



13. Übungsblatt

Besprechung in der Vorlesung am Do. 12.07.2018, keine Abgabe

Übungsblätter gibt es unter <https://www.tu-bs.de/theophys/edu/sose18/edyn>.

Bitte benennen Sie alle verwendeten Symbole und Größen.

1. Wissensfragen

- (a) Wie lauten die Maxwell'schen Gleichungen im Vakuum?
- (b) Wie lautet das Coulomb-Gesetz für Punktladungen?
- (c) Welche physikalische Bedeutung hat der Poynting-Vektor?
- (d) Wie lautet das Ohm'sche Gesetz?
- (e) Was versteht man unter einer Multipolentwicklung für das elektrische Potenzial? Was ist ein Monopol? Was ist ein Dipol? Was ist ein Quadrupol?

2. Zentraler Stoß, relativistisch

Betrachten Sie den zentralen Stoß eines Elektrons der Energie E_{vor}^e mit einem Proton.

- (a) Welche Energie E_{vor}^e muss das Elektron vor dem Stoß haben, damit das Proton nach dem Stoß die kinetische Energie $T_{\text{nach}}^p = 0.5T_{\text{vor}}^e$ hat? Betrachten Sie den Stoß im Inertialsystem, in dem das Proton vor dem Stoß ruht.
- (b) Nutzen Sie aus, dass die Ruhemasse m_e des Elektrons viel kleiner als die des Protons m_p ist, d. h. $m_e \ll m_p$. Was ergibt sich dann für die Lösung aus (a)?

3. Multipolentwicklung

In der x, y -Ebene befinde sich eine quadratische Fläche mit Kantenlänge a und Mittelpunkt im Ursprung. Die Kanten seien jeweils parallel zu den Koordinatenachsen.

Die Fläche habe die Flächenladungsdichte $\sigma(\vec{r}) = x^3y$.

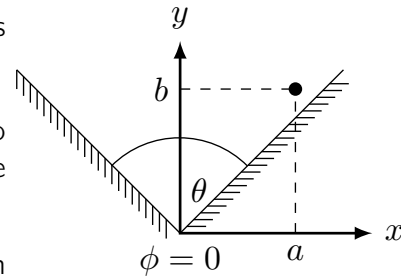
Bestimmen Sie das Monopolmoment q , das Dipolmoment $\vec{p}$ und den Quadrupoltensor Q dieser Anordnung.

Bitte wenden! →

4. Spiegelladungen

Zwei halbunendliche Ebenen seien so aufgestellt, dass sie einen rechten Winkel $\theta = 90^\circ$ bilden. Zwischen den beiden befinde sich die Ladung q am Punkt (a, b) . Die beiden Ebenen seien geerdet.

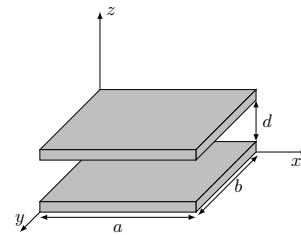
Benutzen Sie die Methode der Spiegelladungen, um dieses Randwertproblem zu lösen.



- Welche Spiegelladungen brauchen Sie dafür und wo müssen sich diese befinden? Fertigen Sie eine Skizze an.
- Geben Sie das Potenzial für den Bereich zwischen den Platten in der Form $\Phi(\vec{r}) = \sum_i \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$ an und bestimmen Sie q_i und $\vec{r}_i$.
- Welche Kraft wirkt auf q ?

5. Plattenkondensator

Ein Plattenkondensator besteht aus zwei parallel gelagerten Platten senkrecht zur z -Achse mit vernachlässigbarer Dicke, der Fläche $F = a \cdot b$ und dem Abstand von d , wobei $d \ll \sqrt{F}$ ist. Die beiden Platten tragen die Ladungen Q und $-Q$. Zwischen den Platten befindet sich ein Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstanten $\epsilon > 1$.



- Zeigen Sie unter Ausnutzung von Symmetrien und Vernachlässigung von Randeffekten, dass das elektrostatische Feld $\vec{E}(\vec{r})$ außerhalb des Kondensators verschwindet und innerhalb des Kondensators folgende Form hat

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{Q}{\epsilon F} \vec{e}_z.$$

- Zeigen Sie, dass das elektrostatische Potenzial $\phi(\vec{r})$ außerhalb des Kondensators konstant ist und innerhalb des Kondensators folgende Form hat

$$\phi(\vec{r}) = -\frac{Qz}{\epsilon F} + \frac{Qd}{2\epsilon F}.$$

- Wie groß ist die Kapazität C des Kondensators?
- Nun wird mit Hilfe einer Spannungsquelle eine Potenzialdifferenz U_0 an den Kondensator angelegt und der Kondensator geladen. Dann wird zunächst die Spannungsquelle und dann das Dielektrikum entfernt, so dass zwischen den beiden Platten Vakuum herrscht.
 - Welche Potenzialdifferenz herrscht nun zwischen den Platten?
 - Welche Energie W_0 war im Kondensator gespeichert, bevor das Dielektrikum entfernt wurde, welche Energie W_1 danach? Falls $W_0 \neq W_1$, erklären Sie die Differenz.

Bitte wenden! →

6. Magnetostatik

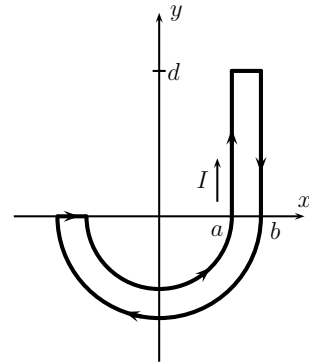
- (a) Ein stromdurchflossener dünner Draht sei in der x - y -Ebene zu einem „J“ gebogen, wie in der Abbildung dargestellt.

Die unteren Bögen seien Halbkreise um den Koordinatenursprung mit Radien a und $b > a$.

Berechnen Sie das Magnetfeld $\vec{B}$ im Koordinatenursprung.

Hinweis: $\int_a^b dx (x^2 + d^2)^{-3/2} = \frac{x}{d^2 \sqrt{x^2 + d^2}} \Big|_a^b$

- (b) Was ergibt sich für die Grenzfälle $d \rightarrow 0$ und $d \rightarrow \infty$?



7. Brechung und Reflexion an einer ebenen Grenzfläche

Eine ebene, elektromagnetische Welle

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}, \quad \vec{H} = \frac{c}{\omega} \vec{k} \times \vec{E}$$

treffe bei $x_3 = 0$ auf die ebene Grenzfläche zwischen zwei homogenen und isotropen Dielektrika mit Dielektrizitätskonstanten $\epsilon_1 \neq 1, \epsilon_2 \neq 1$ und den Permeabilitäten $\mu_1 = \mu_2 = 1$. Der Normalenvektor der Grenzfläche sei $\vec{e}_3$. Die einfallende Welle komme aus dem Medium 1. Verwenden Sie für die reflektierte und die transmittierte Welle den Ansatz

$$\vec{E}^{R,T} = \vec{E}_0^{R,T} e^{i(\vec{k}^{R,T} \cdot \vec{r} - \omega^{R,T} t)}.$$

- (a) Folgern Sie aus den Maxwell-Gleichungen, dass es zwei unabhängige Sätze von Lösungen gibt:

$$\text{TE-Welle: } \{E_2, H_1, H_3\}, \quad \text{TM-Welle: } \{H_2, E_1, E_3\}$$

TE: transversal-elektrische Welle ($\vec{E} \perp \vec{k}, \vec{e}_3$),

TM: transversal-magnetische Welle ($\vec{H} \perp \vec{k}, \vec{e}_3$).

- (b) Verwenden Sie die Randbedingungen für die Felder bei $x_3 = 0$, um Bestimmungsgleichungen für die Amplituden $\vec{E}_0^R$ und $\vec{E}_0^T$ der reflektierten und der transmittierten Welle aufzustellen. Ermitteln Sie für die TM-Welle die Verhältnisse $t = |\vec{E}_0^T|/|\vec{E}_0|$ und $r = |\vec{E}_0^R|/|\vec{E}_0|$ und stellen Sie diese als Funktion von α (Einfallswinkel) und von ϵ_1 bzw. ϵ_2 dar.