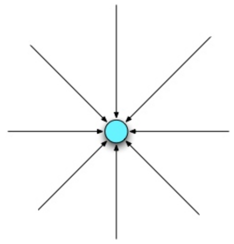
Experimental Physik II
FSU Jena - Klausur WS 2004
- Lösungen -

Stilianos Louca

17. Juli 2007

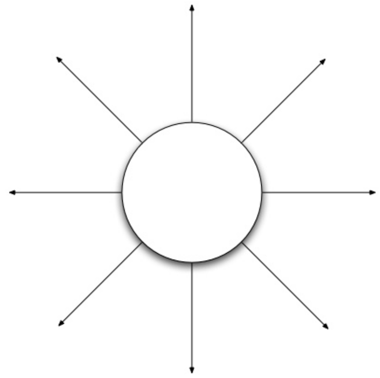
Aufgabe 01

a) Vollkugel : $r_1 = 5$ mm, $q_1 = -1\ \mu C$



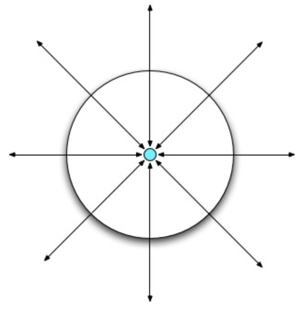
$$\Phi_1 = \frac{q_1}{\varepsilon_0} \approx -1.13 \cdot 10^5\ Nm^2/C,\ E_1 = \frac{Kq_1}{r^2} \approx -9 \cdot 10^3\ N/C$$

b) Hohlkugel : $r_2 = 5$ cm, $q_2 = 2\mu C$



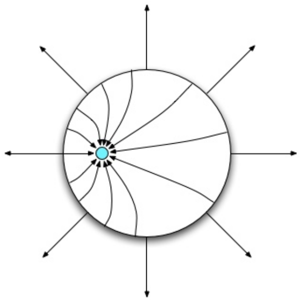
$$\Phi_2 = \frac{q_2}{\varepsilon_0} \approx 2.26 \cdot 10^5\ Nm^2/C,\ E_2 = \frac{Kq_2}{r^2} \approx 1.8 \cdot 10^4\ N/C$$

c) Vollkugel im Zentrum von Hohlkugel



$$\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2 \approx 1.13 \cdot 10^5\ Nm^2/C,\ E_3 = E_1 + E_2 \approx 9 \cdot 10^3\ N/C$$

d) Vollkugel in Hohlkugel (verschoben)



$$\Phi_4 = \Phi_3,\ E_4 = E_3$$

Aufgabe 02

Die kinetische Energie T die das Teilchen durch das Potentialgefälle gewinnt ist $T = Ue$. Also gilt für die entsprechende Geschwindigkeit v

$$\frac{mv^2}{2} = T = Ue \ \rightarrow\ v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Das Magnetfeld bewirkt eine Kraft $F_z = evB$ auf das Teilchen die immer senkrecht zu dessen Geschwindigkeit steht. Das Teilchen läuft also auf einer Kreisbahn mit dem Radius R:

$$F_z = evB = \frac{mv^2}{R} \ \rightarrow\ R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2mU}{e}}$$

Die Austrittspunkte sind um den Betrag x entfernt:

$$x = 2(R_2 - R_1) = \frac{2}{B} \cdot \sqrt{\frac{2U}{e}} \cdot (\sqrt{m_2} - \sqrt{m_1})$$

Aufgabe 03

Allgemein gilt hier

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$

Für eine beliebige Kreiskurve C mit dem Radius r und dem Mittelpunkt im Leiter-Zentrum gilt also aufgrund von Symmetriegründen

$$2\pi r B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{r} = \int_A \operatorname{rot} \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int_A \mu_0 \vec{j} \cdot \vec{A} = \mu_0 I_A \ \rightarrow\ B = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi r}$$

wobei I_A der durch die Kreisfläche fließende Strom ist. Die beiden Stromdichten $\vec{j}_1$ und $\vec{j}_2$ durch die beiden Leiter-Teile ergeben sich als

$$j_1 = \frac{I_0}{\pi R_1^2},\ j_2 = \frac{-I_0}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}$$

- Fall $r < R_1$

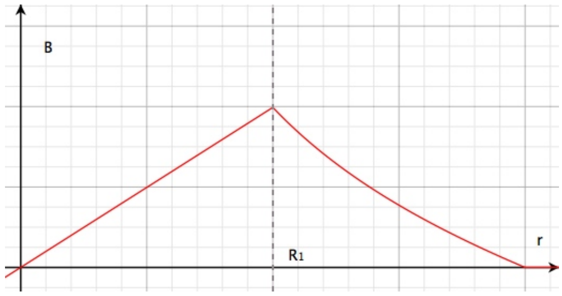
$$B = \frac{\mu_0 I_r}{2\pi r} = \frac{\mu_0 j_1 \pi r^2}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi R_1^2} \cdot r$$

- Fall $r \in [R_1, R_2]$

$$B = \frac{\mu_0 I_r}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi r} \cdot \left(I_0 + j_2 \pi (r^2 - R_1^2)\right) = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r} \cdot \left(1 - \frac{(r^2 - R_1^2)}{(R_2^2 - R_1^2)}\right) = \frac{\mu I_0}{2\pi(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \frac{(R_2^2 - r^2)}{r}$$

- Fall $r > R_2$

$$B = \frac{\mu_0 I_r}{2\pi r} = \frac{\mu_0 (I_0 - I_0)}{2\pi r} = 0$$



Aufgabe 04

Der elektrische Widerstand R des Systems ergibt sich als

$$R = \frac{4\rho_R l}{\pi d^2}$$

Bei einer bestimmten Fallgeschwindigkeit v wird eine Spannung U an den beiden Enden des Stabes erzeugt:

$$U = Bvl$$

Diese erzeugt einen Strom I der im Urzeigersinn durch die *Schleife*

$$I = \frac{U}{R}$$

weshalb auf den Stab die Kraft $F_L = BIl$ nach oben wirkt:

$$F = BIl = \frac{BUl}{R} = \frac{B^2 vl\pi d^2}{4\rho_R}$$

Damit $\dot{v} = 0$ muss $gm - F_L = 0$ also

$$\frac{B^2 vl\pi d^2}{4\rho_R} = mg = \frac{\pi d^2 l\rho_m g}{4} \quad \rightarrow \quad v = \frac{\rho_R \rho_m g}{B^2}$$

Die Geschwindigkeit nach einer *freien* Fallhöhe h ergibt sich aus

$$v = \sqrt{2gh}$$

weshalb gelten muss

$$h = \left(\frac{\rho_R \rho_m}{B^2}\right)^2 \cdot \frac{g}{2}$$

Die induzierte Spannung U bzw. Strom I ergeben sich ferner aus

$$U = \frac{\rho_R \rho_m g l}{B}, \ I = \frac{\pi d^2 \rho_m g}{4B}$$

Die Leistung P ist dann

$$P = UI = \frac{\pi d^2 \rho_m^2 \rho_R g^2 l}{4B^2}$$

Aufgabe 04

Annahme: Mit U_0 ist die *effektive* Spannung gemeint, die Spannungsamplitude sei also $U_a = \sqrt{2}U_0$.
Sei R der Widerstand der Lampe ($U_L = 110V, \ P_L = 75W$) und $U = U_a \cos\omega t \cong U_a e^{i\omega t}$, $\omega = 2\pi f_0 = 100\pi Hz$ die Netzspannung

$$R = \frac{U_L^2}{P_L}$$

a) Es muss gelten:

$$\Re\left\{U\cdot\frac{R}{Z_C+R}\right\}=\Re\left\{U\cdot\frac{R}{\frac{-i}{\omega C}+R}\right\}=\Re\left\{U\cdot\frac{R\omega C}{R\omega C-i}\right\}=\Re\left\{U\cdot\frac{R\omega Ce^{-i\varphi}}{\sqrt{(R\omega C)^2+1}}\right\}=\frac{U_0R\omega C}{\sqrt{(R\omega C)^2+1}}\stackrel{!}{=}U_L$$

also

$$C=\frac{1}{R\omega}\cdot\frac{U_L}{\sqrt{U_0^2-U_L^2}}=\frac{P_L}{U_L\omega\sqrt{U_0^2-U_L^2}}\approx 1.13\cdot 10^{-5}F$$

b) Der Strom I durch die Lampe ist gegeben durch

$$I=\frac{U}{Z_L+R}=\frac{U}{i\omega L+R}=\frac{U_ae^{i(\omega t+\varphi)}}{\sqrt{(\omega L)^2+R^2}},\ \varphi=\arctan\frac{\omega L}{R}$$

Es muss gelten

$$\frac{U_0R}{\sqrt{(\omega L)^2+R^2}}\stackrel{!}{=}U_L\ \rightarrow\ L=\frac{R}{\omega U_L}\cdot\sqrt{U_0^2+U_L^2}=\frac{U_L}{P_L\omega}\cdot\sqrt{U_0^2-U_L^2}\approx 0.89\ \Omega s$$

wobei φ der Leistungsfaktor ist.

c) Da L jetzt bekannt ist kommen wir auf

$$\varphi=\arctan\frac{\sqrt{U_0^2-U_L^2}}{U_L}=\frac{\pi}{3}$$

d) Die Stromstärken-Amplitude I_0 ergibt sich als

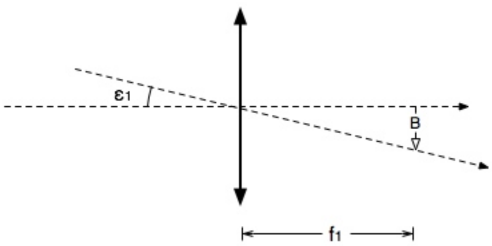
$$I_0=\frac{U_a}{\sqrt{(\omega L)^2+R^2}}=\frac{P_L\sqrt{2}}{U_L}\approx 0.96\ A$$

Die Blindleistung P_b ergibt sich als

$$P_b=\frac{I_0U_a}{2}\cdot\sin\varphi=\frac{P_LU_0}{U_L}\cdot\sin\varphi\approx 129.9\ W$$

Aufgabe 05

a) Das Bild des Sterns entsteht *ungefär* im Brennpunkt der Linse ($f_1=0.6m$) da das Licht näherungsweise parallel ankommt.



Demzufolge ist die Größe des Bildes

$$B_1=\tan\varepsilon_1\cdot f_1\approx 5.4\cdot 10^{-3}\ m$$

b) Da das Zwischenbild genau auf den beiden Brennebenen der Linsen entsteht gilt für die Vergrößerung V

$$V=\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\approx\frac{\tan\varepsilon_2}{\tan\varepsilon_1}=\frac{B_1}{f_2\cdot\tan\varepsilon_1}=\frac{f_1}{f_2}=20$$

Der Mond erscheint unter dem Winkel $\varepsilon_2=V\cdot\varepsilon_1\approx 10°$.

c) Der minimale noch auflösbare Winkel eines Fernrohrs des Durchmessers D ist gegeben durch

$$\varphi_{min}=1.22\cdot\frac{\lambda}{D}$$

weshalb gelten muss

$$D=\frac{1.22\cdot\lambda}{\varphi_{min}}=0.61\ m$$

Aufgabe 07

Seien $n_g := 1.6$, $n_b := 1.38$ die Brechzahl des Glases und der Schicht.

d) Sei d die benötigte Dicke. Für kleine Winkel ergibt sich der optische Wegunterschied δ zwischen der an der Grenzschicht und der unterliegenden Glasfläche reflektierten (1er Ordnung) Teilstrahlen als:

$$\delta = 2dn_b + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2}$$

Bemerkung: Es findet ein *Phasensprung* an beiden Grenzflächen statt. Um destruktive Interferenz zu erreichen muss gelten

$$\delta = 2dn_n + \lambda \overset{!}{=} \frac{2k+1}{2} \cdot \lambda, \ k \in \mathbb{Z}$$

Die minimalste Dicke erreicht man also bei

$$d = \frac{\lambda}{4n_b} \approx 10^{-7} m$$

e) Für eine bestimmte Dicke d gibt es destruktive Interferenz für die Wellenlängen λ für die gilt

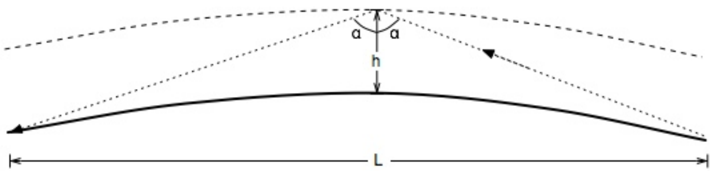
$$\lambda = \frac{4dn_b}{2n+1}, \ n \in \mathbb{Z}$$

Sichtbares Licht liegt im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm. Es gibt keine andere Wellenlänge in dem Bereich die destruktiv interferieren würde.

Aufgabe 08

a) Der Grenzwinkel der Totalreflexion α_0 ist gegeben durch

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_w}{n_k} \approx 0.99976 \ \rightarrow \ \alpha_0 \approx 1.549 \ rad$$



b) Aus der Abbildung liest man ab:

$$L \geq 2h \tan \alpha = \frac{2h \sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \geq \frac{2h \sin \alpha_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}} = \frac{2hn_w}{\sqrt{n_k^2 - n_w^2}} \approx 91.292 \ km$$