

E) Aufgaben zum Magnetismus

- 1) Ein linearer Leiter wird von einem Erregerstrom $I_{err} = 2A$ von links nach rechts durchflossen.
 - a) Skizziere das Feldlinienbild perspektivisch.
 - b) Skizziere das Feldlinienbild im seitlichen Schnitt mit den Zeichen \otimes und \odot .
 - c) Berechne die Flussdichte im Abstand $r = 2cm; 4cm; 8cm$ und beurteile das Ergebnis.
 - d) Vergleiche mit dem Coulombschen Abstandgesetz.
- 2) Eine $80cm$ lange gerade Spule mit $4cm$ Durchmesser wurde mit 40 Windungen pro $10cm$ bewickelt. Es fließt der Erregerstrom $I_{err} = 4,5A$. Die Spule enthält einen Eisenkern mit $\mu_{Fe} = 1000$.
 - a) Schätze die Flussdichte B innerhalb der Spule ab.
 - b) Gib die Flussdichte B außerhalb der Spule an.
- 3) Ein $l = 4cm$ langes Leiterstück, welches von einem Strom der Stärke $I = 10A$ durchflossen wird, erfährt in einem senkrecht zur Stromrichtung verlaufenden B -Feld die Kraft $F_L = 200mN$.
 - a) Wie groß ist die Flussdichte B ?
 - b) Wie ändert sich die Lorentzkraft F_L , wenn zwischen l und B ein Winkel von 70° vorliegt?
- 4) Der Erdmagnetismus tritt an einem Ort in Nord-Süd-Richtung mit $B = 14\mu T$ aus dem Erdboden. In einer Überlandleitung von $5 km$ Länge fließt Strom der Stärke $200A$. Wie groß ist die Lorentzkraft auf die Leitung, wenn diese in NS- bzw. OW-Richtung verläuft?
- 5) Beim Bügelexperiment durchfließt ein Probestrom der Stärke $I_1 = 5A$ auf der Strecke $l = 5cm$ senkrecht ein Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,4T$, sodass der Bügel nach *unten* gezogen wird.
 - a) Mit welcher Kraft F_L wird der Bügel nach *unten* gezogen?
 - b) An den Bügel wird die Masse $m = 15g$ gehängt, die Kraftanzeige *soll* aber gleich bleiben. Welche Stromstärke I ist dafür insgesamt erforderlich?
- 6) Ein $15cm$ langes Drahtstück der Masse $m = 4g$ wird von einem Strom der Stärke $I = 5A$ durchflossen. Senkrecht zum Draht verläuft ein Magnetfeld der Flussdichte B . Wie groß muss B sein und wie muss B orientiert sein, damit der Draht schweben kann?
- 7) Ein α -Teilchen wird mit $v = 5 \cdot 10^6 m/s$ in ein Magnetfeld mit $B = 0,1\mu T$ geschossen. Berechne Lorentzkraft F_L .
- 8) Eine Luftspule mit Durchmesser $d = 2cm$ und Länge $l = 40cm$ hat $n = 40$ Windungen. Sie von einem Erregerstrom der Stärke $I_{err} = 2A$ durchflossen.
 - a) Berechne die Flussdichte B innerhalb der Spule.
 - b) Die Spule wird auf $l = 20cm$ zusammengedrückt.
Welche Erregerstromstärke ist erforderlich, um den B -Wert von Aufg. a) zu erhalten?
 - c) Was geschieht, wenn der Spulenradius nun um 50% aufgeweitet wird?
 - d) Jetzt wird die ursprüngliche Spule zu einer Ringspule verbogen.
 - Wie groß ist die Flussdichte B dann innerhalb und außerhalb der Spule?
 - Bestimme die Flussdichte, wenn die Ringspule zur Hälfte mit Eisen $\mu_{Fe} = 1200$ befüllt wird.
 - Wie groß ist B , wenn die Ringspule vollständig mit Eisen $\mu_{Fe} = 1200$ befüllt wird.
 - Wieviel Energie enthält das Magnetfeld der luftgefüllten Ringspule?
- 9) Silber: Massendichte $\rho = 10500 kg/m^3$. Atommasse $m_{Ag} = 108 \cdot u$. $u = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$.
Hallkonstante von Silber $R_H = 1,12 \cdot 10^{10} T/m \cdot \Omega$
Über die Formel $\rho_e = h \cdot I \cdot B / U_H \cdot A$ liefert der Halleffekt eine Aussage über die pro m^3 von den Atomen für den Leitungsmechanismus zur Verfügung gestellte Ladungsmenge in Coulomb.

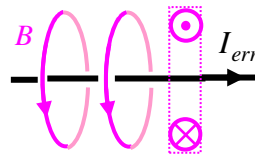
Ein Hallplättchen aus Silber hat die Dicke $d = 1\mu m$ und die Höhe $h = 2mm$. Es wird von einem Strom der Stärke $I = 2A$ durchflossen und senkrecht von einem Magnetfeld der Flussdichte $B = 8T$ durchsetzt. Die Messung der Hallspannung ergibt den Wert $U_H = 1,43mV$.

Aufgaben:

- Berechne die Dichte der beweglichen Ladung im Silber.
 - Berechne die Anzahl der von den Atomen für den Leitungsmechanismus zur Verfügung gestellten Elektronen.
 - Berechne die Anzahl der Silberatome in einem Kubikmeter Silber.
 - Vergleiche.
- 10) Ein MHD-Generator mit $h = 2m$ wird bei $B = 20T$ von ionisierten Gasteilchen mit der Geschwindigkeit $v = 1500m/s$ durchströmt.
- Erkläre den MHD-Generator
 - Berechne die Hallspannung U_H .

Lösungen

- 1) a) b) Korkezieher-Regel der rechten Hand



- c) Formel: $B = \mu_0 I_{err} / 2\pi r$. Ergebnisse $B(2cm) \approx 20\mu T$, $B(4cm) \approx 10\mu T$, $B(8cm) \approx 5\mu T$.

Die Abnahme ist antiproportional zum Abstand.

- d) Coulomb: El. Feldstärke nimmt antiprop. zum *Quadrat* des Abstandes von der Punktladung ab.

- 2) In Arbeitsblatt M3 wurde für die mit Eisen gefüllte Spule gezeigt, dass ihre Flussdichte sich gegenüber der Luftspule im schlechtesten Falle gerade mal verdoppelt: Für den magnetischen Widerstand gilt $R_{magn} = \rho_{Fe} \cdot l_{Fe} + \rho_{Luft} \cdot l_{Luft}$. Weil $\rho_{Fe} \ll \rho_{Luft}$ zählt der Eisenweg dann praktisch

garnicht. Wenn Eisen- und Luftweg gleich lang sind, dann folgt $B = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot n \cdot I_{err}}{l}$. $n = 320$.

Die Flussdichte ist überall gleich. Daher gilt für das Innere des Eisenkerns und auch für den

Luftbereich $B = \frac{\mu_{Spule} \mu_0 n I_{err}}{l} = 2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{V \cdot s}{A \cdot m} \cdot 320 \cdot \frac{4,5A}{0,8m} = 9,05 \cdot \frac{V \cdot s \cdot A}{A \cdot m^2} = \underline{\underline{4,525 mT}}$

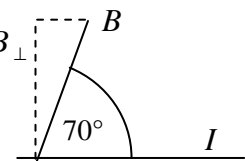
Nur durch raffinierte Wicklungstechnik lässt sich der Wert deutlich verbessern.

- 3) a) Nach Arbeitsblatt M4 gilt für die Lorentzkraft $F_L = l \cdot I \cdot B$.

$$\text{Umstellen nach } B \text{ ergibt } B = \frac{F_L}{l \cdot I} = \frac{0,2 N}{0,04 m \cdot 10 A} = 0,5 T$$

- b) Wenn der Strom schräg zu der Flussdichte verläuft, dann zählt nur der senkrechte Anteil B_{\perp} . Dieser Anteil errechnet sich über den Sinus zu

$$B_{\perp} = B \cdot \sin \alpha. \text{ Daher gilt } F_L = l \cdot I \cdot B_{\perp} = l \cdot I \cdot B \cdot \sin 70^\circ = 0,188 N$$



- 4) Fließt der Strom in Nord-Süd-Richtung, so ist der Winkel zwischen Strom- und Flussrichtung $\alpha = 0^\circ$. Damit gilt $F_L = l \cdot I \cdot B_{\perp} = l \cdot I \cdot B \cdot \sin 0^\circ = 0 N$.

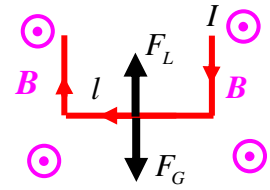
Für Ost-West-Richtung gilt $\alpha = 90^\circ$ und somit $F = l I B = 14 N$

5) a) Für die Lorentzkraft gilt $F = l I B = 0,1 N$.

b) Die Masse $m = 15 g$ zieht den Bügel zusätzlich mit $F_G = m \cdot g = 0,147 N$ nach unten. Zur Kompensation von F_G braucht man einen Strom der

$$\text{Stärke } I_2 = \frac{-F_G}{l \cdot B} = \frac{-0,147 N}{0,05 m \cdot 0,4 T} = -7,357 A \text{ in umgekehrter Richtung.}$$

Insgesamt muss die Stromstärke daher $I = -2,36 A$ betragen.



6) Um die Gewichtskraft des Drahtstückes von $F_G = m \cdot g = 0,039 N$ zu kompensieren, muss die Flussdichte den Wert $B = F_G / l \cdot I = 0,052 T$ besitzen.

In der Abb. wurde die technische Stromrichtung verwendet.

7) Ein α -Teilchen ist ein Heliumkern. Seine Ladung ist daher die doppelte positive Elementarladung $q = 2 \cdot e = 3,2 \cdot 10^{-19} C$. Mit Hilfe der Formel für die Lorentzkraft frei bewegter Teilchen folgt dann $F_L = v q B = 1,6 \cdot 10^{-19} N$.

8) a) $B = \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / l = 2,541 \cdot 10^{-4} T$

b) Die Länge l steht im Nenner. Wenn sie sich halbiert, so verdoppelt sich der B -Wert. Um das zu vermeiden, muss sich die Stärke des Erregerstroms auf $I_{err} = 1 A$ halbieren.

c) Der Spulenradius geht *nicht* in die Formel für die Flussdichte der Luftspule $B = \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / l$ ein. Eine Spule mit größerem Radius umschließt lediglich in ihrem Inneren einen größeren mit Magnetfeld erfüllten Raum. Auch wird mehr Wicklungsdraht dafür benötigt. Die Stärke von B ändert sich bei Radiusvergrößerung bei sonst gleichen Bedingungen jedoch nicht.

d) - Bei der Luftspule bleibt die Flussdichte im Inneren so wie sie zuvor war.

Mit $l = 40 cm$, $n = 40$ und $I_{err} = 2 A$ gilt weiterhin $B = \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / U = 2,541 \cdot 10^{-4} T$, weil der Ringspulenumfang U gleich der vormaligen Spulenlänge l ist.

- Jetzt müssen wir wieder berücksichtigen, welchen magnetischen Widerstand R_{magn} die Flussdichte B bei ihrem Umlauf überwinden muss.

$$\text{Es gilt } R_{magn} = \rho_{Fe} \cdot l_{Fe} + \rho_{Luft} \cdot l_{Luft} = \frac{0,2 m}{\mu_{Fe}} + \frac{0,2 m}{\mu_{Luft}} = 0,20017 m.$$

Mit $B = \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / R_{magn}$ ergibt sich dann $B = 5,025 \cdot 10^{-4} T$. Der Wert der Flussdichte hat sich durch die halbe Eisenfüllung also lediglich etwa verdoppelt.

- Jetzt gibt es keinen Luftweg mehr. Der magnetische Widerstand R_{magn} „implodiert“ daher

$$\text{quasi: } R_{magn} = \rho_{Fe} \cdot l_{Fe} + \rho_{Luft} \cdot l_{Luft} = \frac{0,4 m}{\mu_{Fe}} + \frac{0}{\mu_{Luft}} = 0,000333 m.$$

$\Rightarrow B = 0,302 T$. Verglichen mit dem Wert bei Luftfüllung $B = 5,025 \cdot 10^{-4} T$, hat sich B durch die volle Eisenfüllung um den Faktor 1200 vergrößert.

- Die Formel für die magnetische Energie pro Volumen V bei gleichmäßiger Befüllung mit einem Medium lautet $\boxed{W_{magn} / V = 1/2 H \cdot B}$. Weil die Spulenlänge gleich dem Umfang ist, gilt hier für die Feldstärke $H = n \cdot I_{err} / l$ und für die Flussdichte $B = \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / l$.

$$\text{Daher gilt } \frac{W_{magn}}{V} = \frac{1}{2} \cdot \frac{n \cdot I_{err}}{l} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I_{err}}{l} = \frac{1}{2} \cdot 200 \frac{A}{m} \cdot 2,541 \cdot 10^{-4} \frac{N}{A \cdot m} = 0,025 \frac{J}{m^3}.$$

Das Magnetfeldvolumen beträgt $V = l \cdot A = l \cdot \pi r^2 = 0,4 m \cdot \pi \cdot (0,01 m)^2 = 1,257 \cdot 10^{-4} m^3$.

Damit ergibt sich für die Energie des eingeschlossenen Magnetfeldes $W_{magn} = 3,159 \cdot 10^{-6} J$.

9) Leitungsmechanismus von Silber

- a) Es muss der Ausdruck $\rho_e = \frac{h \cdot I \cdot B}{U_H \cdot A}$ ausgewertet werden. Die Größe A ist der Inhalt der Querschnittsfläche, durch die der Strom I fließt. Es gilt also $A = h \cdot d$. Setzt man das ein, so lässt sich h herauskürzen und man hat $\rho_e = \frac{I \cdot B}{U_H \cdot d} = \frac{2A \cdot 8T}{1,43 \cdot 10^{-3} V \cdot 1 \cdot 10^{-6} m} = 1,119 \cdot 10^{10} \frac{C}{m^3}$
- b) Ein Elektron hat die Ladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$. Daher befindet sich in einem Kubikmeter Silber die Anzahl $n_e = \frac{1,119 \cdot 10^{10} C / m^3}{1,6 \cdot 10^{-19} C} = 6,99 \cdot 10^{28} / m^3$ von beweglichen Ladungsträgern.
- c) Ein m^3 Silber hat die Masse $M = 10500 kg$.
Ein Silberatom hat die Masse $m_{Ag} = 108 \cdot u = 108 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} kg = 1,793 \cdot 10^{-25} kg$.
Also enthält ein Kubikmeter Silber $n_{Ag} = \frac{10500 kg}{1,793 \cdot 10^{-25} kg} = 5,86 \cdot 10^{28}$ Silberatome.
- d) Vergleich: Jedes Silberatom stellt also etwa *ein* Elektron für den Leitungsmechanismus zur Verfügung. Silber hat laut Literatur die Oxidationszustände +1, +2 und +3.
Im Kristallverband ist Silber also einwertig.

- 10) a) Der MHD-Generator kommt in Gaskraftwerken zum Einsatz. Hochtemperaturverbrennung liefert $3000^\circ C$ heiße, ionisierte Verbrennungsgase, die mit hoher Geschwindigkeit durch das Abgasrohr strömen. Das Abgasrohr wird rechtwinklig mit einem Magnetfeld durchsetzt. Per Halleffekt trennen sich die geladenen Ionen dann an zwei gegenüberliegende Wände. Dadurch entsteht eine nutzbare Spannungsquelle. Die kinetische Energie der Gaspartikel wird so direkt in elektrische Energie umgewandelt. Der austretende Gasstrahl ist immer noch heiß genug, um damit eine Gasturbine anzutreiben. Insgesamt lässt sich der Wirkungsgrad der Anlage auf über 60% steigern.
Die Umkehrung des MHD-Prinzips wird auch zum Schiffsantrieb in Salzwasser genutzt.
- b) Hallspannung $U_H = v \cdot h \cdot B = 60 kV$