Klausur zur Experimentalphysik 2

Prof. Dr. M. Rief

Sommersemester 2010

29.7.2010

Aufgabe 1: (5 Punkte)

An jeder Ecke eines Quadrats der Seitenlänge $s = 12\,\text{cm}$ befindet sich ein Teilchen mit der Ladung $q = 1\,\text{nC}$. In den Mittelpunkt des Quadrates wird nun die Punktladung Q gebracht.

(a) Welchen Wert muss Q haben, damit die Gesamtkraft auf alle Teilchen gleich Null ist?

(b) Welche Energie wird frei, wenn Q aus dem Unendlichen an seinen Ort im Zentrum des Quadrates gebracht wird? (Die elektrische Feldkonstante hat den Wert $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm.)

Aufgabe 2: (7 Punkte)

(a) Betrachten Sie eine Kugelschale aus geschmolzenem Teflon mit innerem Radius R_1 und äußerem Radius R_2. Es wird ein äußeres E-Feld angelegt, so dass sich im Teflon eine Polarisationsdichte der Form $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{r}) = P(r)\boldsymbol{e}_r$ mit $P(R_1) = P_1$ einstellt. Sodann wird die Kugelschale auf Raumtemperatur abgekühlt, so dass sich das Teflon wieder verfestigt. Anschließend wird das äußere Feld abgeschaltet, wobei die Polarisation bestehen bleibt. Geben Sie das elektrische Feld $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r})$ im Teflon an.
Hinweise: Im betrachteten Fall wirkt eine Unstetigkeit von P wie eine Flächenladungsdichte σ mit $|\sigma| = |\Delta P|$. Außer diesen Flächenladungen seien keine Polarisationsladungen anwesend.

(b) Betrachten Sie eine Kugelschale aus einem Material der Dielektrizitätszahl ε mit innerem Radius R_1 und äußerem Radius R_2. Im Mittelpunkt der Kugelschale befinde sich die Punktladung q. Berechnen Sie die Polarisationsladung Q_1 auf der Innenfläche der Kugelschale. (Es gelten dieselben Hinweise wie in Teil a.)

Aufgabe 3: (5 Punkte)

(a) In der xy-Ebene befinde sich eine kreisförmigen Stromschleife vom Radius R, deren Mittelpunkt im Ursprung liege. Zeigen Sie mit Hilfe des Biot-Savart-Gesetzes

$$\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\boldsymbol{r}' \times (\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}'|^3}$$

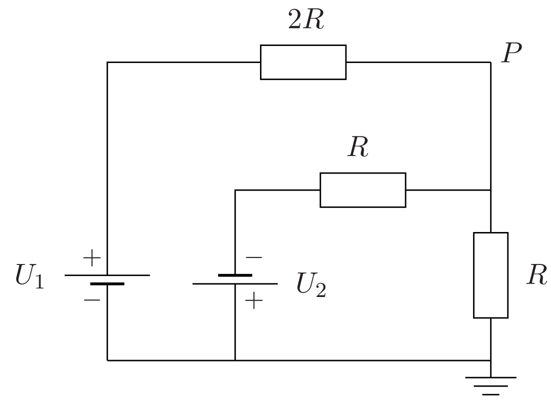
dass das durch die Stromschleife erzeugte B-Feld auf der z-Achse gegeben ist durch

$$\boldsymbol{B}(z) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}\,\boldsymbol{e}_z$$

(b) Der Radius des metallischen Kerns der Erde beträgt etwa die Hälfte des Erdradius von $6370\,\text{km}$. Man stelle sich nun vor, dass das Magnetfeld, das wir an der Erdoberfläche beobachten und das am Nordpol ungefähr eine Stärke von $5 \cdot 10^{-5}\,\text{T}$ hat, durch einen Strom verursacht werde, der rund um den Äquator des Kerns fließt. Wie groß wäre dieser Strom? (Die magnetische Feldkonstante hat den Wert $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am. Nehmen Sie an, dass die Permeabilitätszahl der Erde $\mu = 1$ ist.)

Aufgabe 4: (6 Punkte)

Betrachten Sie das abgebildete Widerstandsnetzwerk und bestimmen Sie vorzeichenrichtig das Potential am Punkt P für $U_1 = 6\,\text{V}$, $U_2 = 4\,\text{V}$ und $R = 100\,\Omega$.



Aufgabe 5: (6 Punkte)

Der Sendedipol einer Mondlandefähre erzeugt elektromagnetische Wellen, deren maximale elektrische Feldstärke im Abstand $r_1 = 500\,\text{m}$ senkrecht zur Dipolachse $E_1 = 0.4\,\text{V/m}$ beträgt.

(a) Für die elektrische und magnetische Energiedichte gilt in diesem Fall

$$u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2\mu_0}B^2 = u_B$$

Benutzen Sie dies und $\varepsilon_0\mu_0 c^2 = 1$, um die maximale magnetische Feldstärke B_1 im Abstand r_1 senkrecht zur Dipolachse zu berechnen.

(b) Wie groß ist die gesamte maximale Energiedichte $u = u_E + u_B$ in einem Abstand r_2 unter einem Winkel ϑ zur Dipolachse, ausgedrückt durch E_1 und r_1, und was ist ihr zeitlicher Mittelwert? Wie groß ist dort die mittlere Strahlungsintensität?
Hinweis: Sie dürfen verwenden, dass der Zeitmittelwert von $\sin^2(\omega t - kr)$ den Wert $1/2$ hat.

(c) Der Empfänger auf der Erde benötigt als Mindestfeldstärke $0.5\,\mu\text{V/m}$. Kann er Signale vom Mond senkrecht zur Dipolachse bzw. unter $45°$ empfangen?

Aufgabe 6: (5 Punkte)

Eine Wärmepumpe wird benutzt, um im Winter ein Zimmer der Temperatur T_Z mit Hilfe von kalter Außenluft der Temperatur T_L zu heizen. Die maximale mechanische Leistung der Wärmepumpe sei P. Der Wärmeverlust des Zimmers (also die Rate, mit der Wärme durch die Isolierung nach außen sickert) sei proportional zur Temperaturdifferenz zwischen innen und außen mit dem Proportionalitätskoeffizienten L. Berechnen Sie für $P = 100\,\text{W}$ und $L = 7\,\text{W/K}$ die minimale Temperatur, die die Außenluft im Idealfall haben darf, damit die Zimmertemperatur $T_Z = 293\,\text{K}$ aufrechterhalten werden kann.
Hinweis: Überlegen Sie sich, wie der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe sinnvollerweise zu definieren ist. Im Idealfall ist sein Wert $T_Z/(T_Z - T_L)$.

Aufgabe 7: (8 Punkte)

Der Joule-Prozess ist ein Kreisprozess mit einem idealen Gas, der zur Beschreibung einer Heißluft-Wärmekraftmaschine verwendet wird. Das Volumen sei anfangs V_1 und wird isobar beim Druck $p_>$ auf das Volumen V_2 expandiert. Es dehnt sich dann adiabatisch auf das Volumen V_3 aus. Anschließend findet eine isobare Kompression beim Druck $p_<$ auf das Volumen V_4 statt. Schließlich gibt es eine adiabatische Kompression bis sich das System wieder im Anfangszustand befindet.

(a) Zeichnen Sie das zugehörige pV-Diagramm.

(b) Zeigen Sie, dass der Wirkungsgrad des Joule-Prozesses gegeben ist durch

$$\eta \;=\; 1 - \frac{p_<^{1-1/\kappa}}{p_>^{1-1/\kappa}}$$

wobei $pV^\kappa = \text{const.}$ die Adiabatengleichung des idealen Gases ist.
Hinweis: Zeigen Sie zunächst, dass $\eta = 1 - |Q_{34}|/|Q_{12}|$ ist.