

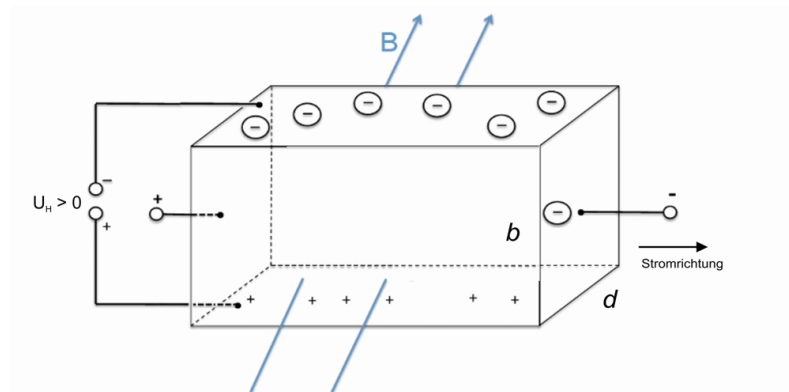
16. Übung zu Physik SS 2020

Ausgabe:04.04.2020

Prof. D. Suter

1. Hall-Effekt

Ein Kupferplättchen der Breite $b = 1,8 \text{ cm}$ und der Dicke $d = 1 \text{ mm}$ wird in ein Magnetfeld der Flussdichte $B = 1,2 \text{ T}$ gebracht. Bei einem Strom $I = 15 \text{ A}$ wird eine Hall-Spannung $U_H = 1,02 \text{ } \mu\text{V}$ gemessen.



a) Bestimmen Sie die Hall-Konstante K_H von Kupfer. Geben Sie an, um welche Art von Ladungsträgern es sich handelt.

b) Berechnen Sie die mittlere Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger in Kupfer.

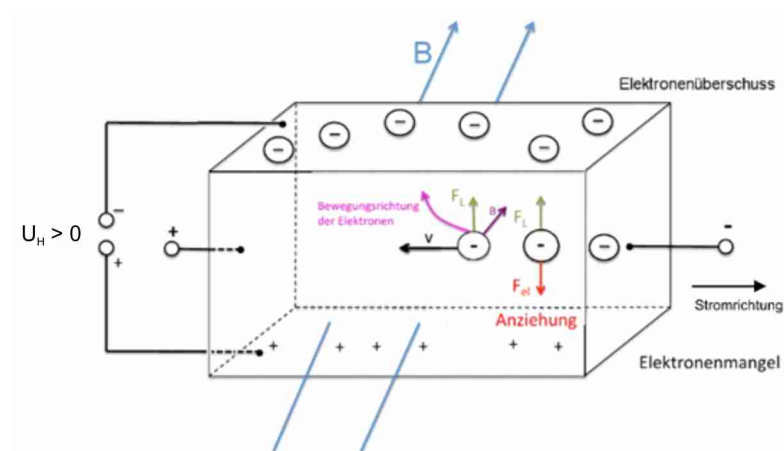
a) Für die Hall-Spannung gilt (Kapitel 4.8.8; Gleichungen 4.14 und 4.15):

$$U_H = -K_H \frac{I}{d} B$$

Umgestellt nach K_H :

$$K_H = -\frac{U_H \cdot d}{I \cdot B} = \frac{1,02 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot 10^{-3} \text{ m}}{15 \text{ A} \cdot 1,2 \text{ T}} = -5,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

Die Polarität der angegebenen Hall-Spannung ergibt, dass es sich um Elektronen als Ladungsträger handeln muss.



Die Wirkung der Lorentzkraft auf positiv bewegte Ladungsträger würde (im Vergleich zu Elektronen) eine entgegengesetzte Polung der HALL-Spannung hervorrufen.

- Bei gleicher Stromrichtung ist die Geschwindigkeit entgegengesetzt gerichtet.

- Aufgrund des außerdem entgegengesetzten Vorzeichens der Ladung würden die positiv geladenen Teilchen in dieselbe Richtung wie die Elektronen abgelenkt werden.
- Da die Ladungen, die sich nach oben bewegen, aber unterschiedliche Vorzeichen haben, kehrt sich das Vorzeichen der HALL-Spannung um.

b) Es gilt (Kapitel 4.8.8 , Gl. 4.13, Dicke des Plättchens $\rightarrow b$):

$$U_H = b \cdot v \cdot B \Rightarrow v = \frac{U_H}{b \cdot B} = \frac{1,02 \cdot 10^{-6} \text{ V}}{1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 1,2 \text{ T}} = 4,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Leiterschleife

Ein elektrischer Leiter hat die Form eines Quadrats mit Seitenlänge $L = 6.0 \text{ cm}$ und liegt in der xy -Ebene. Durch den Leiter fließt ein Strom $I = 2.5 \text{ A}$, und es herrscht ein externes Magnetfeld mit $B = 0.3 \text{ T}$. Bestimmen Sie Betrag und Richtung des Drehmoments, das auf den Leiter wirkt, wenn das Magnetfeld

- in die $+z$ -Richtung zeigt:
- in die $+x$ -Richtung zeigt:

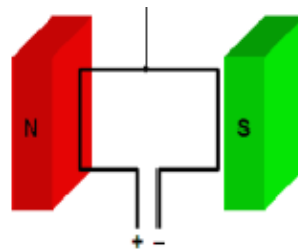
- Hier liegen alle Kräfte in der xy -Ebene und heben sich paarweise auf (Kapitel 4.8.12) – es gibt kein resultierendes Drehmoment.
- Hier gibt es ein Drehmoment, verursacht durch die beiden Ströme, die in $\pm y$ -Richtung fließen (Kapitel 4.8.12). Es gilt:

$$M = I \cdot \vec{A} \times \vec{B} = I \cdot L^2 \cdot B = 2,5 \text{ A} \cdot (6 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot 0,3 \text{ T} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

3. Para-, Ferro- und Diamagnet

- a) Wenn ein Stoff keine ungepaarten Elektronen hat, ist er dann paramagnetisch oder diamagnetisch?
- b) Erklären Sie, warum Eisen bei Temperaturen oberhalb von $T_C = 1041$ K (Curie-Temperatur) paramagnetisch wird und alle seine ferromagnetischen Eigenschaften verliert.
- a) Gepaarte Elektronen erzeugen kein intrinsisches magnetisches Moment, da die magnetischen Momente der einzelnen Elektronen sich 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.
- b) 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 Elementarmagnete, 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 ferromagnetischen Eigenschaften verschwunden. Das Material beinhaltet nun ungerichtete Elementarmagneten und verhält sich somit paramagnetisch.

4. Leiterschleife rotiert im Magnetfeld



Eine rechteckige Leiterschleife mit den Seitenlängen $a = 5$ cm und $b = 4$ cm rotiert mit konstanter Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 100$ s⁻¹ in einem homogenen Magnetfeld $B = 1$ T. Berechnen Sie die durch die Rotation in der Leiterschleife induzierte Spannung.

Nach Induktionsgesetz (Faraday'sche Gesetz, Kapitel 4.10.3) ist die induzierte Spannung U_{ind} gleich minus die zeitliche Änderung des Flusses des Magnetfeldes:

$$U_{ind} = - \frac{d\phi}{dt}$$

Der magnetischer Fluss ist (Kapitel 4.10.2)

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B \cdot \cos\theta \cdot dA = B \cdot \cos(\omega t) \int dA = B \cdot \cos(\omega t) \cdot a \cdot b$$

Als Folge

$$U_{ind} = \omega \cdot a \cdot b \cdot B \cdot \sin(\omega t) = U_0 \sin(\omega t) \Rightarrow$$

$$U_0 = \omega \cdot a \cdot b \cdot B = 2 \cdot \pi \cdot 100 \frac{1}{s} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot 1 \text{T} = 1,26 \text{V}$$