



Doctoral Thesis

Phänomenologischer Aspekte anisotroper Supraleitung

Author(s):

Sigrist, Manfred

Publication Date:

1989

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000510427> →

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](#).

28. Juni 1989

Diss. ETH Nr. 8851

PHÄNOMENOLOGISCHE ASPEKTE
ANISOTROPER SUPRALEITUNG

Abhandlung
zur Erlangung des Titels
Doktor der Naturwissenschaften
der
Eidgenössischen Technischen Hochschule

vorgelegt von

Manfred Wilhelm Sigrist

Dipl. Phys. ETH

geboren am 31. Dezember 1960 in Sarnen (OW)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. T.M. Rice

Prof. Dr. P. Lederer

J. M. Rice
P. Lederer

1989

Abstract

Various experimental results lead to the conclusion that the superconductivity of some Heavy-Fermion-materials is based on anisotropic Cooper-pairing. Possible superconducting states can be classified by their symmetry and the corresponding Ginzburg-Landau theories can be constructed. The latter are used as a powerful tool for the investigation of the special properties of anisotropic superconductors. The superconductivity phases are described by order parameters which are in general multidimensional and break sometimes time reversal and the point group symmetry of the crystal in addition to the $U(1)$ -gauge symmetry. The purpose of this thesis is the application of these phenomenological theories to various problems in the field of anisotropic superconductivity.

The properties of the phase transitions of anisotropic superconductors are investigated when the crystal symmetry is lowered by uniaxial stress. If the superconducting phase at the transition temperature is described by a solution of the linearized gap equation which belongs to a multidimensional irreducible representation of the point-group, the phase transition from the normal to the superconducting state can split into two, or even three consecutive transitions. Both first and second order transitions can occur. A complete discussion for the cases of cubic and hexagonal crystal symmetry is presented. The experimental observation of such a splitting would give information about the symmetry of superconductivity of the system.

Possible Ginzburg-Landau theories to describe the phase diagram of $U_{1-x}Th_xBe_{13}$ are examined under the assumption that at $x \approx 0.018$ two different types of anisotropic superconductivity cross. The second phase transition in the region $0.018 < x < 0.05$ is interpreted as an additional superconducting transition to a phase, which contains components of both symmetry types. This interpretation can easily be reconciled with the measurement of the critical magnetic field. The behavior under uniform pressure and also the data on the specific heat are qualitatively well described. We show that ultrasonic attenuation in the range $x > 0.018$ can be explained by a mechanism of dissipative domain wall motion and in the low temperature phase a coupling of the longitudinal sound wave can take place for the two directions $[0,0,1]$ and $[1,1,1]$. A prediction of our theory is the breaking of time reversal symmetry in the low temperature phase. In the case of odd parity pairing such states have a finite local spin polarization, which can explain the observed behavior of the zero field relaxation rate in μ SR-experiments.

The Ginzburg-Landau theory for the two-dimensional representations of the tetragonal point group D_{4h} is used in order to consider topological defects, like domain walls and vortices, in anisotropic superconducting phases. Domain walls which separate two superconducting phases, which are related by time reversal, are accompanied by spontaneous currents and magnetic fields. These do not cause a finite total magnetisation in the bulk region of the superconductor. It can also happen that domain walls which separate unitary states can spontaneously develop structures which break time reversal symmetry and thus have currents. In general these domain walls belong to multidimensional class. The existence of twofold degenerated domain walls can generate a line defect in the domain wall, similar to Bloch lines in ferromagnets. This defect corresponds to a vortex which carries only a fraction of a standard flux quantum. Since only the relative phase of the two components of the order parameter is the winding variable there is no normal core in this vortex. The critical field of this vortex is smaller than the field H_{c1} of a homogenous superconductor. The results of this investigation can be applied in a modified form to other types of anisotropic superconductivity with a multidimensional order parameter.

Kurzfassung

Eine Reihe von experimentellen Resultaten weisen darauf hin, dass die Supraleitung gewisser Heavy-Fermion-Materialien durch die Bildung von anisotropen Cooper-Paaren zustande kommt. Symmetrie-Betrachtungen erlauben die Klassifizierung möglicher Supraleitungszustände und die Konstruktion von Ginzburg-Landau-Theorien. Letztere bilden ein effizientes Instrument zur Untersuchung der besonderen Eigenschaften der anisotropen Supraleiter. Die Supraleitungsphasen werden durch Ordnungsparameter beschrieben, die im allgemeinen mehrkomponentig sind und neben der $U(1)$ -Eichsymmetrie oft auch die Zeitumkehr- und die Punkt-Symmetrie des Kristalls brechen. Diese Doktorarbeit ist eine Anwendung dieser phänomenologischen Theorien auf eine Reihe von Problemen im Bereich der anisotropen Supraleitung.

Es wird das Verhalten des Phasenübergangs anisotroper Supraleiter untersucht, wenn die Kristall-Symmetrie durch uniaxialen Druck erniedrigt wird. Wenn die Supraleitungsphase als Lösung der linearisierten Gap-Gleichung einer mehrdimensionalen Darstellung angehört, kann der Phasenübergang von Normalleiter zu Supraleiter in zwei, in einigen Fällen sogar in drei aufeinanderfolgende Phasenübergänge aufspalten. Dabei kommen Übergänge erster, wie auch zweiter Ordnung vor. Es wird eine vollständige Diskussion der kubischen und hexagonalen Kristall-Symmetrie durchgeführt. Die experimentelle Beobachtung einer solchen Aufspaltung des Phasenübergangs könnte Informationen über die Symmetrie der Supraleitungsphase des Systems liefern.

Es werden mögliche phänomenologische Theorien zur Beschreibung des Phasendiagramms von $U_{1-x}Th_xBe_{13}$ untersucht unter der Annahme, dass sich bei $x \approx 0.018$ zwei verschiedene Arten anisotroper Supraleitung kreuzen. Der zweite Phasenübergang im Bereich $x > 0.018$ wird als zusätzlicher Supraleitungsphasenübergang in eine Phase interpretiert, welche Komponenten beider Arten enthält. Dies kann in gute Übereinstimmung mit den Messungen des kritischen Magnetfeldes gebracht werden. Auch das Verhalten unter uniformem Druck und ebenso die Daten der spezifischen Wärme werden qualitativ gut beschrieben. Es wird gezeigt, dass die Ultraschall-Absorption im Bereich $x > 0.018$ mit dem Mechanismus der dissipativen Domänenwand-Bewegung erklärt werden kann und in der Tieftemperaturphase eine Kopplung des longitudinalen Schalles für beide Hauptrichtungen, $[0,0,1]$ und $[1,1,1]$,

stattfinden kann. Ein Effekt unserer Theorie ist die Brechung der Zeitumkehr-Symmetrie durch die Tieftemperaturphase. Im Falle ungerader Parität können solche Supraleitungszustände eine endliche lokale Spin-Polarisation besitzen, welche als Erklärung für die beobachtete Nullfeld-Relaxationsrate in den μ SR-Experimenten herangezogen wird.

Die Ginzburg-Landau-Theorie der zweidimensionalen Darstellungen der tetragonalen Punktgruppe D_{4h} wird verwendet, um besondere Defekte innerhalb der Supraleitungsphasen, wie Domänenwände und Vortices, zu betrachten. Dabei werden Domänenwände, die aufgrund der Zeitumkehr-Symmetrie entartete Supraleitungsphasen trennen oder selbst intern die Zeitumkehr-Symmetrie brechen, von spontanen Strömen und Magnetfeldern begleitet. Diese verursachen jedoch im Innern des Supraleiters keine endliche Gesamtmagnetisierung. Es kann jedoch auch vorkommen, dass Domänenwände zwischen unitären Zuständen spontan Strukturen erzeugen, welche die Zeitumkehr-Symmetrie brechen und infolgedessen Ströme besitzen. Im allgemeinen gehören diese Domänenwände einer mehrdimensionalen Klasse an. Die Existenz von zweifach entarteten Domänenwänden gibt die Möglichkeit zur Erzeugung eines Liniendefektes ähnlich der Blochlinie in Ferromagneten. Dieser Defekt entspricht einem Vortex, trägt aber nur einen Bruchteil eines Standard-Flussquantums. Da die Windungsgröße nur die Relativphase der beiden Komponenten des Ordnungsparameters ist, gibt es kein normalleitendes Zentrum des Vortex. Das kritische Magnetfeld dieses Vortex ist kleiner als das Feld H_{c1} von homogenen Supraleitern. Die Resultate dieser Untersuchungen können für jede andere mehrkomponentige Ginzburg-Landau-Theorie der anisotropen Supraleitung in modifizierter Form übernommen werden.