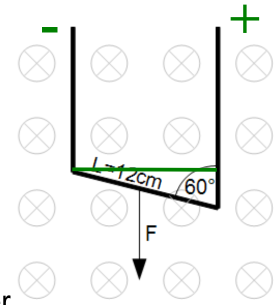
*Lösung*

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.

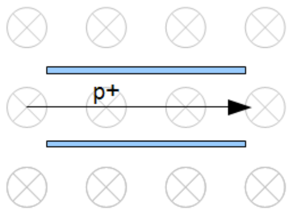
b) Das schräge Verbindungsstück im Leiter ist 12 cm lang und bildet mit der Leiterzuführung den Winkel 60°. Im Leiter fließt ein Strom der Stromstärke 6 A und das Magnetfeld hat die Kraftflussdichte B = 2,5 T. Berechnen Sie, wie groß die Kraft ist, die das Leiterstück nach unten zieht.

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

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

---

2 Zwischen 2 Platten eines Plattenkondensators bewegt sich ein Proton parallel zu den Platten (siehe Skizze). Die Platten haben den Abstand d=5 cm und liegen an einer Gleichspannung von U=120 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 m/s besitzt, auf gerader Linie den Plattenbereich durchläuft.

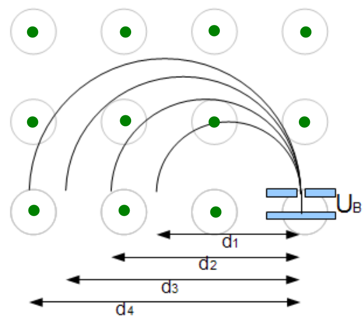
*Zwischen den Platten müssen sich die Kräfte des magnetischen und des elektrischen Feldes aufheben:* $F_L = F_E \rightarrow Q \cdot v \cdot B = Q \cdot E \rightarrow B = \frac{E}{v} \overset{E=\frac{U}{d}}{=} \frac{U}{v \cdot d} = \frac{120}{300000 \cdot 0{,}05} T = 0{,}008 T = 8 mT$

b) Berechnen Sie, mit welcher Spannung das Proton vor Eintritt in den Plattenkondensator beschleunigt werden musste, damit es die Geschwindigkeit v = 300 000 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* $Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow U = \frac{m_p \cdot v^2}{2 \cdot e} \approx 470 V$.

---

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 (· oder x), 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 $F_Z$:*

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

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 $B=1{,}13\cdot 10^{-3}T$.

*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 $\frac{e}{m_e}\approx 1{,}78\cdot 10^{11}\frac{C}{kg}$.*

---

4 Eine Spule hat die Länge $L=5cm$. Wenn sie der Strom der Stromstärke $I=2A$ durchfließt, wird dabei ein Magnetfeld der Kraftflussdichte $B=0{,}1\,T$ 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 Windungs-Lagen 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: $e=1{,}60217733\cdot 10^{-19}\,C$

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

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

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

elektrische Feldkonstante: $\varepsilon_0=8{,}854188\cdot 10^{-12}\frac{C}{V\cdot m}$

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

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

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

$C=\varepsilon_0\cdot\varepsilon_r\cdot\frac{A}{d}$ $F=\frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q_1\cdot Q_2}{r^2}$ $W=\frac{1}{2}\cdot C\cdot U^2$ $R=\rho\cdot\frac{L}{A}$ $U=R\cdot I$ $I=\frac{Q}{t}$

$\sigma=\varepsilon_0\cdot E$ $F=I\cdot L\cdot B$ $F=m\cdot\frac{v^2}{r}$ $H=\frac{I\cdot n}{L}$ $B=\mu_0\cdot H$