

Raum PHY D 008

Beginn: 8 Uhr

Dauer: 8 h

Betreuer: PD Dr. S. Sahling, Raum D 212, Tel.: 34881, sahling@physik.tu-dresden.de

PD Dr. M. Dörr, Raum D 208, Tel.: 35036, doerr@physik.tu-dresden.de

Supraleitung 2 (SU2)

1. Aufgabenstellung

Die Supraleitung stellt einen quantenmechanischen Zustand dar, der in bestimmten Bereichen der Parameter Temperatur, externes Magnetfeld und Stromdichte auftritt. Aus diesem dreidimensionalen Phasendiagramm ist im Experiment die Abhängigkeit des kritischen Magnetfeldes, bei dem der Übergang Supraleitung – Normalleitung auftritt, von der Temperatur zu untersuchen und die entsprechende Phasenlinie zu konstruieren. Die Messgröße ist dabei der elektrische Widerstand. Das Experiment vermittelt weiterhin Kenntnisse und Fähigkeiten zum Aufbau von Tieftemperatur-Kryostaten und zur Handhabung kryogener Kältemittel (LHe, LN₂). Im Einzelnen sollen folgende Experimente durchgeführt werden:

- 1.1 Einkühlen eines LHe-Badkryostaten.
- 1.2 Bestimmung des kritischen Magnetfeldes für eine Blei-Probe als Funktion der Temperatur im Temperaturbereich zwischen 1.5 K und 10 K.
- 1.3 Konstruktion der Phasenlinie zwischen supraleitendem und normalleitendem Zustand und Vergleich mit Vorhersagen der BCS-Theorie und Literaturwerten.

2. Experiment

Bestimmung des kritischen Magnetfeldes einer Blei-Probe

Eine Blei-Probe (Draht, Durchmesser 0.25 mm) befindet sich in einem LHe-Badkryostaten (siehe Versuchsaufbau im Anhang). Durch Abpumpen über dem flüssigen Helium kann die Temperatur zwischen 1.5 K und 4.2 K geregelt werden. Der Temperaturbereich zwischen 4.2 K und ca. 10K kann durch Heizung des Probenhalters und entsprechende Temperatur-Regelung mit einer Temperatur-Messbrücke eingestellt werden. Außerhalb des Kryostaten befindet sich eine durch flüssigen Stickstoff gekühlte Cu-Spule, mit der ein Magnetfeld erzeugt werden kann (Windungszahl der Magnetspule pro Längeneinheit: $N/l = 234/\text{cm}$). Um das kritische Magnetfeld bei gegebener Temperatur zu bestimmen, misst man den Spannungsabfall über dem Bleidraht bei einem konstanten Messstrom (Widerstandsbestimmung) als Funktion des äußeren Magnetfeldes. Die Magnetfeld-Änderung wird durch Regelung des Spulenstroms per Hand vorgenommen. Die Messung von Probenstrom (Spannungsabfall über einem 10 Ω – Normalwiderstand), Probenspannung, Spulenstrom (Spannungsabfall über einem 1 Ω – Normalwiderstand, der mit der Magnetspule in Reihe geschaltet ist) sowie diverser Temperaturwerte erfolgt mit einem hochauflösenden Digital-Voltmeter im Multiplexbetrieb. Die Aufzeichnung der Messkurven erfolgt mit Hilfe eines Computers. Entsprechende Kurven $R(H)$ werden für ca. 10 verschiedene Temperaturen im Kühlmodus und ca. 10 Temperaturen im Heizmodus aufgenommen. Zur Temperaturmessung werden Widerstandsthermometer (Cernox) eingesetzt. Die Temperaturbestimmung erfolgt im Fall der Abkühlung über Dampfdruckreduzierung durch die Messung des Dampfdrucks über dem flüssigen ⁴He. Um die Stabilität der Temperatur besser kontrollieren zu können, befindet sich in unmittelbarer Nähe zur Blei-Probe ein Ge-Widerstandsthermometer, das gleichzeitig kalibriert werden soll.

Teilaufgaben

- Abkühlung eines LHe-Badkryostaten mit LN₂ und LHe auf T = 4.2 K. Messung des ⁴He-Verbrauchs mit einem Gasmengen-Zähler.
- Aufnehmen einer Widerstandskurve R(H) in Abhängigkeit vom externen Magnetfeld bei 4.2 K.
- Vorversuch bei 4.2 K, welchen Einfluss der Probenstrom und die Stromrichtung auf das kritische Magnetfeld haben (5 Werte des Probenstroms bis maximal 1 A).
- Optimieren Sie die Skalen erneut für einen Probenstrom von 0.5 A (nur eine Stromrichtung) und zeichnen Sie die Kurve für 4.2 K erneut auf (neues Blatt).
- Abkühlmodus: Temperaturregelung durch Druckerniedrigung über der Flüssigkeit (thermische Kopplung zwischen Probenhalter und Heliumbad mittels Austauschgas); dabei Druckstabilisierung über einen Manostaten; Aufnehmen der Widerstandskurve R(H) im Bereich von 4.2 K bis 1.5 K (10 verschiedene Temperaturen) bei einem konstanten Probenstrom von ca. 0.4 A.
- Heizmodus: Temperaturregelung durch kontrollierte Heizung des Probenhalters (thermische Isolierung durch Evakuieren des Probenraumes); Aufnehmen der Widerstandskurve R(H) im Bereich von 4.2 K bis ca. 10 K (10 verschiedene Temperaturen) bei einem konstanten Probenstrom von ca. 0.4 A.
- Messen des Widerstandes des Ge-Thermometers (Thermometerstrom: 10 µA) sowie des Dampfdruck über dem flüssigen Helium mit Hilfe eines Quecksilbermanometers; Überprüfung der Kalibrierung des Ge-Thermometers.

3. Auswertung

- Bestimmung der Temperatur aus dem gemessenen Dampfdruck (Abkühlmodus) und des entsprechenden kritischen Magnetfeldes. Dazu ist das sog. „Midpoint“-Kriterium anzusetzen, das heißt, das kritische Feld wird bei 50 % der jeweiligen Sprunghöhe des Widerstandswertes ermittelt.
- Bestimmung der Übergangsbreiten des supraleitenden Phasenübergangs (Temperaturdifferenz zwischen 10 % und 90 % der Sprunghöhe) für jeden Temperaturwert.
- Grafische Darstellung des kritischen Feld als Funktion der Temperatur und Bestimmung der Fitparameter H_{c0} und T_c entsprechend der erwarteten Abhängigkeit:

$$H_c(T) = H_{c0} \{1 - (T/T_c)^2\} \quad (*)$$

durch eine geeignete Extrapolation der Messergebnisse.

- Vergleichen der erhaltenen Ergebnisse mit Literaturwerten; Abschätzung des Fehlers von H_{c0} und T_c unter Berücksichtigung des Einflusses des Probenstroms auf H_c.
- Ermittlung einer geeigneten Fitfunktion für das Ge-Thermometer (Temperatur als Funktion des Widerstandes). Darstellung der Differenz T_{fit} – T als Funktion von T_{dar} (T ist die aus dem Dampfdruck bestimmte Temperatur). Überprüfen der bisherigen Kalibrierungspunkte des Ge-Thermometers in der Darstellung T_{fit} – T_{alt} über T_{fit}.
- Abschätzung der Länge des Bleidrahtes aus den gemessenen Widerstandswerten.
- Zusammenstellung der kryotechnischen Verbrauchswerte und Besonderheiten.

4. Fragen und Aufgaben zur Vorbereitung

- Welche physikalischen Eigenschaften sind für das Auftreten der Supraleitung nachzuweisen ?
- In welche Kategorien lassen sich supraleitende Materialien einordnen ? Geben Sie für jede Gruppe einige Beispiele an.
- Was unterscheidet klassische und sogenannte „unkonventionelle“ Supraleiter ?
- Welche Vorstellung liegt der Theorie der klassischen Supraleiter (BCS-Theorie) zu Grunde ? Von welchen Parametern hängt im Rahmen der BCS-Theorie die kritische Temperatur ab ?
- Erklären Sie die Begriffe Energielücke, Korrelationslänge und London-Eindringtiefe!
- Wie berechnet man mit klassischer Thermodynamik die Stabilisierungsenergie ΔG (G...Gibbs'sche freie Energie) des supraleitenden Zustandes bei Kenntnis des kritischen Feldes H_c ?
- Wo und warum werden in Forschung, Technik und Industrie Supraleiter eingesetzt ?

5. Literatur

W. Buckel: „Supraleitung“, ab 4. Auflage (1990)

Einleitung

Kapitel 1: Einige Grundtatsachen

Kapitel 2: Der supraleitende Zustand

Kapitel 3.1: Der Isotopeneffekt

Kapitel 4: Thermodynamik und thermische Eigenschaften des supraleitenden Zustandes

Kapitel 5: Supraleiter im Magnetfeld

Kapitel 9: Anwendung der Supraleitung

N.W. Ashcroft / N.D. Mermin: „Festkörperphysik“,

Kapitel 34: „Supraleitung“ S. 925 – 964.

Ch. Kittel: „Einführung in die Festkörperphysik“, Oldenbourg 1973.

Kapitel 12, S. 467 ff.

J.F. Annett: „Superconductivity, Superfluids and Condensates“,

Oxford University Press 2004.

Chapter 3: “Superconductivity”, S 47-64

Chapter 6: “The BCS-Theory of superconductivity”, S.127-146.

Dampfdrucktabelle von ^4He (in mm Hg bzw. Torr)

T (K)	p (mm Hg)						
1.5	3.0688	2.25	45.655	3.0	475.51	3.75	475.51
1.55	4.5660	2.3	51.151	3.05	196.57	3.8	502.05
1.6	5.7054	2.35	57.085	3.1	211.28	3.85	529.57
1.65	7.0476	2.4	63.476	3.15	226.73	3.9	558.09
1.7	8.6136	2.45	70.343	3.2	242.92	3.95	587.63
1.75	10.424	2.5	77.704	3.25	259.89	4.0	618.21
1.8	12.500	2.55	85.579	3.3	277.63	4.05	649.86
1.85	14.861	2.6	93.988	3.35	296.18	4.1	682.59
1.9	17.526	2.65	102.95	3.4	315.55	4.15	716.42
1.95	20.511	2.7	112.48	3.45	335.76	4.2	751.37
2.0	23.832	2.75	122.59	3.5	356.81	4.25	787.43
2.05	27.498	2.8	133.31	3.55	378.74	4.3	824.65
2.1	31.514	2.85	144.65	3.6	401.56		
2.15	35.878	2.9	156.63	3.65	425.28		
2.2	40.576	2.95	169.26	3.7	449.92		

Alte Eich-tabelle des Ge-Thermometers

T (K)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
R (ohm)	8836.21	6489.62	4983.43	3953.46	3205.12
T (K)	3.0	3.2	3.4	3.59	3.81
R (ohm)	2769.28	2335.09	1976.83	1731.62	1524.65
T (K)	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
R (ohm)	1348.98	1186.75	1006.24	770.88	606.35

Versuchsaufbau



