

1. Klausur des LK Physik im 2. Kurshalbjahr K12 am 22.03.2004

1. Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

Elektronen werden durch eine Spannung von 650 kV beschleunigt.

- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen. [Ergebnis: $0,90 c$]
- Welche magnetische Flussdichte ist erforderlich, um diese Elektronen auf einer Kreisbahn mit dem Radius $7,5\text{cm}$ zu halten?

2. Magnetische Flussdichte des Erdfeldes

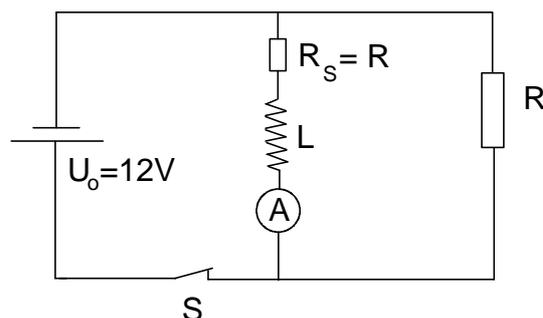
Die magnetische Flussdichte des Erdfeldes soll in München durch einen Induktionsversuch festgestellt werden. Dazu wird eine Spule (Länge 22cm , $N = 10000$, $A = 12,6\text{ cm}^2$) mit 850 Umdrehungen pro Minute um eine geeignete Achse gedreht. Die maximale Effektivspannung, die man dabei an den Spulenden erhält, beträgt 38 mV .

- Skizzieren Sie die Lage von Spule und Rotationsachse relativ zum Erdmagnetfeld, um die maximale Spannung zu erhalten!
- Berechnen Sie aus den angegebenen Daten die magnetische Flussdichte des Erdfeldes in München.

3. Selbstinduktion einer Spule

Eine Spule und ein ohmscher Widerstand R sind parallel an eine Spannung von $U_0 = 12\text{ V}$ angeschlossen. Der ohmsche Widerstand der Spule R_S hat dabei den gleichen Wert wie R . Zum Zeitpunkt $t = 0\text{ s}$ wird der Schalter S geöffnet. Das Diagramm auf dem Arbeitsblatt zeigt die Stromstärke $J(t)$, die vom Amperemeter A gemessen wird (siehe Bild!)

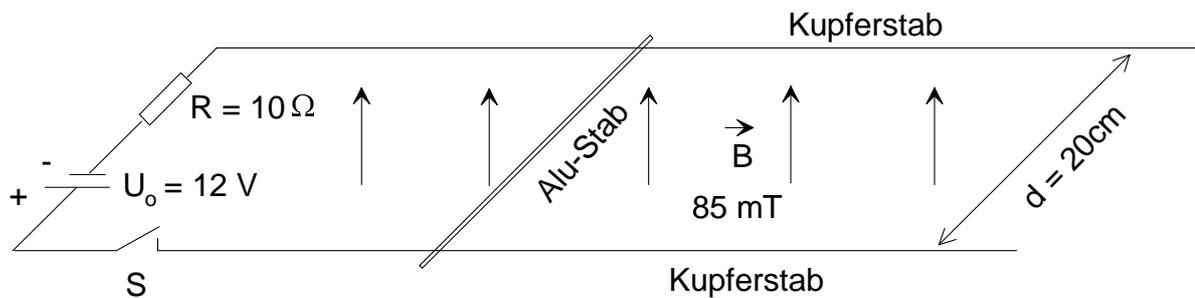
- Die Stromstärke $J(t)$ sinkt beim Öffnen des Schalters nicht sofort auf 0 Ampere. Die Funktion $J(t)$ lässt sich hierbei als Lösung einer Differentialgleichung finden. Leiten Sie diese Differentialgleichung aus einem geeigneten physikalischen Ansatz ab. (Die Lösung der Differentialgleichung ist nicht verlangt!)
- Bestimmen Sie aus dem Diagramm auf dem Arbeitsblatt den Wert von $R = R_S$.
- Bestimmen Sie aus dem Diagramm auf dem Arbeitsblatt den Wert der Induktivität L der Spule. (Erläutern Sie in Stichpunkten Ihr Vorgehen!) [Ersatzergebnis: $L = 20\text{ mH}$]
- Bestimmen Sie die magnetische Energie, die vor dem Öffnen des Schalters in der Spule gespeichert war. Was passiert mit dieser Energie nach dem Öffnen des Schalters?
- Die Spule wird nun an eine sinusförmige Wechselspannung der Frequenz f angeschlossen. Bestimmen Sie die Frequenz f so, dass der induktive Widerstand der Spule 100Ω beträgt.



Bitte wenden!

4. Induktion

Zwei sehr lange Kupferstäbe liegen waagrecht und parallel zueinander im Abstand $d = 20\text{cm}$. Die beiden Stäbe sind über einen Widerstand $R = 10\Omega$ mit einer Stromquelle der Spannung $U_0 = 12\text{V}$ verbunden. Auf den beiden Stäben liegt senkrecht ein Aluminiumstab der Masse $m = 20\text{g}$, der reibungsfrei über die Kupferstäbe gleiten kann. Die gesamte Anordnung wird senkrecht von einem Magnetfeld mit $B = 85\text{mT}$ durchsetzt (siehe Skizze). Der Schalter S ist zunächst geöffnet, der Aluminiumstab ruht.



- Begründen Sie, dass der Alu-Stab beim Schließen des Schalters eine Anfangsbeschleunigung a_0 nach rechts in der Skizze erfährt und berechnen Sie a_0 .
- Zeigen Sie, dass mit zunehmender Geschwindigkeit des Alu-Stabes die Stromstärke durch den Alu-Stab aufgrund eines Induktionseffektes immer kleiner wird. Der Alu-Stab wird deshalb eine Endgeschwindigkeit v_e nicht überschreiten. Berechnen Sie v_e .
[Teilergebnis: $v_e = \frac{U_0}{Bd}$]
- Die Endgeschwindigkeit des Alu-Stabes soll nun nur $3,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ betragen. Machen Sie einen geeigneten Vorschlag, wie man durch Änderung von Vorgaben diese Endgeschwindigkeit erreichen kann.
- Welchen Einfluss hat die Masse des Alu-Stabes auf die Endgeschwindigkeit bzw. auf den gesamten Bewegungsablauf?

Gutes Gelingen! G.R.

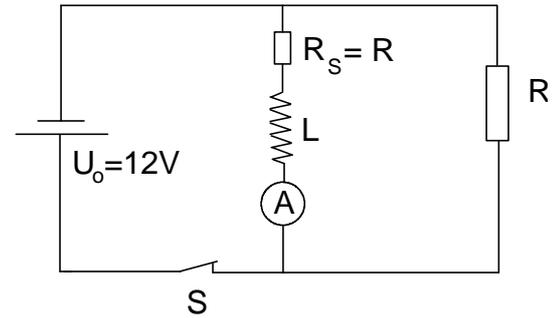
Aufgabe	1a	b	2a	b	3a	b	c	d	e	4a	b	c	d	Σ
Punkte	7	4	2	6	4	2	6	2	2	4	6	2	3	50

Arbeitsblatt zur 1. Klausur des LK Physik im 2. Kurshalbjahr K12 am 22.03.2004

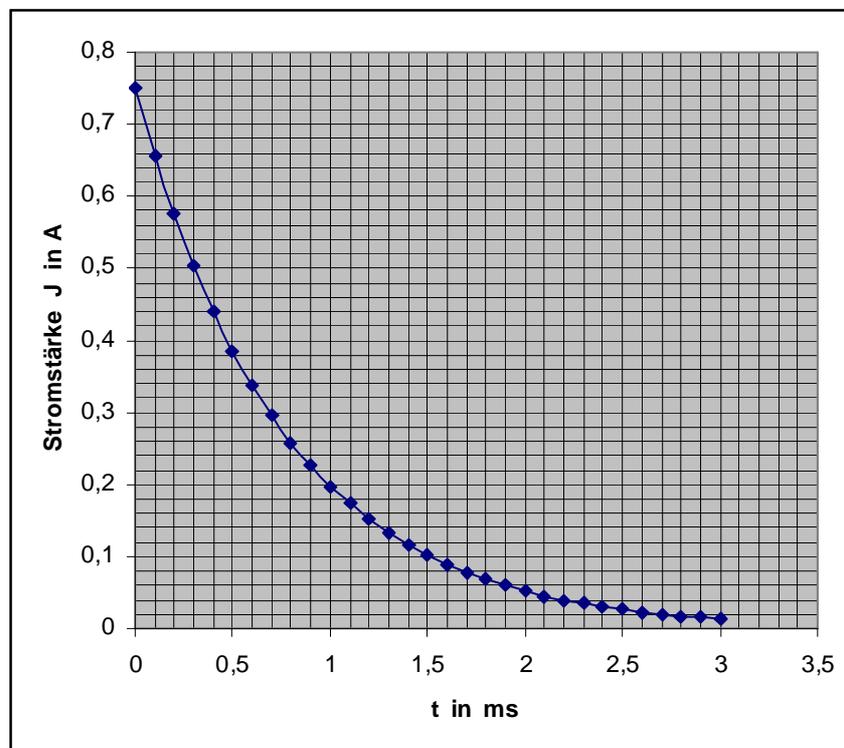
Name:

Diagramm zur Aufgabe 3

Eine Spule und ein ohmscher Widerstand R sind parallel an eine Spannung von $U_0 = 12\text{ V}$ angeschlossen. Der ohmsche Widerstand der Spule R_S hat dabei den gleichen Wert wie R . Zum Zeitpunkt $t = 0\text{ s}$ wird der Schalter S geöffnet. Das Diagramm zeigt die Stromstärke $J(t)$, die vom Amperemeter A gemessen wird (siehe Bild).



- Bestimmen Sie aus dem Diagramm den Wert von $R = R_S$.
- Bestimmen Sie aus dem Diagramm den Wert der Induktivität L der Spule. (Erläutern Sie in Stichpunkten Ihr Vorgehen!)



Lösung:

$$1. a) \quad E_{\text{kin}} = (m - m_0) c^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} - 1 \right) m_0 c^2 \Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} = \frac{E_{\text{kin}}}{m_0 c^2} + 1 \Leftrightarrow$$

$$\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2} = \frac{m_0 c^2}{m_0 c^2 + E_{\text{kin}}} \Leftrightarrow 1 - (\frac{v}{c})^2 = \left(\frac{511 \text{ keV}}{511 \text{ keV} + 650 \text{ keV}} \right)^2 \Leftrightarrow$$

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{511}{1161} \right)^2} \Leftrightarrow v = 0,90c = 2,7 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b) \quad \frac{mv^2}{r} = e v B \Leftrightarrow B = \frac{mv}{er} = \frac{v}{\left(\frac{e}{m_0} \right) r \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} = \frac{2,7 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}} \cdot 0,075 \text{m} \cdot}$$

$$B = \frac{mv}{er} = \frac{v}{\left(\frac{e}{m_0} \right) r \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} = \frac{2,7 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}} \cdot 0,075 \text{m} \cdot \sqrt{1 - 0,90^2}} = 0,047 \text{T}$$

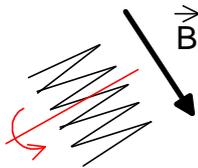
2. a)

$$b) \quad U_{\text{ind}} = -N \cdot B \cdot \dot{A} \quad \text{mit } A = A_0 \sin(\omega t) \Rightarrow$$

$$U_{\text{ind}} = -N B A_0 \omega \cos(\omega t) \Rightarrow U_{\text{max}} = N B A_0 \cdot 2\pi f$$

$$\text{also folgt mit } \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} = U_{\text{max}}$$

$$B = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}}{N A_0 2\pi f} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,038 \text{ V}}{10^4 \cdot 12,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 2\pi \cdot \frac{850}{60 \text{ s}}} = 48 \mu\text{T}$$



3. a) Nach dem Öffnen des Schalters gilt:

Die Summe der Spannungsabfälle an R_s , L und R ist Null.

$$0 = U_L + U_S + U_R \quad ; \quad \text{mit } U_L = +L \cdot \dot{J} \quad \text{und } U_S = R_S \cdot J \quad \text{und } U_R = R \cdot J$$

Wegen $R = R_S$ lautet damit die Differentialgleichung:

$$L \cdot \dot{J}(t) + 2R J(t) = 0$$

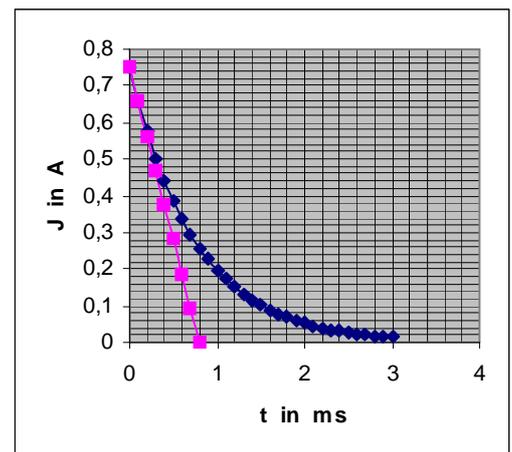
$$b) \quad U_0 = J_s R_s \Rightarrow R_s = \frac{U_s}{J_s} = \frac{12 \text{ V}}{0,75 \text{ A}} = 16 \Omega$$

$$c) \quad \dot{J}(0s) \approx -\frac{0,75 \text{ A}}{0,80 \text{ ms}} = -9,4 \cdot 10^2 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$U_{\text{ind}}(0s) = J(0s) \cdot R_{\text{ges}} = J(0s) \cdot 2R = 24 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}}(0s) = -L \cdot \dot{J}(0s) \Rightarrow$$

$$L = \frac{24 \text{ V}}{9,4 \cdot 10^2 \frac{\text{A}}{\text{s}}} = 0,026 \text{ H} = 26 \text{ mH}$$



$$d) \quad W_{\text{mag}} = \frac{1}{2} L J^2 = \frac{1}{2} \cdot 26 \text{ mH} \cdot (0,75 \text{ A})^2 = 7,3 \text{ mJ}$$

Die magnetische Energie wird an den ohmschen Widerständen in Wärme umgewandelt.

$$e) \quad X_L = 2 \pi f L \quad \Rightarrow \quad f = \frac{X_L}{2 \pi L} = \frac{100 \Omega}{2 \pi \cdot 0,026 \text{ H}} = 0,61 \text{ kHz}$$

4. a) Kraft F auf stromführenden Alustab im Magnetfeld nach der UVW-Regel nach rechts.

$$F = J B d \quad \text{und} \quad F = a m \quad \Rightarrow \quad a = \frac{J B d}{m} ; \quad \text{mit} \quad J_0 = \frac{U_0}{R} \quad \text{folgt}$$

$$a_0 = \frac{U_0 B d}{R m} = \frac{12 \text{ V} \cdot 0,085 \text{ T} \cdot 0,20 \text{ m}}{10 \Omega \cdot 0,020 \text{ kg}} = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

b) Der magnetische Fluss durch die "Leiterschleife" (U_0 , S , Alustab, R) nimmt wegen der Bewegung des Alustabs nach rechts zu. Die deswegen verursachte Induktionsspannung U_{ind} ist nach der Regel von Lenz der Spannung U_0 entgegengesetzt.

$$U_{\text{ind}} = - N B \dot{A} = - 1 \cdot B \cdot d \cdot \dot{x} = - B d v$$

$$U_{\text{ges}} = U_0 + U_{\text{ind}} = U_0 - B d v \quad ; \quad \text{für} \quad U_{\text{ges}} = 0 \quad \text{gilt} \quad J = 0, \quad \text{d.h.} \quad F = 0$$

$$\text{Also folgt} \quad v = v_e = \text{konstant} \quad \text{falls} \quad U_0 - B d v = 0 \quad \Rightarrow \quad v_e = \frac{U_0}{B d}$$

$$v_e = \frac{12 \text{ V}}{0,085 \text{ T} \cdot 0,20 \text{ m}} = 0,71 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

c) $v_e = \frac{U_0}{B d}$, man kann also z.B. B auf $\frac{0,71}{0,30} \cdot 85 \text{ mT} = 0,20 \text{ mT}$ erhöhen.

d) v_e hängt nicht von m ab!

Aber je größer m ist, desto kleiner wird a_0 , d.h. es dauert länger bis v_e erreicht wird.