

Übungen zur Vorlesung Festkörperphysik WS 07/08

Prof. G. Maret

Blatt 13, Besprechung am 7./8.2.08

1. Aufgabe: Dauerstrom im SL

In einem Dauerstromexperiment wird das durch den Suprastrom I_S in einem geschlossenem Ring mit Radius $r_0 = 1\text{mm}$ und Drahtradius $r_1 = 0,1\text{mm}$ erzeugte magnetische Moment benutzt, um den 'Widerstand' R eines Supraleiters abzuschätzen.

- Schätzen sie den Strom I_S für ein Feld von $10^{-3}T$ im Zentrum des Rings ab. Wie wird der Strom erzeugt?
- Wie hoch ist das auf der Ringoberfläche erzeugte Magnetfeld?
- Schätzen sie die Zahl der im ring enthaltenen Flußquanten $\phi_0 = h/2e$ ab!

2. Aufgabe: Spezifische Wärme eines Supraleiters

a) Berechnen Sie den Sprung in der spezifischen Wärmekapazität $\frac{\Delta c}{c_n} = \frac{c_s - c_n}{c_n}$ (Indizes s und n bezeichnen hier die normaleitende und supraleitende Phase) eines Supraleiters bei der kritischen Temperatur T_c aus der thermodynamischen Relation

$$c = \frac{T}{V} \frac{dS}{dT} = - \frac{T}{V} \left(\frac{d^2 F}{dT^2} \right)_{V, B_0}$$

und dem Differenzial der freien Energie $F = U - TS$

$$dF = - SdT - MdB_0 (-pdV),$$

wobei M die Magnetisierung und B_0 die magnetische Flußdichte sind. Die in Klammern gesetzte Volumenänderung wird in der Regel für Festkörper vernachlässigt.

Hinweis: Im Phasendiagramm ist der Übergang von normaleitender zu supraleitender Phase gegeben durch die Beziehung

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

b) Berechnen Sie $\Delta c/c_n$ für Aluminium, Niob und Blei aus dem kritischen Feld $B_c(0)$ und T_c und γ . Verwenden Sie hierzu Werte aus der Literatur (z.B. Kittel, Ashcroft, Kopitzki).

3. Aufgabe: Magnetisierung eines SL

Bei der Charakterisierung von Supraleitern ist die Magnetisierung $\vec{M}(\vec{r})$ eine wichtige Größe. Sie wird als Funktion der außerhalb der Probe angelegten Induktion \vec{B}_0 gemessen, ist aber definiert als $\vec{M}(\vec{H}) = \chi_m \vec{H}$, wo $\vec{H} = \vec{H}(\vec{r})$ das Feld in der Probe und χ_m der Tensor der (linearen) mikroskopischen magnetischen Suszeptibilität ist. Oft wird an der Stelle der Suszeptibilität die

Permeabilität μ angegeben, $\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H}$. Deshalb muss \vec{H} sinnvoll festgelegt werden. Mit den physikalisch relevanten Größen \vec{B} und \vec{M} erhält man

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad .$$

Im Fall eines zu einer externen Induktion $\vec{B}_0 = \text{const.}$ parallelen Zylinders gilt $\vec{H}_i = \vec{H}_0 = \vec{B}_0/\mu_0$, in allen anderen Fällen $\vec{H}_i = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} - n\vec{M}_1$. Dabei ist n der Entmagnetisierungsfaktor, der sich aus der Lösung des Randwertproblems $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ und $\nabla \times \vec{B} = \mu_0\vec{j}$ ergibt. Es gelten die selben Werte z.B. für einen Zylinder, eine Scheibe oder Kugel wie für die Entelektrisierungsfaktoren in der Elektrostatik.

- Berechnen sie \vec{H}_i , \vec{B}_i und \vec{M}_i für eine Kugel als Funktion von n und μ und \vec{B}_0 !
- Wie groß ist die Induktion $\vec{B}_{ext}(r = R)$ unmittelbar außerhalb einer Kugel im Meissnerzustand an den Polen und am Äquator?
- Berechnen sie die Induktion außerhalb einer Kugel im Meissnerzustand in Kugelkoordinaten! Benutzen sie dazu $\vec{B}(r \geq R) = \vec{B}_0 + |\vec{B}_0| \frac{R^3}{2} \nabla \frac{\cos\theta}{r^2}$.

4. Aufgabe: Fragen, Fragen, Fragen...

- Wodurch ist die Supraleitung charakterisiert?
- Wie sind die Magnetfeldverhältnisse innerhalb und außerhalb eines Supraleiters? Welche Fälle muss man unterscheiden?
- Wie kann man in einem supraleitenden Ring einen Dauerstrom anwerfen?
- Wie unterscheiden sich die freien Energien von Supra- und Normalzustand?
- Wie ändert sich die Entropie bei der Sprungtemperatur?

...und zum Schluss

schöne Semesterferien!