
Übungen zur Vorlesung Experimentalphysik II

V. Austrup, F. Ellinghaus, G. Jäkel, N. Lehmann, F. Schröder

Sommersemester 2018

Universität Wuppertal

BLATT V

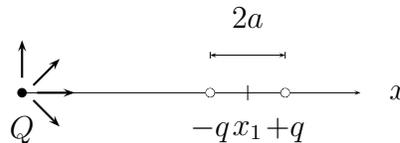
ABGABE BIS MITTWOCH, DEN 30. MAI 2018 UM 17:00

(IN DIE JEWEILIGEN POSTFÄCHER IHRES ÜBUNGSGRUPPENLEITERS AUF D09)

1. Dipol im inhomogenen Feld

(2+2 = 4 Punkte)

Ein elektrischer Dipol bestehe aus zwei Ladungen $+q$ und $-q$, die einen sehr kleinen Abstand $2a$ voneinander haben. Sein Mittelpunkt liege auf der x -Achse bei $x = x_1$, und er zeige längs der x -Achse in positive x -Richtung. Der Dipol befinde sich in einem inhomogenen, elektrischen Feld, das ebenfalls in die x -Richtung zeigt und durch $E = C \cdot x e_x$ beschrieben wird. Darin ist C eine Konstante.



- Berechnen Sie die Kraft auf die positive und die Kraft auf die negative Ladung und zeigen Sie, dass die Gesamtkraft auf den Dipol $C \cdot p e_x$ ist, wobei p dessen Dipolmoment ist.
- Zeigen Sie, dass die Gesamtkraft auf einen Dipol mit dem Dipolmoment \vec{p} , das parallel zum elektrischen Feld in x -Richtung liegt, $\frac{dE_x}{dx} \cdot p e_x$ ist.

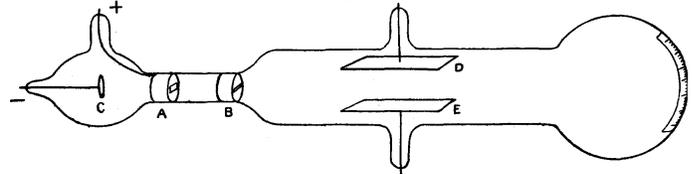
2. Kathodenstrahlröhre

(1+1.5+0.5+1+1= 5 Punkte)

Die Abbildung zeigt die Kathodenstrahlröhre, mit der Thomson 1897 das Elektron entdeckte. Aus der Kathode C austretende Elektronen werden durch eine zwischen C und A angelegte Spannung von 1.8 kV beschleunigt und treten durch den Schlitz in B horizontal in den rechten Teil der Röhre ein. Zwischen den parallelen Ablenkelektroden D und E der Länge $l = 5$ cm und Abstand $d = 1.5$ cm liegt eine Spannung von 400 V an, so dass die Elektronen in vertikaler Richtung abgelenkt werden. Außerhalb sei $\vec{E} = 0$.

The apparatus used is represented in fig. 2.

Fig. 2.



The rays from the cathode C pass through a slit in the anode A , which is a metal plug fitting tightly into the tube and connected with the earth; after passing through a second slit in another earth-connected metal plug B , they travel between two parallel aluminium plates about 5 cm. long by 2 broad and at a distance of 1.5 cm. apart; they then fall on the end of the tube and produce a narrow well-defined phosphorescent patch. A scale pasted on the outside of the tube serves to measure the deflexion of this patch.

(J.J. Thomson, *Cathode Rays*, Phil. Mag. **44** (1897) 293-316)

- (a) Wie groß sind Geschwindigkeit und kinetische Energie der durch den Schlitz in B hindurchtretenden Elektronen?
- (b) Wie lautet die Bahnkurve $y(x)$ der Elektronen im Bereich der Ablenkelektroden? (Die x -Achse zeige entlang der ursprünglichen Flugbahn horizontal nach rechts und die y -Achse vertikal nach oben.)
- (c) Welchen Abstand von der ursprünglichen Flugrichtung (= x -Achse) haben die Elektronen am Ende der Elektrodenplatten?
- (d) Welchen Winkel zur x -Achse haben die Elektronen dann?
- (e) In welcher Entfernung von der x -Achse treffen die Elektronen auf den 12 cm vom Ende der Ablenkplatten entfernten Leuchtschirm?

3. Beschleunigte Ladung

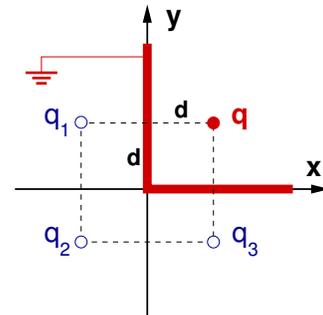
(1.5+1.5 = 3 Punkte)

- (a) Welche Spannung muss ein Elektron im Vakuum durchlaufen, um auf 95% der Lichtgeschwindigkeit c beschleunigt zu werden?
Beachten sie die Massenzunahme durch relativistische Effekte des Elektrons.
Hinweis: Im atomaren Bereich sind die Einheiten Joule und kg unpraktisch. Man benutzt dort Elektronenvolt (eV). Dies ist die Energie, welche ein Elektron gewinnt, wenn es die Potentialdifferenz $U = 1 \text{ V}$ durchlaufen hat.
 $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C V} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
Mittels $E = m c^2$ bzw. $m = E/c^2$ drückt man Massen typischerweise nicht in kg (Ruhemasse Elektron $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) sondern in eV/c^2 aus, daher hat das Elektron eine Masse von $511 \text{ keV}/c^2$.
- (b) In einem Teilchenbeschleuniger werden Protonen ($m_0 = 938 \text{ MeV}/c^2$ bzw. $1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) auf eine kinetische Energie von 10 GeV gebracht. Wie schnell ist das Teilchen (in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit c) ? Auf das wievielfache hat die bewegte Masse m gegenüber ihrer Ruhemasse m_0 zugenommen?

4. Spiegelladungen

(2+2+1 = 5 Punkte)

Eine Punktladung q wird bei $z = 0$ im Abstand d von einem Metallwinkel platziert (s. Skizze). Der Abstand d sei klein verglichen mit Länge, Breite und Höhe des Winkels. Der Metallwinkel sei geerdet, d.h. er liegt stets und überall auf dem Potential $\phi = 0$. Infolge von Influenz wird somit auch der Metallwinkel zu einer Quelle des elektrischen Feldes.



- (a) Das elektrische Potential $\phi(x, y, z)$ dieser Anordnung lässt sich für $x, y \geq 0$ konstruieren, indem man sich an den in der Skizze angedeuteten Positionen fiktive Ladungen q_1 , q_2 und q_3 („Spiegelladungen“) passender Stärke angebracht denkt. Bestimmen Sie die Stärke dieser Ladungen.

Hinweis: Schreiben Sie das aus den Spiegelladungen und der eigentlichen Ladung

q resultierende Potential $\phi(x, y, z)$ hin. Bestimmen Sie q_1 , q_2 und q_3 dann aus den Randbedingungen $\phi(0, y, z) = \phi(x, 0, z) = 0$ für $x, y \geq 0$.

- (b) Leiten Sie aus dem in (a) gefundenen Potential die elektrische Feldstärke $\vec{E}(x, y, z)$ für $x \geq 0$ und $y \geq 0$ ($(x, y, z) \neq (d, d, 0)$) ab.
- (c) Bestimmen Sie die auf die Punktladung q wirkende Kraft \vec{F} aus der Wirkung des von den Spiegelladungen herrührenden Feldes.

5. Schaltung von Kondensatoren

(3 Punkte)

Die Gesamtkapazität C der dargestellten Schaltung beträgt $5,2 \mu\text{F}$. Wird C_2 infolge eines Durchschlages kurzgeschlossen, so ist die Gesamtkapazität $C_{13} = 6 \mu\text{F}$. Wird dagegen C_1 kurzgeschlossen, so ist die Gesamtkapazität $C_{23} = 7 \mu\text{F}$. Welchen Wert hat C_3 ?

