MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT
HALLE-WITTENBERG

Naturwissenschaftliche Fakultät II -
Chemie, Physik und Mathematik

Institut für Physik
Fachgruppe Oberflächen-
und Grenzflächenphysik

Prof. Dr. Wolf Widdra

Übungsklausur zur Experimentalphysik C

Keine Abgabe

1. Kristallstruktur

Gegeben ist ein nichtprimitives, periodisches 2D-Gitter mit Atomen der Sorte A bei den Positionen: $r_{A1} = (0,0); r_{A2} = (0,1); r_{A3} = (1,-1); r_{A4} = (1,1); r_{A5} = (1,0); r_{A6} = (0,2)$ (in Einheiten einer Gitterkonstante) und den Atomen der Sorte B bei den Positionen $r_{B1} = \frac{1}{3}(2,-1); r_{B2} = \frac{1}{3}(2,2);$ $r_{B3} = \frac{1}{3}(1,1); r_{B4} = \frac{1}{3}(1,4)$. Das Gitter wird vervollständigt durch Translationen (in Einheiten einer Gitterkonstante): $a = (1,-1)$ *und* $b = (0,2)$.

(a) Bestimmen Sie eine primitive Einheitszelle und geben Sie die Basis an. Um was für ein Kristallgitter handelt es sich?
(b) Konstruieren Sie die zweite Brillouin-Zone.
(c) Warum ist das tetragonal flächenzentrierte Gitter keins der bekannten 14 Bravaisgitter?

2. Beugung

Verwenden Sie die 2D-Kristallstrutur der Aufgabe 1.

(a) Röntgenlicht mit einer Wellenlänge von einem $\frac{2}{\sqrt{5}}$der Gitterkonstante falle in der [1,2]-Richtung auf den Kristall. Berechnen Sie die Winkel aller auftretenden Beugungsreflexe unter der Annahme, dass die beiden Atomsorten A und B unterschiedlichen Atomformfaktoren bei dieser Wellenlänge besitzen. Nutzen Sie dabei die Ewald-Konstruktion.
(b) Was ändert sich, wenn beide Atomsorten A und B gleiche Atomformfaktoren besitzen? Berechnen Sie den Strukturfaktor. Was bedeutet dies für mögliche Beugungsreflexe?
(Nur (!) wenn Sie Aufgabe 1 nicht lösen können, bitte die (010)-Ebene von NaCl für diese Aufgabe verwenden.)

3. Phononen

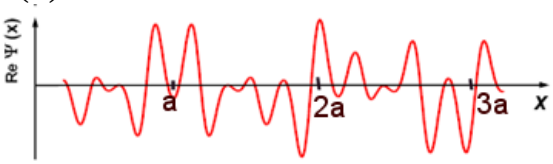
(a) Gegeben sei ein Festkörper mit einfach tetragonaler Struktur mit zwei unterschiedlichen Atomsorten in der Einheitszelle. Atomsorte A auf den Ecken der Einheitszelle und Atomsorte B mittenzentriert auf den 6 Flächen der Einheitszelle. Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Phononendispersion entlang der drei Hochsymmetrierichtungen [100], [010] und [001].
(b) Leiten Sie aus einem einfachen Ansatz die Dulong-Petitsche Regel für die spezifische Wärme her. Warum versagt die Regel bei tiefen Temperaturen.

4. Elektronische Struktur

Die Leitungselektronen eines (hier eindimensional betrachteten) Festkörpers in der quasi-freie-Elektronennäherung spüren eine gitterperiodische Wechselwirkung mit den Atomrümpfen, die durch das folgende Potential beschrieben wird:

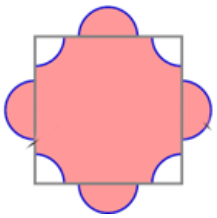
$$V(x) = c_0 - c_1 \sin(\frac{2\pi}{a}x) + c_2 \sin(\frac{4\pi}{a}x) - c_3 \sin(\frac{6\pi}{a}x)$$

(a) Skizzieren Sie die zu erwartende Dispersionsrelation. Diskutieren Sie mögliche Aufspaltungen zwischen den ersten drei Bändern.
(b) Wann handelt es sich bei einem Festkörper mit oben beschriebenem Potential V(x) um ein Metall, einen Halbleiter oder einen Isolator?
(c) Skizzieren Sie den Verlauf der Zustandsdichte D(E) für dieses eindimensionale Modell.
(d) Könnte die Grafik (rechts) den Realteil einer Elektronenwellenfunktionen dieses 1D-Festkörper wiedergeben? Begründen Sie.



5. Halbleiter
(a) Diskutieren Sie anhand der Dispersionsrelation (Bändermodell) im Bereich der Bandlücke die unterschiedlichen optischen Eigenschaften von GaAs und Si. Was versteht man unter leichten und schweren Löchern?
(b) Dotierung von Silizium (4 Valenzelektronen) mit geringen Mengen von Bor (3 Valenzelektronen) führt bei Raumtemperatur zu einer geringeren oder höheren Leitfähigkeit? Erklären Sie warum (Skizze). Wodurch wird die Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerkonzentration in Leitungs- und Valenzband bei hohen und bei tiefen Temperaturen bestimmt?
(c) Skizzieren die den temperaturabhängigen Verlauf der Fermienergie eines p-dotierten Halbleiters schematisch.
(d) Erklären Sie die Funktionsweise einer Zehnerdiode.

6. Transport von Elektronen
Gegeben ist ein Festkörper, der durch ein zweidimensionales, quadratisches reziprokes Gitter angenähert werden kann. In der folgenden Abbildung ist die Fermifläche im ausgedehnten Zonenschema dargestellt (dunkel entspricht besetzten Zuständen).



(a) Skizzieren Sie besetzte und unbesetzte Zustände im ersten und zweiten Band im periodischen Zonenschema.
(b) Es werde ein schwaches Magnetfeld angelegt, das aus der Zeichenebene heraus auf Sie zu orientiert ist. Skizzieren Sie die Trajektorie im reziproken Raum, die Elektronen der Energie E=EF beschreiben, wenn sie sich im ersten bzw. zweiten Band befinden.
(c) Wie bewegen sich die Elektronen in sehr hohen Magnetfeldern? Was bestimmt die Quantisierung?

7. Supraleitung
a) Skizzieren Sie die Magnetisierung für Supraleiter 1. und 2. Art. Beschreiben Sie auftretenden Phasen.
b) Der Tunnelstrom zwischen einem Supraleiter und einem Metall, die nur durch eine dünne Tunnelbarriere getrennt sind, zeigt eine nicht-ohmsches Verhalten. Beschreiben und erklären Sie dieses Phänomen.

8. Quasiteilchen
(a) Was versteht man unter einem „Plasmon“? Geben Sie die Dispersionsrelation an.

Konstanten (zu benutzen oder auch nicht)

$\hbar = 1{,}05*10^{-34}$ Js = $6{,}58*10^{-16}$ eVs

$m_0 = 9{,}11*10^{-31}$ kg; $k_B = 1{,}38*10^{-23}$ J/K = $8{,}62*10^{-5}$ eV/K; $c = 3*10^{-8}$ m/s

$e = 1{,}6*10^{-19}$ C