

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 8 (FKP) - Physik V - WS 2013/2014

Diskussion: 12./13.12.2013

Aufgabe 8.1 Dispersionsrelation von Phononen (1 Punkt)

(a) AlNi-Kristalle haben sc-Struktur mit zweiatomiger Basis bestehend aus einem Nickel- und Aluminiumatom. Wieviele akustische und wieviele optische Phononenzweige gibt es hier?

(b) Gold liegt als fcc-Kristall mit einatomiger Basis vor. Die kubische Gitterkonstante beträgt $a = 4,08 \text{ \AA}$. Wir betrachten nur die Wellenausbreitung in $[010]$ -Richtung. Am Brillouinzone-Rand beträgt die Frequenz der longitudinalen akustischen Phononen $3,2 \text{ THz}$. Die longitudinale Schallgeschwindigkeit beträgt 1740 m/s .

Skizzieren Sie basierend auf diesen Zahlen die Dispersionsrelation für longitudinal akustische Phononen. Beschriften Sie auch die Achsen.

Zeichnen Sie *qualitativ* die Dispersionsrelation für transversal akustische Phononen mit ein. Warum sind die transversalen Zweige in diesem Fall entartet?

Aufgabe 8.2 Zustandsdichte für die eindimensionale lineare Kette (1 Punkt)

Im Modell der eindimensionalen Kette sind N identischen Atome mit jeweils der Masse M paarweise durch Federn mit der Kraftkonstanten C verbunden. Schwingungen dieses Gebildes sind nur in Kettenrichtung erlaubt, nicht senkrecht dazu. Wir berücksichtigen nur die Wechselwirkung mit den nächsten Nachbarn und erhalten folgende Dispersionsrelation:

$$\omega(q) = 2\sqrt{\frac{C}{M}} \sin\left(\frac{qa}{2}\right) \quad (1)$$

für $0 \leq q \leq \pi/a$.

Wir nehmen periodische Randbedingungen an. Die Phononenzustandsdichte im q -Raum beträgt $\rho_q = L/2\pi$, wobei L die Länge der Kette ist (siehe auch Aufgabe 6.3).

(a) Berechnen Sie die Phononenzustandsdichte $D(\omega)$ im Frequenzraum.

(b) Berechnen Sie $D(\omega)$ in der Debye-Näherung, also unter der Annahme konstanter Gruppengeschwindigkeit und der Bedingung $N = \int_0^{\omega_D} D(\omega) d\omega$.

Aufgabe 8.3 Wärmekapazität der eindimensionalen linearen Kette (1 Punkt)

Berechnen Sie für die lineare Kette aus Aufgabe 8.2 in der Debye-Näherung die innere Energie $U(T)$ und die molare Wärmekapazität $C_V(T)$ im Grenzfall hoher Temperaturen ($T \rightarrow \infty$).

Aufgabe 8.4 Debye-Temperatur versus Schallgeschwindigkeit (1 Punkt)

Aus temperaturabhängigen Messungen der spezifischen Wärme findet man folgende Debye-Temperaturen für Gold und Diamant: $\Theta_{\text{Gold}} = 164 \text{ K}$ und $\Theta_{\text{Diamant}} = 2230 \text{ K}$. Die Massendichten betragen $\rho_{\text{Gold}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{\text{Diamant}} = 3,52 \text{ g/cm}^3$. Die longitudinalen Schallgeschwindigkeiten bestimmt man zu $v_{\text{Gold}} = 1740 \text{ m/s}$ und $v_{\text{Diamant}} = 18000 \text{ m/s}$.

Berechnen Sie aus Teilchendichte und Schallgeschwindigkeit die jeweilige Debye-Temperatur und vergleichen Sie diese mit den oben angegebenen Messwerten. Nehmen Sie bei der Berechnung vereinfachend an, dass die Debye-Geschwindigkeit 80 % der longitudinalen Schallgeschwindigkeit beträgt.

Weiterführende Fragen zur Diskussion in der Übungsgruppe

- Wie werden Phonon-Dispersionsrelationen experimentell bestimmt?
- Welchen Einfluss hat die Wahl der Basis und des zugehörigen Punktgitters auf die Phonon-Dispersionsrelation?
- Was sind optische bzw. akustische Phononen?
- Welche Annahmen liegen dem Debye-Modell der Wärmekapazität zu Grunde?
- Wieviele Parameter sind für die Beschreibung der Wärmekapazität im Debye-Modell nötig?
- Welche Stoffe lassen sich im Debye-Modell beschreiben?