Moderne Experimentalphysik II im WS 2023/24: Teil 1 - Festkörperphysik

Aufgabenblatt 7 · Abgabe: Di 12.12., 13h Übung: Do 14.12.2023 · (A.Ustinov/G.Fischer)

Soll-Punkte für dieses Blatt auch wieder **8 Punkte**. Die restlichen sind Bonus-Punkte.

Die **Anmeldung zur Vorleistung** (Klass. Mod. Exphys. II) **in Campus** ist offen. Sie können sich **bis zum 14.02.2024 (11:59h)** anmelden.
Falls Sie nur einen „halben Schein“ (Mod. Exphys. II – alt) benötigen, melden Sie sich bei Ihrem Tutor oder der Übungsleiterin, falls nicht schon geschehen.

26) Fermi-Fläche in der Zonen-Darstellung (3 Punkte)

Gegeben ist ein primitives quadratisches Gitter mit der Gitterkonstanten a. Bestimmen/Zeichnen Sie die Fermi-Fläche eines freien Elektronengases im reduzierten Zonenschema in der ersten bis dritten Brillouin-Zone. Wählen Sie die Elektronenkonzentration so, dass $k_F = 0.85 \cdot (2\pi/a)$ ist.

Zusatzfrage: Was ändert sich (qualitativ), wenn statt eines freien Elektronengases ein Elektronengas in einem schwachen periodischen Potential betrachtet wird?

27) Elektronen im Leitungsband (3 Punkte)

Der Energieverlauf am oberen Valenzband ist gegeben durch die isotrope Funktion
$E(\vec{k}) = -6.25 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{eVcm}^2 \cdot |\vec{k}|^2$.
Ein Elektron sei aus einem Zustand mit $k_x = 10^7/\,\mathrm{cm}$, $k_y = k_z = 0$ angeregt, wobei das Band sonst vollbesetzt bleibt. Geben Sie für den entstandenen lochartigen Zustand an:

i) das Vorzeichen und den Betrag der effektiven Masse,
ii) Richtung und den Betrag des Wellenzahlvektors,
iii) die Geschwindigkeit,
iv) den (Kristall-)Impuls,
v) die Energie und
vi) die Stromdichte (wählen Sie dazu $n = 1/m^3$).

28) Zyklotron-Frequenz (3,5 Punkte)

Betrachten Sie die Energiefläche

$$E(\vec{k}) = \hbar^2 \cdot \left(\frac{k_x^2 + k_y^2}{2m_t^*} + \frac{k_z^2}{2m_l^*}\right)$$

bei der m_t^* die transversale und m_l^* die longitudinale effektive Masse ist. Eine Fläche, auf der $E(\vec{k})$ konstant ist, hat die Form eines Rotationsellipsoids. Benutzen Sie die Bewegungsgleichung

$$\frac{d(\hbar\vec{k})}{dt} = -e \cdot \vec{v}(\vec{k}) \times \vec{B} \quad \text{mit} \quad \vec{v}(\vec{k}) = \frac{1}{\hbar}\nabla_{\vec{k}} E(\vec{k})$$

und zeigen Sie, dass die Umlauf-Frequenz eines Elektrons im Magnetfeld $\omega_c = eB/(m_t^* m_l^*)^{1/2}$ ist, wenn das statische Magnetfeld $\vec{B}$ in x-Richtung zeigt (ω_c nennt man die Zyklotronfrequenz).

29) De Haas-van Alphen-Effekt (4,5 Punkte)

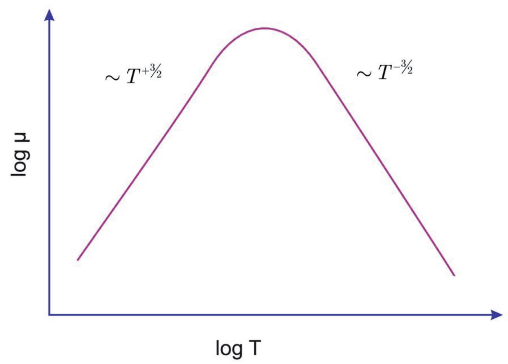
Die Messung der magnetischen Suszeptibilität $\chi = \mu_0 M/B$ von reinen Metallen zeigt bei tiefen Temperaturen eine oszillierende Abhängigkeit vom angelegten Magnetfeld (De Haas-van Alphen-Effekt). Mit Hilfe der Beziehung, $S_K\left(\frac{1}{B_{n+1}} - \frac{1}{B_n}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar}$, können die Extremalflächen S_K der Fermi-Fläche bestimmt werden.

(a) Betrachten Sie das Elektronengas von Gold als ein System freier Elektronen der Dichte $n = 5{,}9 \cdot 10^{22}$ cm^{-3} und schätzen Sie ab, welche Größe für die Extremalfläche der Fermi-Kugel zu erwarten ist.

(b) Im Experiment beobachten wir für ein Feld parallel zur [001]-Richtung eines Gold-Einkristalles Oszillationen mit einer Periode von $\Delta(1/B) = \frac{1}{B_{n+1}} - \frac{1}{B_n} = 1{,}95 \cdot 10^{-5}\,1/\mathrm{T}$.
Ist das Magnetfeld dagegen parallel zur [111]-Richtung, so werden zwei sich überlagernde Oszillationen mit den Perioden $2{,}05 \cdot 10^{-5}\,1/\mathrm{T}$ und $6 \cdot 10^{-4}\,1/\mathrm{T}$ beoachtet.
Berechnen Sie jeweils die Größe der dazugehörigen Extremalfläche S_K und interpretieren(*) Sie die Ergebnisse anhand der Fermi-Fläche von Gold (siehe Vorlesung oder Hunklinger).
(*) Es genügt, die Fermifläche zu skizzieren (oder sich ein Bild zu kopieren) und die Extremalflächen dort einzuzeichnen.

30) Temperaturabhängige Beweglichkeit

Dikutieren Sie kurz den qualitativen Verlauf der Elektronen-Beweglichkeit $\mu(T)$ von der Temperatur (siehe Skizze nach Ibach/Lüth).



Stichworte sind: Geschwindigkeitsverteilung eines klassischen idealen Gases (Maxwell-Boltzmann-Verteilung), Streuung an Phononen, Streuung an geladenen Störstellen ("Rutherford-Streuung")

31) p-n-Übergang

Skizzieren Sie für einen p-n-Übergang im Schottky-Modell den Verlauf der Raumladungsone $\rho(x)$, die elektrische Feldstärke $E(x)$ und das elektrische Potential $\phi(x)$.