEN SUPERCONDUCTIVITY AND MAGNETISM

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Nikola Anna Egetenmeyer

MSc ETH Physics

born on May 29th, 1985

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J. Mesot, examiner
Prof. Dr. M. Sigrist, co-examiner
Dr. M. Kenzelmann, co-examiner
Dr. J. L. Gavilano, co-examiner

2013

Abstract

In the framework of this thesis, projects of two topics in solid state physics were treated: the interplay between superconductivity and magnetism and magnetic vortex lattices. The first project was conducted on the exemplary compound CeRhSi_3 whose temperature-pressure phase diagram displays both antiferromagnetism at ambient and applied pressure, and superconductivity under pressure. Muon spin rotation (μSR) studies were conducted on the noncentrosymmetric heavy fermion (HF) CeRhSi_3 at ambient and applied pressures. A spin-density wave type quantum critical point (QCP) was directly observed at a pressure of 23.6 kbar. The ambient pressure antiferromagnetic phase at low temperatures was found to be characterized by the presence of 3 internal magnetic fields whose temperature dependence shows a 2nd order phase transition at $T_N = 1.67(7)$ K. The critical exponent was determined to be $\beta = 0.17(9)$. In agreement with literature, the Néel temperature found with the μSR measurements as a function of pressure shows a maximum at around 7 kbar. In contrast stands the continuous decrease of the internal fields with pressure. These two observations could be reconciled with a comparison to the Doniach phase diagram. In comparison to other HF systems CeRhSi_3 was shown to be very sensitive to the application of pressure which causes a change in the product $|JN_F|$ of the exchange coupling J and the density of states of the conduction electrons at the Fermi level N_F . A complete suppression of T_N and the internal magnetic fields with a 2nd order phase transition at 23.6 kbar was observed, evidencing the presence of a QCP. Since no drastic change in the size of the FS across this critical pressure had previously been reported and the magnitude of the internal fields does not indicate a breakdown of the Kondo effect with decreasing pressure, this QCP was further concluded to be of spin density wave type.

In the second part of the thesis two small angle neutron scattering (SANS) studies are presented. The SANS studies were taken out on two different material classes that both display magnetic vortices under specific conditions. The first compound is the magnetoelectric Cu_2OSeO_3 , the second one the high- T_c superconductor $\text{YBCO}_{6.85}$. In the SANS study on Cu_2OSeO_3 we demonstrate the manipulation of the skyrmion structure with

the application of an electric field. The investigation of the skyrmion lattice phase was conducted with the magnetic field along the $[111]$ and $[1\bar{1}0]$ directions. In the first case, switching on the electric field with $\mathbf{E} \parallel [111]$ showed no observable effect. While for a magnetic field parallel to $[1\bar{1}0]$ and the electric field $\mathbf{E} \parallel [111]$, a rotation of the two-dimensional skyrmion pattern as measured with SANS by ~ 5 to 6° was observed. This observation was concluded to be the result of the magnetoelectric nature of Cu_2OSeO_3 .

In the study on $\text{YBCO}_{6.85}$, the superconducting vortex arrangement was changed with the application of the magnetic field at an angle to the crystal c -axis and by changing the magnetic field. In this high- T_c compound it was found that the slight change from the doping of YBCO_7 to that of $\text{YBCO}_{6.85}$ drastically changes the magnetic field dependence of the VL structure for $\mu_0 \mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$. This was interpreted to result predominantly from changes to the Fermi surface by changing the doping. Creating an angle between the magnetic field and the c -axis, the electronic properties and therefore also the vortex lattice arrangement of $\text{YBCO}_{6.85}$ can be manipulated. The resulting vortex lattice-field-angle phase diagram was explored and characteristic superconducting parameters were determined for $\text{YBCO}_{6.85}$. The latter were compared to those of YBCO_7 .

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit, wurden Projekte von zwei Themen aus der Festkörperphysik behandelt: das Zwischenspiel zwischen Supraleitung und Magnetismus und magnetische Vortextgitter. Das erste Projekt wurde auf der modellhaften Verbindung CeRhSi_3 ausgeführt, deren Temperatur-Druck Phasendiagramm sowohl Antiferromagnetismus bei normal und bei angelegtem Druck, als auch Supraleitung unter Druck aufweist. Eine Studie mit der Muon Spin Rotations (μSR) Methode wurde auf dem nicht-zentrumsymmetrischen schweren Fermion CeRhSi_3 bei normal und angelegtem Druck durchgeführt. Ein Spindichtewelleartiger Quanten kritischer Punkt (QKP) konnte direkt beobachtet werden bei einem Druck von 23.6 kbar. Die normal Druck antiferromagnetische Phase bei tiefen Temperaturen hat 3 interne magnetische Felder aufgezeigt, deren Temperaturabhängigkeit einen Phasenübergang zweiter Ordnung bei $T_N = 1.67(7)$ K aufweist. Der kritische Exponent wurde bestimmt als $\beta = 0.17(9)$. In Übereinstimmung mit der Literatur, wurde mit den μSR Messungen gefunden, dass die Néel Temperatur als Funktion des Drucks ein Maximum bei ungefähr 7 kbar hat. Im Gegensatz dazu steht die kontinuierliche Abnahme der internen Felder mit dem Druck. Diese zwei Beobachtungen konnten jedoch vereint werden durch einen Vergleich mit dem Doniach Phasendiagramm. Im Vergleich zu anderen schweren Fermionen Systemen, stellte sich CeRhSi_3 als sehr sensitiv heraus beim Anlegen eines Drucks, was eine Veränderung des Produkts $|JN_F|$ aus der Austauschkopplung J und der Zustandsdichte N_F der Leitungselektronen am Fermilevel hervorruft. Eine vollständige Unterdrückung von T_N und der internen magnetischen Felder mit einem zweite Ordnungs Übergang bei 23.6 kbar wurde festgestellt, was Beweismaterial für einen QKP darstellt. Da bisher berichtet wurde, dass keine drastische Änderung in der Grösse der Fermifläche über diesen kritischen Druck hinweg auftritt, und die Grösse der internen Felder keinen Abbruch des Kondoeffekts andeutet bei abnehmendem Druck, wurde dieser QKP als vom Typ der Spindichtewelle interpretiert.

Im zweiten Teil dieser Arbeit werden zwei Untersuchungen mit Hilfe der Kleinwinkelstreuung (SANS) präsentiert. Die SANS Experimente wurden auf zwei verschiedenen

Materialklassen ausgeführt, die beide magnetische Vertices aufzeigen unter bestimmten Bedingungen. Die erste Verbindung Cu_2OSeO_3 ist magnetoelektrisch, die zweite ist der Hochtemperatursupraleiter $\text{YBCO}_{6.85}$. In der SANS Studie auf Cu_2OSeO_3 demonstrieren wir die Manipulation einer Skyrmionstruktur durch das Anlegen eines elektrischen Feldes. Die Untersuchung der Skyrmionenphase wurde mit einem angelegten magnetischen Feld sowohl entlang der $[111]$ als auch der $[1\bar{1}0]$ Richtung durchgeführt. Im ersten Fall zeigte das Anlegen des elektrischen Feldes, bei dem $\mathbf{E} \parallel [111]$ war, keinen beobachtbaren Effekt. Während für den Fall mit dem Magnetfeld parallel zu $[1\bar{1}0]$ und einem elektrischen Feld mit $\mathbf{E} \parallel [111]$ eine Rotation um ~ 5 bis 6° des zweidimensionalen Skyrmionenmusters, so wie es mit der SANS Methode gemessen wurde, festgestellt werden konnte. Diese Beobachtung wurde auf den magnetoelektrischen Charakter von Cu_2OSeO_3 zurückgeführt.

In der $\text{YBCO}_{6.85}$ Studie wurde die Vortexanordnung durch das Anlegen eines magnetischen Feldes verändert, durch die Änderung des Winkels zur c -Achse, und durch die Änderung der Stärke des magnetischen Feldes. In dieser Hochtemperatursupraleitungsverbindung wurde herausgefunden, dass eine minimale Abänderung der Dotierung von YBCO_7 auf $\text{YBCO}_{6.85}$ eine drastische Veränderung der Magnetfeldabhängigkeit der Vortextgitterstruktur bei $\mu_0 \mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$ hervorruft. Dies wurde hauptsächlich auf die Änderungen in der Fermifläche zurückgeführt, was durch Dotierungsänderungen zustande kommt. Die elektronischen Eigenschaften und dadurch auch die Vortexanordnung von $\text{YBCO}_{6.85}$ werden manipuliert indem man das magnetische Feld in einem Winkel zur c -Achse anlegt. Das resultierende Vortextgitter-Feld-Winkel Phasendiagramm wurde untersucht und die charakteristischen Parameter des $\text{YBCO}_{6.85}$ Supraleiters bestimmt. Letztere wurden mit denen von YBCO_7 verglichen.