

Klausur zur Klassischen Experimentalphysik II (Elektrodynamik) am 14.10.2011

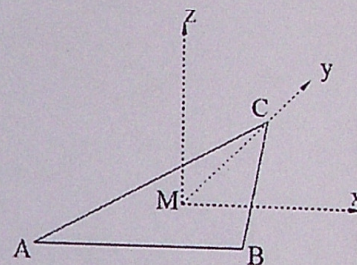
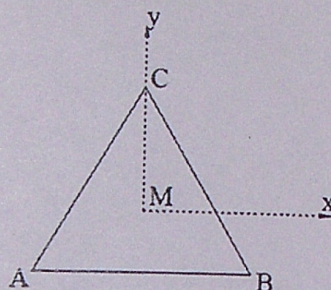
Name, Vorname:	
Matrikelnummer:	
Studiengang:	Wiederholungsprüfung? Nein ☐ Ja ☐

Aufgabe	1	2	3	4	5	Σ	Note
Max. Punkte	6	6	7	8	3	30	
Erreichte Punkte							

Bitte jedes Blatt mit Namen versehen, jede Aufgabe ordentlich kennzeichnen und leserlich schreiben!

Aufgabe 1: (6 Punkte)

Drei Punktladungen Q_A , Q_B und Q_C sitzen an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks ABC in der xy-Ebene eines Koordinatensystems. Die Kantenlänge des Dreiecks ist a . Der Mittelpunkt M des Dreiecks liegt im Ursprung des Koordinatensystems (siehe auch Skizze). Die Koordinaten der Punkte sind:



A: $(-\frac{a}{2} / -\frac{a}{6}\sqrt{3} / 0)$; B: $(\frac{a}{2} / -\frac{a}{6}\sqrt{3} / 0)$; C: $(0 / \frac{a}{3}\sqrt{3} / 0)$.

Die drei Ladungen sind identisch: $Q_A = Q_B = Q_C = Q$.

- Berechnen Sie das elektrische Potential ϕ auf der z-Achse, d.h. für $x = 0$ und $y = 0$.
- Berechnen Sie das elektrische Feld $\mathbf{E}$ auf der z-Achse, d.h. für $x = 0$ und $y = 0$.
- Bei welchem z findet man ein Maximum der z-Komponente E_z des elektrischen Feldes?
- Warum findet man bei $z = 0$ kein Minimum der z-Komponente E_z des elektrischen Feldes $\mathbf{E}$, obwohl $E_z(z = 0)$ Null ist? Skizzieren Sie E_z als Funktion von z .

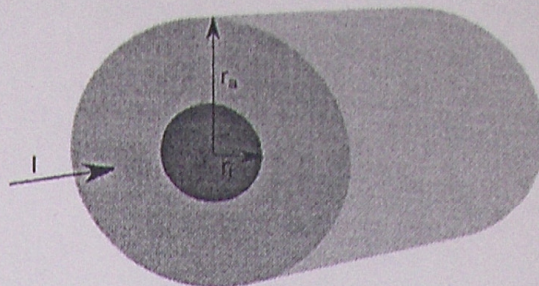
Aufgabe 2: (6 Punkte)

Bei einem Besuch in einem Labor für Materialien für die Elektrotechnik sehen Sie auf dem Oszilloskop eine Hysteresis-Schleife.

- Welche Größe in Abhängigkeit welcher anderen Größe könnte hier gemessen werden? Skizzieren und erklären Sie ein entsprechendes Diagramm.
- Wie und warum könnte sich das Bild ändern (Skizze), wenn die Temperatur des gemessenen Materials erhöht wird?

Aufgabe 3: (7 Punkte)

Gegeben ist ein unendlich ausgedehnter metallischer Leiter in Form eines Hohlzylinders mit dem Innenradius r_i und dem Außenradius r_a . Im Leiter fließt ein Strom I , der homogen über den Leiterquerschnitt verteilt ist.

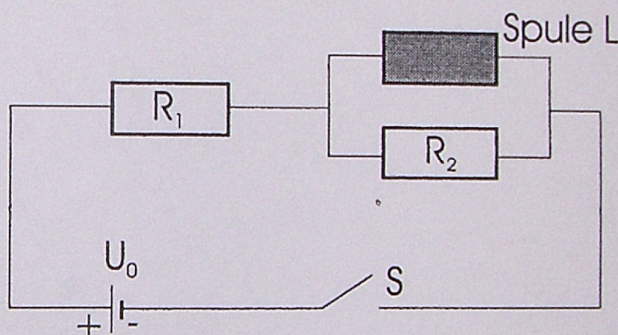


- Wie groß ist der Betrag der magnetischen Feldstärke $|H|$ im Bereich $0 < r < \infty$? Skizzieren Sie $|H(r)|$.
- Unter dem Einfluss des Feldes wird sich, entgegen der obigen Annahme, keine homogene Stromdichte j einstellen. Welche Kräfte wirken auf die Ladungsträger in radialer Richtung? Erläutern Sie kurz Ihre Antwort einschließlich der Richtung der Kräfte.

Aufgabe 4: (8 Punkte)

Bei dem skizzierten Stromkreis bestehend aus zwei Widerständen (R_1 und R_2) und einer Spule L wird zum Zeitpunkt $t = 0$ der Schalter S geschlossen. Berechnen Sie die Zeitabhängigkeit folgender Größen nach dem Einschalten und geben Sie die jeweiligen Grenzwerte für $t = 0$ und $t \rightarrow \infty$ an:

- des Stroms $I_L(t)$ durch die Spule L (inklusive Angabe der Zeitkonstanten),
- des Gesamtstromes $I(t)$ und
- der in der Spule L gespeicherten Energie.



Aufgabe 5: (3 Punkte)

Die Dielektrizitätskonstante von Wasser wird mit $\epsilon_r = 80$ angegeben. Andererseits ist die Brechzahl von Wasser für sichtbares Licht $n = 1.33$. Nun haben wir gelernt, dass sich aus den Maxwell-Gleichungen für elektromagnetische Wellen der Zusammenhang $n = \sqrt{\epsilon_r}$ ergibt.

- Erklären Sie die offensichtliche numerische Diskrepanz.
- Welche mikroskopische Ursache liegt der vom Vakuumwert $n = 1$ abweichenden Brechzahl zugrunde?

Aufgabe 1

a) Potential einer Punktladung: $\phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$

hier: $r = \left(\frac{a^2}{4} + \frac{3a^2}{36} + z^2\right)^{1/2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{a^2}{3} + z^2}$

$\Rightarrow \phi(0,0,z) = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\sqrt{\frac{a^2}{3} + z^2}}$ (Summe der 3 Punktlad.)

b) $E_z = -\frac{\partial\phi}{\partial z} = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a^2}{3} + z^2\right)^{3/2}} \left(-\frac{2}{2} z\right)$

$E_z = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{zQ}{\left(\frac{a^2}{3} + z^2\right)^{3/2}}, E_x = E_y = 0$ auf der z-Achse

$\vec{E} = (0, 0, E_z)$

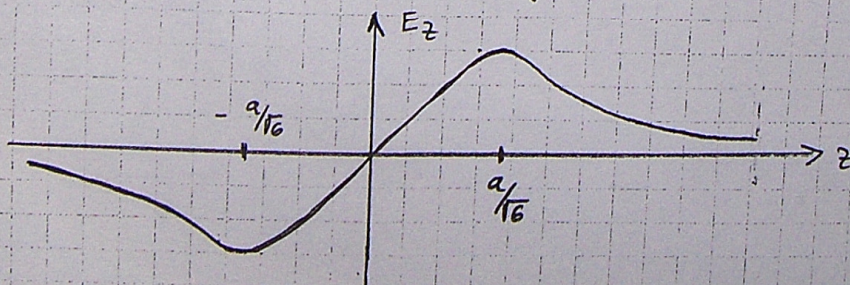
c) $\frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\left(z^2 + \frac{a^2}{3}\right)^{-3/2} + \frac{-3/2 \cdot 2z^2}{\left(z^2 + \frac{a^2}{3}\right)^{5/2}} \right]$

$= \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{\left(z^2 + \frac{a^2}{3}\right) - 3z^2}{\left(z^2 + \frac{a^2}{3}\right)^{5/2}} \right]$

$\frac{\partial E_z}{\partial z} \stackrel{!}{=} 0$, wenn $-2z^2 + \frac{a^2}{3} = 0$ (Zähler Null)

$\Rightarrow z^2 = \frac{a^2}{6} \Rightarrow |z| = \frac{a}{\sqrt{6}}$

d) $E_z(z)$ hat einen Vorzeichenwechsel bei $z=0$
für $z < 0$ ist $E_z(z)$ negativ



Aufgabe 3

a) $0 < r < r_i$: $\oint \vec{H} d\vec{r} = I = 0$
 $\vec{H} = 0$ im Innenraum

$r_i < r < r_a$: I homogen im Innenraum

$\leadsto j = \frac{I}{\pi(r_a^2 - r_i^2)} = \text{konst.}$

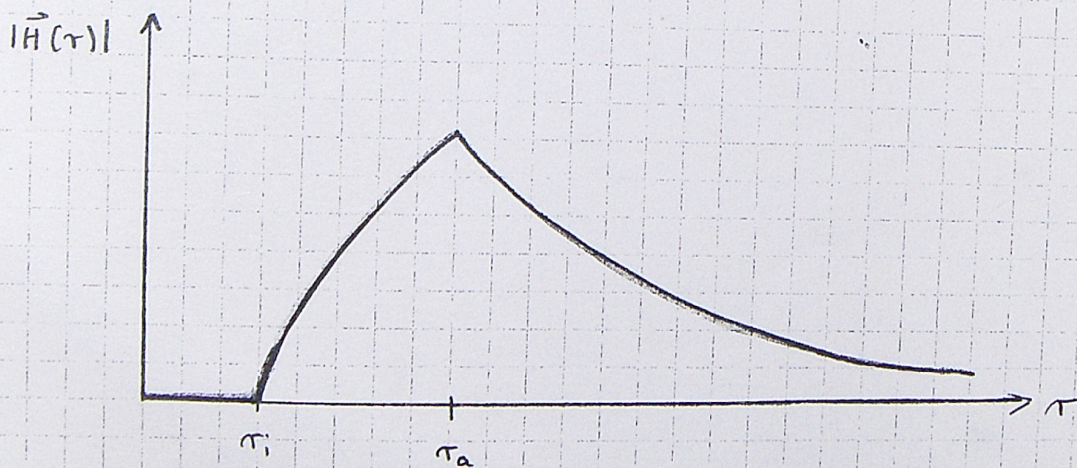
$\oint \vec{H} d\vec{r} \underset{\substack{\uparrow \\ * \text{ Symmetrie}}}{=} 2|\vec{H}| \pi r = \int_{r_i}^r j 2\pi r' dr' = \frac{2\pi I}{\pi(r_a^2 - r_i^2)} \frac{1}{2}(r^2 - r_i^2)$

$\leadsto |\vec{H}| = \frac{I}{2\pi(r_a^2 - r_i^2)} \left(r - \frac{r_i^2}{r} \right)$

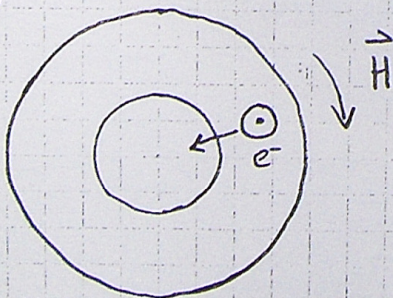
$r_a < r < \infty$:

$\oint \vec{H} d\vec{r} \stackrel{*}{=} |\vec{H}| 2\pi r = I$

$\leadsto |\vec{H}| = \frac{I}{2\pi r}$



b)



$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ Lorentzkraft

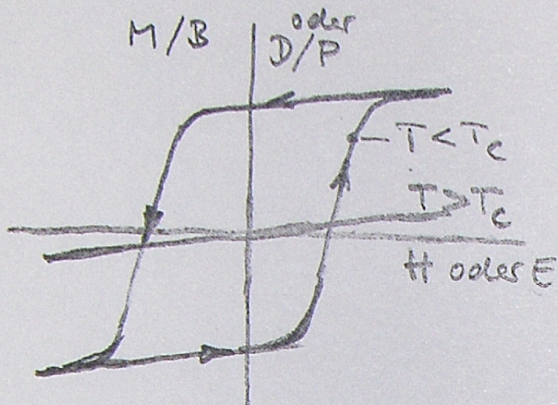
$\leadsto e^-$ werden zur Mitte gedrängt

$\vec{F}_{ee} = \frac{\vec{E}}{q}$ durch Verschiebung von Ladung entsteht ein $\vec{E}$ -Feld, das der weiteren Verschiebung entgegen wirkt

② ferromagnetisches Material:

a) Magnetisierung M bzw. B -Feld als Fkt. des H -Felds
ferroelektrisches Material:

Polarisation P bzw. D -Feld als Fkt. des E -Felds



Der "Ferroanteil" der Magnetisierung/
Polarisation sättigt bei großem H/E -Feld.
Für $H/E \rightarrow 0$ bleibt eine remanente
Magnetisierung/Polarisation bestehen.
Bei ausreichend großem umgekehrten
 H/E -Feld klappt M/P um

b) Oberhalb einer kritischen Temperatur T_c verschwindet die
ferromagnetische / ferroelektrische Eigenschaft. Die
Hystereseschleife verschwindet, s. Skizze

⑤ a) Im Gleichfeld und bei niedrigen Frequenzen wird ϵ_r
durch die Orientierungspolarisation bestimmt, die perma-
nenten Dipolmomente der Wassermoleküle stellen sich
parallel zum angelegten elektrischen Feld. Bei hohen
Frequenzen, insbes. bei sichtbarem Licht, verschwindet die
Orientierungspolarisation, da die Orientierung der Wasser-
moleküle dem oszillierenden elektrischen Feld nicht
folgen kann.

b) Die atomare Polarisierbarkeit, d.h. die Verschiebung der
Elektronen relativ zu den Kernen bewirkt eine
Verschiebungspolarisation. $\rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r} > 1$

wirkt
weiteren Verschiebu

Aufgabe 4

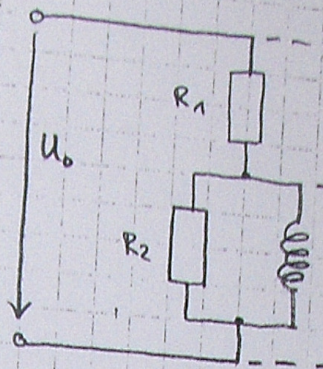
a) $U_0 = U_1 + U_L$
 $U_L = \dot{I}_L L = U_2$

$$I_L = I_1 - I_2 = \frac{U_1}{R_1} - \frac{U_2}{R_2}$$

$$I_L = \frac{U_0 - U_L}{R_1} - \frac{U_L}{R_2}$$

$$I_L = \frac{U_0 - \dot{I}_L L}{R_1} - \frac{\dot{I}_L \cdot L}{R_2}$$

$$I_L = \frac{U_0}{R_1} - \dot{I}_L L \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) \quad : \text{DGL}$$



Ausatz: $I_L(t) = I_{\max} (1 - e^{-t/\tau})$; $\dot{I}_L(t) = I_{\max}$

Einsetzen: $I_{\max} (1 - e^{-t/\tau}) = \frac{U_0}{R_1} - \frac{I_{\max}}{\tau} L \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) e^{-t/\tau}$

für $t \rightarrow \infty$: $I_{\max} = \frac{U_0}{R_1}$

für $t = 0$: $0 = \frac{U_0}{R_1} - I_{\max} \frac{L}{\tau} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) \Leftrightarrow \tau =$

b) $I(t) = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_0 - \dot{I}_L L}{R_1} = \frac{U_0}{R_1} - \frac{L}{R_1} \frac{I_{\max}}{L \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right)} e^{-t/\tau}$

$$I(t) = \frac{U_0}{R_1} - \frac{U_0}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} e^{-t/\tau}$$

für $t = 0$: $I(0) = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$; für $t \rightarrow \infty$: $I_{\infty} =$

$$I(t) = I_{\max} \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} e^{-t/\tau} \right)$$

c) $W_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} L I_L^2 = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 (1 - e^{-t/\tau})^2$

$t = 0$: $W_{\text{Spule}} = 0$

$t \rightarrow \infty$: $W_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 = \frac{1}{2} L \frac{U_0^2}{R_1^2}$