

Grundlagen der Physik mit Experimenten für Studierende der Medizin, Zahnmedizin und Pharmazie

Übungsaufgaben für die Übungsstunde in der Woche vom 11.12.17 // Woche 50

7 - Elektrische & magnetische Felder

Übungsaufgaben zum Lösen daheim:

SS 2009 #20
WS 2003/2004 #12
SS 2006N #3
SS 2008 #27
SS 2005N #30
SS 2005 #24
WS 2005/2006 #14
SS 2005N #2
SS 2008 #9
SS 2006N #7
SS 2004 #27
WS 2011/2012 #11
SS 2010N #3

NÜTZLICHE FORMELN UND GRUNDLAGEN

Kraft auf geladene Teilchen im elektrischen Feld:

Befindet sich ein geladenes Teilchen im elektrischen Feld, wird es in Richtung der Feldlinien gezogen:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}. \quad (1)$$

Geht man stillschweigend davon aus, dass die resultierende Kraft immer parallel zum E-Feld verläuft, kann man die Vektorpfeile einfach weglassen. Das elektrische Feld ist dann gegeben durch

$$E = \frac{F}{q}. \quad (2)$$

Häufig wird auch das elektrische Feld zwischen zwei parallelen, geladenen Oberflächen oder in einem Plattenkondensator gefragt. Hier gilt die Beziehung

$$E = \frac{U}{d}, \quad (3)$$

mit U der Spannung zwischen den gegenüberliegenden Oberflächen in V und d deren Abstand in m.

Elektrische Arbeit:

Um Arbeit W im elektrischen Feld zu verrichten, müssen Ladungen entgegen das elektrische Feld E (meist durch eine Spannung U hervorgerufen) bewegt werden:

$$W = q \cdot U. \quad (4)$$

An dieser Stelle wird uns auch klar, warum die Einheit eV eigentlich gar nicht so schlecht ist. Um ein einzelnes Elektron entgegen das Feld, was durch eine Spannung von 1 V zwischen zwei Elektroden hervorgerufen wird, zu bewegen, benötigt man genau die Energie $W = 1 \text{ eV}$ (siehe auch Abbildung 1). Dabei ist

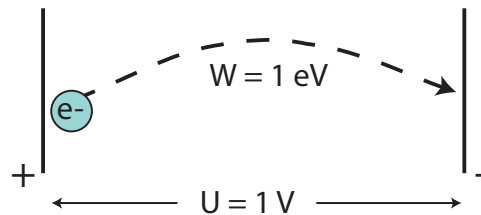


Abbildung 1: Elektron zwischen zwei Elektroden

es völlig gleichgültig, welchen Weg das Elektron nimmt. Entscheidend ist nur die Bewegungskomponente parallel zum E-Feld.

Kraft auf geladene Teilchen im magnetischen Feld: Lorentzkraft

Bei magnetischen Feldern ist nicht die Feldkomponente in Bewegungsrichtung des geladenen Teilchens entscheidend, sondern die Feldkomponente senkrecht dazu:

$$\vec{F}_L = q \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) \quad \Leftrightarrow \quad F_L = q \cdot v \cdot B, \quad \text{falls} \quad \vec{v} \perp \vec{B} \quad (5)$$

In den meisten Aufgaben wird die Bewegungsrichtung exakt senkrecht zum B-Feld sein, d.h. ihr könnt für die Lorentzkraft direkt $F_L = q \cdot v \cdot B$ annehmen.

Faustformel:

Gelegentlich benötigt man die Protonen- oder Neutronenmasse für Überschlagsrechnungen, diese ist jedoch nicht auf dem Formelblatt angegeben. Es hilft, wenn man sich merkt, dass ein Proton etwa 2000 mal so viel wie ein Elektron wiegt (denn das ist angegeben!) und ein Neutron etwa genauso viel wie ein Proton (Ganz korrekt wäre übrigens der Faktor 1836 statt 2000... wer sich das merken kann ;-)).

Beispielaufgabe 1: WS 2010/2011 #25

Da das Elektron sich auf einer Kreisbahn befindet und wir keine anderen wirkenden Kräfte als das Magnetfeld $B = 0,1 \text{ T}$ kennen, können wir davon ausgehen, dass das Magnetfeld senkrecht zur Bewegungsrichtung des Elektrons wirkt.

Wir können also die Formel für die Lorentzkraft verwenden:

$$F_L = q \cdot v \cdot B. \quad (6)$$

Dieser Kraft entgegen wirkt offensichtlich die vom Betrag her gleich große Zentrifugalkraft:

$$F_Z = \frac{m_e v^2}{r}, \quad (7)$$

also können wir hieraus die Geschwindigkeit des Elektrons berechnen:

$$\frac{m_e v^2}{r} = q \cdot v \cdot B \quad \Leftrightarrow \quad v = \frac{q r B}{m_e} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,001 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ T}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 17.582.418 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (8)$$

Über $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$ lässt sich die gefragte kinetische Energie des Elektrons leicht berechnen. Sie muss dann jedoch noch in eV umgerechnet werden:

$$E_{kin} = 1,40 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 879,1 \text{ eV} \quad (\text{durch } 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{eV}}{\text{J}} \text{ dividieren}) \quad (9)$$

⇒ **Antwort B** "etwa 0,9 keV" ist somit korrekt.

Beispielaufgabe 2: SS 2007 #7

Diese Aufgabe ist schon etwas suggestiv gestellt. Um die Geschwindigkeiten zu berechnen, braucht man die Massen von den Teilchen. Die Masse des Elektrons ist jedoch die einzige, die auf dem Lösungsblatt angegeben ist. Versuchen wir es also mal damit ;-)

Ein Elektron, was eine Potentialdifferenz von 100 V durchläuft, hat nach Definition eine Energie von

$$W = q \cdot U = 100 \text{ eV}. \quad (10)$$

Dies ist seine kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{1}{2} m_e v^2$, also lässt sich die Geschwindigkeit v leicht berechnen:

$$E_{kin} = 100 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J} = \frac{1}{2} m_e v^2 \quad (11)$$

$$v = 5.929.994 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 6.000 \frac{\text{km}}{\text{s}}. \quad (12)$$

Dies ist nun schon die richtige Lösung, hier muss man nicht weiter rechnen. Es hätte jedoch auch eine der anderen Lösungen sein können, hätten dort andere Zahlen gestanden. Wie diese berechnen, ohne die Angaben zur Masse der Teilchen?

Man kann diese Massen schätzen. Ein Proton wiegt etwa 2000 mal so viel wie ein Elektron (das ist angegeben!) und ein Neutron etwa genauso viel wie ein Proton. Für ${}^4\text{He}^+$ Kerne muss man wissen, dass sie aus 2 Protonen und 2 Neutronen bestehen, allerdings gibt die Zahl links oben schon direkt die Kernbausteinanzahl. Daher ist für ${}^{12}\text{C}^+$ klar: 6 Protonen und 6 Neutronen, bzw. da wir sowieso gerade bloss raten: Einfach 12 mal die Masse eines Protons nehmen, das ist ca. 24.000 mal die Elektronenmasse.

⇒ **Antwort C** "...Elektron die Geschwindigkeit von etwa 6.000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$." ist somit korrekt.

Beispielaufgabe 3: WS 2004/2005 #11

Die in der Aufgabenstellung beschriebene Anfangssituation ist dargestellt in Abbildung 2. Auch hier benötigen wir wieder die Protonenmasse, die wir nicht haben. Wir schätzen wieder: $m_p = 2000 m_e$. Damit können wir die Gewichtskraft des Protons ausrechnen, die sich ergibt zu

$$F_G = m_p g = 1,785 \cdot 10^{-31} \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 1,785 \cdot 10^{-31} \text{ N}. \quad (13)$$

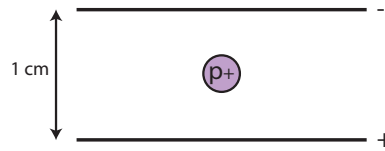


Abbildung 2: Zeichnung zu Aufgabe WS 2004/2005 #11

Im Plattenkondensator gilt

$$E = \frac{U}{d}, \quad \text{sowie} \quad E = \frac{F}{q}, \quad (14)$$

was man dann kombinieren kann zu

$$\frac{U}{d} = \frac{F}{q} \quad \Leftrightarrow \quad U = \frac{F \cdot d}{q} = 1,116 \cdot 10^{-9} \text{ V}. \quad (15)$$

\Rightarrow **Antwort E** "nur etwa 10^{-9} V" ist somit korrekt.