

V1: Magnetische Eigenschaften

Erläutern Sie einige Grundbegriffe, die bei der Beschreibung der magnetischen Eigenschaften von Festkörpern wichtig sind. Gehen Sie unter anderem auf magnetisches Moment und Magnetisierung, magnetische Suszeptibilität und Permeabilität, Dia-, Para- und Ferromagnetismus ein.

Aufgabe 37: Diamagnetismus von atomarem Wasserstoff

Die Wellenfunktion des Wasserstoffatoms im Grundzustand (1s) lautet

$$\psi = (\pi a_0^3)^{-\frac{1}{2}} \exp(-r/a_0)$$

mit $a_0 = \hbar^2/m_e^2 = 0.529 \times 10^{-8}$ cm. Entsprechend der statistischen Interpretation der Wellenfunktion ist dann die Ladungsdichte $\rho(x, y, z) = -e|\psi|^2$.

Zeigen Sie, dass in diesem Zustand $\langle r^2 \rangle = 3a_0^2$ ist und berechnen Sie die molare diamagnetische Suszeptibilität von atomarem Wasserstoff.

Aufgabe 38: Paramagnetismus

- Bestimmen Sie für einen Paramagneten, der sich aus magnetischen Ionen mit dem Gesamtdrehimpuls $J=1$, dem magnetischen Moment μ und der Konzentration n zusammensetzt, die Magnetisierung M als Funktion des magnetischen Feldes und der Temperatur.
- Zeigen Sie, dass für den Grenzfall $\mu B \ll k_B T$ das Ergebnis lautet: $M = \frac{2n\mu^2}{3k_B T} B$.
- Bei welchem B-Feld wird die Sättigungsmagnetisierung etwa erreicht? Berechnen Sie dazu das Magnetfeld B , bei dem sich mit der Näherung aus (b) die Sättigungsmagnetisierung ergibt.

Aufgabe 39: Ferromagnete

Ein magnetischer Dipol μ erzeugt in seiner Umgebung das Magnetfeld

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3(\vec{\mu} \cdot \vec{r})\vec{r} - r^2 \cdot \vec{\mu}}{r^5}.$$

- Berechnen Sie für die Ferromagnete Eisen und Nickel, welche Feldstärke ein Atom mit dem magnetischen Moment $\mu \cong 1\mu_B$ am Ort eines Nachbaratoms maximal erzeugen kann.
- Welchen Wert hat das Verhältnis der magnetischen Energie zur thermischen Energie bei der Curie-Temperatur $T_C \cong 1000$ K? Kann die Kopplung magnetischer Momente in Ferromagneten durch diese klassische Dipol-Dipol Wechselwirkung erklärt werden?
- Die Sättigungsmagnetisierung in Eisen beträgt etwa $1,7 \cdot 10^6$ A/cm. Wie groß ist das magnetische Moment eines einzelnen Eisenatoms, wenn man annimmt, dass bei Sättigung alle atomaren Momente ausgerichtet sind?

Gitterkonstanten: Fe: 2.87 \AA (Kristallstruktur?); Ni: 3.52 \AA (dto...).