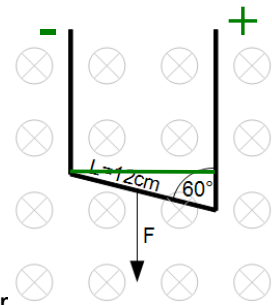


Lösung

1 Die Ebene eines stromdurchflossenen Leiters wird senkrecht von den Feldlinien eines Magnetfeldes durchsetzt (siehe Skizze).

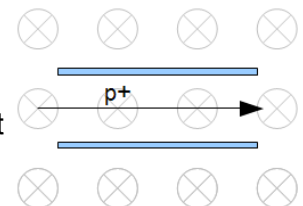
- a) Tragen Sie an den Leiterenden ein, wo sich der Minuspol und wo der Pluspol der Spannungsquelle befinden muss, damit der Leiter eine Kraft nach unten erfährt.
- b) Das schräge Verbindungsstück im Leiter ist 12 cm lang und bildet mit der Leiterzuführung den Winkel  $60^\circ$ . Im Leiter fließt ein Strom der Stromstärke 6 A und das Magnetfeld hat die Kraftflussdichte  $B = 2,5 \text{ T}$ . Berechnen Sie, wie groß die Kraft ist, die das Leiterstück nach unten zieht.



Nur der waagrechte Anteil  $L_W$  des Leiters (in der Skizze grün eingezeichnet) erfährt eine Kraft nach unten. Er berechnet sich aus  $\sin 60^\circ = \frac{L_W}{L} \rightarrow L_W = L \cdot \sin 60^\circ = 12 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \text{ cm} = 6 \cdot \sqrt{3} \text{ cm}$ .

Die Kraft ergibt sich aus der angegebenen Formel:  $F = I \cdot L \cdot B = I \cdot L_W \cdot B = 6 \cdot \frac{6 \cdot \sqrt{3}}{100} \cdot 2,5 \text{ N} \approx 1,6 \text{ N}$ .

2 Zwischen 2 Platten eines Plattenkondensators bewegt sich ein Proton parallel zu den Platten (siehe Skizze). Die Platten haben den Abstand  $d=5 \text{ cm}$  und liegen an einer Gleichspannung von  $U=120 \text{ V}$ . Die magnetischen Feldlinien eines Magnetfeldes verlaufen senkrecht zur Bewegungsrichtung des Protons und senkrecht zu den elektrischen Feldlinien.



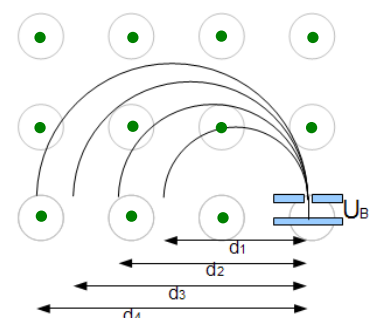
- a) Berechnen Sie, wie groß die Kraftflussdichte des Magnetfeldes sein muss, damit das Proton, das die Geschwindigkeit  $v = 300\,000 \text{ m/s}$  besitzt, auf gerader Linie den Plattenbereich durchläuft.

Zwischen den Platten müssen sich die Kräfte des magnetischen und des elektrischen Feldes aufheben:  $F_L = F_E \rightarrow Q \cdot v \cdot B = Q \cdot E \rightarrow B = \frac{E}{v} \stackrel{E = \frac{U}{d}}{=} \frac{U}{v \cdot d} = \frac{120}{300000 \cdot 0,05} \text{ T} = 0,008 \text{ T} = 8 \text{ mT}$

- b) Berechnen Sie, mit welcher Spannung das Proton vor Eintritt in den Plattenkondensator beschleunigt werden musste, damit es die Geschwindigkeit  $v = 300\,000 \text{ m/s}$  erhielt.

Bei der Beschleunigung in einem elektrischen Feld  $E$  ist die elektrische Energie  $W_E = Q \cdot U$  gleich der kinetischen Energie  $W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ . Daraus folgt  $Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow U = \frac{m_p \cdot v^2}{2 \cdot e} \approx 470 \text{ V}$ .

3 Nach Entdeckung des Elektrons hat es einige Zeit gedauert, bis die Ladung  $e$  des Elektrons bestimmt werden konnte. Es gelang aber in einem einfachen Versuch, den Quotienten  $\frac{e}{m_e}$  aus der Elektronenladung  $e$  und der Elektronenmasse  $m_e$  zu ermitteln:  
 Versuch: Elektronen werden mit verschiedenen Spannungen  $U_B$  beschleunigt. Ihre Bahn wird dann in einem bekannten Magnetfeld der Kraftflussdichte  $B$  untersucht, indem der



Durchmesser  $d$  ihrer Kreisbahn gemessen wird.

a) Tragen Sie in die Skizze ein ( $\cdot$  oder  $\times$ ), ob die magnetischen Feldlinien in die Zeichenebene hinein oder heraus zeigen.

b) Leiten Sie die Formel  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$  zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektronen her.

Bei der Beschleunigung in einem elektrischen Feld  $E$  ist die elektrische Energie  $W_E = Q \cdot U$  gleich der kinetischen Energie  $W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ .

Daraus folgt  $e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \rightarrow v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}}$ .

c) Zeigen Sie, dass für bewegte Elektronen im Magnetfeld gilt:  $r = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B}$  ( $r$  ist der Radius der Kreisbahn)

Bei der Kreisbewegung ist die Lorentzkraft  $F_L$  gleich der Zentripetalkraft  $F_Z$ :

$$F_L = F_Z \rightarrow Q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v^2}{Q \cdot v \cdot B} = \frac{m \cdot v}{Q \cdot B} \stackrel{Q=e}{=} \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B}$$

d) Leiten Sie eine Formel her, mit der aus der Beschleunigungsspannung  $U_B$  und dem Kreisdurchmesser  $d$  der Quotient  $\frac{e}{m_e}$  bestimmt werden kann und berechnen Sie einen Mittelwert für  $\frac{e}{m_e}$ .

Die magnetische Flussdichte hat den Wert  $B = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ .

Die Geschwindigkeiten, die unter b) und c) auftauchen, sind in diesem Versuch gleich. Die Formeln aus b) und c) werden also nach  $v$  aufgelöst und dann gleich gesetzt:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B} \rightarrow v = \frac{r \cdot e \cdot B}{m_e} \rightarrow \frac{r \cdot e \cdot B}{m_e} = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}} \xrightarrow{\text{Quadrieren}} \frac{r^2 \cdot e^2 \cdot B^2}{m_e^2} = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e} \rightarrow \frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{r^2 \cdot B^2}$$

Daraus folgt:

U in V	d in m	r in m	e/m
45	0,04	0,02	1,76E+011
100	0,06	0,03	1,74E+011
185	0,08	0,04	1,81E+011
290	0,10	0,05	1,82E+011
		Mittelwert:	1,78E+011

Als Mittelwert ergibt sich  $\frac{e}{m_e} \approx 1,78 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ .

4 Eine Spule hat die Länge  $L = 5 \text{ cm}$ . Wenn sie der Strom der Stromstärke  $I = 2 \text{ A}$  durchfließt, wird dabei ein Magnetfeld der Kraftflussdichte  $B = 0,1 \text{ T}$  erzeugt. Berechnen Sie die Windungszahl der Spule.

Aus den gegebenen Formeln  $B = \mu_0 \cdot H$  und  $H = \frac{I \cdot n}{L}$  ergibt sich  $B = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot n}{L} \rightarrow n = \frac{B \cdot L}{\mu_0 \cdot I}$ .

Mit den gegebenen Werten erhält man  $n = \frac{0,1 \cdot 0,05}{1,2566 \cdot 10^{-6} \cdot 2} \approx 1990$  für die Anzahl der Windungen.

- 5 Für Forschungszwecke wurde eine Spule hergestellt, die 30 cm lang war und auf der so dicht wie möglich der Draht in 1 Lage aufgewickelt war ( $n=300$ ). Der Durchmesser der Spule betrug 2 cm.  
 Da der Draht die Belastung durch den hohen Strom nicht aushielt, wurde er durch einen doppelt so dicken Draht ersetzt, so dass die Windungen in 2 Lagen gewickelt werden mussten.  
 Geben Sie mit Begründung an, ob sich dadurch bei sonst gleichen Bedingungen das Magnetfeld der Spule geändert hat.

*Geändert hat sich lediglich die Querschnittsfläche  $A$  der Spule. Sie ist durch die 2 Windungslagen größer geworden. Da die Querschnittsfläche in der felderzeugenden Formel  $H = \frac{I \cdot n}{L}$  aber nicht vorkommt, ändert sich das Magnetfeld der Spule nicht.*

Formeln und Werte:

Ladung des Elektrons:  $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Masse des Elektrons:  $m_e = 9,1093897 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Ladung des Protons:  $Q_p = 1,60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Masse des Protons:  $m_p = 1,6726231 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

elektrische Feldkonstante:  $\epsilon_0 = 8,854188 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$

magnetische Feldkonstante:  $\mu_0 = 1,256637 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad W = m \cdot g \cdot h \quad W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2 \quad F = m \cdot g \quad U = \frac{W}{Q} \quad E = \frac{U}{d} \quad F = m \cdot a$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad s = v \cdot t \quad v = a \cdot t \quad E = \frac{F}{Q} \quad B = \frac{F}{Q \cdot v} \quad \sigma = \frac{Q}{A} \quad C = \frac{Q}{U} \quad W = F \cdot s$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad U = R \cdot I \quad I = \frac{Q}{t}$$

$$\sigma = \epsilon_0 \cdot E \quad F = I \cdot L \cdot B \quad F = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad H = \frac{I \cdot n}{L} \quad B = \mu_0 \cdot H$$