**Klausurübungen für Examenskandidaten (experimentelle Physik, Lehramt vertieft)**
**Prof. Dr. Bert Hecht**

Ausgegeben am 26.06.2007, Übungen jeweils Dienstag um 10:15 in SR 7
Übungsblätter und Vorlesungsfolien im Internet: www.nanoscale-optics.de → teaching
Für Rückfragen: hecht@physik.uni-wuerzburg.de, Zimmer B 032, Tel. 888-5863

# Blatt 9: Festkörperphysik

## Aufgabe 18 (gestellt im Herbst 2005): Fast freie Elektronen im Magnetfeld (20 Punkte)

In einem gut leitenden metallischen Material wirke ein homogenes Magnetfeld in z-Richtung $\vec{B} = B\vec{e_z}$, sowie ein elektrisches Feld $\vec{E}$ in der x-y-Ebene.

a) Stellen Sie die Bewegungsgleichung für die freien Elektronen auf unter der Annahme, dass auf sie eine Reibungskraft $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$ wirkt mit dem Reibungskoeffizienten $\alpha = m/\tau$, wobei $m = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ kg die Elektronenmasse und $\tau$ die Relaxationszeit ist.
(5 Punkte)

b) Für den stationären Fall ($\vec{v} = const.$) ergibt sich aus der Bewegungsgleichung eine Kräftebilanzgleichung. Stellen Sie mit Hilfe dieser Gleichung einen Zusammenhang zwischen der x- und y-Komponente des elektrischen Feldes und der x- und y-Komponente des Stromdichtevektors $\vec{j} = -ne\vec{v}$ her. $n = N/V$ ist die Zahl $N$ der Elektronen pro Volumen $V$ und $e = 1,60219 \cdot 10^{-19}$ C ist der Betrag der Elektronenladung. Zeigen Sie, dass diese Relationen in der Form $\vec{E} = \overleftrightarrow{\rho}\,\vec{j}$ geschrieben werden können, wobei $\overleftrightarrow{\rho}$ die 2×2-Matrix des elektrischen Widerstandes ist.
(5 Punkte)

c) Nehmen Sie an, der Strom fließe nur in der x-Richtung, d. h. $j_y = 0$. Dieser Strom wird von einer Spannung hervorgerufen, die das elektrische Feld in x-Richtung produziert. Zeigen Sie, dass sich eine zusätzliche Feldkomponente in y-Richtung ergibt, nämlich das Hall-Feld und geben Sie den Hallkoeffizienten $R_H = E_y/j_xB$ an.
(5 Punkte)

d) Berechnen Sie die Zahlenwerte der Elektronendichte $n$ aus den Meßwerten von $R_H$ für Cu ($R_H = -7,37 \cdot 10^{-11}\Omega\text{m/Tesla}$), Ag ($R_H = -1,065 \cdot 10^{-10}\Omega\text{m/Tesla}$) und Au ($R_H = -1,058 \cdot 10^{-10}\Omega\text{m/Tesla}$).

Berechnen Sie die Zahlenwerte der Relaxationszeit $\tau$ aus den Meßdaten des elektrischen spezifischen Widerstandes $\rho_0 = \rho_{xx}(B = 0)$ für Cu ($\rho_0 = 2.24 \cdot 10^{-8}\Omega\text{m}$), Ag ($\rho_0 = 2.13 \cdot 10^{-8}\Omega\text{m}$) und Au ($\rho_0 = 2.84 \cdot 10^{-8}\Omega\text{m}$).
(5 Punkte)

**Aufgabe 19 (gestellt im Frühjahr 2006): Thermische Ausdehnung (30 Punkte)**

Die potentielle Gitterenergie eines Ions eines Kochsalzkristalls kann mit dem Ausdruck

$$W = \frac{-1}{24\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Ae^2}{r} - \frac{B}{r^n}\right)$$

beschrieben werden, wobei A=1,75 die Madelung-Zahl ist. Die übrigen Größen betragen n=9 und $B=4\cdot10^{-74}e^2m^8$ (e=Elementarladung).

a) Erklären Sie qualitativ die Bedeutung der beiden Energieterme! 2 P

b) Berechnen Sie den Gleichgewichtsabstand $r_0$ der $Na^+$- und $Cl^-$-Ionen, der durch das Potentialminimum gegeben ist!
Zeigen Sie auch, dass sich W damit schreiben lässt als

$$W = \frac{-Ae^2}{24\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r} - \frac{r_0^{n-1}}{nr^n}\right).$$ 6 P

c) Entwickeln Sie die Energie um den Abstand $r_0$ bis zur 3. Ordnung sodass sie in der Form

$$W - W(r_0) \approx \gamma u^2 - \delta u^3 \quad mit\ u = r - r_0$$

geschrieben werden kann! Bestimmen Sie die Größen $\gamma$ und $\delta$ einschließlich ihrer numerischen Werte! 7 P
(*Ersatzlösung:* $\gamma = 2VAs/m^2$; $\delta = 10^{10}\ VAS/m^3$)

d) Betrachten Sie nun den Fall, dass die Ionen thermisch um ihre Gleichgewichtslage schwingen. Berechnen Sie klassisch die maximale Auslenkung $u_0$ in harmonischer Näherung des Potentials (d.h. für $\delta = 0$) unter der Annahme, dass die verfügbare Energie kT beträgt (k = Boltzmannkonstante, T = absolute Temperatur).
Berechnen Sie auch den numerischen Wert von $u_0$ für T=300 K!
Wo befindet sich in dieser Näherung das schwingende Ion im zeitlichen Mittel und was bedeutet dies für den thermischen Ausdehnungskoeffizient? 5 P

e) Zeigen Sie, dass sich im Fall des anharmonischen Potentials ($\delta > 0$) die Verschiebung des örtlichen Mittelwerts eines Ions zu

$$\Delta u = \delta\, kT / 2\gamma^2$$

ergibt!
Schreiben Sie dazu die gegenüber (d) modifizierte Auslenkung als $u_0' = u_0 \pm \Delta u$ und verwenden Sie, dass $\Delta u = \Delta u(T) << u_0$!
Benutzen Sie das Ergebnis zur Berechnung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten und bestimmen Sie auch dessen numerischen Wert!

10 P