

Übungen zur Einführung in die Physik II

für Studierende der Physik, Nanowissenschaften, Informatik, Chemie und Mathematik

Abgabe: 13.04.2012 in der Vorlesung

27.03.2012

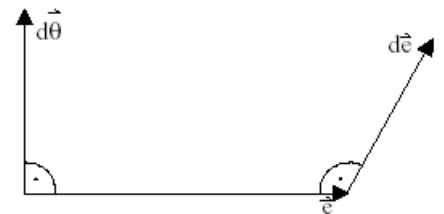
1. Magnetischer Dipol

Ein magnetischer Dipol \vec{m} erfährt in einem homogenen Magnetfeld \vec{B} ein Drehmoment $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$.

Dreht sich der Dipol um einen kleinen Winkel $d\theta$, so leistet er die Arbeit $dW = \vec{M} \bullet d\vec{\theta}$.

Wir schreiben $\vec{m} = |\vec{m}| \bullet \vec{e}$ ($|\vec{m}|$ = konstant) und drücken $d\vec{\theta}$ durch \vec{e} und $d\vec{e}$ aus: $d\vec{\theta} = \vec{e} \times d\vec{e}$.

- Berechnen Sie die gesamte geleistete Arbeit, wenn sich der Dipol von einer Anfangsrichtung \vec{e}_1 in die Richtung \vec{e}_2 dreht.
- Das magnetische Moment des Protons ist $m_p = 1,41 \cdot 10^{-26} \text{ Am}^2$. Welche Arbeit (in eV) ist erforderlich, um das magnetische Moment des Protons von paralleler zu antiparalleler Ausrichtung im Magnetfeld eines kreisenden Elektrons zu drehen? Die Elektronenbahn soll genähert als Kreisbahn mit dem Radius $r = 10^{-10} \text{ m}$ betrachtet werden, auf der das Elektron mit $2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ umläuft. Das Proton befinde sich im Zentrum der Elektronenbahn.



2. Massenspektrometer (4 Punkte)

In einem Massenspektrometer durchlaufen einfach geladene Ionen, die in einem elektrischen Feld auf eine bestimmte kinetische Energie gebracht wurden, ein homogenes magnetisches Feld \vec{B} , das senkrecht zu ihrem Geschwindigkeitsvektor steht.

- Skizzieren Sie die Anordnung und die Teilchenbahnen und bestimmen Sie, wie sich eine kleine relative Massendifferenz $\Delta M/M$ auf die relative Änderung des Bahnradius $\Delta R/R$ auswirkt.
- Wie gross ist in einem Feld $B=5\text{T}$ der Bahnradius von $^{107}\text{Ag}^+$ -Ionen mit der Energie $E_{\text{kin}}=50\text{keV}$? Um wieviel unterscheidet sich der Bahnradius für $^{109}\text{Ag}^+$ -Ionen gleicher Energie, und wie kann man diesen Unterschied zur Massentrennung, d.h. zur Isotopentrennung ausnützen?
- Betrachten Sie in gleicher Weise, wie in einem He-Lecksuchgerät die Trennung der He-Isotope ^3He und ^4He der Energie 4keV im Feld von $B=0,5\text{T}$ vorgenommen werden kann.

3. Hall-Effekt (4 Punkte)

Eine Hall-Sonde ($l=1\text{cm}$, $b=0,5\text{cm}$ und $d=0,02\text{cm}$) befindet sich in einem senkrecht zur Sondenfläche gerichteten Magnetfeld der Stärke $b=0,4\text{T}$. Die Sonde wird von einem Strom $I=0,2\text{A}$ in der Längsrichtung durchflossen.

- Leiten Sie den Ausdruck für die Hall-Spannung U_h als Funktion von I , B , l , d und b ab.
- Welche Hall-Spannung ergibt sich für eine Sonde aus (I) Kupfer (etwa 1 Leitungselektron je Atom) bzw. (II) mit Arsen dotiertem Silizium (Leitungselektronendichte $n(\text{Si})=1 \cdot 10^{15}\text{cm}^{-3}$)?
- Kann man bei festgelegter Stromrichtung im Falle des Arsen-dotierten Siliziums unterscheiden, ob es sich um Lochleitung oder Elektronenleitung handelt?

4. Biot-Savart- Gesetz (4 Punkte)

Zur Erzeugung homogener Magnetfelder werden häufig zwei stromdurchflossene Spulen benutzt. Der Abstand d zwischen den Spulen ist ein wichtiger Parameter um einen homogenen Feldbereich in der Mitte der Spulen zu erreichen.

a) Wir betrachten zunächst nur eine Stromschleife. Das Magnetfeld auf der Achse einer solchen Schleife

ergibt sich zu $\vec{B} = \frac{\mu_0 I R^2}{2} (R^2 + Z^2)^{-3/2} \vec{e}_z$. Zeigen Sie, dass für die z -Komponente des Magnetfeldes

gilt: $\frac{\partial B}{\partial z} = -3B \frac{z}{r^2}$, $\frac{\partial^2 B}{\partial z^2} = 3B \frac{4z^2 - R^2}{r^4}$. Für welches z verschwindet die 2. Ableitung des Feldes?

b) Wir betrachten nun das Feld, das durch zwei Spulen (Stromschleifen) erzeugt wird, die sich im Abstand d befinden und durch die der gleiche Strom I fließt. Bestimmen Sie das durch Überlagerung des Feldes der einzelnen Spulen resultierende Magnetfeld. Wie muss man den Abstand d wählen, damit das Feld in der Mitte der Spulen möglichst homogen ist? (Das Feld ist dann besonders homogen, wenn möglichst viele Ableitungen des Feldes verschwinden.) Warum verschwinden alle ungeradzahlig Ableitungen $\partial^{2n+1} B / \partial z^{2n+1}$? Wann verschwindet die 2. Ableitung?

c) Zeichnen Sie das Magnetfeld des Spulenpaares für den Fall $d = R$ (Helmholtz-Anordnung).