Prof. B. Batlogg WS 2006/07

Übungen zur Festkörperphysik I

Serie 5: Spezifische Wärme, Schallgeschwindigkeit

Verteilung: 21.11.2006 Abgabe: 29.11.2006 Rückgabe: 6.12.2006

Kurzfragen

a) Welche Phänomene in der Festkörperphysik sind mit der Annahme eines statischen Gitters nicht zu verstehen?

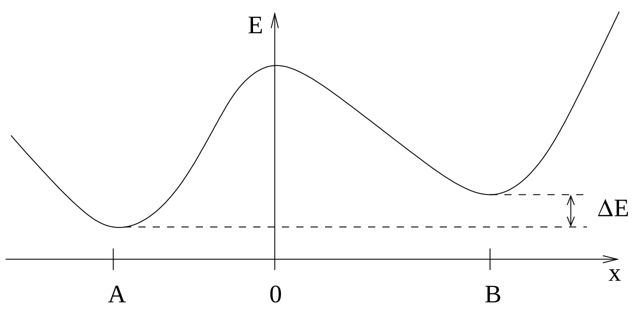
b) Was ist die Beziehung zwischen spezifischer Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit?

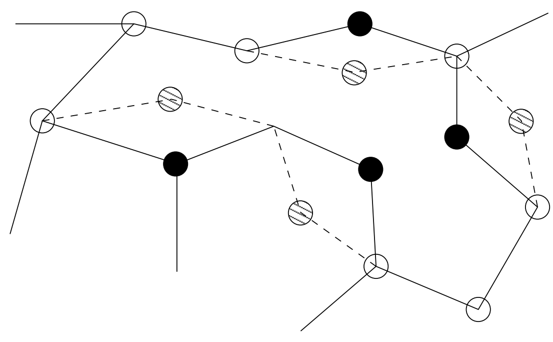
c) Weshalb nutzt man Neutronen und nicht Röntgenstrahlung zur Bestimmung der Phononendispersion?

d) Was versteht man unter einem Kristallimpuls?

1 Spezifische Wärme des amorphen Festkörpers

Amorphe Festkörper (z.B. Fensterglas) verhalten sich nicht wie reguläre Kristalle (mit Translationssymmetrie). So gilt im Tieftemperaturbereich nicht die T^3-Abhängigkeit der Wärmekapazität des Gitters (Debye-Modell für $T << \Theta_D$), sondern es zeigt sich, dass diese linear und aussergewöhnlich gross ist.
Eine Erklärung kann das Zwei-Niveau-Modell von Schottky liefern, das jedem Teilchen zwei benachbarte Gleichgewichtslagen A und B um einen ausgewählten Nullpunkt zuweist - mit entsprechenden lokalen Minima in der Bindungsenergie, welche sich um eine Differenz ΔE unterscheiden (siehe Figur).





Zeigen Sie die lineare Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapaziät bei gleichverteiltem ΔE mit 1 eV als Obergrenze und unter Betrachtung der Schottky-Besetzungswahrscheinlichkeit für nicht-entartete Zwei-Niveau-Systeme.
Hinweise: Berechnen Sie die innere Energie $U(T)$ eines Ensembles von N 2-Niveausystemen mit Energiedifferenzen $\Delta E = 0...1$ eV. Die Schottky-Besetzungswahrscheinlichleit für den energetisch höheren Zustand eines 2-Niveausystemes lautet:

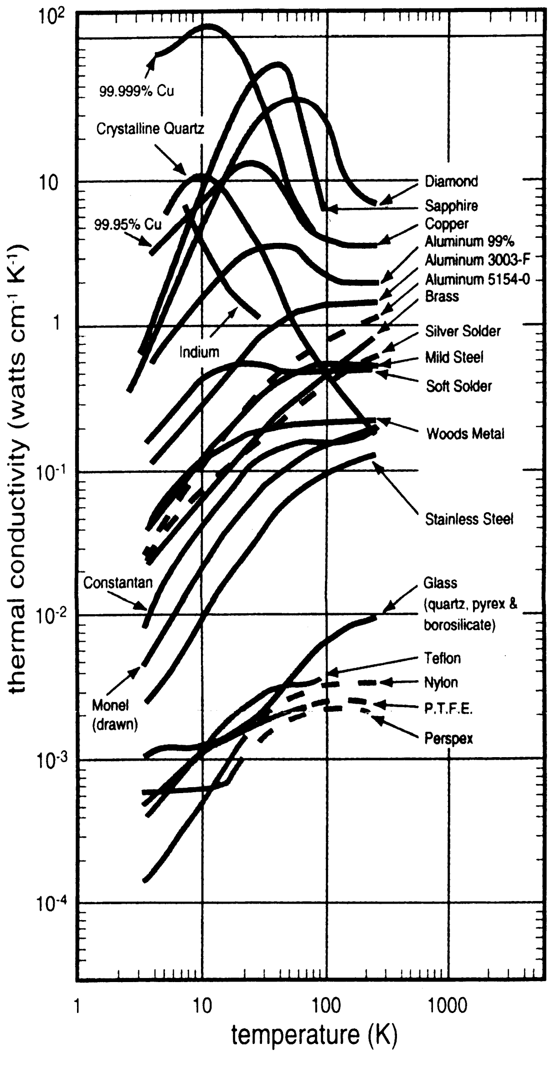
$$p_B(T) = \frac{1}{1 + \exp(\frac{\Delta E}{k_B T})}$$

2 Inelastische Neutron-Phonon-Streuung

Ein Neutron der Wellenlänge $\lambda_n = 4$ Å absorbiere bei einer inelastischen Streuung ein Phonon mit $\lambda_p = 10$ Å. Wie gross ist λ_n' und der relative Energiezuwachs $(E_n' - E_n)/E_n$ des Neutrons nach der Streuung, wenn das Phononenspektrum durch das Debye-Modell mit einer Schallgeschwindigkeit von $c_p = 10^3$ ms^{-1} dargestellt werden kann? Wie könnte man den Streuwinkel bestimmen?

3 Schallgeschwindigkeit in Diamant

Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit in Diamant mit Hilfe des Debye-Modells. Finden Sie dazu einen Ausdruck für die Schallgeschwindigkeit im polykristallinen Diamant, in den die Debye-Temperatur von $\Theta_D = 2240$ K eingeht. Formen Sie den Ausdruck so um, dass das Volumen pro Atom auftritt und ermitteln Sie dieses aus dem interatomaren Abstand $d_{\mathrm{C-C}} = 0.15$ nm im Diamant.
Was bedeutet eine hohe Schallgeschwindigkeit für die Grösse der thermischen Leitfähigkeit?
Hinweise: $k_B\Theta_D = \hbar\omega_D$, ($\omega_D$ ist die Debye-Frequenz). Untenstehend noch eine Dastellung von Wärmeleitungskoeffizienten für verschiedene Materialien.



Heat is transported through solids by electrons and phonons. The overwhelming number of available electrons in metals makes them more conductive than noncrystalline solids by orders of magnitude, as evinced by the high flying curves for metals compared to glass and polymers. For temperatures below the Debye temperature (above which many modes are excited), crystalline nonmetals such as sapphire conduct quite well by available phonons, which scatter only by temperature-independent processes; thus the conductivity tracks the phonon specific heat, rising as T^3. (Interestingly, perfect harmonic, scatterless phonons would conduct heat perfectly; the microscopic anharmonicity is macroscopically evident.) Heating beyond the the Debye-temperature, phonon scattering excites an exponentially growing variety of formerly frozen phonons, and the conductivity drops by T^{-x} with x between 1 and 2. While pure, highly ordered metals have similar lattice mechanisms at work, most metals' low conductivity is limited by electron velocity and mean-free path, leading to a linear rise with temperature as explained by the Drude model.