

Platzanleitung – Phasenübergänge in Supraleitern (PSL)

1. Versuchsziel und Aufgabenstellung

Im Mittelpunkt des Versuchs stehen theoretische Modellvorstellungen zur Supraleitung (BCS-Theorie). Die physikalische Größe, die einen direkten Zugang zu Energieanregungen des Festkörpers ermöglicht und damit für die Analyse von Phasenübergängen prädestiniert ist, stellt die Wärmekapazität dar. Diese wird mittels der adiabatischen Heizimpuls-Methode im Tieftemperaturbereich gemessen.

Eine Niob-Probe befindet sich dazu in einem Tauch-Kryostaten (siehe Versuchsaufbau unten), der in eine Transportkanne für flüssiges Helium ($V = 100 \text{ l}$, $T = 4.2 \text{ K}$) eingesetzt wurde. Der Probenraum wird durch einen Hochvakuum-Pumpstand (Turbomolekularpumpe, Drehschieberpumpe) auf einen Druck $p < 10^{-4} \text{ mbar}$ abgepumpt. Die Wärmekapazität im Temperaturbereich $T = 4 \dots 20 \text{ K}$ zu messen. Das (integrale) Ergebnis ist in Phononen- und Elektronenbeitrag zu separieren. Letzterer kann dann mit den Vorhersagen der BCS-Theorie verglichen werden. Der Versuch vermittelt auf diese Weise Kenntnisse zur Messung der Wärmekapazität sowie zu Eigenschaften von konventionellen Supraleitern.

2. Geräte und Aufbau

- **Tauch-Kryostat mit Probe: Nb-Polykristall $m = 90.112 \text{ g}$** (siehe Abb. unten)
- Transportkanne für verflüssigten Helium (LHe, $V = 100 \text{ l}$)
- Hochvakuumumpstand (Turbomolekularpumpe TURBPVAC50, inkl. TURBOTRONIK NT10, Drehschieberpumpe TRIVAC D4B)
- Vakuummessgeräte M301 (Kaltkathoden-Ionisationsvakuummeter) und M202 (Wärmeleitungs-Vakuummeter)
- Temperature-Controller DRC-91CA, Fa. Lake Shore
Sensor A: Cernox - Thermometer auf der Probe
- Stromquelle 220 PROGRAMMABLE CURRENT SOURCE, Fa. Keithley
- DC-Digitalvoltmeter 2001 MULTIMETER, Fa. Keithley
- Computer, inkl. IEEE-Interface



Aufbau der Versuchsanlage (links: Arbeitsplatz, Mitte: Helium-Kanne und Tauchkryostat)

3. Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches wurde die Probe schon auf $T = 4,2 \text{ K}$ abgekühlt, auch das entsprechende Hochvakuum $p < 10^{-4} \text{ mbar}$ im Probenraum ist schon gewährleistet (Das Auspumpen wurde schon am Vortag begonnen).

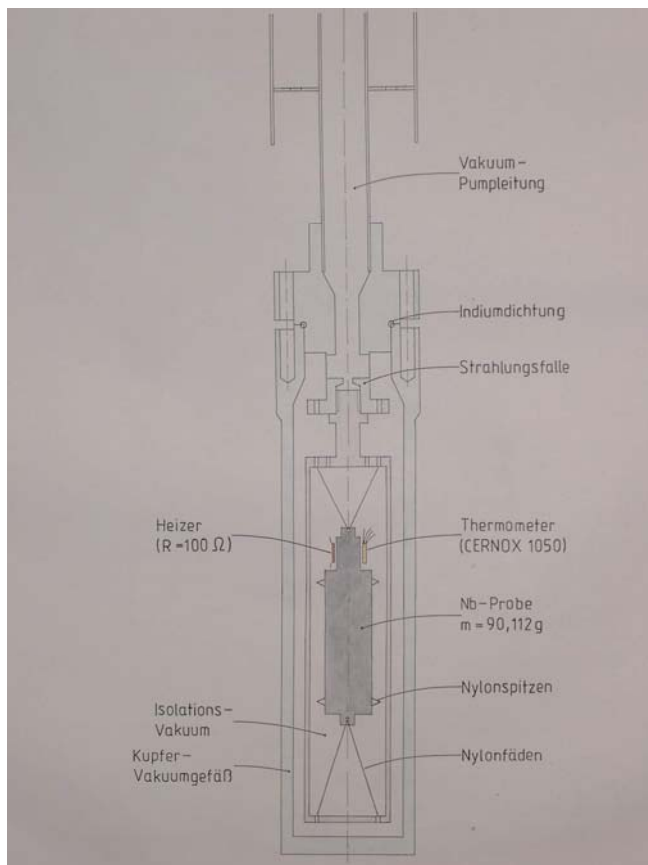
3.1 Berechnung der Anfangs-Heizstromes

Die Messung der Wärmekapazität erfolgt über Heizimpulse. Dabei wird der Probe eine elektrische Heizleistung zugeführt, die man aus Strom-Spannungs-Messung ermitteln kann. Es wird davon ausgegangen, dass diese Heizleistung vollständig der Probe zufließt. Diese Heizleistung bewirkt einen Temperaturanstieg, der ebenfalls gemessen wird. Um Abweichungen von den (idealisierten) adiabatischen Messbedingungen korrigieren zu können, wird der Temperaturverlauf der Probe vor und nach dem Heizimpuls verfolgt und der Temperatursprung entsprechend korrigiert. Die Wärmekapazität ergibt sich dann aus der Formel

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{P \cdot t}{\Delta T} = \frac{U_H \cdot I_H \cdot t}{\Delta T}$$

Der Heizstrom wird durch das Computerprogramm automatisch berechnet. Lediglich der Anfangs-Heizstrom ist vorzugeben (nicht zu klein, sonst keine Erwärmung, nicht zu groß, sonst starker Temperaturanstieg). Berechnen Sie diesen Anfangs-Heizstrom unter folgenden Annahmen:

Eine $m = 90 \text{ g}$ schwere Niob-Probe befindet sich unter adiabatischen Bedingungen bei einer Temperatur von $T = 4.2 \text{ K}$. Durch den Heizstrom soll nach einer Heizzeit $t = 20 \text{ s}$ eine relative Temperaturerhöhung von 3 % erreicht werden. Der Heizerwiderstand beträgt $R_H = 130 \text{ Ohm}$, die Wärmekapazität der Probe soll aus der Debye-Temperatur von $\theta = 250 \text{ K}$ unter Vernachlässigung des Elektronenbeitrages berechnet werden.



Aufbau des Tauch-Kryostaten mit Probe, Thermometer (Achtung: CERNOX 1030 eingebaut) und Heizer

3.2 Messung der Wärmekapazität der Nb-Probe im Bereich $T = 4.5 \dots 20 \text{ K}$

Die Messung der Wärmekapazität erfolgt computergesteuert.

Zuerst werden die Messgeräte und der PC angeschaltet. Das Betriebssystem des Computers ist MS-DOS. Zuerst wird Norton Commander (Eingabe „nc“ „Enter“) gestartet und anschließend das Programm „C2“ im Ordner „WK“ aufgerufen. Folgende Parameter-Eingaben sind vorzunehmen:

- Bezeichnung:	„Nbdddmmjj“	„Enter“	(Probe+Versuchsdatum, max. 8 Zeichen)
- Messzeit (s):	„60“	„Enter“	(Gesamtzeit für einen Messpunkt in s)
- Heizzeit (ms):	„20000“	„Enter“	(Heizzeit in ms)
- Heizstrom (μA)	„Anfangsstrom.“	„Enter“	(Heizstrom in μA aus 1.)
- $\Delta T/T$	„0.03“	„Enter“	(relative T-Änderung)
- Abbruchbedingung	„150“	„Enter“	(Widerstand des Thermometers bei etwa 20 K in Ω)

Die Messung läuft so, dass die entsprechenden Zyklen für einen Messpunkt (Vorlauf-, Heiz-, Nachlaufphase) automatisch realisiert werden. Auf dem Bildschirm wird während der Vorlauf- und Nachlaufphase der Thermometerwiderstand grafisch angezeigt, während der Heizphase erfolgt keine Anzeige. Nach Aufnahme der Daten für einen Messpunkt wird vom Programm eine Auswertprozedur zur Bestimmung der Anfangs- und Endtemperatur gestartet (schnelle Anzeige der Daten, Markierung des Temperatursprungs durch 2 Kreise).

Die weitere Berechnung der folgenden Heizströme wird automatisch durch das Computerprogramm durchgeführt und an der Stromquelle eingestellt.

Danach wird der nächste Messpunkt aufgenommen, usw. usw.

Achtung: Achten Sie während der Messungen auf die Temperatur-Messbrücke! Bei Ertönen eines akustischen Signals ist die Interfacekopplung zwischen Computer und Messbrücke unterbrochen. Dieser Fehler lässt sich im allgemein beheben, indem die Messbrücke sofort aus- und nach 1...2 s wieder eingeschaltet wird (roter Knopf rechts unten).

Möglicherweise geht dabei der aktuelle Messwert für die Auswertung verloren, die Messung läuft aber weiter. Sollte das Problem damit nicht behoben sein, sind alle Geräte, inklusive Rechner neu zu starten. Dazu wird zuerst im Ordner „WK-Data“ die eigene Datei gelesen und der Strom notiert, bei welchem die letzte Messung stattfand. Dann wird wieder das Programm „C2“ gestartet.

Überprüfen Sie während der Messung auch, ob der Heizerwiderstand sinnvolle Werte aufweist (schwache T-Abhängigkeit wie auf der Tafel angegeben).

Nach Erreichen der Zieltemperatur wird das Programm automatisch beendet. Es kann aber auch zwischenzeitlich mit „b“ angehalten werden.

3.3 Zusatzaufgabe: Messung der Wärmekapazität der Nb-Probe bei $T \approx 4.5 \text{ K}$ in Abhängigkeit vom Druck

Durch diese Zusatzaufgabe kann abgeschätzt werden, wie stark der Einfluss des Druckes im Probenraum auf die Wärmekapazität ist („Güte“ der adiabatischen Randbedingungen).

Zuerst wird die Probe wieder auf etwa $T = 4.5 \text{ K}$ abgekühlt. Dazu ist das Eckventil am Pumpstand vollständig zu schließen und eine kleine Menge Austauschgas (Helium, $p < 10 \text{ mbar}$) aus der Gummiblase in den Probenraum einzulassen. Nach Abkühlung der Probe wird dann das Eckventil wieder geöffnet (entspricht dem Zeitpunkt $t=0$) und der Probenraum evakuiert.

(Achtung: Vor Öffnen des Eckventils ist zu prüfen, ob ein Druck $p < 10\text{mbar}$ im Probenraum vorhanden ist. Bei höheren Drücken besteht die Gefahr der Beschädigung der laufenden Turbomolekularpumpe!).

Während des Evakuierungsvorgangs sind $p(t)$ und mittels Messprogramm „C2“ auch $C_p(t)$ zu messen. Um den Temperaturanstieg minimal zu halten, ist beim Programmstart eine relative Temperaturerhöhung $\Delta T/T = 0.005$ anzugeben. Konkret sind folgende Parameter zu verwenden:

- Bezeichnung:	„Nbddmm_p“	„Enter“	(Probe+Versuchstag+Zusatz, max. 8 Zeichen)
- Messzeit (s):	„60“	„Enter“	(Gesamtzeit für einen Messpunkt in s)
- Heizzeit (ms):	„20000“	„Enter“	(Heizzeit in ms)
- Heizstrom (μA)	„Anfangsstrom.“	„Enter“	(Heizstrom in μA aus 1.)
- $\Delta T/T$	„0.005“	„Enter“	(relative T-Änderung)
- Abbruchbedingung	„150“	„Enter“	(Widerstand des Thermometers bei etwa 20 K in Ω)

Es sind ca. 10 Messpunkte aufzunehmen, dann kann die Kapazitätsmessung abgebrochen werden.

Über die Zeit t sind die Messpunkte $p(t)$ und $C_p(t)$ zu korrelieren, d.h. es ist die Kurve $C_p(p)$ zu ermitteln. Der Kurvenverlauf ist zu interpretieren.

4. Auswertung

4.1 Darstellung der Messergebnisse

Übertragen Sie die Daten mit Hilfe einer bereitgestellten Diskette auf den Arbeitscomputer (ggf. USB-Anschluss des Messrechners am Versuchsplatz SU1 nutzen), stellen Sie folgende Daten grafisch dar und ermitteln Sie folgende Kenngrößen des Supraleiters:

$C_p=f(T) \Rightarrow$ Bestimmung von $T_c, \Delta T_c, \Delta C_p(T_c)$

$C_p/T=f(T^2) \Rightarrow$ Bestimmung von $\gamma, \beta \Rightarrow$ Ermittlung der elektronischen Zustandsdichte an der FERMI-Kante $N(E_F)$ und der DEBYE-Temperatur θ_D

$C_p=f(p)$ (aus Aufgabe 3.3)

4.2 Vergleich mit der BCS-Theorie

Zuerst wird der elektronische Anteil der Wärmekapazität separiert (Warum ist das bei dieser eigentlich integralen Messung möglich?). Dazu ist von der gemessenen Wärmekapazität der Gitteranteil βT^3 zu subtrahieren. Der Vergleich mit der BCS-Theorie soll bezüglich folgender Zusammenhänge vorgenommen werden:

$$\Delta C_p = 1.43 \gamma T_c \Rightarrow \text{„Sprunghöhe“}$$

$$C_{el}^s = 9.17 \gamma T_c \cdot e^{-\Delta_0/kT} \Rightarrow \text{Ermittlung der Energielücke } \Delta_0$$

$$kT_c = 1.13 \hbar \omega_D \cdot e^{-V_0 N(E_F)} \Rightarrow \text{Ermittlung der Elektron-Phonon-Wechselwirkung } V_0$$

4.3 Fehlerabschätzung und Literaturvergleich

Schätzen Sie abschließend die Fehler aller ermittelten Größen ab und diskutieren Sie die Einflussfaktoren. Schlagen Sie speziell Verbesserungsmöglichkeiten für die Realisierung der adiabatischen Bedingungen vor.

Vergleichen Sie die Resultate mit Literaturwerten.

Platzanleitung: Dr. M. Dörr

25.01.2013