

Übungen zur Modernen Experimentalphysik II Festkörperphysik WS 2015/2016

Übungsblatt 11 · Besprechung am 21. Januar 2016

<http://www.phi.kit.edu/exphys2.php>

Aufgabe 31: De Haas-van Alphen-Effekt in Gold

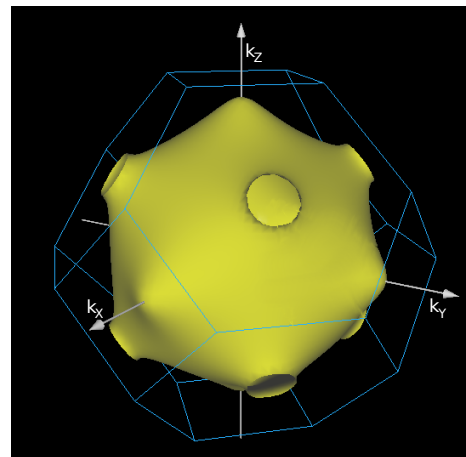
Bei tiefen Temperaturen und in sehr starken Magnetfeldern lässt sich beobachten, dass die magnetische Suszeptibilität eines Metalls in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte B Oszillationen aufweist, welche periodisch in $1/B$ sind. Dieser „de Haas-van Alphen“-Effekt, erlaubt mittels der Beziehung

$$\Delta\left(\frac{1}{B}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar A_k}$$

eine Bestimmung von *Extremalflächen* A_k der Fermikugel, welche im k -Raum von Elektronenbahnen senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes umschlossen wird.

- (a) Gold besitzt eine Ladungsträgerdichte von $n = 5.90 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$. Betrachten Sie das Elektronengas von Gold als System freier Elektronen, und schätzen Sie ab, welche Größe für die Extremalfläche der Fermikugel von Gold zu erwarten ist.

- (b) Das Experiment liefert für ein in $[001]$ -Richtung eines Gold Einkristalls orientiertes Magnetfeld Oszillationen mit der Periode $\Delta(1/B) = 1.95 \cdot 10^{-5} \text{T}^{-1}$. Weist das Magnetfeld dagegen in $[111]$ -Richtung, so werden zwei sich überlagernde Oszillationen beobachtet, welche die Perioden $\Delta(1/B) = 2.05 \cdot 10^{-5} \text{T}^{-1}$ bzw. $\Delta(1/B) = 6 \cdot 10^{-4} \text{T}^{-1}$ besitzen. Berechnen Sie die jeweils die Größe der dazugehörigen Extremalfläche A_k und interpretieren Sie die Ergebnisse anhand der Abbildung dargestellten Fermifläche von Gold.



English key words: Fermi surface; extremal electron orbit; susceptibility oscillations. (3 Punkte)

Aufgabe 32: Leitungselektronen im anisotropen Kristall

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:
- das Vorzeichen und den Betrag der effektiven Masse,
 - die Richtung und den Betrag des Wellenzahlvektors,
 - die Geschwindigkeit,
 - den Kristallimpuls,
 - die Energie,
 - die Stromdichte (wählen Sie dazu $n = 1/\text{m}^3$).

English key words: anisotropic crystal; equation of motion; valence / conduction band edge; hole state. (4 Punkte)

Aufgabe 33: Klassischer Hall Effekt

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!

English key words: classical Hall effect; semiconductor/metal; drift velocity. (3 Punkte)