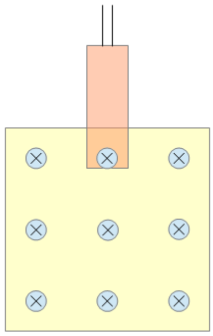
2013-02-21 Klausur 3 Kurs 11Ph1e Physik

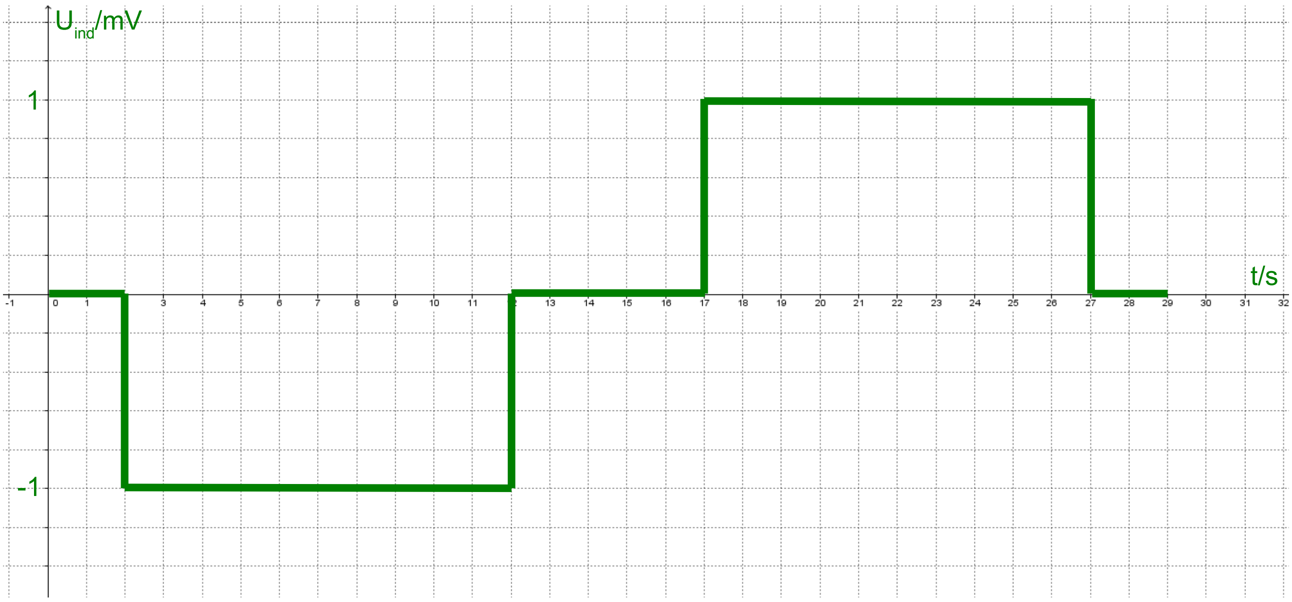
Lösung

1 Eine Spule mit den Abmessungen $b=2\,cm$, $h=10\,cm$ und der Windungszahl $n=50$ wird mit der konstanten Geschwindigkeit $v=1\frac{cm}{s}$ von oben durch einen quadratischen Bereich der Seitenlänge $L=15\,cm$ gesenkt, der von einem konstanten Magnetfeld der Flussdichte $B=0{,}1\,T$ ausgefüllt wird.
Dadurch wird in der Spule eine Spannung induziert.



Zeichnen Sie in das Koordinatensystem den Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit ein. Beschriften Sie dazu auch die senkrechte Achse mit Zahlen und Einheit. Zu Beginn der Bewegung ist die Unterkante der bewegten Spule noch 2 cm von der Oberkante des Magnetfeldes entfernt.
Die Spule wird so weit durch das Magnetfeld abgesenkt, bis sie vollständig und zusätzlich 2 cm aus dem Magnetfeld ausgetreten ist.

Dokumentieren Sie benötigte Rechnungen und Werte.



Wenn die Spule sich nicht vollständig innerhalb oder vollständig außerhalb des Magnetfeldes befindet, ändert sich ihre Fläche A auf Grund der Geschwindigkeit v und der Breite b der Spule :

$$v=\frac{\Delta s}{\Delta t}=1\frac{cm}{s} \rightarrow \frac{\Delta A}{\Delta t}=\frac{b\cdot\Delta s}{\Delta t}=2\,cm\cdot1\frac{cm}{s}=2\frac{cm^2}{s}=2\cdot10^{-4}\frac{m^2}{s}$$

Da die Flächenänderung konstant ist, gilt $\dot{A}=\frac{\Delta A}{\Delta t}$ *Damit ergibt sich die induzierte Spannung zu*

$$U_{ind}=-n\cdot\dot{\Phi}=-n\cdot(\dot{A\cdot B})=-n\cdot\dot{A}\cdot B-n\cdot A\cdot\dot{B}\overset{B\,\text{ist konstant}}{=}-n\cdot\dot{A}\cdot B=-50\cdot2\cdot10^{-4}\cdot0{,}1\,V=-10^{-3}\,V=-1\,mV$$

Bei Bewegung vollkommen außerhalb oder innerhalb des Magnetfeldes ändert sich weder die Fläche noch das Magnetfeld. Die Induktionsspannung beträgt dann also 0V.

Nach 2 s tritt die Unterkante der Spule ins Magnetfeld ein, nach weiteren 10 s (Höhe Spule 10 cm) auch die Oberkante. Nach 5 s verlässt die Unterkante der Spule das Magnetfeld (Höhe Magnetfeld 15 cm) und nach weiteren 10 s auch die Oberkante der Spule.

2 Eine Feldspule mit $n_1 = 1000$ Windungen, der Länge $L_1 = 80\,cm$ und der Querschnittsfläche $A_1 = 20\,cm^2$ wird von einem Strom durchflossen, der innerhalb von $\Delta t = 5\,s$ von 0 A auf 10 A gleichmäßig ansteigt. Innerhalb der Feldspule befindet sich (gleiche Ausrichtung der Spulenachse) eine Induktionsspule mit der Windungszahl $n_2 = 100$ und der Querschnittsfläche $A_2 = 10\,cm^2$.

Berechnen Sie die Induktionsspannung.

Die Funktionsgleichung für die Stromstärke in der felderzeugenden Spule ergibt sich aus den Angaben zu $I(t) = \frac{10\,A}{5\,s} \cdot t = 2\frac{A}{s} \cdot t$.

Daraus ergibt sich dann die Funktion, die die magnetische Flussdichte in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt zu $B(t) = \mu_0 \cdot \frac{I(t) \cdot n_1}{L_1} = \frac{\mu_0 \cdot 2 \cdot t \cdot 1000}{0{,}8} \frac{A}{m \cdot s} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000}{0{,}8} \frac{T}{s} \cdot t = \pi \cdot 10^{-3} \frac{T}{s} \cdot t \approx 3{,}14 \frac{mT}{s} \cdot t$

Daraus folgt $\dot{B} \approx 3{,}14 \frac{mT}{s}$. *Die Fläche A ist konstant. Damit ergibt sich die Induktionsspannung*

$U_{ind} = -n_2 \cdot \dot{\Phi} = -n_2 \cdot (A \cdot \dot{B}) = -n_2 \cdot \dot{A} \cdot B - n_2 \cdot A \cdot \dot{B} = -n_2 \cdot A \cdot \dot{B} = -100 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-3}\,V = -3{,}14 \cdot 10^{-4}\,V$
Die Induktionsspannung beträgt also etwa $U_{ind} = -0{,}314\,mV$.

---

3 Ernest Orlando Lawrence hat 1930 das Zyklotron erfunden. Mit seinem Gerät konnte er Protonen ($m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-27}\,kg$; $Q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$) mit insgesamt $U_B = 80\,000\,V$ beschleunigen. Die Apparatur hatte einen Durchmesser von $d = 9\,cm$. Angaben gerundet.

a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit, die die Protonen nach dem Beschleunigungsprozess besaßen.

Die potentielle Energie $E_{Pot} = Q \cdot U$ *wird in kinetische Energie* $E_{Kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ *umgeformt:*

$E_{Pot} = E_{Kin} \rightarrow Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v^2 = \frac{2 \cdot Q \cdot U}{m} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 80000}{1{,}7 \cdot 10^{-27}} \frac{m^2}{s^2} = 1{,}5 \cdot 10^{13} \frac{m^2}{s^2} \rightarrow v = 3{,}88 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$

b) Angenommen, die angelegte Beschleunigungsspannung habe 200 V betragen: Berechnen Sie, wie viele vollständige Umläufe die Protonen ausführen mussten, bevor sie die Apparatur verließen.

Pro Umlauf werden die Protonen mit $2 \cdot 200\,V = 400\,V$ *beschleunigt.*
Sie verlassen also nach $\frac{80000}{400} = 200$ *Umdrehungen das Zyklotron.*

c) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes, die mindestens vorhanden sein musste, damit die Abmessungen der Apparatur ausreichten.

Da $d = 9\,cm$ *muss das Magnetfeld so stark sein, dass die Protonen bei maximaler Geschwindigkeit einen Radius von höchstens* $r = 4{,}5\,cm$ *besitzen. Die Zentripetalkraft* F_Z *ist im Zyklotron durch die Lorentzkraft* F_L *gegeben:*

$F_Z = F_L \rightarrow m \cdot \frac{v^2}{r} = Q \cdot v \cdot B \rightarrow B = \frac{m \cdot v}{Q \cdot r} = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-27} \cdot 3{,}88 \cdot 10^6}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}045}\,T = 0{,}916\,T \approx 1\,T$

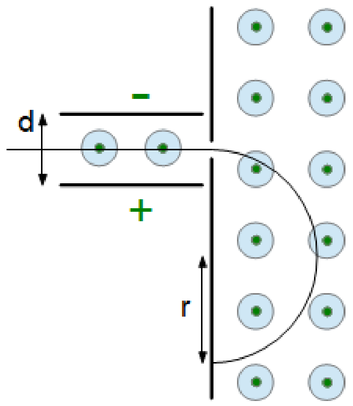
Die magnetische Flussdichte musste also etwa $B = 1\,T$ *betragen.*

4 In einem Massenspektrographen mit Wienfilter ist das Magnetfeldfeld in beiden Bereichen identisch.
Positiv geladene Teilchen mit unterschiedlichsten Geschwindigkeiten sollen untersucht werden.

a) Tragen Sie die Richtung des Magnetfeldes durch das entsprechende Symbol in die Zeichnung ein.

b) Zeichnen Sie die Polung der Platten im Plattenkondensator ein.

c) Finden Sie durch rechnerische Herleitung heraus, wie der Plattenabstand d sich ändern muss, wenn sich der Kreisradius r der positiven Teilchen verdoppeln soll. Die angelegte Spannung und das Magnetfeld sollen sich nicht ändern.



Im Wienfilter gilt $F_L = F_E \rightarrow Q \cdot v \cdot B = Q \cdot E \rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{U_C}{B \cdot d} \rightarrow d = \frac{U_C}{B \cdot v}$.

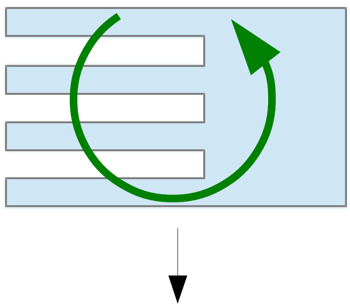
Im rechten Bereich gilt $F_Z = F_L \rightarrow m \cdot \frac{v^2}{r} = Q \cdot v \cdot B \rightarrow v = \frac{Q \cdot B \cdot r}{m}$

Einsetzen: $d = \frac{U_C}{B \cdot v} = \frac{U_C \cdot m}{B^2 \cdot Q \cdot r} = \frac{U_C \cdot m}{B^2 \cdot Q} \cdot \frac{1}{r} \rightarrow d \sim \frac{1}{r}$ *(konstanter Faktor vor 1/r)*

Wenn sich r verdoppelt, muss d also halbiert werden.

---

5 Der abgebildete Aluminium-“Kamm“ wird so fallen gelassen, dass er seine Ausrichtung bei behält.
Was ändert sich, wenn der Kamm in einem Magnetfeld fällt, dessen Feldlinien senkrecht zu seiner Fläche stehen?
Genaue Beschreibung mit Begründung!



Im rechten Bereich werden sich Wirbelströme ausbilden, die den freien Fall bremsen. Links kommen die Wirbelströme wegen der schmalen Zinken nicht (oder jedenfalls nicht so stark ausgebildet wie rechts) zustande.

Links fällt der Kamm also schneller als rechts, d. h. er wird sich entgegen dem Uhrzeigersinn drehen.

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!