

**Fortgeschrittenen-Praktikum**

**Physikalisches Institut, Goethe-Universität Frankfurt**

**Supraleitung und Phasenübergänge**

**Betreuer:**

**Paul Eibisch**

**E-Mail: [eibisch@physik.uni-frankfurt.de](mailto:eibisch@physik.uni-frankfurt.de)**

**Telefon: 069/798-47237**

**Raum: \_0.316**

**Arbeitsgruppe: Stark korrelierte Elektronen und Spins**

# Supraleitung und Phasenübergänge

## Zur Vorbereitung

1. Phänomenologie der Supraleitung:
  - a. Perfekte Leitfähigkeit
  - b. Perfekter Diamagnetismus (Meißner-Ochsenfeld Effekt)
2. Supraleitung als thermodynamische Gleichgewichtsphase
3. Supraleiter 1. und 2. Art; B-T Phasendiagramme, Magnetisierungskurven
4. London-Theorie der Supraleitung
5. Ginzburg-Landau-Theorie der Supraleitung
6. Mikroskopische Beschreibung; BCS-Theorie
  - a. Charakteristika der supraleitenden Ladungsträger
  - b. Wechselwirkung, die zur Supraleitung führt
  - c. Anregungsspektrum des Supraleiters, Energielücke
7. Technische Aspekte
  - a. Funktionsweise eines Lock-In- Verstärkers
  - b. Eigenschaften von flüssigem Stickstoff und <sup>4</sup>He, Erzeugung tiefer Temperaturen
  - c. Temperaturmessung mittels Widerstandsthermometer
  - d. Vierpol-Messung des Widerstandes
  - e. Definition und Messung der AC- Suszeptibilität

## Durchführung im Kurzüberblick

1. Bestimmen Sie die Schwebhöhe eines Permanentmagneten über einer supraleitenden Scheibe der Verbindung  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (Hochtemperatursupraleiter) auf zweierlei Weisen:
  - a. Legen Sie den Magneten auf den Supraleiter, bevor Sie diesen durch Abkühlen in die supraleitende Phase bringen.
  - b. Bringen Sie den Magneten von oben in die Nähe der bereits supraleitenden Scheibe und messen sie jeweils die Schwebhöhe mit einem Millimeterpapier.
2. Messen Sie den Widerstand und die AC- Suszeptibilität beim supraleitenden Übergang eines Indiumfilms sowohl im Abkühlen als auch im Aufwärmen.

## Literatur

- Ibach Lüth, Festkörperphysik, 7. Auflage, Kapitel 10, Seite 287-338
- Werner Buckel, Reinhold Kleiner, Supraleitung – Grundlagen und Anwendungen, 7. Auflage, Kapitel 4.1-4.5, Seite 203-224
- Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, 3. Auflage, Kapitel 2.1-2.3 und 12.5, Seiten 7-17 und 287-308
- *What is a lock-in amplifier* (SR830 Operating Manual, Stanford Research Systems)
- C. V. Topping und S. J. Blundell, A.C. susceptibility as a probe of low-frequency magnetic dynamics, Seiten 1-3 und 10-11

## Durchführung des Experiments:

### Teil 1

Legen Sie einen Permanentmagneten auf die Bronzeabdeckung ( $d=0.25\text{mm}$ ) des Supraleiters (Durchmesser=4cm,  $d=4\text{mm}$ ). Kühlen Sie nun die Anordnung durch Einfüllen von flüssigen Stickstoff in die Stahlwanne auf 77 K ab (siehe Abbildung 1). Wegen des massiven Kupferteils dauert die Abkühlung eine Weile. Der Kupferträger dient der Kühlung durch Wärmeleitung und ist zur effektiveren Kühlung durchbohrt. Man beobachtet ein heftiges Leidenfrost-Phänomen, wenn der Stickstoff das Kupfer benetzt. Sobald der Supraleiter seinen supraleitenden Zustand erreicht hat, kann man den Meißner-Ochsenfeld-Effekt beobachten. Messen Sie die Schwebehöhe mit dem Millimeterpapier. Entfernen Sie anschließend den Magneten und führen Sie ihn „von Unendlich kommend“ wieder an den Supraleiter heran. Nun schwebt der Magnet durch Induktion. Messen Sie erneut die Schwebehöhe. Untersuchen Sie die Stabilität des Schwebezustandes.

### Auswertung

Diskutieren Sie für beide Prozessführungen die ermittelten Schwebehöhen. Wieso sind diese verschieden? Lässt dich der Magnet bewegen oder drehen? Was lernt man daraus über den supraleitenden Zustand?

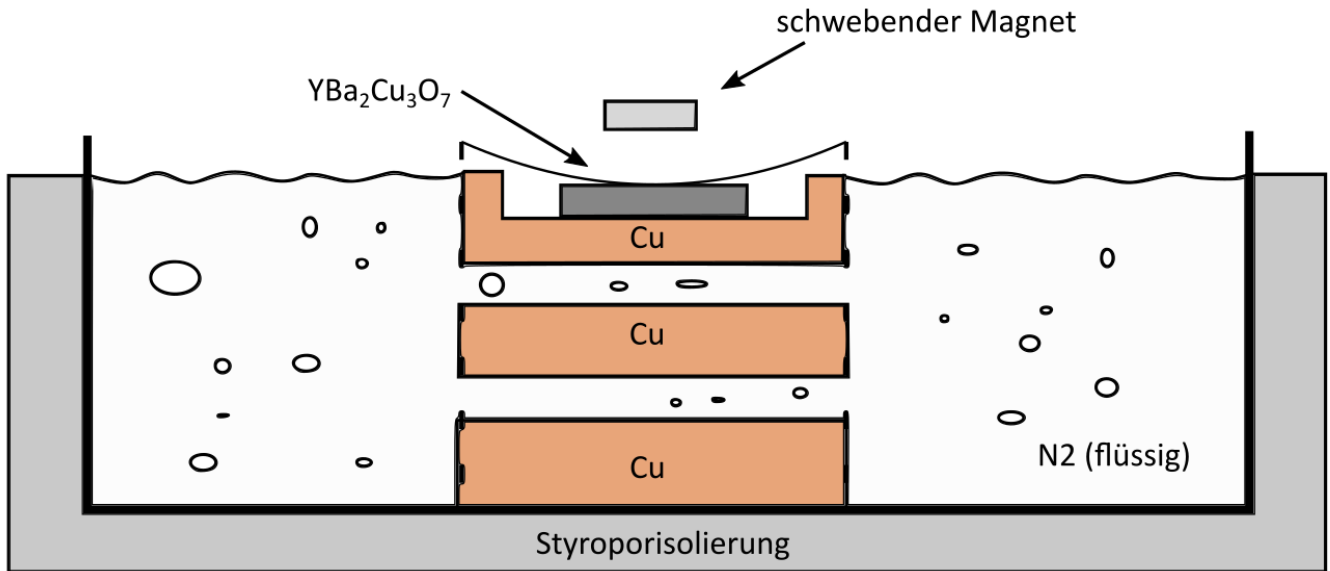


Abbildung 1 Skizze zum ersten Versuchsabschnitt

## Teil 2

In diesem Versuchsteil wird die Sprungtemperatur eines Indiumdünnsfilms ( $T_c = 3,5 \text{ K}$ ) durch die Änderung seines elektrischen Widerstandes in Abhängigkeit eines äußeren magnetischen Feldes gemessen. Wir verwenden eine Dünnsfilmprobe, da diese einen wesentlich höheren und dadurch leichter zu messenden Widerstand aufweist. Das Magnetfeld wird von einem Helmholtzspulenpaar ( $R=15\text{mm}$ , Windungszahl  $N=750$ ), welches von einem konstanten Strom durchflossen wird, erzeugt:

$$B_{\text{Helmholtz}} = \frac{4}{5} \sqrt{\frac{4 N \mu_0 I}{5 R}}$$

Die Temperaturbestimmung erfolgt mit einer 4-Punkt-DC-Messung mit einem sogenannten Cernox-Thermometer. Welche Temperaturcharakteristik besitzt dieses Thermometer? Hierbei wird am Thermometer ein konstanter Messstrom ( $10\mu\text{A}$ ) angelegt und die an den Kontakten abfallende Spannung wird mit einem Digitalvoltmeter ausgelesen. Die Bestimmung des Probenwiderstandes erfolgt ebenfalls in einer 4-Punkt Geometrie. Die Temperaturen werden von  $4,2 \text{ K}$  bis etwa  $2 \text{ K}$  in einem  $^4\text{He}$ -Badkryostaten variiert (siehe Abbildung 2). Zum Erreichen des Bereiches unterhalb der Siedetemperatur von Helium wird Heliumgas über der Flüssigkeit abgepumpt und somit das System durch Entzug von Verdampfungsenthalpie zusätzlich gekühlt.

Befüllen Sie die Anordnung mit flüssigem Stickstoff. Messen Sie den Widerstand und die AC-Suszeptibilität beim supraleitenden Übergang der Indium-Probe sowohl im Abkühlen als auch im Aufwärmen. Bei diesem Versuch wird die am Thermometer abfallenden Spannung und der Lock-In-Verstärker von einem PC ausgelesen. Der Thermometerwiderstand wird mit Hilfe einer im PC gespeicherten Eichkurve in einen Temperaturwert umgerechnet. Die Kurve Widerstand gegen Temperatur wird direkt am PC angezeigt.

## Auswertung

Berechnen Sie für alle beim Helmholtzspulenpaar verwendeten Ströme das Magnetfeld. Bestimmen Sie für alle untersuchten Magnetfelder die supraleitende Sprungtemperatur bei halber Sprunghöhe. Konstruieren Sie daraus das B-T-Phasendiagramm von Indium. Vergleichen Sie den Verlauf mit der näherungsweisen Gleichung:

$$B_c(T) = B_c(0) \cdot \left(1 - \left(\frac{T}{T_c(0)}\right)^2\right)$$

Bestimmen Sie über einen Fit den Wert des kritischen Magnetfeldes bei 0 K (Literaturwert 30mT). Sind die gemessenen Werte realistisch?

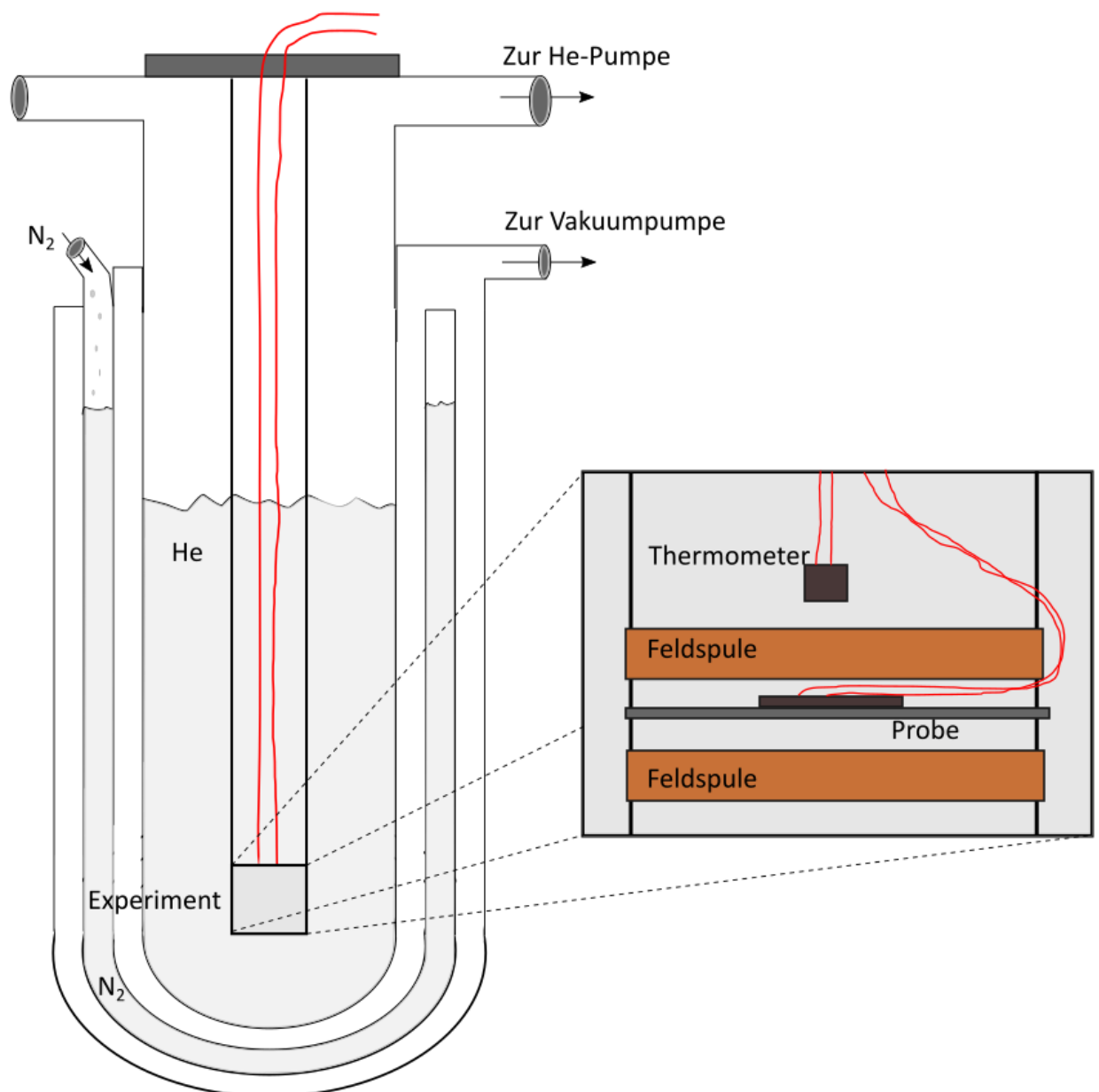


Abbildung 2 Skizze zum zweiten Versuchsabschnitt