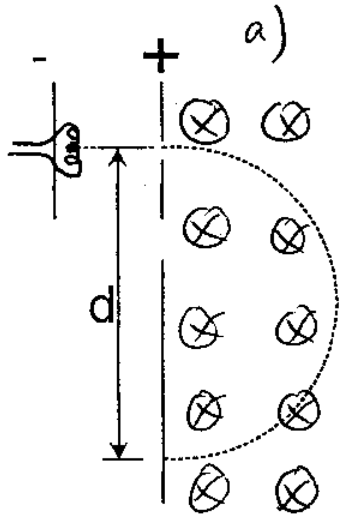
26.02.2001 Klausur 1 Kurs 12 Ph42 Physik Gk

Lösungsblatt

1 **Versuch:** Die Glühwendel oben links sendet Elektronen aus. Diese werden zwischen den Kondensatorplatten durch die Spannung U beschleunigt. Die Elektronen treten durch eine Blende in der positiv geladenen Platte in ein Magnetfeld ein, durch das sie im Abstand d auf ein Nachweisgerät gelenkt werden.
Beschleunigungsspannung U und Flussdichte B des Magnetfeldes werden jeweils so eingestellt, dass der Auftreffpunkt immer gleich bleibt.



a) Zeichnen Sie rechts im Bild ein, wie die magnetischen Feldlinien verlaufen.

Man weiß, dass d=30cm. Für die vorgegebenen Flussdichte-Werte B misst man folgende Spannungs-Werte U:

B in mT	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
U in V	20	79	178	317	495

b) Berechnen Sie allgemein die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen durch die Blende treten.

c) Erst um 1910 konnte die Ladung eines Elektrons gemessen werden. Davor war es nur möglich, das Verhältnis von Elektronenladung zu Elektronenmasse (e/m_e) zu bestimmen. Benutzen Sie alle Messwerte, um diesen Quotienten möglichst genau rechnerisch zu bestimmen.

---

b) Die Elektronen werden mit der Beschleunigungsspannung U beschleunigt und haben an der Blende ihre Maximalgeschwindigkeit erreicht.
Die im elektrischen Feld aufgenommene elektrische Energie W_E ist gleich der kinetischen Energie W_{kin}, also $W_E = W_{kin}$

$$\left.\begin{array}{l} W_E = e \cdot U \\ W_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 \end{array}\right\} \Rightarrow e U = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v^2 = \frac{2eU}{m} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

c) Rechts ist nur noch ein magnetisches Feld vorhanden. Die ~~Elektronen~~ Elektronen werden durch die Lorentzkraft F_L, die als Zentripetalkraft F_Z wirkt, auf eine Kreisbahn gezwungen. Es gilt also: $F_L = F_Z$

$$\left.\begin{array}{l} F_L = e \cdot v \cdot B \\ F_Z = m \cdot \frac{v^2}{r} \\ v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \text{ (s.o.)} \end{array}\right\} \Rightarrow e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow \frac{e \cdot B \cdot r}{m} = v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \quad |(\ )^2$$

$$\frac{e^2 B^2 r^2}{m^2} = \frac{2eU}{m} \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

$$\text{da } r = \frac{d}{2} \text{ gilt } \frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{8U}{B^2 d^2}$$

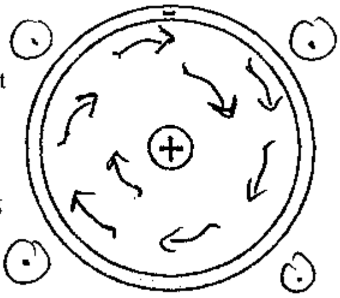
Einsetzen der Messwerte liefert: ($d = 0{,}3$m)

B in mT	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
U in V	20	79	178	317	495
$\frac{e}{m}$ in $\frac{C}{kg}$	$1{,}778 \cdot 10^{11}$	$1{,}755 \cdot 10^{11}$	$1{,}758 \cdot 10^{11}$	$1{,}761 \cdot 10^{11}$	$1{,}760 \cdot 10^{11}$

Mittelwert: $1{,}762 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$

1 (4 Gk / 5 Lk

2 Nebenstehend ist eine flache Schale abgebildet (Draufsicht), die eine dünne Schicht Wasser enthält. Im Wasser befinden sich negativ geladene Ionen von violetter Farbe. Der Rand der Schale ist negativ geladen, die Mitte positiv. Ein Magnetfeld durchsetzt so die Schale, dass in der Abbildung die Feldlinien senkrecht aus der Papierebene heraustreten. Zeichnen Sie für mehrere Stellen ein, in welche Richtung sich die negativ geladenen Ionen bewegen.



---

3 Beim Anlassen eines Autos fließt ein Strom der Stärke I=200A durch den Anlasser. Das Zuführungskabel sei 2m lang. Berechnen Sie, welche Kraft durch das Erdmagnetfeld ($B=0{,}5\cdot 10^{-4}T$) auf das Anlasserkabel ausgeübt wird, wenn das Kabel senkrecht zu den Feldlinien liegt.

$$F = I \cdot l \cdot B = 200A \cdot 2m \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-4}\,T = 0{,}02\,N$$

---

4 Die 2m lange starre metallene Radachse einer Inseleisenbahn bewege sich senkrecht zu den Feldlinien des Erdmagnetfeldes. a) Berechnen Sie, mit welcher Geschwindigkeit die Eisenbahn fahren müsste, damit dadurch in den Gleisen eine Spannung von $U_{ind}=1V$ induziert würde. b) Könnte man diese Spannung ausnutzen, um im Zug damit eine Kontrollleuchte zu betreiben? c) Könnte man neben dem Bahndamm eine solche Kontrollleuchte mit der induzierten Spannung betreiben?

Antworten bitte immer mit Begründung!

a) $U_{ind} = B \cdot l \cdot v \Rightarrow v = \frac{U_{ind}}{B \cdot l} = \frac{1V}{0{,}5 \cdot 10^{-4}T \cdot 2m} = 10^4 \frac{m}{s} = 10 \frac{km}{s}$

b) Nein, denn in den Zuleitungen zur Lampe würde auch eine Spannung induziert, so dass an der Lampe keine Spannung messbar wäre. Andere Begründung: Die Fläche der Leitungen ändert sich nicht.

c) Ja, da die eine Schiene negativ, die andere positiv geladen wäre. Andere Begründung: Die Fläche der Leitungen würde sich ständig ändern.

---

5 In einer $l_1=30cm$ langen Spule mit $n_1=60$ Windungen befindet sich eine kleine Spule mit $n_2=200$ Windungen und der Querschnittsfläche $A_2=12cm^2$. Die rechteckigen Querschnittsflächen der Spulen liegen parallel zueinander.

a) Berechnen Sie die Stromstärke des Stroms, der durch die lange Spule fließen muss, damit die magnetische Flussdichte B_1 dieser Spule den Wert 1mT hat.

$$B = \mu_0 \cdot H = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot n}{l} \Rightarrow I = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot n} = \frac{10^{-3}T \cdot 0{,}3m}{\mu_0 \cdot 60} = 3{,}98\,A$$

b) Die kleine Spule wird so aus der großen Spule herausgezogen, dass die von den magnetischen Feldlinien durchsetzte Fläche der kleinen Spule proportional zur Zeit abnimmt. Berechnen Sie den Zeitraum, in dem die von den Feldlinien durchsetzte Fläche von $12cm^2$ auf $4cm^2$ abnehmen muss, damit eine induzierte Spannung $U_{ind}=1mV$ entsteht.

$$-\Delta A = 12cm^2 - 4cm^2 = 8cm^2$$

$$U_{ind} = +n_2 \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} \cdot B_1 \Rightarrow \Delta t = \frac{+n_2 \cdot \Delta A \cdot B_1}{U_{ind}} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 10^{-4}m^2 \cdot 10^{-3}T}{10^{-3}V}$$

$$\Delta t = 0{,}16\,s$$

2 | 4Gk 5Lk

c) Nun bleibt die kleine Spule vollständig im Magnetfeld der großen Spule. Der Strom in der langen Spule wird so in 0,2s von 0A auf 10A erhöht, dass in der kleinen Spule die Induktionsspannung U_{ind}=0,1mV entsteht. Dafür muss aber vor dem Versuch die Länge der großen Spule (bei gleichbleibender Windungszahl) geändert werden. Berechnen Sie die notwendige Länge der großen Spule.

$\Delta I = 10A \quad \Delta t = 0{,}2s$

$$U_{ind} = n_2 \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \qquad B = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot n_1}{l_1} \Rightarrow \Delta B = \mu_0 \cdot \frac{\Delta I_1 \cdot n_1}{l_1}$$

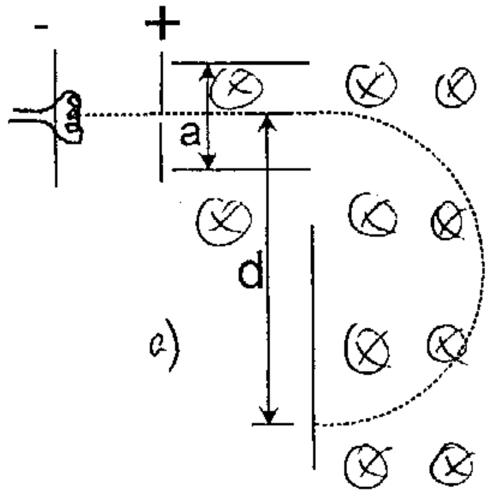
$$\Rightarrow U_{ind} = n_2 \cdot A \cdot \frac{\mu_0 \cdot \Delta I_1 \cdot n_1}{\Delta t \cdot l_1} \Rightarrow l_1 = \frac{n_2 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \Delta I_1 \cdot n_1}{\Delta t \cdot U_{ind}}$$

$$\Rightarrow l_1 = \frac{200 \cdot 12 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot \mu_0 \cdot 10A \cdot 60}{0{,}2s \cdot 10^{-4} V} = 9m$$

26.02.2001 Klausur 1 Kurs 12 Ph12 Physik Lk

Lösungsblatt

1 **Versuch:** Die Glühwendel oben links sendet Elektronen aus. Diese werden zwischen den Kondensatorplatten durch die Spannung U_1 beschleunigt. Die Elektronen treten durch eine Blende in der positiv geladenen Platte in einen waagrecht ausgerichteten Kondensator, der zusammen mit dem Raum rechts und weiter unten von demselben Magnetfeld durchsetzt wird. In diesem Kondensator sollen sich die Elektronen geradlinig bewegen. Rechts vom waagrechten Kondensator wirkt nur noch das Magnetfeld so, dass die Elektronen im Abstand d auf ein Nachweisgerät gelenkt werden. Beschleunigungsspannung U_1 und Flussdichte B des Magnetfeldes werden jeweils so eingestellt, dass der Auftreffpunkt immer gleich bleibt.



a) Zeichnen Sie rechts im Bild ein, wie die magnetischen Feldlinien verlaufen und wie die Platten des waagrecht liegenden Kondensators geladen sein müssen.

Man weiß, dass d=30cm. Für die vorgegebenen Flussdichte-Werte B misst man folgende Spannungs-Werte U_1:

B in mT	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
U_1 in V	20	79	178	317	495

b) Berechnen Sie allgemein die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen durch die Blende treten. s. Gk

c) Erst um 1910 konnte die Ladung eines Elektrons gemessen werden. Davor war es nur möglich, das Verhältnis von Elektronenladung zu Elektronenmasse (e/m_e) zu bestimmen. Benutzen Sie alle Messwerte, um diesen Quotienten möglichst genau rechnerisch zu bestimmen. siehe Gk

d) Für den waagrechten Kondensator soll die Beschleunigungsspannung mit benutzt werden, d.h. Beschleunigunsspannung=Kondensatorspannung. Damit diese Bedingung erfüllt ist, muss der Abstand a zwischen den Kondensatorplatten einen genau bestimmten Wert haben. Berechnen Sie den Wert.

Im Kondensator muss die elektrische Kraft entgegengesetzt gleich der Lorentzkraft sein. $F_{el} = F_L$

$$\left.\begin{aligned} F_{el} &= e \cdot E \\ F_L &= e \cdot v \cdot B \end{aligned}\right\} \Rightarrow e \cdot E = e \cdot v \cdot B \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{U_2}{B \cdot a}$$

$$E = \frac{U_2}{a}$$

3 | 4Gk 5Lk

aus Teil b: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_1}{m}}$ auf Seite 3: $v = \frac{U_2}{B \cdot a}$

$\Rightarrow \sqrt{\frac{2 e \cdot U_1}{m}} = \frac{U_2}{B \cdot a} \Rightarrow \frac{2 \cdot e \cdot U_1}{m} = \frac{U_2^2}{B^2 \cdot a^2}$

aus Teil c: $\frac{e}{m} = \frac{8 U_1}{B^2 \cdot d^2} \Rightarrow \frac{2 \cdot U_1 \cdot 8 U_1}{B^2 \cdot d^2} = \frac{U_2^2}{B^2 \cdot a^2} \Rightarrow \frac{16 U_1^2}{d^2} = \frac{U_2^2}{a^2}$

Bedingung war: $U_1 = U_2 \Rightarrow \frac{16}{d^2} = \frac{1}{a^2} \Rightarrow a^2 = \frac{d^2}{16} \Rightarrow a = \frac{d}{4}$

mit $d = 0{,}3\,m$ folgt $a = \frac{0{,}3\,m}{4} = 0{,}075\,m = 7{,}5\,cm$

---

2 Die 2m lange starre metallene Radachse einer Inseleisenbahn bewege sich mit dem Winkel 60° zu den Feldlinien des Erdmagnetfeldes ($B = 0{,}5 \cdot 10^{-4}T$).

a) Berechnen Sie, mit welcher Geschwindigkeit die Eisenbahn fahren müsste, damit dadurch in den Gleisen eine Spannung von $U_{ind} = 1V$ induziert würde.

b) Könnte man diese Spannung ausnutzen, um im Zug damit eine Kontrollleuchte zu betreiben? siehe Gk

c) Könnte man neben dem Bahndamm eine solche Kontrollleuchte mit der induzierten Spannung betreiben? siehe Gk

Antworten bitte immer mit Begründung!

a) $U_{ind} = l \cdot v \cdot B \cdot \sin 60° \Rightarrow v = \frac{U_{ind}}{l \cdot B \cdot \sin 60°} = \frac{1V}{2m \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-4} T \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3}} =$

$v = 11{,}5 \frac{km}{s}$

---

3 In einer l_1=30cm langen Spule mit n_1=60 Windungen befindet sich eine kleine Spule mit n_2=200 Windungen und der Querschnittsfläche $A_2 = 12cm^2$. Die rechteckigen Querschnittsflächen der Spulen liegen parallel zueinander.

a) Berechnen Sie die Stromstärke des Stroms, der durch die lange Spule fließen muss, damit die magnetische Flussdichte B_1 dieser Spule den Wert 1mT hat. siehe Gk

b) Die kleine Spule fällt so aus der großen Spule heraus, dass die von den magnetischen Feldlinien durchsetzte Fläche der kleinen Spule nach der Gesetzmäßigkeit $A(t) = 12cm^2 - 0{,}2\frac{cm^2}{s^2} \cdot t^2$ abnimmt. Berechnen Sie die maximale Induktionsspannung.

b) $\frac{dA}{dt} = \dot{A}(t) = -0{,}4 \frac{cm^2}{s^2} \cdot t$

$U_{ind} = n \cdot B \cdot \dot{A} = \left(200 \cdot 10^{-3} T \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s^2}\right) \cdot t = 8 \cdot 10^{-6} \frac{Tm^2}{s^2} \cdot t$

Berechnung der Zeit, wo der Flächeninhalt $0\,cm^2$ erreicht hat:

$A(t) = 0 = 12cm^2 - 0{,}2\frac{cm^2}{s^2} \cdot t^2 \Rightarrow t^2 = \frac{12}{0{,}2} s^2 = 60 s^2 \Rightarrow t = \sqrt{60}\,s$

In U_{ind} eingesetzt: $U_{ind} = 8 \cdot 10^{-6} \frac{Tm^2}{s^2} \cdot \sqrt{60}\,s \approx 62 \mu V$

4 | 4 Gk / 5 Lk

4 Zwei Raumschiffe mit jeweils einem Drilling an Bord fliegen zum selben Zeitpunkt (t=0) von der Erde in entgegengesetzte Richtung fort, das eine mit $v_1 = \frac{3}{5}c$, das andere mit $v_2 = \frac{4}{5}c$. Der dritte Drilling bleibt auf der Erde.

Jeder Raumfahrer fliegt nach seiner Zeitrechnung 12 Jahre und kehrt dann zur Erde zurück. Sie behalten beide ihre Geschwindigkeit die ganze Zeit über bei. Von Beschleunigungsvorgängen sehen wir ab.

a) Berechnen Sie, mit welcher Geschwindigkeit sich die beiden Raumschiffe zu Beginn voneinander entfernen.

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}} = \frac{\frac{3}{5}c + \frac{4}{5}c}{1 + \frac{\frac{3}{5}c \cdot \frac{4}{5}c}{c^2}} = \frac{\frac{7}{5}c}{1 + \frac{12}{25}} = \frac{\frac{7}{5}c}{\frac{37}{25}} = \frac{7}{5} \cdot \frac{25}{37} c = \frac{35}{37} c$$

b) Berechnen Sie, wie alt die Drillinge sind, wenn der letzte Raumfahrer auf der Erde angekommen ist. Beim Start der Raumschiffe war jeder 20 Jahre alt. Berechnen Sie dazu, wie lange die beiden Raumflüge dauern, wenn die Zeit von auf der Erde befindlichen Uhren gemessen wird.

Jeder Raumfahrer fliegt 12 Jahre hin und 12 Jahre zurück.
Also gilt $\Delta t' = 24a$

Für Raumfahrer 1 misst die Erde-Uhr:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{9}{25}}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{\frac{16}{25}}} = \frac{\Delta t'}{\frac{4}{5}} = \frac{5}{4} \cdot 24a = 30a$$

Für Raumfahrer 2 misst die Erde-Uhr:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{16}{25}}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{\frac{9}{25}}} = \frac{\Delta t'}{\frac{3}{5}} = \frac{5}{3} \cdot 24a = 40a$$

Der letzte Raumfahrer kommt also an, wenn auf der Erde 40 Jahre vergangen sind.
Daraus folgt:
Erdmensch: Alter 20a + Wartezeit 40a = Alter 60a
Raumfahrer 1: Alter 20a + Flugzeit 24a + Wartezeit 10a = Alter 54a
Raumfahrer 2: Alter 20a + Flugzeit 24a = Alter 44a

c) 1 Jahr nach dem Start wird den beiden Raketen jeweils ein Lichtsignal nachgesandt. Berechnen Sie, wann das Licht (nach der Zeit in den Raumschiffen gemessen) jeweils sein Ziel erreicht.

Nach der Formel $s = v \cdot t$ gilt:
Strecke, die der Raumfahrer in 1a zurücklegt. $s_1 = v \cdot 1a$
Strecke, die der Raumfahrer zurücklegt, bis ihn danach der Lichtstrahl erreicht: $s_2 = v \cdot x$
Strecke, die das Licht zurücklegt, bis es den Raumfahrer erreicht: $s_3 = c \cdot x$
d.h. $s_1 + s_2 = s_3 \Rightarrow v \cdot 1a + v \cdot x = c \cdot x \Rightarrow x = \frac{v \cdot 1a}{c - v}$
Gesamtzeit ist dann $T = 1a + \frac{v \cdot 1a}{c - v}$
Für Raumfahrer 1 gilt: $T_1 = 1a + \frac{\frac{3}{5}c \cdot 1a}{\frac{2}{5}c} = 1a + \frac{3}{2}a = \frac{5}{2}a$
$T_1' = T_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{5}{2}a \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{5}{2}a \cdot \frac{4}{5} = 2a \leftarrow$ das misst Raumfahrer 1
Für Raumfahrer 2 gilt: $T_2 = 1a + \frac{\frac{4}{5}c \cdot 1a}{\frac{1}{5}c} = 1a + 4a = 5a$
$T_2' = T_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = 5a \cdot \frac{3}{5} = 3a \leftarrow$ das misst Raumfahrer 2 5/5k