

17) Zustandsdichte für Phononen (2,5 + 2) 4,5 Punkte

- (a) Berechnen Sie die Zustandsdichte $D(\omega)d\omega$ für akustische Phononen mit kleinem k in der Debye-Näherung für drei Dimensionen.
- (b) Benutzen Sie das Ergebnis aus (a) um einen Eindruck über die Zahl an auftretenden Phononen in einem schmalen Frequenzbereich zwischen $4,0 \cdot 10^6$ Hz und $4,1 \cdot 10^6$ Hz zu bekommen. Wie viele Phononen gibt es nach der Bose-Einstein-Statistik bei $T = 300$ K in einem Kristall mit dem Volumen 1 cm^3 in dem genannten Frequenzbereich? Die Schallgeschwindigkeit beträgt $v_s = 6000 \text{ m/s}$.
Hinweis: benutzen Sie $h\nu \ll k_B T$ um die Bose-Einstein-Funktion vereinfachen zu können.

18) Wärmekapazität (1 + 1 + 1,5) 3,5 Punkte

- (a) Wie groß ist nach der klassischen Theorie der Wärmekapazität die thermische Energie von 1 Mol Kupfer bei $T = \Theta_D$? (für Kupfer ist $\Theta_D = 340 \text{ K}$.)
- (b) Berechnen Sie die thermische Energie mittels Debye-Theorie und vergleichen Sie sie mit dem klassischen Ergebnis aus (a). Nähern Sie dafür die Debye-Kurve durch eine Gerade von 0 bis Θ_D (dort soll der Grenzwert von Dulong-Petit erreicht sein) an!
- (c) Beitrag optischer Phononen zur Wärmekapazität:
Die Energie der optischen Phononen sei einheitlich $\hbar\omega = 30 \text{ meV}$, und unabhängig von k (Einstein-Modell). Wie groß ist ihr Beitrag zur molaren Wärmekapazität bei $T = 300 \text{ K}$ für einen Kristall mit zweiatomiger Basis?
- (d) Zusatzaufgabe (ohne Wertung): Schätzen Sie die Größenordnung der Auslenkung eines Atoms in Kupfer bei $T = \Theta_D$ ab.
Grobe Anleitung: Nehmen Sie ein harmonisches Potential für die Kraft an. Über die Dispersionsrelation (lineare ein-atomige Kette) bekommen Sie einen Zusammenhang zwischen Frequenz und „Federkonstante“ der Schwingung. Die Energie des Atoms kann man als $k_B T$ annehmen.
Vergleichen Sie den erhaltenen Wert mit dem Atomabstand im Gitter.

19) Wärmekapazität von Graphit

Erklären Sie, warum bei Graphit die Wärmekapazität für kleine Temperaturen $\propto T^2$ variiert und nicht $\propto T^3$, wie man es aufgrund der Debye-Theorie erwarten würde!
Schauen Sie sich die Gitterstruktur von Graphit an (ohne Rechnung).

20) Wärmetransport

- (a) Sortieren Sie folgende Materialien nach der Größe und ordnen Sie ihnen ihre Wärmeleitfähigkeit zu:

Nr.	Material	Nr.	Wärmeleitfähigkeit in $W/(m \cdot K)$
	Kupfer		2,8
	Graphen		2300
	Diamant		401
	Wasser		5000
	Granit		0,6

- (b) Was ist der Umklapp-Prozess?