Diplomvorprüfung zur Experimentalphysik 2

11. September 2008

Aufgabe 1 (5 Punkte)

(a) Berechnen Sie mit Hilfe des Gaußschen Gesetzes die Kapazität eines quadratischen Plattenkondensators mit Platten der Kantenlänge L und Abstand d. Randeffekte sind zu vernachlässigen.

(b) Nun wird der geladene Kondensator über einen Widerstand R entladen. Zeigen Sie, dass die gesamte elektrische Feldenergie im Widerstand dissipiert wird.

Aufgabe 2 (6 Punkte)

(a) Zeigen Sie, dass für zeitabhängige Felder die Verallgemeinerung des Ampereschen Durchflutungsgesetzes gegeben ist durch:

$$\int \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} + \int \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

(b) Zeigen Sie, dass der Maxwellsche Verschiebungsstrom eine Konsequenz der Ladungserhaltung darstellt.

Aufgabe 3 (6 Punkte) Betrachten Sie eine Reihenschaltung eines elektrischen Widerstands R, einer Spule mit Induktivität L, eines Kondensators der Kapazität C und einer Spannungsquelle der zeitabhängigen Spannung $U = U_0 e^{i\omega t}$

(a) Zeigen Sie, dass die dynamische Gleichung für die Ladung Q auf dem Kondensator gegeben ist durch

$$L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{Q}{C} = U_0 e^{i\omega t}$$

(b) Zeigen Sie, dass die Resonanzfrequenz gegeben ist durch

$$\omega_{\text{res}} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$$

(c) Bestimmen Sie die Frequenz ω_{max} für die die im Widerstand dissipierte Leistung maximal ist.

(d) Geben Sie eine einfache Erklärung für den Unterschied zwischen ω_{res} und ω_{max}.

Aufgabe 4 (6 Punkte)

(a) Diskutieren Sie die physikalische Bedeutung des Poynting-Vektors:

$$\vec{E} \times \vec{H}$$

(b) Beweisen Sie den Poyntingschen Satz:

$$\int_A \vec{E} \times \vec{H} \cdot d\vec{A} = -\int_V \vec{E} \cdot \vec{J} dV - \frac{d}{dt} \int_V w dV$$

Hinweis: Gehen Sie aus von $\nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) = \vec{H} \cdot (\nabla \times \vec{E}) - \vec{E} \cdot (\nabla \times \vec{H})$. Nehmen Sie an, dass es sich um ein lineares Medium handelt, also $\vec{B} = \mu \vec{H}$ und $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ gelten.

Aufgabe 5 (5 Punkte) Eine Kompassnadel bestehe aus einem homogenen Stab der Länge L und der Masse M. Die Nadel besitze das magnetische Dipolmoment $\vec{m}$. Die Nadel sei in der Mitte reibungsfrei aufgehängt, sodass sie sich in der horizontalen Ebene frei bewegen kann. Bestimmen Sie die Dauer kleiner Schwingungen, wenn sich die Kompassnadel in einem horizontalen Magnetfeld der Stärke B befindet.
Hinweis: Die Dicke der Nadel sei vernachlässigbar.

Aufgabe 6 (5 Punkte) Ein Ofen mit konstanter Temperatur $T_1 = 900°\text{C}$ stellt die Wärmequelle einer idealen Carnot-Maschine dar. Der Ofen und die Carnot-Maschine sind durch eine Eisenwand der Dicke $d = 0.01\,\text{m}$ und einer Fläche $A = 1\,\text{m}^2$ verbunden, die die thermische Leitfähigkeit $\lambda = 30\,\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ besitzt. Die kalte Seite der Carnot-Maschine ist auf einer Temperatur von $T_2 = 10°\text{C}$.

(a) Berechnen Sie die Temperatur auf der warmen Seite der Carnot-Maschine. Hinweis: Nehmen Sie an, dass die Maschine die maximal mögliche mechanische Leistung abgibt.

(b) Wie groß ist die mechanische Leistung der Maschine?

Aufgabe 7 (7 Punkte) In einem Dieselmotor sei die Arbeitssubstanz näherungsweise ein ideales einatomiges Gas. Das Volumen sei anfangs V_1. Es wird zuerst adiabatisch auf das Volumen V_2 komprimiert. Es dehnt sich dann isobar auf das Volumen V_3 aus, wobei es Wärme aufnimmt. Schließlich expandiert das Gas adiabatisch bis es wieder das Volumen V_1 einnimmt. Zum Schluss gibt es isochor Wärme ab, bis es sich wieder im Ausgangszustand befindet.

(a) Zeichnen Sie das zugehörige Druck-Volumen Zustandsdiagramm.

(b) Zeigen Sie, dass der Wirkungsgrad η gegeben ist durch:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma}\left[\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^\gamma - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma\right] \Big/ \left(\frac{V_3}{V_1} - \frac{V_2}{V_1}\right)$$

mit $\gamma = 5/3$.
Hinweis: Zeigen Sie zunächst, dass $\eta = 1 - |Q_{41}|/|Q_{23}|$ ist.