Klausur zur Experimentalphysik II
Prof. Dr. G. Abstreiter

18. Juli 2002, 14-16 Uhr **SS 2002**

Aufgabe 1

a)

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{12} + \vec{E}_{13} + \vec{E}_{14} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\left\{\begin{pmatrix} 0 \\ \frac{a}{a^3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{a}{a^3} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{a}{2\sqrt{2}a^3} \\ \frac{a}{2\sqrt{2}a^3} \end{pmatrix}\right\} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q}{a^2}\cdot\begin{pmatrix} 1+\frac{1}{2\sqrt{2}} \\ 1+\frac{1}{2\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \frac{\left(1+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\cdot\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\vec{F} = \vec{E}\cdot q = \frac{\left(1+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\cdot\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

b) $$E_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\left\{\underbrace{\frac{q^2}{a}}_{1\text{-}2} + \underbrace{\frac{q^2}{\sqrt{2}a}}_{1\text{-}3} + \underbrace{\frac{q^2}{a}}_{1\text{-}4} + \underbrace{\frac{q^2}{a}}_{2\text{-}3} + \underbrace{\frac{q^2}{\sqrt{2}a}}_{2\text{-}4} + \underbrace{\frac{q^2}{a}}_{3\text{-}4}\right\} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a}\cdot\left(4+\sqrt{2}\right)$$

c) im Unendlichen: $E_{pot}(a) = E_{kin}(\infty) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2}m{v_{\max}}^2 = E_{pot}(a)$

$$E_{kin}\left(v = \frac{1}{2}v_{\max}\right) = \frac{1}{4}E_{pot}(a);$$

$$\frac{1}{4}E_{pot}(a) + E_{pot}(r) = E_{pot}(a) \quad ; \quad E_{pot}(r) = \frac{3}{4}E_{pot}(a)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{r} = \frac{3}{4}\frac{1}{a} \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{r = \frac{4}{3}a}}$$

d) $$\vec{F}_1 = q\cdot\vec{E}_1 + q\cdot\vec{E}_C \overset{!}{=} 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\left(1+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)\frac{q^2}{a^2}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \frac{q\cdot Q}{a^3}\cdot 2\sqrt{2}\cdot\begin{pmatrix} \frac{a}{2} \\ \frac{a}{2} \end{pmatrix}\right] = 0$$

$$\left(1+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)q + \sqrt{2}Q = 0 \quad ; \quad Q = -\left(\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{4}\right)q = \underline{\underline{-0{,}96q}}$$

a) Wie Reihenschaltung zweier Kondensatoren ($Q_V = Q_D = Q$)

$d_D = \frac{1}{2}d$: Dicke der dielektrischen Platte

Gesamtkapazität: $C_V = \frac{\varepsilon_0 A}{d - d_D} = \frac{2\varepsilon_0 A}{d}$; $C_D = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d_D} = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d}$

$$C_2 = \frac{C_V C_D}{C_V + C_D} = \frac{4\varepsilon_0{}^2 \varepsilon_r A^2 d}{d^2 2\varepsilon_0 A(1+\varepsilon_r)} = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \cdot \frac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 1}$$

$$U_0 = U_V + U_D$$

$$U_V \cdot C_V = Q_V = Q_D = U_D \cdot C_D \qquad \Rightarrow \qquad U_V = \frac{C_D}{C_V} U_D = \varepsilon_r (U_0 - U_V)$$

$$\Rightarrow \qquad U_V = \frac{\varepsilon_r}{1+\varepsilon_r} U_0 = \frac{13{,}1}{14{,}1} \cdot 120V = 111{,}5V \qquad \Rightarrow \quad E_V = \frac{U_V}{d_V} = \frac{111{,}5V}{0{,}5cm} = \underline{\underline{22{,}3\frac{kV}{m}}}$$

$$E_D = \frac{U_D}{d_D} = \frac{U_0 - U_V}{d_D} = \frac{120V - 111{,}5V}{0{,}5cm} = \underline{\underline{1{,}7\frac{kV}{m}}}$$

b) Durch das Einschieben der Platte fließt Ladung auf die Kondensatorplatten. Für die elektrische Arbeit W, die dabei verrichtet wird, gilt:

$$W = \int U dQ = U_0 \cdot \Delta Q$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = U_0 (C_2 - C_1) = U_0 \left(\frac{C_V C_D}{C_V + C_D} - \frac{\varepsilon_0 A}{d} \right) = U_0 \frac{\varepsilon_0 A}{d} \left(\frac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 1} - 1 \right) = U_0 \frac{\varepsilon_0 A}{d} \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}$$

$$W = U_0{}^2 \frac{\varepsilon_0 A}{d} \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} = (120V)^2 \frac{8{,}854 \cdot 10^{-12} \cdot 100cm^2 (13{,}1 - 1)}{1cm \cdot (13{,}1 + 1)} = \underline{\underline{1{,}1 \cdot 10^{-7} J}}$$

c) Ladung bleibt konstant: $Q = U_0 \cdot C_2$

$$U = \frac{C_2}{C_1} U_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \cdot \frac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 1} \cdot \frac{d}{\varepsilon_0 A} \cdot U_0 = \frac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 1} U_0 = \frac{2 \cdot 13{,}1}{13{,}1 + 1} \cdot 120V = \underline{\underline{223V}}$$

a) Änderung des magnetischen Flusses:

$$\frac{d}{dt}\Phi = \vec{B}\cdot\frac{d}{dt}\vec{A} = B\cdot l\cdot v = -U_{ind}\left(v\right)$$

Strom in der Leiterschleife:

$$I = \frac{U_{ind}}{R} = -\frac{Blv}{R}$$

Betrag der Kraft auf die Leiterschleife (nur die Schmalseite trägt bei):

$F = IlB$ (in Richtung $-\vec{v}$, Lenz'sche Regel)

$$\Rightarrow \quad \vec{F} = -\frac{B^2l^2}{R}\vec{v}$$

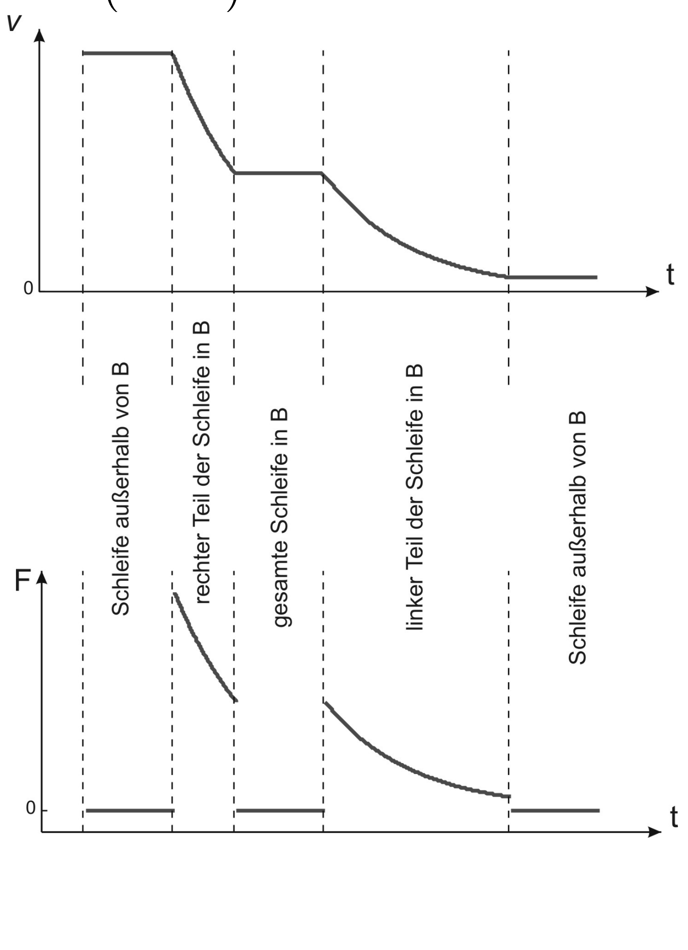
b) $\dot{\vec{v}}m = \vec{F} = -\frac{B^2l^2}{R}\vec{v} \quad \Rightarrow \quad \dot{\vec{v}} = -\frac{B^2l^2}{Rm}\vec{v}$

$$\Rightarrow \quad \vec{v}\left(t\right) = \vec{v}_0 \exp\left(-\frac{B^2l^2}{Rm}t\right) = \vec{v}_0 \exp\left(-\frac{t}{1000s}\right)$$

c) $v\left(t_{½}\right) = \frac{1}{2}v_0 \quad \Leftrightarrow \quad \exp\left(-\frac{t_{½}}{1000s}\right) = \frac{1}{2} \quad \Leftrightarrow \quad t_{½} = 1000s\cdot\ln 2 = \underline{\underline{693s}}$

Die Geschwindigkeit klingt exponentiell ab, die Schleife kommt also nie zur Ruhe.

d) $\vec{F}\left(t\right) = -\frac{B^2l^2}{R}\vec{v} = \vec{F}_0\cdot\exp\left(-\frac{B^2l^2}{Rm}t\right)$



a) Rein Ohmscher Widerstand : $I_{eff,1} = \frac{P}{U_{eff,1}} = \frac{40W}{110V} = 0.36A$

$$R = \frac{P}{I_{eff,1}^2} = 302.5\Omega$$

Reihenschaltung R und C:

$$I_{eff,1} = \frac{U_{eff,2}}{|Z|} = \frac{U_{eff,2}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\Leftrightarrow C = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{eff,2}}{I_{eff,1}}\right)^2 - R^2}} = 6.0\mu F$$

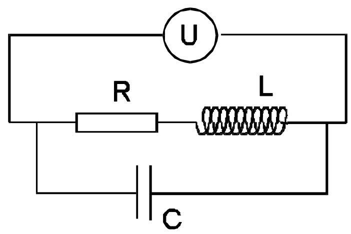
b) Reihenschaltung R und L:

$$I_{eff,1} = \frac{U_{eff,2}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\Leftrightarrow L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{eff,2}}{I_{eff,1}}\right)^2 - R^2}}{\omega} = 1.69H$$

c) $P_{Blind,C} = I_{eff}^2 \cdot |X_C| = I_{eff}^2 \cdot \frac{1}{\omega C} = P_{Blind,L} = I_{eff}^2 \cdot |X_L| = I_{eff}^2 \cdot \omega L = 69W$

d)



Methode 1: Komplexe Widerstände

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_{RL}} + \frac{1}{X_C} = \frac{1}{R + i\omega L} + i\omega C = \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + i\left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}\right)$$

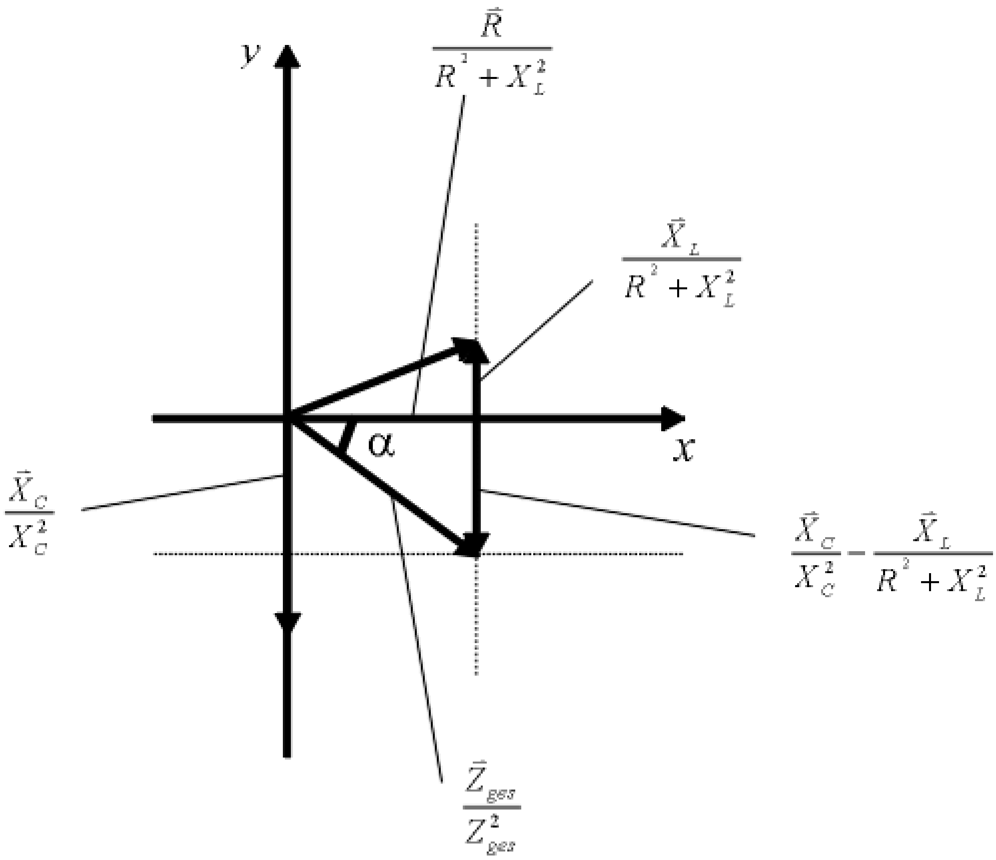
keine Blindleistung: Imaginärteil = Null

$$\Rightarrow \qquad C = \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2}$$

Methode 2: Zeigerdiagramm

Serienschaltung von R und L: $\vec{X}_{RL} = \vec{R} + \vec{X}_L$

Parallelschaltung von C und Serie R-L durch Addition reziproker Widerstände, d.h. im Zeigerdiagramm Addition reziproker Vektoren (allgemein: $\frac{1}{\vec{a}} = \frac{\vec{a}}{\vec{a} \cdot \vec{a}} = \frac{\vec{a}}{a^2}$)



Keine Blindleistung: „Phasenverschiebung“ α zwischen Ohmschem Widerstand und Gesamt-Impedanz = Null

$$\tan\alpha = \frac{\frac{X_C}{X_C^2} - \frac{X_L}{R^2 + X_L^2}}{\frac{R}{R^2 + X_L^2}} = 0$$

$$\Leftrightarrow \qquad \left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}\right) \cdot \frac{(R^2 + (\omega L)^2)}{R} = 0$$

$$\Leftrightarrow \qquad \left(C \cdot (R^2 + (\omega L)^2) - L\right) = 0 \qquad \Rightarrow \qquad C = \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2}$$

Aufgabe 5

a) Die Flächennormale muß in y-Richtung zeigen. Damit ist die Flächennormale senkrecht zum elektrischen Dipol und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Die Antenne wird also vom B-Feld maximal durchsetzt.

b) $U_i = -n \cdot \dot{\Phi} = -nA\dot{B} \qquad \dot{B} = \omega B \qquad \hat{B} = \dfrac{\hat{U}_i}{nA\omega}$

$$\hat{E} = c\hat{B} = \frac{c}{nA\omega}\hat{U}_i = \frac{3 \cdot 10^8 m \cdot 10 \cdot 10^{-3} V \cdot s}{s \cdot 10 \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^5} = \underline{\underline{3{,}8 kV/m}}$$

c) $$I = \frac{1}{2}\frac{\hat{E}\hat{B}}{\mu_0} = \frac{1}{2}\frac{c}{\mu_0}\hat{B}^2 = \frac{c}{2\mu_0}\left(\frac{\hat{U}_i}{nA\omega}\right)^2 = \frac{3 \cdot 10^8 m \cdot s^2 \cdot A^2}{s \cdot 2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} kg \cdot m}\left(\frac{0{,}01 V \cdot s}{10 \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^5}\right)^2$$
$$= \underline{\underline{19{,}3 kW/m^2}}$$

$$I(\theta) = I(90°) \cdot \sin\theta$$

$$P = \int\limits_{Kugeloberfläche} I(\theta) = \int_0^{\pi}\left(\int_0^{2\pi} I(\theta) r \cdot \sin\theta d\varphi\right) r d\theta = 2\pi r^2 \int_0^{\pi} I(90°)(\sin\theta)^3 d\theta$$

$$= 2\pi r^2 I(90°)\left[\frac{1}{3}(\cos\theta)^3 - \cos\theta\right]_0^{\pi} = \frac{8}{3}\pi r^2 \cdot I(90°) = \underline{\underline{16 MW}}$$

a) Längenkontraktion: $v = \frac{l}{\Delta t} = \frac{l'}{\Delta t} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, $\Delta t = 2.5 \cdot 10^{-7} s$

$$\Leftrightarrow \qquad v = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\Delta t}{l'}\right)^2 + \frac{1}{c^2}}} = 2.4 \cdot 10^8 m/s = 0.8c$$

b) $E_{kin} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 = 0.67 m_0 c^2 = 9.3 \cdot 10^{16} J$

c) $m_0 = 1.55 kg$