Experimental Physik II
FSU Jena - SS 2007
Serie 11 - Lösungen

Stilianos Louca

29. Juni 2007

Aufgabe 31

Sei $\overline{I} = 1.4 \cdot 10^3\ Wm^{-2}$ die *effektive* Intensität der Sonnenstrahlung, und die entsprechenden E-Wellen

$$\vec{E} := \sum_i \vec{E}_i = \sum_i \vec{E}_{i_0} \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i)$$

Dabei sei außerdem $\vec{B}$ die entsprechende magnetische Feldstärke und $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ die magnetische Flussdichte:

$$\vec{B} := \sum_i \vec{B}_i$$

Für jede einzelne *Teil-Strahlung* (E-Feld $\vec{E}_i$) ergibt sich die *effektive* Intensität $\overline{I_i}$ als

$$\overline{I_i} = \overline{\varepsilon_0 c E_i^2} = \frac{c\varepsilon_0 E_{i_0}^2}{2}$$

Die gesamte *effektive* Intensität $\overline{I}$ ergibt sich also als

$$\overline{I} = \varepsilon_0 c \cdot \overline{\vec{E}^2} = \varepsilon_0 c \cdot \overline{\left(\sum_i \vec{E}_i\right)^2} = \varepsilon_0 c \cdot \overline{\left(\sum_i E_i^2 + \sum_{i,j} \vec{E}_i \cdot \vec{E}_j\right)} = \varepsilon_0 c \cdot \overline{\sum_i E_i^2} + \varepsilon_0 c \cdot \overline{\sum_{i,j} \vec{E}_{i_0} \cdot \vec{E}_{j_0} \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \cdot \cos(\omega_j t + \varphi_j)}$$

$$= \sum_i \underbrace{\overline{\varepsilon_0 c E_i^2}}_{\overline{I_i}} + \frac{\varepsilon_0 c}{2} \cdot \sum_{i,j} \vec{E}_{i_0} \cdot \vec{E}_{j_0} \cdot \underbrace{\overline{[\cos(\omega_i t + \omega_j t + \varphi_i + \varphi_j) + \cos(\omega_i t - \omega_j t + \varphi_i - \varphi_j)]}}_{0} = \frac{\varepsilon_0 c}{2} \cdot \sum_i E_{i_0}^2 = \sum_i \overline{I_i}$$

da die Phasendifferenzen $\varphi_i - \varphi_j$ bzw. Phasensummen $\varphi_i + \varphi_j$ beim Sonnenlicht statistisch schwanken (nicht kohärente Strahlung).
Die effektive E-Feldstärke $E_e := \sqrt{\overline{\vec{E}^2}}$ ergibt sich als

$$E_e = \sqrt{\frac{\overline{I}}{\varepsilon_0 c}} \approx 726\ NC^{-1}$$

Die maximale Feldstärke E_0 entspricht dem Fall wo $\vec{E}_i \parallel \vec{E}_j,\ \vec{E}_i = \vec{E}_{i_0}\ \forall\, i,j$ also auch die maximale Intensität I_0 auftritt:

$$I_0 = \sum_i I_{i_0} = \sum_i \varepsilon_0 c E_{i_0}^2 = 2 \cdot \sum_i \overline{I}_i = 2\overline{I} \ \Rightarrow\ E_0 = \sqrt{\frac{I_0}{c\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{2\overline{I}}{c\varepsilon_0}} \approx 1027\ NC^{-1}$$

In diesem Fall gilt auch für die maximale magnetische Flussdichte B_0

$$B_0 = \sum_i B_{i_0} = \frac{1}{c} \cdot \sum_i E_{i_0} = \frac{E_0}{c} \approx 3.42 \cdot 10^{-6}\ T$$

Die *effektive* Magnetische Flussdichte $B_e := \sqrt{\overline{\vec{B}^2}}$ ergibt sich analog zum E-Feld

$$B_e = \frac{B_0}{\sqrt{2}} \approx 2.42 \cdot 10^{-6}\ T$$

Somit gilt automatisch für den Maximalwert H_0 und Effektivwert H_e der magnetischen Feldstärke

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0},\ H_e = \frac{B_e}{\mu_0}$$

Analogen Werte für die *dielektrische Verschiebungsdichte* $\vec{D}$ sind gegeben durch

$$D_0 = \varepsilon_0 \cdot E_0,\ D_e = \varepsilon_0 \cdot E_e$$

Da $\vec{E}_i$ bzw. $\vec{B}_i$ beliebig sein konnten, spielt es keine Rolle dass das Licht unpolarisiert oder "weis" ist solange die gleiche effektive Intensität $\overline{I}$ auftrifft.

Aufgabe 32

Annahme: Es handle sich um einen geraden Leiter mit konstantem Querschnitt A. Falls dies nicht der Fall ist ändert sich nichts an den Überlegungen bzw. dem Ergebniss da man jeden Leiter in *Stücke* aufteilen kann, durch welche wieder der Gleiche Strom I fließt.
Der Wechselstrom I sei gegeben durch

$$I = I_0 \cos(\omega t)$$

Die Leitungsstromdichte j_l ist dementsprechend gegeben durch

$$j_l = \frac{I}{A} = \frac{I_0 \cos \omega t}{A}$$

und die Verschiebungsstromdichte j_v durch

$$j_v = \varepsilon\varepsilon_0 \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_0 \cdot \frac{\partial}{\partial t} \frac{I\rho_0}{A} = -\frac{\omega\varepsilon\varepsilon_0 I_0 \rho_0}{A} \cdot \sin \omega t$$

Daraus folgt das gesuchte *Zeitabhängige* Verhältniss

$$\frac{j_v}{j_l} = -\omega\varepsilon\varepsilon_0\rho_0 \cdot \tan \omega t$$

Das Verhältniss der beiden *Amplituden* $j_{l_0},\ j_{v_0}$ ist ferner

$$\frac{j_{v_0}}{j_{l_0}} = \omega\varepsilon\varepsilon_0\rho_0$$

Verschiebungsstromdichte überwiegt für Kreisfrequenzen

$$\omega > \frac{1}{\rho_0\varepsilon\varepsilon_0}$$

Aufgabe 33

Sei U_1 die Eingangs- und U_2 die Ausgangs-Effektivspannung am Transformator, mit den Windungen $N_1,\ N_2$:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Die an den Verbraucher anzulegende effektive Spannung U_2 ist gegeben durch

$$U_2 = \sqrt{RP}$$

weshalb für das Windungverhältnis

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\sqrt{RP}}{U_1}$$

gelten muss. Aufgrund des Stromflusses in der zweiten Spule wird ein Gegenstrom induziert der wiederum eine Induktionsspannung in der primären Spule erzeugt, weshalb die Quelle einen *Widerstand* $\mathcal{R}$ in der Spule zu sehen denkt, der genau die effektive Leistung P zu verbrauchen scheint. Demzufolge gilt

$$\mathcal{R} = \frac{U_1^2}{P}$$