

Übung 12

Magnetisches Feld Kraft, Hall-Effekt, Materie im magnetischen Feld, Flussdichte, Energie

Lernziele

- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- Zug- und Druckspannungen in einem magnetischen Feld verstehen.
- wissen, dass ein magnetisches Feld eine Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter ausübt.
- bei der magnetischen Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen geraden Leiter eine Rechte-Hand-Regel für die Beziehung zwischen den Richtungen des elektrischen Ladungsstromes, der magnetischen Feldstärke und der auf den Leiter wirkenden Kraft kennen und anwenden können.
- wissen, dass ein magnetisches Feld eine Kraft auf ein bewegtes, elektrisch geladenes Teilchen ausübt.
- bei der magnetischen Kraftwirkung auf ein bewegtes, elektrisch geladenes Teilchen eine Rechte-Hand-Regel für die Beziehung zwischen den Richtungen von Geschwindigkeit, magnetischer Feldstärke und Kraft kennen und anwenden können.
- bei der magnetischen Kraftwirkung auf ein bewegtes, elektrisch geladenes Teilchen die mathematische Beziehung zwischen elektrischer Ladung, Geschwindigkeit, magnetischer Feldstärke und Kraft kennen und anwenden können.
- die Bahnkurve eines bewegten, elektrisch geladenen Teilchens in einem homogenen magnetischen Feld verstehen.
- wissen, was man unter einem Elektromagneten versteht.
- verstehen, wie ein Gleichstrom-Elektromotor funktioniert.
- den Hall-Effekt kennen und verstehen.
- verstehen, wie eine Hall-Sonde funktioniert.
- technische Einsatzmöglichkeiten von Hall-Sonden kennen.
- die Wirkung eines äusseren Magnetfeldes auf einen Körper kennen.
- den Zusammenhang zwischen der Magnetisierung und der magnetischen Feldstärke kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, was ein hartmagnetischer, ein weichmagnetischer Stoff ist.
- wissen, wie die magnetische Flussdichte definiert ist.
- den Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte und der magnetischen Feldstärke kennen.
- wissen, wie der magnetische Fluss definiert ist.
- wissen, wie die Induktivität einer Spule definiert ist.
- wissen und verstehen, dass in einem magnetischen Feld Energie gespeichert ist.
- die Analogie zwischen der im elektrischen Feld eines Kondensators und der im magnetischen Feld einer Spule gespeicherten Energie kennen und verstehen.
- die quadratische Abhängigkeit zwischen magnetischer Feldstärke bzw. Flussdichte und Energiedichte in einem magnetischen Feld kennen.

Aufgaben

1. Experiment Posten 1: Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

Ein stromdurchflossener Leiter in Form einer Wippe verläuft durch das Magnetfeld eines Hufeisenmagneten.

- Schalten Sie den Strom ein. Beobachten und notieren Sie, was mit der Wippe passiert.
 - Schalten Sie den Strom aus. Beobachten und notieren Sie wiederum, was mit der Wippe passiert.
 - Wiederholen Sie das Experiment mit umgekehrter Stromrichtung.
 - Wiederholen Sie das Experiment mit umgekehrter Richtung des Magnetfeldes.
- b) Leiten Sie aus den Experimenten in a) eine Rechte-Hand-Regel her, die einen Zusammenhang zwischen der Richtung des elektrischen Ladungsstromes, der Richtung der magnetischen Feldstärke und der Richtung der auf den Leiter wirkenden Kraft angibt.

2. Experiment Posten 2: Fadenstrahlrohr (Dunkelraum)

Im linken Dunkelraum ist das Fadenstrahlrohr aufgebaut.

Das mit Wasserstoff-Gas (H_2) gefüllte, kugelförmige Fadenstrahlrohr befindet sich zwischen zwei Helmholtz-Spulen. Ein elektrischer Ladungsstrom durch die Spulen bewirkt ein homogenes Magnetfeld zwischen den Spulen, wobei die Magnetfeldlinien senkrecht zu den beiden Spulen verlaufen.

Im Innern des Fadenstrahlrohres befindet sich eine Elektronenkanone. Die aus der Elektronenkanone geschleuderten Elektronen werden unter dem Einfluss des Magnetfeldes abgelenkt. Die sichtbare bläuliche Bahnkurve der Elektronen kommt wie folgt zustande: Die Elektronen kollidieren mit den Wasserstoff-Gasmolekülen. Die durch diese Kollisionen angeregten Gasmoleküle senden im Rohr Licht aus.

Die Austrittsgeschwindigkeit v der Elektronen aus der Elektronenkanone kann über die Elektronen-Beschleunigungsspannung U reguliert werden ($v \sim U$).

Die Bewegungsrichtung der austretenden Elektronen kann durch Drehen des Fadenstrahlrohres (in seiner Halterung) verändert werden.

Die magnetische Feldstärke H kann über die Spulenstromstärke I_Q reguliert werden ($H \sim I_Q$).

- a) Untersuchen Sie die Richtung der auf die Elektronen wirkenden ablenkenden Kraft $\vec{F}$ sowie die Bahnkurve der Elektronen für verschiedene Werte für H und v und die folgenden Situationen:

i) $\vec{H} = \vec{0}$

ii) $\vec{H} \perp \vec{v}$, wobei $\vec{H}$ und $\vec{v}$ senkrecht aufeinander stehen

iii) $\vec{H} \perp \vec{v}$, wobei $\vec{H}$ und $\vec{v}$ nicht senkrecht aufeinander stehen

- b) Leiten Sie aus den Experimenten in a) eine Rechte-Hand-Regel für den Zusammenhang zwischen den Richtungen der Vektoren $\vec{v}$, $\vec{H}$ und $\vec{F}$ her.

Hinweis:

Der elektrische Ladungsstrom durch die beiden Helmholtz-Spulen ist so gerichtet, dass die magnetischen Feldlinien zwischen den beiden Spulen von rechts nach links zeigen (in Blickrichtung der geschlossenen Fenster des Dunkelraums).

Achten Sie auf die folgenden experimentellen Randbedingungen:

- Elektronen-Beschleunigungsspannung U (linkes graues Netzgerät, ganz rechter Drehknopf):
 $150 \text{ V} \leq U \leq 300 \text{ V}$
- Spulenstromstärke I_Q (rechtes DC-Netzgerät, zweiter Drehknopf von rechts):
 $I_Q \leq 2 \text{ A}$

3. Experiment Posten 3: Gleichstrom-Elektromotor

Studieren Sie die Funktionsweise eines Gleichstrom-Elektromotors ...

- a) ... mit Hilfe des Java-Applets "Gleichstrom-Elektromotor".
Sie finden das Applet im Internet unter
[http://telecom.tlab.ch/~borer/Physik/Unterlagen \(...\)](http://telecom.tlab.ch/~borer/Physik/Unterlagen (...))

- b) ... anhand eines echten Motor-Modells.
Im Praktikumszimmer ist ein Modell eines Gleichstrom-Elektromotors aufgebaut. Statt einer einzelnen Leiterschleife hat man zwei Rotorspulen. Das magnetische Feld wird durch zwei stromdurchflossene Spulen erzeugt. Die Eisenkerne, auf welchen die beiden felderzeugenden Spulen montiert sind, "leiten" die magnetischen Feldlinien an den Ort der Rotorspulen.

4. (siehe Seite 3)

4. Magnetische Feldstärken können mit einer Hall-Sonde gemessen werden. Das Messverfahren beruht auf dem sogenannten **Hall-Effekt**.
- Studieren Sie aus dem Buch "Metzler-Physik" den Abschnitt "6.1.4 Der Hall-Effekt" (Seiten 230 und 231, kopiertes Blatt), und bearbeiten Sie die dazugehörigen Aufgaben 1 bis 3.
- Hinweise:
- Die im Text erwähnte Lorentz-Kraft ist die im Unterricht erwähnte Kraft, welche auf ein bewegtes, elektrisch geladenes Teilchen in einem Magnetfeld wirkt:
$$F = \mu_0 Q \mathbf{v} \times \mathbf{H}$$
 - Im Text wird die Grösse B für die magnetische Feldstärke verwendet. Bei der Grösse B handelt es sich tatsächlich um die sogenannte magnetische Flussdichte. Sie ist proportional zu H , wobei die Proportionalitätskonstante gerade μ_0 ist:
$$B = \mu_0 H$$
- Dadurch ergibt sich für die Kraft F :
- $$F = Q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$
5. Studieren Sie im Buch KPK 1 die folgenden Abschnitte:
- 2.10 Die Induktivität (Seite 56)
 - 2.11 Die Energie des magnetischen Feldes (Seiten 56 und 57)
 - 2.12 Die Kraft auf einen Leiter, in dem ein elektrischer Strom fliesst (Seiten 57 und 58)
 - 2.13 Elektromagneten (Seiten 58 und 59)
 - 2.14 Magnetische Feldstärke, Magnetisierung und Flussdichte (Seite 60)
6. (Metzler: 227/1)
- Die Horizontalkomponente der magnetischen Flussdichte B des magnetischen Erdfeldes beträgt ungefähr $B_H = 19 \text{ mT}$.
- Bestimmen Sie die Kraft, die auf eine in Ost-West-Richtung verlaufende Freileitung wirkt ($I_Q = 100 \text{ A}$, Abstand zwischen zwei Masten $d = 150 \text{ m}$).
7. (Metzler: 227/2)
- Ein gerader Draht von 0.5 m Länge verläuft vertikal und wird mit elektrischer Ladung der Stromstärke 6.0 A von unten nach oben durchflossen. Er ist von einem magnetischen Feld der Flussdichte 70 mT umgeben, das horizontal nach Norden gerichtet ist.
- Bestimmen Sie Betrag und Richtung der Kraft, die das magnetische Feld auf den Draht ausübt.
8. (Metzler: 229/1)
- Ein Körper mit der elektrischen Ladung $Q = -0.2 \text{ nC}$ bewegt sich in einem waagrecht nach Süden gerichteten magnetischen Feld der Flussdichte $B = 50 \text{ mT}$ mit der Geschwindigkeit $v = 3.0 \text{ km/s}$ in Richtung Westen.
- Bestimmen Sie Betrag und Richtung der Kraft, die das magnetische Feld auf den Körper ausübt.
9. Ein anfänglich ruhendes α -Teilchen (= Helium-Kern, Masse $m_\alpha = 6.64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) durchläuft eine Beschleunigungsspannung $U = 200 \text{ V}$ und tritt dann in ein magnetisches Feld der Flussdichte $B = 0.12 \text{ T}$ ein.
- Bestimmen Sie die Kraft, die das magnetische Feld auf das α -Teilchen ausübt, wenn der Geschwindigkeitsvektor mit dem magnetischen Feldvektor den Winkel j einschliesst:
- a) $j = 90^\circ$ b) $j = 60^\circ$ c) $j = 30^\circ$ d) $j = 0^\circ$

10. (Metzler: 232/3)

Wie kann sich ein elektrisch geladener Körper durch ein magnetisches Feld bewegen, ohne dass das Feld eine Kraft auf ihn ausübt?

11. Ein elektrisch geladenes Teilchen (Masse m , Ladung Q) tritt mit der Geschwindigkeit v in ein homogenes magnetisches Feld der Flussdichte B ein. Wenn die Bewegung des Teilchens senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes erfolgt, so führt das Teilchen eine gleichförmige Kreisbewegung mit Radius r aus (siehe Experiment Fadenstrahlrohr in der Aufgabe 2).

Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob die folgende Aussage über den Radius r der Kreisbahn wahr oder falsch ist:

" r ist proportional zu m , v und B ."

Lösungen

1. a) ...
b) Die drei Vektoren $\vec{I}_Q$, $\vec{H}$ und $\vec{F}$ bilden ein Rechtssystem (Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand).
2. a) ...
b) Die drei Vektoren $-\vec{v}$, $\vec{H}$ und $\vec{F}$ bilden ein Rechtssystem (Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand).
3. a) ...
b) ...
4. ...
Aufgabe 1
a) Polung der Hall-Spannung in entgegengesetzter Richtung als in Abb. 230.1 (Metzler, Seite 230)
b) keine Hall-Spannung nachweisbar
Aufgabe 2
 $U_H = 0$. Die Komponente von $\vec{B}$ in Richtung von $\vec{I}_Q$ erzeugt keine Kraft. Die Komponente von $\vec{B}$ in Richtung P_1P_2 erzeugt eine Kraft senkrecht zur Folie.
Aufgabe 3
Die Hall-Sonde wird so lange gedreht, bis die Hall-Spannung maximal ist. Die magnetischen Feldlinien durchsetzen dann die Folie der Hall-Sonde senkrecht.
5. ...
Lösungen zu den Aufgaben siehe kopiertes Blatt
6. $F = 0.29 \text{ N}$
7. $F = 2.1 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
 $\vec{F}$ nach Westen gerichtet
8. $F = 3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$
 $\vec{F}$ senkrecht nach unten gerichtet
9. a) $F = 5.34 \cdot 10^{-15} \text{ N}$
b) $F = 4.62 \cdot 10^{-15} \text{ N}$
c) $F = 2.67 \cdot 10^{-15} \text{ N}$
d) $F = 0 \text{ N}$
10. falls $\vec{v} \parallel \vec{B}$

11. $F_R = F_L$
 $F_R = mr\omega^2$
 $v = r\omega$
 $F_L = QvB$

fi $r = \frac{mv}{QB}$

fi $r \sim m, r \sim v, r \sim \frac{1}{B}$