Klausur zur Experimentalphysik 2

Prof. Dr. F. Simmel

Sommersemester 2009

30.7.2009

Aufgabe 1: (5 Punkte)

Ein auf die Temperatur T erhitzter Hohlraum mit dem Volumen V enthält elektromagnetische Strahlung, die sich in thermodynamischer Hinsicht wie ein Gas mit der Zustandsgleichung

$$p = \frac{1}{3} b T^4$$

und der inneren Energie

$$U = b T^4 V$$

verhält („Photonengas"). b ist eine Konstante. Bestimmen Sie die isochore Wärmekapazität C_V und die TV-Form der Adiabatengleichung des Photonengases. (Hinweis: Verwenden Sie an geeigneter Stelle $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$. Außerdem: $n\frac{dx}{x} + m\frac{dy}{y} = 0 \Rightarrow x^n y^m = \text{const.}$)

Aufgabe 2: (5 Punkte)

In einem Zylinder mit beweglichem Kolben sind ν Mol eines 1atomigen idealen Gases eingeschlossen. Das Volumen des Gases sei V_1, und seine Temperatur T_1 sei gleich der Umgebungstemperatur T_u. Nun wird der Kolben in den Zylinder bewegt und das Gas adiabatisch-reversibel auf das Volumen V_2 komprimiert.

(a) Wie groß ist die Temperatur T_2 des Gases unmittelbar nach der Kompression?

(b) Danach lässt man das System stehen ohne das Volumen weiter zu verändern, bis sich Temperaturausgleich mit der Umgebung eingestellt hat. Wieviel Entropie wurde im aus Gas und Umgebung bestehenden System während des Gesamtprozesses aus Kompression und Abkühlung erzeugt? (Diese Frage soll beantwortet werden, *ohne* die fertige Formel für die Entropie des idealen Gases zu verwenden.)

Aufgabe 3: (6 Punkte)

Eine thermoelektrische Kühlbox wird in einer Umgebung der Temperatur T_u mit der elektrischen Leistung P betrieben. Die Wärmelast der Box (also die Rate, mit der Wärme durch die Isolierung in die Box sickert) ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen innen und außen mit der Proportionalitätskonstanten L.

(a) Leiten Sie einen Ausdruck für die Temperatur T_b her, die durch die Kühlbox im Idealfall aufrechterhalten werden kann. (Hinweis: Überlegen Sie sich, wie der Wirkungsgrad einer Kältemaschine sinnvollerweise zu definieren ist. Sein maximal möglicher Wert ist $T_b/(T_u - T_b)$.)

(b) Welchen Wert hat T_b für $P = 100\,\text{W}$ und $L = 5\,\text{J/K}$ bei $T_u = 25\,°\text{C}$?

(c) Welchen Wert hätte T_b für $L = \infty$ bzw. $L = 0$?

Aufgabe 4: (9 Punkte)

(a) Zeigen Sie, dass die Größe der elektrischen Feldstärke im Inneren einer homogen geladenen Kugel durch

$$E(r) \; = \; \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\, r$$

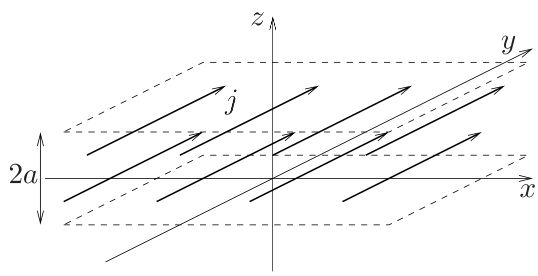
gegeben ist.

(b) Ein sehr primitives Modell des Wasserstoffmoleküls besteht aus einer Kugel vom Radius R, die mit negativer Ladung (2 Elektronenladungen) gleichförmiger Dichte gefüllt ist und in die zwei Protonen eingebettet sind. Wo müssen die Protonen platziert werden, damit die Kraft auf jedes von ihnen null ist? (Die gleichmäßige negative Ladungsverteilung soll sich durch das Einbetten der Protonen nicht verändern.)

(c) Welche Arbeit braucht man, um das erste Proton aus dem Unendlichen an seinen Platz zu bringen? Welche Arbeit braucht man für das zweite Proton?

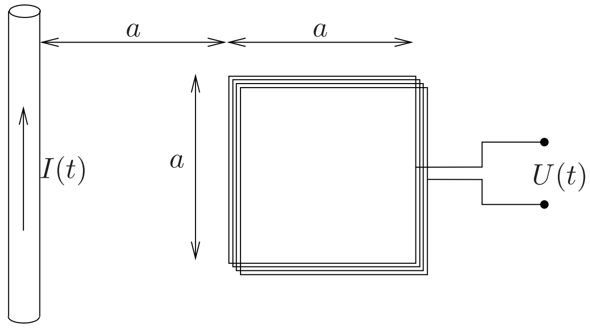
Aufgabe 5: (6 Punkte)

Im Bereich $-a \leq z \leq a$ herrscht eine konstante Stromdichte $\boldsymbol{j} = j\boldsymbol{e}_y$, siehe Skizze. Bestimmen Sie an allen Raumpunkten das Magnetfeld $\boldsymbol{B}$, das von dieser Stromschicht erzeugt wird. (Hinweis: Machen Sie für das Magnetfeld den Ansatz $\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = B_x(z)\boldsymbol{e}_x$ mit $B_x(-z) = -B_x(z)$.)



Aufgabe 6: (6 Punkte)

Betrachten Sie die abgebildete Messanordnung, bestehend aus einem geraden Leiterdraht und einer flachen quadratischen Spule, die sich in der Ebene des Drahtes befindet. Im Draht fließt der Wechselstrom $I(t) = I_0 \cos \omega t$. Berechnen Sie $U(t)$ für $a = 5\,\mathrm{cm}$, $N = 1000$ Windungen, $I_0 = 10\,\mathrm{A}$ und $f = 60\,\mathrm{Hz}$. Nehmen Sie an, dass der Draht unendlich lang ist und verschwindenden Querschnitt hat. Sie brauchen sich über die Vorzeichen keine Gedanken zu machen. Die magnetische Feldkonstante ist $\mu_0 = 12.57 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{Vs/Am}$.



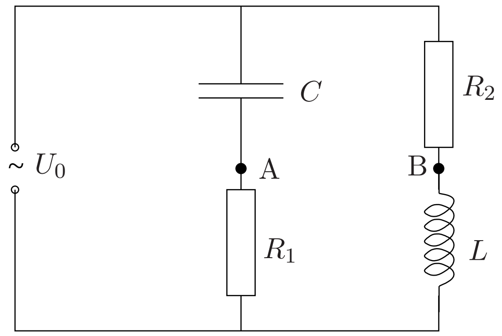
Aufgabe 7: (5 Punkte)

Betrachten Sie den in der Abbildung dargestellten Stromkreis. Die Spannungsquelle liefert die Wechselspannung $U(t) = U_0 e^{i\omega t}$. Der Strom, den die Quelle in den Kreis schickt, ist dann $I(t) = I_0 e^{i\omega t}$. (U_0 und I_0 sind komplex.)

(a) Welchen Wert hat I_0 als Funktion der Frequenz ω, der Spannungsamplitude U_0 und der Parameter R_1, R_2, C, L?

(b) Zeigen Sie, dass zwischen den Punkten A und B keine Spannung herrscht, wenn die Beziehung $R_1 R_2 = L/C$ erfüllt ist.

(Hinweis: Rechnen Sie mit komplexen Widerständen.)



Aufgabe 8: (6 Punkte)

In Kugelkoordinaten stellt die sphärische Welle

$$\boldsymbol{E}(t,\boldsymbol{r}) \;=\; \frac{\alpha}{r}\,\sin\vartheta\,\cos(\omega t - kr)\,\boldsymbol{e}_\vartheta \qquad , \qquad \boldsymbol{B}(t,\boldsymbol{r}) \;=\; \frac{\beta}{r}\,\sin\vartheta\,\cos(\omega t - kr)\,\boldsymbol{e}_\varphi$$

mit $\alpha = \beta c$ das Fernfeld eines Hertzschen Dipols dar. Berechnen Sie die mittlere Leistung, die von diesem Dipol durch die Halbsphäre $0 \le \vartheta \le \pi/2$, $r = 1\,\text{km}$ gestrahlt wird, wenn α den Wert $100\,\text{V}$ hat. Die elektrische Feldkonstante ist $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\,\text{C}^2/\text{Jm}$.
(Hinweis: $\int_0^{\pi/2} d\vartheta\, \sin^3\vartheta = 2/3$. Wenn Sie das zeitliche Mittel von $\cos^2(\omega t + \phi)$ kennen, brauchen Sie es nicht auszurechnen.)