
Übungen zur Physik für Chemiker II SoSe 21

Prof. Dr. M. Agio, L. Strauch

Übungsblatt 10 Lösung

Ausgabe: Mi, 23.06.2021

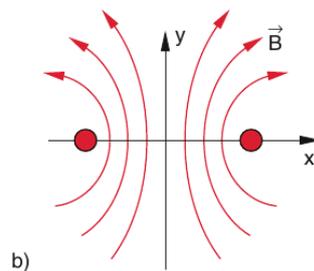
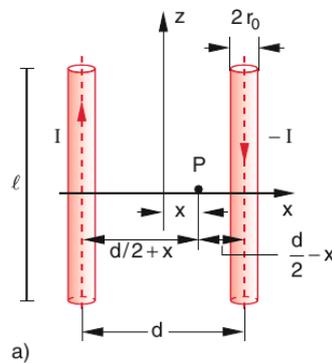
Aufgabe 1.

Zwei lange, parallele Drähte mit Radius r_0 und Abstand d , durch welche der Strom I in entgegengesetzter Richtung fließt, bilden eine elektrische Doppelleitung (siehe Abbildung). Sie stellt ein sehr wichtiges Element für die Übertragung elektrischer Leistung dar.

Berechnen Sie:

- Das B-Feld außerhalb der Drähte.
- Das B-Feld innerhalb beider Drähte einzeln.
- Den magnetischen Fluss Φ_m durch ein Stück der Doppelleitung der Länge l der durch die Fläche $A = d \cdot l$ fließt.

Bestimmen Sie zum Schluss den Selbstinduktionskoeffizienten L .



Lösung 1.

- (a) Wenn die Drähte in z -Richtung laufen, liegt das magnetische Feld in der x - y -Ebene. Auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Drähten, die wir als x -Achse wählen, gilt gemäß Blatt 8 Aufgabe 3 (äußeres B -Feld für einen Draht: $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$) für den Betrag von \vec{B} außerhalb der Drähte:

$$B^{(a)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\frac{1}{\frac{d}{2} + x} + \frac{1}{\frac{d}{2} - x} \right)$$

- (b) Im Inneren der Drähte ist $B^{(i)}$ nach Blatt 8 Aufgabe 3 (B -Feld innerhalb eines Drahtes: $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^2} \cdot r$) für den linken Draht ($I > 0; x < 0$):

$$B_l^{(i)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0^2} \left(\frac{d}{2} + x \right)$$

und für den rechten Draht ($I < 0; x > 0$)

$$B_r^{(i)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0^2} \left(\frac{d}{2} - x \right)$$

- (c) Der magnetische Fluss durch ein Stück der Doppelleitung mit der Länge l durch die Fläche $A = d \cdot l$ in der x - z -Ebene ist dann:

$$\begin{aligned} \Phi_m &= l \cdot \left[\int_{-d/2+r_0}^{d/2-r_0} B^{(a)} dx + \int_{-d/2}^{-d/2+r_0} B_l^{(i)} dx + \int_{d/2-r_0}^{d/2} B_r^{(i)} dx \right] \\ &= \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2} + \ln \left(\frac{d-r_0}{r_0} \right) \right] \end{aligned}$$

. Damit wird der Selbstinduktionskoeffizient:

$$L = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 \cdot l}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2} + \ln \left(\frac{d-r_0}{r_0} \right) \right]$$

Man sieht, dass die Selbstinduktion einer Doppelleitung mit zunehmendem Abstand d logarithmisch anwächst. Man beachte, dass L mit abnehmendem Drahtradius r_0 zunimmt !

Deshalb verwendet man für die induktionsarme Doppelleitungen flache Bänder, die sich (nur durch eine dünne Isolationsschicht getrennt) fast berühren. Für $d = 2r_0$ erhält man die minimale Induktion:

$$L(d = 2r_0) = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi}$$

Aufgabe 2.

Ein paramagnetisches Gas bei Zimmertemperatur ($T = 300\text{ K}$) wird in ein externes homogenes Magnetfeld der Feldstärke $B = 1,5\text{ T}$ gebracht. Die Atome des Gases besitzen ein magnetisches Dipolmoment $\mu = 1\mu_B$. Wie groß sind die mittlere Translationsenergie eines Atoms des Gases und die Energiedifferenz ΔU_B zwischen der parallelen und der antiparallelen Ausrichtung des atomaren magnetischen Dipolmoments mit dem äußeren Feld ?

Lösung 2.

Die mittlere kinetische Energie der Translation eines Atoms in einem Gas der Temperatur T ist:

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2}kT$$

Für $T = 300\text{ K}$ ist die Energie $E_{\text{kin}} = 0,038\text{ eV}$.

Die potenzielle Energie eines magnetischen Dipols $\vec{\mu}$ in einem äußeren Magnetfeld \vec{B} ergibt sich durch das negative Skalarprodukt der beiden:

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos(\theta)$$

Für die parallele Ausrichtung ist $\theta = 0^\circ$ und für die antiparallele Ausrichtung ist $\theta = 180^\circ$. Somit ist die Differenz der potenziellen Energien:

$$\Delta U_B = -\mu B \cos(180^\circ) - (-\mu B \cos(0^\circ)) = 2\mu B = 170\text{ }\mu\text{eV}$$

Aufgabe 3.

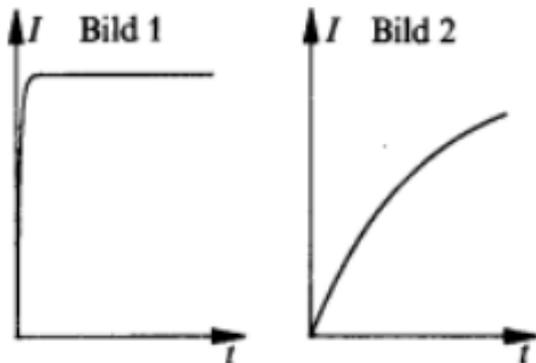
- Wenn ein Stoff keine ungepaarten Elektronen hat, ist er dann paramagnetisch oder diamagnetisch ?
- Erklären Sie kurz, warum Eisen bei $T_C = 1041\text{ K}$ (Curie-Temperatur) paramagnetisch wird und alle seine ferromagnetischen Eigenschaften verliert.

Lösung 3.

- Gepaarte Elektronen erzeugen kein intrinsisches magnetisches Moment, da sich die magnetischen Momente der einzelnen Elektronen (Spin) gegenseitig ausgleichen. Ein Stoff ohne ungepaarte Elektronen enthält somit keine Elementarmagneten. Dies ist allerdings nötig für Paramagnetismus. Bei Paramagnetismus richten sich diese Elementarmagneten in Richtung des externen Magnetfeldes aus und verstärken es dadurch.
Von Diamagnetismus spricht man, wenn ein Stoff keine Elementarmagneten enthält und damit die Induktion von Strömen in dem Stoff zum vorherrschenden Effekt wird. Nach der Lenz'schen Regel wirken diese Ströme ihrer Ursache entgegen und induzieren deshalb ein dem externen Magnetfeld entgegen gerichtetes Feld. Folglich ist ein Material ohne ungepaarte Elektronen diamagnetisch.
- Bei einem Ferromagneten sind die magnetischen Momente innerhalb sogenannter Weiss'scher Bezirke gleich ausgerichtet, bedingt durch magnetische Wechselwirkung zwischen den Elementarmagneten. Steigt nun die Temperatur und damit die thermische Energie der Elementarmagneten, verliert die magnetische Wechselwirkung nach und nach an Relevanz und die Elementarmagneten ihre ursprüngliche Gleichrichtung. Oberhalb der Curie-Temperatur ist die Gleichrichtung und damit sämtliche ferromagnetische Eigenschaften verschwunden. Das Material beinhaltet nun ungerichtete Elementarmagneten und verhält sich somit paramagnetisch.

Aufgabe 4.

Die beiden nebenstehenden Bilder zeigen den Stromanstieg für eine Spule beim Anlegen der gleichen äußeren Spannung U_B . In einem Fall enthält die Spule einen Eisenkern, im anderen Fall nicht. Ordnen Sie die Bilder diesen beiden Fällen zu und begründen Sie ihre Auswahl.



Lösung 4.

Der Strom ist gegeben durch:

$$I(t) = \frac{U_0 + U_I(t)}{R} = \frac{U_0 - L \cdot \dot{I}}{R} = \frac{U_0}{R} - \frac{L \cdot \dot{I}}{R} = I_0 - \frac{L \cdot \dot{I}}{R} = I_0 - \frac{L}{R} \frac{dI(t)}{dt}$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt:

$$I(0) = I_0 - \frac{L}{R} \frac{dI(0)}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_0 = \frac{L}{R} \frac{dI(0)}{dt} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{I_0 R}{\frac{dI(0)}{dt}}$$

Im Bild 1 erfolgt der Stromanstieg sehr rasch, also ist die Induktivität der Spule klein (ohne Eisenkern). Im Bild 2 erfolgt der Stromanstieg langsamer, die Induktivität der Spule ist groß (mit Eisenkern).