

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

A. Ustinov / G. Fischer

Übungsblatt 7

Besprechung am 9. Dezember 2010

Aufgabe 1

Ein Laserstrahl der Wellenlänge $\lambda = 694 \text{ nm}$ durchläuft einen Quarzkristall. Durch akustische Schwingungen wird das Licht gestreut. Dabei findet eine Wechselwirkung zwischen Photonen und Phononen statt, bei der kein Rückstoß an das Gitter abgegeben wird. Berechnen Sie die maximale Frequenz der ausgelösten akustischen Schwingungen und geben Sie die relative Frequenzverschiebung des gestreuten Lichtes an. Verwenden Sie $v_s = 6000 \text{ m/s}$ für die Schallgeschwindigkeit im Kristall und $n = 1.54$ für die Brechzahl.

Aufgabe 2

Berechnen Sie die Zahl möglicher Schallwellen im Frequenzbereich zwischen 440 Hz und 880 Hz in einem Konzertsaal mit dem Volumen $V = 8000 \text{ m}^3$. Benutzen Sie dazu die Debeysche Näherung der linearen Dispersion mit der Schallgeschwindigkeit $v_s = 340 \text{ m/s}$ und als Volumenelement im k -Raum ein Kugelschale.

Aufgabe 3

Unter der Voraussetzung, dass nur Kräfte zwischen direkt benachbarten Massenpunkten wirken sollen, lautete die Dispersionsrelation einer linearen Kette von im Abstand a angeordneten Massenpunkten der Masse M : $\omega = \omega_{max} \left| \sin \frac{ka}{2} \right|$. Hierbei ist ω_{max} die Maximalfrequenz von Phononen im longitudinalen Phononenspektrum der linearen Kette.

- Berechnen Sie für die lineare Kette identischer Massenpunkte die Zustandsdichtefunktion $D(\omega)$ longitudinaler Phononen. Skizzieren Sie deren Verlauf und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Zustandsdichtefunktion, welche sich im Fall der Debeyschen Kontinuumsnäherung ergibt.
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Maximalfrequenz ω_{max} des Phononenspektrums, und der oberen Grenzfrequenz ω_D , welche in der Debeyschen Kontinuumsnäherung angesetzt wird?

Aufgabe 4

Mit Hilfe der Zustandsdichte in der Debey-Näherung lassen sich für akustische Phononen die innere Energie $U(T)$ und die spezifische Wärme $c_V(T)$ berechnen. Berechnen Sie in der Debye-Näherung die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme einer linearen Kette und eines dreidimensionalen Gitters. Betrachten Sie jeweils die Grenzfälle für hohe und tiefe Temperaturen.

Hinweis:

Berechnen Sie die spezifische Wärme aus der Inneren Energie:

$$U = \frac{L^d}{(2\pi)^d} \int_{\vec{k},s} \frac{\hbar \omega_s(\vec{k})}{\exp\left(\frac{\hbar \omega_s(\vec{k})}{k_B T}\right) - 1} d^d k,$$

die hier dimensionsabhängig (d) angegeben ist. Der Index s steht für die Polarisationsrichtung und L ist die Gitterkonstante.

Benutzen Sie folgende Vereinfachungen: $\int_0^\infty x^n / (e^x - 1) dx = n! \cdot \xi(n+1)$, mit $n = 1, 2, 3$ und $\xi(n) = \sum_{\nu=1}^\infty 1/\nu^n$, bzw. $\xi(2) = \pi^2/6$ und $\xi(4) = \pi^4/90$