

10: SUPRALEITUNG

INHALTSVERZEICHNIS

1. Hintergrund	1
2. Versuche.....	2
2.1. Versuchsaufbau	2
2.2. Durchgeführte Messungen.....	2
3. Formeln und Auswertung	4
3.1. Aufgabe 1 - Sn	4
3.2. Aufgabe 2 - Sn	4
3.3. Aufgabe 3 - $Pb / PbIn$ - Proben, Hysteresekurven	5
3.4. Aufgabe 4 - YBa_2CuO_x	6

1. HINTERGRUND

Um das Phänomen der Supraleitung wirklich zu verstehen reicht das Wissen eines Studenten trotz Festkörperphysik, Elektrodynamik und Quantenmechanik bei weitem nicht aus, trotzdem ist es durchaus interessant die makroskopischen Eigenschaften dieser Materialien zu untersuchen. Zum einen kann man mit vergleichsweise einfachen Verfahren einen Menge an Informationen gewinnen, zum anderen ist das Feld aufgrund der zunehmenden technischen Bedeutung (durch Hochtemperatur-Supraleitung) sehr interessant.

2. VERSUCHE

Untersucht wurde eine Reihe von Supraleitern (Sn, Pb, Pb-In (2,3,4 % In) und ein Hochtemperatur-Supraleiter, YBCO) auf verschiedene physikalische Eigenschaften: Sprungtemperatur, kritische Magnetfeldstärken, Magnetisierbarkeit.

2.1. Versuchsaufbau.

2.1.1. *Kryostat.*

Die meisten Proben wurden in einem He-Bad gekühlt, dessen Temperatur durch Druckabsenkung noch von 4,2K auf ca. 1,8K erniedrigt werden konnte. Das flüssige Helium befindet sich dabei in einem Doppel-Dewar, bei dem das verspiegelte und evakuierte Doppelwand-He-Gefäß wiederum in einem Kältebad aus flüssigem Stickstoff steht. (T^4 - Gesetz für die Wärmestrahlung)

2.1.2. *Proben.*

Für die Leitfähigkeitsmessungen ($R(T)$) wurden Proben verwendet, die bereits in Vier-Punkt-Methode kontaktiert waren. (Zumindest theoretisch, beim Hochtemperatursupraleiter mußte wegen einem defekten Kontakt konventionell gemessen werden)

Die Proben für die Magnetisierbarkeitsmessung waren nicht kontaktierte Metallröhrchen mit einem Durchmesser von ca 2mm und einer Länge von ca. 2-3 cm, die mit einer Messingschraube (?) auf den Probenhalter zu montieren waren.

2.1.3. *Feld- und Meßspulen.*

Im Probenraum (bzw. diesen z.T. umschließend) befinden sich außerdem drei Magnetspulen (alle supraleitend): eine Feldspule zum Anlegen eines äußeren Magnetfeldes und zwei identische (soweit dies technisch möglich ist) Meßspulen, von denen eine die Probe eng umschließt (und damit nur das Feld im inneren sieht) und eine, die zur Feldspule in äquivalenter Lage liegt, aber nicht vom Supraleiter ausgefüllt ist. Die beiden Spulen sind entgegengesetzt gewickelt und in Reihe, so daß sich die induzierten Ströme ohne Probe oder mit einer nicht magnetisierbaren Probe nahezu neutralisieren.

2.2. Durchgeführte Messungen.

2.2.1. *Kritische Temperatur.*

Nach dem Befüllen des Dewar mit N_2 und He wurde zuerst eine Sn-Probe auf ihr $R(T)$ - Verhalten untersucht. Der Druck wurde mit dem Drosselventilen (zwei verschiedene Querschnitte) zwischen 760 Torr (= 4,2K) und ca. 50 Torr (= 1,8K) in kleinen Schritten eingestellt. (hier nur bis knapp unter die kritische Temperatur)

Die eigentliche Messung der Temperatur (über Drucksensor, vom Rechner intern umgerechnet) und des Widerstandes erfolgte nach Erreichen eines (mehr oder weniger) stabilen Gleichgewichts durch den Meßrechner. Das Ergebnis befindet sich in Anhang A.

2.2.2. Kritische Feldstärke.

Anschliessend wurde an dieselbe Probe bei zwanzig verschiedenen Temperaturen (zwischen 1,8 und 3,8 K) ein per sweep-Schaltung steigendes Magnetfeld angelegt und der $R(B)$ - Verlauf aufgezeichnet; Die Stromstärken lagen dabei bei 400mA und 4A, je nachdem ob bei 400mA bereits Normalleitung erreicht wurde. Ergebnisse in B1(400mA) und B2(4A).

2.2.3. Hysteresekurven / Magnetisierbarkeit.

Der nächste Versuch erforderte einiges an Geschick und Nervenstärke, da die Feldspule nicht überlastet werden durfte ("quenching"), weil man anderenfalls den ganze Versuchsaufbau über die Sprungtemperatur der Spule hätte erwärmen müssen um ihn anschliessend wieder auf Heliumtemperatur zu bringen.

Um die Verdrängung eines Magnetfeldes aus den Supraleitern (perfekter Diamagnetismus) zu untersuchen, wurde an drei Proben (Pb mit steigendem Indium-Gehalt) eine Hysteresekurve (Magnetisierung der Probe in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld) durchfahren. Ergebnisse in C.

Neben dem Problem, die Ströme im unkritischen Bereich zu halten (vor allem mit einem Amperemeter mit einer Latenz von einer halben Sekunde) sind die Messungen vor allem vom relativ starken (und nicht stabilen) Drift des Integrators beeinträchtigt. (Eine Leerkurve ohne Probe ist ebenfalls aufgezeichnet.) Ein System mit Gate-Schaltung (totale Unterdrückung unterhalb einer gewissen Schwelle) wäre hier durchaus sinnvoll.

2.2.4. Hochtemperatur-Supraleiter.

Zuletzt wurde noch der $R(T)$ - Plot (Anhang D) einer YBa_2CuO_x - Probe aufgenommen. Diese befand sich fest verkapselt zusammen mit einem Platin-Widerstand (für die Temperaturmessung, nahezu lineares $R(T)$, die konkreten Werte folgen durch lineare Extrapolation aus Tabellenwerten) in einer Kupferdose, an der für die Wärmekopplung eine Kupfer-Fahne angebracht war. Senkt man diese teilweise in flüssigen Stickstoff, so stellt sich rasch ein Gleichgewicht zwischen der Wärmekopplung an den Stickstoff und die Raumluft ein. Um unter die Sprungtemperatur zu kommen mußte die Dose jedoch vollständig eingetaucht werden.

Die Vier-Punkt-Meßmethode konnte hier nicht verwendet werden, da einer der Kontakte defekt war.

3. FORMELN UND AUSWERTUNG

3.1. Aufgabe 1 - Sn.

3.1.1. Sprungtemperatur.

Bei einer bestimmten Temperatur fällt der Widerstand der Probe vom linearen Verlauf in Normalleitung steil auf einen Restwiderstand, der hier wohl durch den Meßaufbau bedingt ist. Die Temperatur, bei der der Widerstand auf die Hälfte der Sprunghöhe abgefallen ist, bezeichnet man als Sprungtemperatur T_c .

$$T_c = (3,732 \pm 0,005)K$$

Dieser Wert stimmt recht gut mit dem Literaturwert von 3,722 K überein.

3.1.2. Übergangsbreite.

Der oben beschriebene Übergang ist dabei $0,085 \pm 0,01$ K breit.

3.2. Aufgabe 2 - Sn.

3.2.1.

Den Verlauf der kritischen Feldstärke in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt Anhang B3;. Aus dem Plot lassen sich folgende Werte ablesen:

$$B_{c0} = 39,46mT$$

$$T_c = 3,72K$$

Der angegebene Zusammenhang $B_c/B_{c0} = 1 - (T/T_c)^2$ kann nicht wirklich bestätigt werden, allerdings liegt der Sprung im Verlauf der Meßwerte genau an dem Punkt, an dem zwischen 400mA und 4A für die maximale Stromstärke der Sweep-Quelle umgeschaltet wurde.

3.2.2. Sprung in der Wärmekapazität: $c_s - c_n$.

Die Formel

$$B_c/B_{c0} = 1 - (T/T_c)^2$$

in

$$c_s - c_n = \frac{T_c}{\mu_0} \left(\frac{dB_c}{dT} \right)^2 \Big|_{T_c}$$

eingesetzt ergibt

$$c_s - c_n = \frac{4B_{c0}^2}{T_c \mu_0} = 1,33 \cdot 10^3 \frac{T^2 Am}{KV s}$$

Daraus erhalten wir einen Wert von

$$c_s - c_n = 21,7 \cdot 10^{-3} \frac{J}{molK}$$

Warum dieser Wert fast das doppelte des angegebenen Ergebnisses von $10,6 \cdot 10^{-3} \frac{J}{molK}$ beträgt, konnten wir nicht erklären.

3.2.3. Elektronen an der Fermikante.

Daraus ergibt sich die Dichte der Elektronen an der Fermikante als

$$N(0) = \frac{3(c_s - c_n)}{2\pi^2 k_B^2 T_c \cdot 1,4} = 3,31 \cdot 10^{42} \frac{1}{\text{molJ}} = 5,52 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{J}} = 0,88 \frac{1}{\text{eV}}$$

In dieses Ergebnis geht allerdings unser falscher Wert für $c_s - c_n$ ein, mit dem Literaturwert ergibt sich $0,431/\text{eV}$.

3.3. Aufgabe 3 - Pb / PbIn - Proben, Hysteresekurven.

3.3.1. Kritische Feldstärken.

C1 läßt erkennen, daß das reine Blei ein Supraleiter 1. Art und die Legierungen solche 2. Art sind. Typ II - Supraleiter erkennt man am weichen Abfall der Magnetisierung oberhalb der ersten kritischen Feldstärke.

Für reines Blei kann man ablesen (Die Feldstärken ergeben sich aus dem Strom durch die Spule und die Spulengeometrie; B_c^{eff} markiert den Punkt, an dem die Kurve von einer Ursprungsgerade abweicht):

$$B_c^{Pb} = (64,2 \pm 1,5)mT \quad B_c^{eff} = 42,8mT$$

und für die PbIn - Legierungen:

Probe	B_{c1}	B_{c2}	B_c^{eff}
2% In	$(56,3 \pm 1,5)mT$	$(104,7 \pm 2,3)mT$	$(49,6 \pm 2)mT$
3% In	$(56,3 \pm 1,5)mT$	$(124 \pm 3)mT$	$(54,1 \pm 2)mT$
4% In	$(51,8 \pm 1,5)mT$	$(152 \pm 4)mT$	$(43,9 \pm 2)mT$

3.3.2. Entmagnetisierungsfaktor für Blei.

$$N = 1 - \frac{B_c^{eff}}{B_c} = 0,33 \pm 0,05$$

3.3.3. Suszeptibilität für Blei.

In den Spulen wird eine Differenzspannung von

$$U_{ind} = -\mu_0 \frac{dM}{dt} NA$$

induziert. Der Integrator liefert die Spannung:

$$U_{aus} = -\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t U_{ind} dt = \frac{1}{\tau} \mu_0 M(t) NA = 188,83 \frac{m^2}{s} \mu_0 M$$

Die Suszeptibilität läßt sich durch

$$\chi = \frac{\mu_0 M}{B_a} = -0,793$$

bestimmen. (Parameter der Pickup-Spule und des Integrators)

Die Abweichung vom theoretischen Wert von $\chi = -1$ dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Probe die gefüllte Hälfte der Pickup-Spule nie voll ausfüllen wird und somit der Meßwert für $\mu_0 M$ einen Mittelwert aus Feld im Supraleiter und dem außerhalb darstellt.

3.4. Aufgabe 4 - YBa_2CuO_x .

3.4.1. Sprungtemperatur.

Als Sprungtemperatur von YBa_2CuO_x haben wir

$$T_c = (85,4 \pm 0,2)K$$

gemessen. Dieser Wert stimmt recht gut mit dem Literaturwert von ca. 90 K überein.

3.4.2. Übergangsbreite.

Der oben beschriebene Übergang ist dabei $8,2 \pm 0,4$ K breit.