

UNIVERSITÄT REGENSBURG

F-PRAKTIKUM

Supraleitung



Michael Rößner und Jonas Schambeck

30. Dezember 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Vorbereitung	4
2.1	Theoretische Grundlagen	4
2.1.1	Bosonen und Fermionen	4
2.1.2	BCS-Theorie	5
2.1.3	Einteilung von Supraleitern	6
3	Versuchsdurchführung	7
4	Fazit	8

1 Einleitung

2 Vorbereitung

Supraleiter zeichnen sich durch eine widerstandslose Leitung unter einer kritischen Temperatur T_c aus. Schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt ist dies in Metallen bei sehr tiefen Temperaturen nahe des Nullpunktes. Hochtemperatursupraleiter konnten dagegen erst 1986 entdeckt werden. Die theoretischen Grundlagen hinter diesen Effekten sind zahlreich und zum Teil noch heute ungeklärt. Hier soll ein kleiner Überblick gegeben werden.

2.1 Theoretische Grundlagen

2.1.1 Bosonen und Fermionen

Zum Verständnis der Supraleitung essentiell ist die Unterscheidung der Elementarteilchen in Bosonen und Fermionen, sowie die Eigenschaften dieser. Für unsere Zwecke genügt es Bosonen und Fermionen zu betrachten.

Fermionen

Als Fermionen werden Teilchen mit halbzahligem Spin ($\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$) bezeichnet. Diese Gruppe der Elementarteilchen, zu der Quarks und Leptonen gezählt werden, bildet die Materie.

Für die Supraleitung wichtig ist vor allem das Pauli'sche Ausschlussprinzip, welchem Fermionen unterliegen. Es besagt, dass 2 Fermionen am selben Ort nicht den selben Quantenzustand besetzen dürfen.

Dies wird am Beispiel der Elektronen in Atomorbitalen klar. Ohne dieses Prinzip könnten alle Elektronen im energetisch günstigsten Grundzustand liegen, in Atomen werden jedoch Besetzungen energetisch höherliegender Zustände beobachtet. In Abbildung 2.1 ist die Aufteilung zu sehen. Zuerst werden die beiden Zustände der ersten Schale besetzt, die sich nur in der Spinausrichtung unterscheiden. In den nächsten Schalen werden durch unterschiedliche Drehimpulse und Spinausrichtungen der einzelnen Elektronen weitere Zustände besetzt, mit immer größer werdender Energie.

Bosonen

Als Bosonen werden Teilchen mit ganzzahligem Spin bezeichnet. Elementar treten Bosonen nur als Austauscheteilchen der elementaren Wechselwirkungen zwischen Fermionen auf. Ein Beispiel ist hier das Photon als Überträger der elektromagnetischen Kraft. Für unsere Zwecke sind jedoch aus Fermionen zusammengesetzte Bosonen weitaus wichtiger.

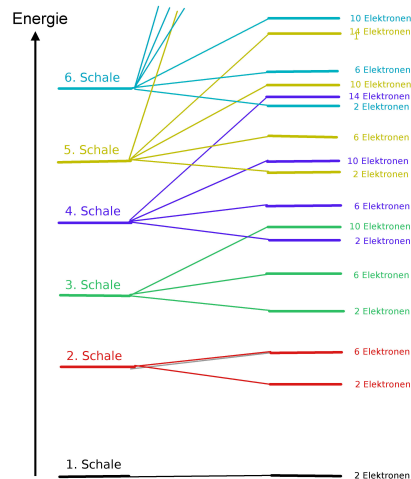


Abbildung 2.1: Energieniveaus der Elektronen in Atomorbitalen [1]

Mehrere Fermionen können durch Wechselwirkungen so aneinander koppeln, dass sie durch eine gemeinsame Gesamtwellenfunktion beschrieben werden müssen. Einfach hat dies zur Folge, dass sich Verbunde aus Fermionen, ein bekanntes Beispiel hierfür stellen Atomkerne dar, wie Bosonen verhalten.

Im Gegensatz zu den Fermionen unterliegen Bosonen nicht dem Pauli-Prinzip. Anders als im obigen Energieschema, ist es also für Bosonen möglich den selben Energiezustand zu besetzen. Dies wird später für die Theorie der Supraleitung essentiell.

2.1.2 BCS-Theorie

Eine gute theoretische Beschreibung Supraleiter 1. Art bietet die BCS-Theorie. Zwar kann durch diese die Hochtemperatursupraleitung auch erklärt werden, das Prinzip der Paarbildung bleibt jedoch ungeklärt.

Cooper-Paare

Grundlage der Supraleitung ist die Cooper-Paarbildung der Elektronen im Festkörper. Es wird angenommen, dass ein Elektron, aufgrund seiner negativen Ladung, eine Deformationsspur hinterlässt. Siehe hierzu Abbildung 2.2. Ein Elektron zieht die positiv geladenen Kerne an, was diese zum Schwingen anregt. Nach einer viertel Schwingperiode erreicht die Konzentration der positiven Ladungen ihr Maximum und weitere Elektronen werden angezogen. Durch die große Reichweite dieser Kraft, das erste Elektron ist nach einer viertel Schwingperiode schon weit durch den Festkörper gewandert, wird sie nicht durch die Coulomb-Abstoßung aufgehoben.

Grundlage der BCS-Theorie ist nun die Kopplung zweier Elektronen durch diese Wechsel-

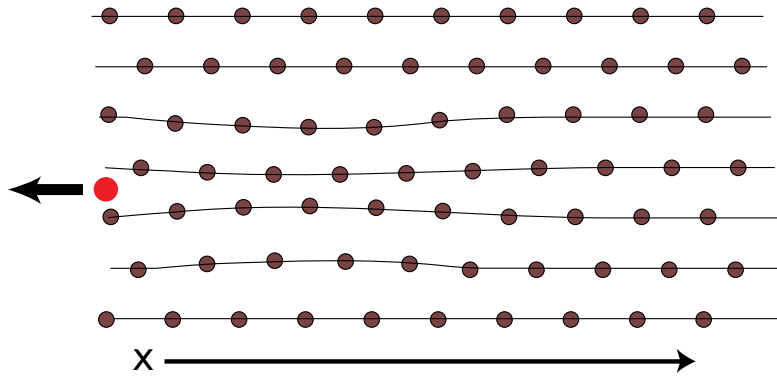


Abbildung 2.2: Deformationsspur hinter einem Elektron

wirkung, wodurch der Verbund durch eine bosonische Gesamtwellenfunktion beschrieben werden muss.

2.1.3 Einteilung von Supraleitern

Wie bereits erwähnt gibt es verschiedene Arten von Supraleitern, die Typ-I und Typ-II Supraleiter. Unterschieden wird hier anhand des Verhaltens in einem Magnetfeld.

Typ-I Supraleiter

Der Typ-I Supraleiter ist der "klassische" Supraleiter. Die meisten Metalle können hier zugeordnet werden. Legt man an einen Typ-I Supraleiter im normalleitenden Zustand ein Magnetfeld an und kühlt diesen anschließend auf $T < T_c$, so wird das innere Magnetfeld, bis auf einen kleinen Bereich am Rand, vollständig verdrängt. Die supraleitende Phase kann durch ein Erwärmen über die kritische Temperatur T_c , das Anlegen eines starken Magnetfelds mit einer Feldstärke größer der kritischen Feldstärke B_c , oder dem Überschreiten der kritischen Stromdichte J_c durchbrochen werden.

Weiter haben Materialien dieses Typs meist eine sehr niedrige Sprungtemperatur T_c von nur wenigen Kelvin.

Typ-II Supraleiter

Der Typ-II Supraleiter zeigt bis zum unteren kritischen Magnetfeld B_{c1} dasselbe Verhalten. Wird ein stärkeres Magnetfeld angelegt, so können Feldlinien in Form von Flussschläuchen (extra Kapitel?) in das Material eindringen. Durch ein Wandern dieser Flussschläuche und der daraus resultierenden Feldbewegung, entsteht auch ein elektrischer Widerstand im Supraleiter.

3 Versuchsdurchführung

4 Fazit

Literaturverzeichnis

- [1] <https://chemiezauber.de/images/q1/materie/energieniveaus-elektronen.jpg>, 30.12.2019