

---

Klassische Theoretische Physik II  
Blatt 3

---

WS 2011/12

**Abgabe:** Mittwoch, den 02.11.2011 vor 10 Uhr gegenüber dem Prüfungsamt

**Besprechung:** Donnerstag, den 03.11.2011 in den Übungsstunden

**Website:** <http://www.thp.uni-koeln.de/~rk/ktpii2011.html>

## 9. Kugelwellen

(4 Punkte)

Ein Skalarfeld  $\Psi$  genüge der dreidimensionalen Wellengleichung

$$\Delta\Psi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Psi.$$

Finden Sie eine kugelsymmetrische Lösung  $\Psi$  der Wellengleichung anhand des Ansatzes  $\Psi(r, \phi, \theta, t) = f(r) e^{i\omega t}$ . Beachten Sie dabei, dass der Laplace-Operator in Kugelkoordinaten dargestellt werden kann als

$$\Delta = \Delta_r + \Delta_{\phi, \theta},$$

wobei  $\Delta_r = \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} r$  und  $\Delta_{\phi, \theta}$  nur Ableitungen in Richtung der Winkelvariablen enthält.

Hinweis: Substituieren Sie  $f(r) = \frac{g(r)}{r}$ .

## 10. Strahlungsdruck

(4 Punkte)

a) Wie groß ist der Strahlungsdruck einer 100 Watt Glühbirne in 10cm, 1m und 10m Entfernung?

b) Vielleicht wissen Sie schon, dass kleine Teilchen aus unserem Sonnensystem weggestoßen werden, oder, dass der Schweif eines Kometen immer von der Sonne wegzeigt. Der Sonnenwind spielt hier ebenfalls eine nicht zu vernachlässigende Rolle, jedoch sollen Sie sich hier auf den Strahlungsdruck konzentrieren.

Stellen Sie sich hierzu einen Würfel mit homogener Massendichte  $\rho$  und Kantenlänge  $L$  im Weltraum vor. Der Abstand zur Sonne sei  $R$ . Der Einfachheit halber sei der Würfel so ausgerichtet, dass der Verbindungsvektor zwischen den Schwerpunkten des Würfels und der Sonne genau parallel zu den Normalenvektoren zweier gegenüberliegender Seiten sei. Die Strahlung der Sonne trifft also auf eine der Würfelseiten und erzeugt über den Strahlungsdruck eine Kraft vom Betrag  $F_s$ . Daneben erfährt der Würfel auch eine Gravitationskraft  $F_g$ . Bestimmen Sie das Verhältnis der beiden Kräfte in Abhängigkeit der relevanten Parameter. Unterhalb welcher Größe  $L_0$  des Würfels überwiegt  $F_s$ ? (Dichte  $\rho = 1g/cm^3$ ).

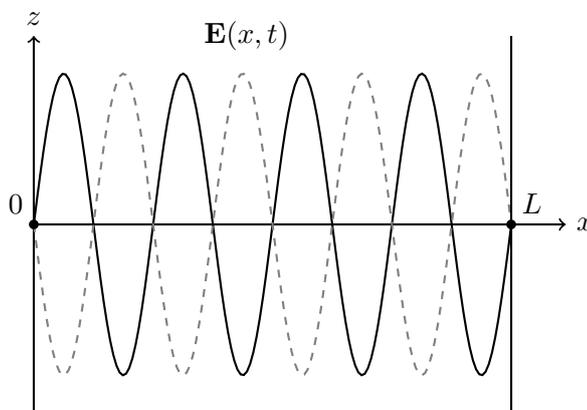
## 11. Stehende elektromagnetische Welle

(4 Punkte)

Bei  $x = 0$  und bei  $x = L$  befinden sich Reflektoren, diese seien elektrische Leiter und geben die Randbedingung  $\mathbf{E}(0) = \mathbf{E}(L) = \mathbf{0}$ . Mit Hilfe eines Lasers werde nun eine stehende Welle erzeugt. Die resultierende stehende Welle kann als Superposition der einlaufenden mit der reflektierten Welle aufgefasst werden,

$$\mathbf{E}(x, t) = \begin{cases} \operatorname{Re}(E_0 e^{i(kx - \omega_k t)} \mathbf{e}_z - E_0 e^{-i(kx + \omega_k t)} \mathbf{e}_z) & x \in [0, L] \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

- Für welche Werte von  $k$  wird die Randbedingung an  $\mathbf{E}$  erfüllt? Wie sieht das magnetische Feld aus?
- Berechnen Sie die Energiedichte, gibt es bemerkenswerte Stellen? Wie verhält sich der Energiestrom? Wie sind die zeitlichen Mittelwerte?
- Welchem mittleren Druck müssen die Reflektoren standhalten?



## 12. Elektromagnetischer Drehimpuls

(4 Punkte)

Gegeben sei eine elektrische Ladung  $q_e$  und im Abstand  $d$  ein hypothetischer magnetischer Monopol mit magnetischer Ladung  $q_m$  (vergl. Skizze).

Das elektrische Feld der elektrischen Ladung ist dann

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_e}{r^2} \mathbf{e}_r,$$

das Magnetfeld des magnetischen Monopols ist

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_m}{r'^2} \mathbf{e}_{r'}.$$

Finden Sie den Gesamtdrehimpuls des elektromagnetischen Feldes. (Ergebnis:  $\mathbf{L} = \frac{\mu_0 q_e q_m}{4\pi} \mathbf{e}_z$ )

