Universität des Saarlandes
Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät II
Physik und Mechatronik

Fachrichtung 7.1–Theoretische Physik
Dr. Harald O. Jeschke
Gebäude E 2 6, Zi. 4.21
Tel. (0681) 302 57409

Saarbrücken, 06.06.2008

Übungen zur Theoretischen Physik II, SS 2008

8.Übung

(Abgabe Freitag, 13.06.2008 in der Vorlesung)

Aufgabe 28 (10 Punkte)
(Fragen)

a) Erläutern Sie die *Lenzsche Regel*.

b) Was versteht man unter *Eichinvarianz*?

c) Erläutern Sie kurz die spezifischen Vorteile der Coulomb- und Lorentz-Eichung.

d) Welche physikalische Bedeutung hat der *Poynting-Vektor*?

e) Was versteht man unter dem *Maxwellschen Spannungstensor*?

f) Wie lauten die aus den Maxwell-Gleichungen resultierenden allgemeinen Gleichungen für die elektrodynamischen Potentiale $\vec{A}, \phi$?

g) Was versteht man unter *Phasen-* und *Gruppengeschwindigkeit* einer Welle?

h) Zeigen Sie, dass die Kontinuitätsgleichung in den Maxwellgleichungen schon implizit enthalten ist. (2P)

i) Können *statische* elektromagnetische Felder Impuls und Drehimpuls tragen? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 29 (10 Punkte)
(Eichung und Symmetrie)

a) Bestimmen Sie für die folgenden Potentiale, ob Coulomb- und Lorentz-Eichung erfüllt sind:

$$\phi(\vec{r}, t) = 0, \qquad \vec{A}(\vec{r}, t) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qt}{r^2}\,\vec{e}_r$$

b) Benutzen Sie $\chi = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qt}{r}$, um eine Eichtransformation der Potentiale in a) durchzuführen. Kommentieren Sie das Ergebnis.

c) Untersuchen Sie das Verhalten der Maxwell-Gleichungen unter Zeitumkehr: Wie müssen sich die Felder $\vec{E}$ und $\vec{B}$ und die Potentiale $\phi, \vec{A}$ unter Zeitumkehr ($t \to -t'$) transformieren, damit der Ausdruck für die Lorentz-Kraft und die Maxwell-Gleichungen invariant bleiben?

d) Geben Sie für die folgenden Größen mit einer kurzen Begründung an, wie sie sich unter Zeitumkehr transformieren: Impuls, Drehimpuls, Stromdichte, Poynting-Vektor.

Aufgabe 30 (10 Punkte)
(Energie und Impuls des elektromagnetischen Feldes)

a) Zeigen Sie durch Nachvollziehen der entsprechenden Herleitung aus der Vorlesung und Umschreiben einiger Terme, dass sich die Energieerhaltung bei Anwesenheit elektromagnetischer Felder in der Form

$$\frac{\partial}{\partial t}(\omega_{\mathrm{mech}} + \omega_{\mathrm{F}}) + \nabla \cdot \vec{S} = 0$$

schreiben lässt. Dabei bezeichnen $\omega_{\mathrm{mech}}, \omega_{\mathrm{F}}$ die mechanische und elektromagnetische Energiedichte und $\vec{S}$ den Poynting -Vektor. Erklären Sie die Bezeichnung *Energiestromdichte* für den Poynting-Vektor.

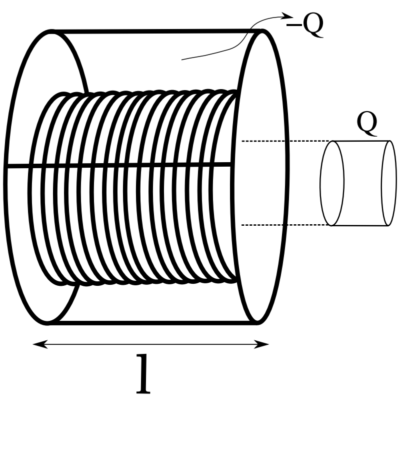
b) Zeigen Sie, dass sich die elektromagnetische Gesamtkraft, die auf eine Ladungsverteilung in einem durch die Oberfläche A begrenzten Volumen V wirkt, in der Form

$$\vec{F} = -\oint_A T \cdot d\vec{f} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \int_V \vec{S}\, dV$$

schreiben lässt. Dabei sei $T = T_{ij}$ der Maxwellsche Spannungstensor und $\vec{S}$ der Poynting-Vektor. Erklären Sie die Namensgebung *Spannungstensor* für T.

Aufgabe 31 (15 Punkte)
(Drehimpuls des elektromagnetischen Feldes)

Gegeben sei eine lange zylindrische Spule (Länge: l) vom Radius R mit großer Windungsdichte $\frac{n}{l}$, durch die der Strom I fließt. Koaxial zur Spule seien zwei Zylinderflächen der Länge l mit Radius $R_a > R$ ($l \gg R_a$) außerhalb der Spule und $R_i < R$ innerhalb der Spule angebracht. Die Zylinderflächen seien homogen mit der Ladung $\mp Q$ belegt.



a) Berechnen Sie den im elektromagnetischen Feld dieser Anordnung gespeicherten Drehimpuls.

b) Nun wird der Strom in der Spule abgeschaltet. Dadurch fällt das magnetische Feld ab und induziert ein elektrisches Feld. Berechnen Sie die Drehmomente, die dieses Feld auf die Zylinderflächen ausübt.

c) Berechnen Sie mit dem Ergebnis aus b) den Gesamtdrehimpuls, den innerer und äußerer Zylinder während des Abschaltvorgangs aufnehmen.

d) Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit Aufgabenteil a) und interpretieren Sie das Resultat.

Hinweis: Die Zylinderflächen seien so schwer, dass sie nur langsam rotieren. Dann ist das durch die Rotation bedingte Restmagnetfeld vernachlässigbar.