

Übungen zur Physik V: Festkörperphysik (WS 2010/2011)

A. Ustinov / G. Fischer

Übungsblatt 11

Besprechung am 27. Januar 2011

Aufgabe 1

In einem anisotropen Kristall sei die Energie der Kristallelektronen im Leitungsband gegeben durch

$$E(\vec{k}) = \alpha_{xx} \cdot k_x^2 + \alpha_{yy} \cdot k_y^2 + \alpha_{zz} \cdot k_z^2$$

- a) Diskutieren Sie die Flächen konstanter Energie. Stellen Sie die Bewegungsgleichungen eines Elektrons unter dem Einfluß eines äußeren elektrischen Feldes $\vec{E}$ auf.
- b) Der Energieverlauf an der oberen Valenzbandkante sei gegeben durch die isotrope Funktion $E(\vec{k}) = -6.25 \cdot 10^{-15} \text{ eVcm}^2 \cdot |\vec{k}|^2$. Ein Elektron sei aus einem Zustand mit $k_x = 10^7/\text{cm}$, $k_y = k_z = 0$ 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. die Richtung und den Betrag des Wellenzahlvektors,
 - iii. die Geschwindigkeit,
 - iv. den Kristallimpuls,
 - vi. die Energie,
 - vii. die Stromdichte (wählen Sie dazu $n = 1/\text{m}^3$).

Aufgabe 2

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 Umlauffrequenz 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).

Aufgabe 3

Betrachten Sie die Bewegung von Bloch-Elektronen im Magnetfeld mit der Bewegungsgleichung aus Aufgabe 2.

- a) Berechnen Sie die Bahn $\vec{r}_\perp$, d. h. die Projektion der Bahn im Ortsraum auf die Ebene senkrecht zu $\vec{B}$.
- b) Wie sieht die Fermi-Fläche von Edelmetallen aus (in einem Buch nachschlagen)? Diskutieren Sie mögliche elektronische (lochartige) Bahnen. Wie sieht der $\vec{k}(t)$ - und $\vec{r}_\perp(t)$ -Verlauf für freie Elektronen aus?

Aufgabe 4

Ein Halbleiterkristall (20 mm lang, 8 mm breit, 1 mm dick) befindet sich in einem Magnetfeld der Flussdichte 0,1 Tesla, das senkrecht zu den größten Flächen steht. Für einen Strom von 100 mA, der in der Richtung der Länge des Kristalls fließt, wird über die Breite die Spannung von 3,7 mV gemessen. Wie hoch ist die Dichte der freien Elektronen in diesem Material? Wie groß wäre die Hallspannung, wenn statt des Halbleiters eine Silberprobe verwendet würde? Schätzen Sie für beide Materialien die mittlere Driftgeschwindigkeit der Elektronen ab!