

## Übungsblatt 1

### Grundbegriffe der Supraleitung

#### Themen für Kurzvorträge

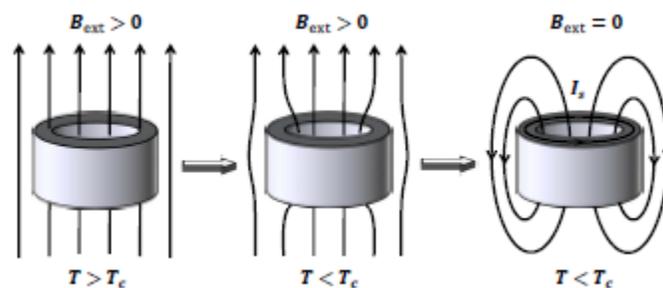
- Magnetische Fluss-Quantisierung (Quellen: GM 13.1.4.5).
- Supraleitende Materialien (Quellen: GM: 13.1.2 und e.g. Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleiter#Einteilung> )

#### 1. Wiederholungs-Aufgaben

- Warum ist ein Supraleiter nicht nur ein perfekter Leiter?
- Welches Element hat die höchste Sprungtemperatur und wie hoch ist sie? Wie sieht es unter erhöhtem Druck aus?
- Wie hängt das kritische Feld (empirisch) von der Temperatur ab?
- Was ist der Unterschied zwischen einem Supraleiter 1. Ordnung und 2. Ordnung?
- Was versteht man unter Flussquantisierung?
- Wie kann man diese messen?

#### 2. Supraleiterschleife

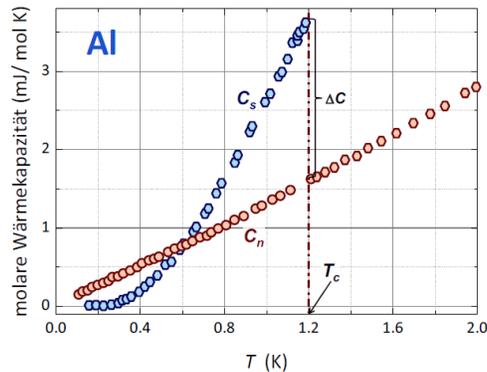
Wir betrachten den Suprastrom  $I_s$  in einem geschlossenen supraleitenden Ring aus Blei mit Radius  $r_0 = 1$  mm und Drahradius  $r_1 = 0.1$  mm. Der Supraleiter wird im Magnetfeld unter die Sprungtemperatur  $T_c$  abgekühlt und danach das Feld ausgeschaltet.



- Machen Sie sich klar, warum der Strom nach dem Abschalten des Feldes erhalten bleibt.
- Schätzen Sie den Strom  $I_s$  ab, wenn die im Supraleiter eingefrorene magnetische Flussdichte im Zentrum des Rings 1 mT beträgt.
- Wie hoch ist das auf der Ringoberfläche erzeugte Magnetfeld und vergleichen Sie es mit dem kritischen Feld von Blei. (Hint: benutzen Sie das Ergebnis aus b) und das Stoke'sche Theorem). Wie hoch ist die maximale eingefrorene magnetische Flussdichte im Zentrum des Rings?

### 3. Spezifische Wärme von Supraleitern

Nicht nur beim elektronischen Transport oder beim Magnetismus zeigen Supraleiter ein charakteristisches Verhalten, sondern auch bei der spezifischen Wärme. Wir wollen in dieser Übungsaufgabe die Wärmekapazität eines Supraleiters herleiten.



Die Abbildung zeigt die Wärmekapazität von Aluminium im supraleitenden und im normalleitenden Zustand. Wie zu sehen, gibt es einen Sprung  $\Delta C$  bei  $T_c$ . Diesen wollen wir uns im Folgenden klar machen.

- Bei welcher Temperatur wird Al supraleitend? Wie kann man darunter noch die Wärmekapazität des normalleitenden Zustand messen?
- Für die freie Enthalpie gilt:

$$dG = -SdT + Vdp - \mu_0 \mathbf{m} \cdot d\mathbf{H}_{ext}$$

Leiten Sie einen Ausdruck für die freie Enthalpiedichte  $\Delta g(T) = g_s(B_{ext}, T) - g_n(0, T)$  unter isothermen und isobaren Bedingungen durch Integrieren her. Benutzen Sie den Ausdruck für die Magnetisierung eines Supraleiters aus der Vorlesung. Skizzieren Sie den Verlauf als Funktion des magnetischen Feldes.

- Was passiert beim kritischen Feld? Was können Sie daraus für die Beziehung aus Kondensationsenergie und Feldverdrängungsarbeit folgern?
- Aus dem erhaltenen Ausdruck lässt sich ebenfalls einfach die Entropiedichte  $\Delta s(T)$  berechnen. Setzen Sie hier zudem den uns bekannten empirischen Ausdruck für  $B_{cth}(T)$  ein. Das Resultat können wir thermodynamisch diskutieren (Skizzieren Sie  $\Delta s$ ): Wie groß ist  $\Delta s$  bei  $T \rightarrow T_c$ ? Was bedeutet dies für die latente Wärme? Was passiert für  $T \rightarrow 0$ ? Welcher Zustand hat eine höhere Entropiedichte,  $s_n(T)$  oder  $s_s(T)$  und für welchen Bereich? Woran könnte dies liegen?
- Leiten Sie nun schlussendlich den Unterschied der Wärmekapazität bei  $T_c$  mittels  $C = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_{B_{ext}, p}$  her und bringen Sie das Ergebnis mit der obigen Abbildung in Einklang.