

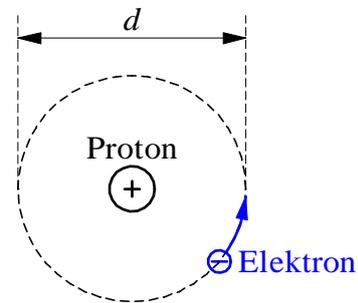
1. Spitzenentladungs-Effekt

Eine Kugel mit Radius R befindet sich auf dem Potential U gegenüber unendlich großer Ferne.

- 5 BE a) Drücken Sie die Feldstärke in der Luft unmittelbar an der Kugeloberfläche durch U und R aus.
- 5 BE b) Erläutern Sie, was man unter dem Spitzenentladungs-Effekt versteht. Wo kann man ihn in der Natur beobachten, wo und wie versucht man ihn zu verhindern? Geben Sie dazu jeweils ein Beispiel.

2. Wasserstoff-Atom nach dem Atommodell von Rutherford

Nach dem Atommodell von Rutherford (1911) wird beim Wasserstoff-Atom ein ruhendes Proton (Ladung $+e$) von einem Elektron umkreist. Der Durchmesser d der Kreisbahn kann durch den Ölfleckversuch (10. Jahrgangsstufe) zu $d = 1 \cdot 10^{-10}$ m abgeschätzt werden.



- 3 BE a) Geben Sie die Kraft an, die das Proton auf das Elektron ausübt.
- 5 BE b) Mit welcher Bahngeschwindigkeit umkreist das Elektron das Proton?

3. Millikan-Versuch

Im Jahr 1916 gelang R. A. Millikan die Bestimmung der Elektronen-Ladung.

- 4 BE a) Welche Probleme ergeben sich bei der sogenannten Schwebemethode?

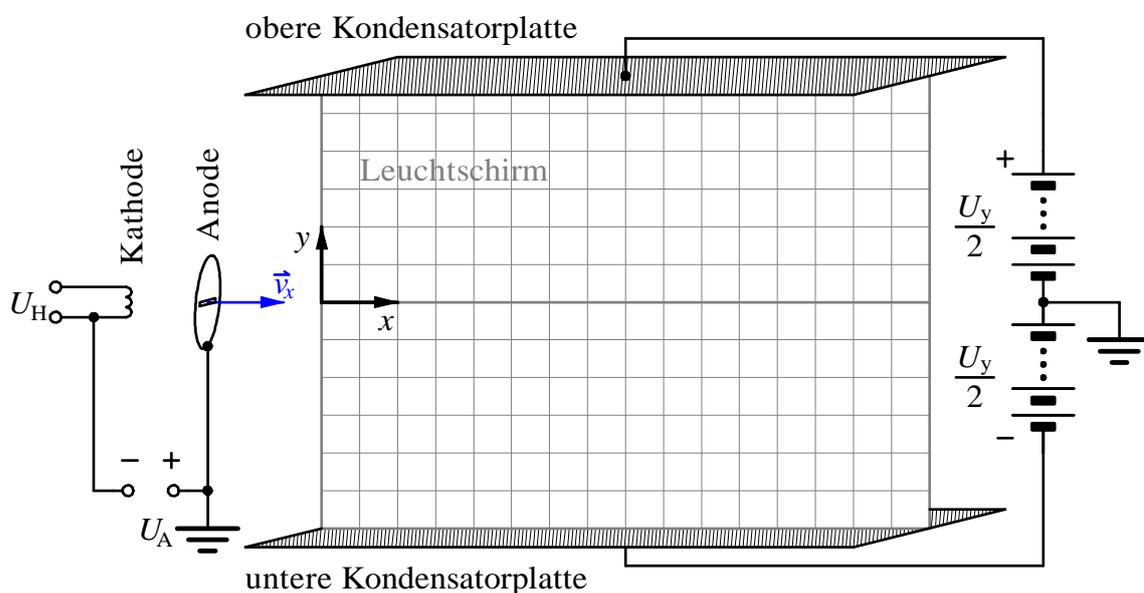
Bei einer Verbesserung des Versuchs lässt man ein Öltröpfchen (Dichte ρ) zuerst ohne elektrisches Feld sinken (Geschwindigkeit v_1) und anschließend bei angelegtem Kondensatorfeld \vec{E} steigen (Geschwindigkeit v_2).

- 5 BE b) Zeichnen Sie das Öltröpfchen und die daran angreifenden Kräfte für beide Fälle.
- 6 BE c) Berechnen Sie allgemein den Radius r des Öltröpfchens aus v_1 , ρ und der dynamischen Viskosität von Luft η .
- 4 BE d) Berechnen Sie allgemein die Ladung Q des Öltröpfchens aus v_2 , r , ρ , E und der dynamischen Viskosität von Luft η .
- 5 BE e) Bei sehr genauen Messung verwendet man die auftriebskorrigierte Dichte ρ^* des Öls. Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der auftriebskorrigierten Dichte aus der unkorrigierten her.

4. Elektronenstrahl-Ablenkröhre

Aus einer Glühkathode treten Elektronen aus und werden durch die Spannung U_A zu einer Schlitzanode hin beschleunigt. Dadurch entsteht (durch zusätzliche Fokussierung) ein waagrecht aufgefächerter Elektronenstrahl. Die Elektronen treten mit der Geschwindigkeit $v_x = 2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in das Querfeld eines Plattenkondensators ein, zwischen dessen Platten die Spannung $U_y = 1,7 \text{ kV}$ anliegt. Im Kondensator befindet sich ein (geringfügig gegen die optische Achse verdreht) Leuchtschirm, auf dem die Spur des Elektronenstrahls sichtbar wird.

Die gesamte Anordnung – sie ist unten gezeichnet – befindet sich im Vakuum. Der Leuchtschirm hat eine Länge von $\ell = 8,0 \text{ cm}$ und eine Höhe von $h = 6,0 \text{ cm}$, das Kondensatorfeld soll als homogen angesehen werden.



- 5 BE a) Berechnen Sie die Spannung U_A .
- 8 BE b) Bestimmen Sie den Winkel α , um den der Elektronenstrahl durch den Kondensator aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird.
(Teilergebnis: $\alpha = 33^\circ$)
- 6 BE c) Geben Sie die Bahngleichung des Elektronenstrahls im Inneren des Kondensators an (Ursprung beim Schnittpunkt der Achsen des eingezeichneten Koordinatensystems).
(Teilergebnis: $y = 0,04 \frac{1}{\text{cm}} \cdot x^2$)
- 4 BE d) Zeichnen Sie den Leuchtschirm in Originalgröße heraus und tragen Sie die Spur des Elektronenstrahls möglichst genau darauf ein.

- 5 BE 1. a) Coulomb-Potential an der Oberfläche:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R}$$

Feldstärke an der Oberfläche:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R^2}$$

Es folgt daraus:

$$E = \frac{U}{R}$$

- 5 BE b) Spitzenentladungs-Effekt:

Die Feldstärke in der unmittelbaren Nähe eines unter Spannung stehenden Leiters ist umgekehrt proportional zum Radius seiner Oberflächenkrümmung. D.h. in der Nähe von Spitzen und Kanten bilden sich dann u.U. sehr hohe Feldstärken aus.

Diese können zu einer Entladung über die Luft führen (als Funke oder kontinuierlich).

Der Effekt kann zum Beispiel an Mastspitzen von Schiffen als St.-Elms-Feuer auftreten.

Bei Versuchen mit Hochspannung muss man alle Oberflächen glatt und gut verrundet ausführen, um Ladungsverluste zu vermeiden. (Auch: Hohlleiter bei Hochspannungsleitungen zur Radiusvergrößerung. Oder Ähnliches.)

2. geg:
- $Q_P = e$
- ,
- $Q_E = e$
- ,
- $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$
- m.

- 3 BE a) Coulomb-Kraft:

$$F_C = \frac{Q_P \cdot Q_E}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}} \cdot (0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

- 5 BE b) Coulombkraft als Zentripetalkraft:

$$F_Z = F_C$$

$$\frac{mv^2}{r} = F_C$$

$$v = \sqrt{\frac{rF_C}{m}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

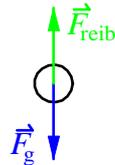
4 BE 3. a) Probleme bei der Schwebemethode:

- Radius der Öltröpfchens kann nur sehr grob abgeschätzt werden. Die Tröpfchen sind submikroskopisch klein, man sieht nur ihre Beugungsscheibchen.
- Aufgrund der brownischen Bewegung gibt es kein Schweben in Ruhe, das Einstellen der Spannung wird dadurch erschwert.

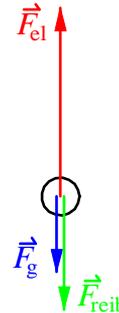
5 BE

b)

Sinken ohne Feld



Steigen mit Feld



6 BE

c) Sinken gegen Stokes-Reibung:

$$F_g = F_{\text{reib}}$$

$$mg = 6\pi\eta r v_1$$

$$\frac{4}{3}r^3\pi\rho g = 6\pi\eta r v_1$$

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_1}{2 \cdot \rho \cdot g}}$$

4 BE

d) Steigen im elektrischen Feld gegen Gewichtskraft und Stokes-Reibung:

$$F_{\text{el}} = F_g + F_{\text{reib}}$$

$$EQ = \frac{4}{3}r^3\pi\rho g + 6\pi\eta r v_2$$

$$Q = \frac{4r^3\pi\rho g + 18\pi\eta r v_2}{3E}$$

5 BE

e) Gewichtskraft des Ölvolumens V :

$$F_G = V\rho g$$

Auftriebskraft des Ölvolumens V :

$$F_A = V\rho_{\text{Luft}}g$$

Effektive Kraft nach unten:

$$F_{\text{eff}} = F_G - F_A = V(\rho - \rho_{\text{Luft}})g$$

Mit der auftriebskorrigierten Dichte gilt für die effektive Kraft nach unten:

$$F_{\text{eff}} = V\rho^*g$$

$$\Rightarrow \rho^* = \rho - \rho_{\text{Luft}}$$

4. geg: $v_x = 2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $U_y = 1,7 \text{ kV}$, $\ell = 8,0 \text{ cm}$, $h = 6,0 \text{ cm}$.

5 BE

a) Energieerhaltung:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{el}}$$

$$\frac{1}{2}mv_x^2 = U_A e$$

$$U_A = \frac{mv_x^2}{2e} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1779 \text{ V} = 1,8 \text{ kV}$$

8 BE

b) Aufenthaltsdauer der Elektronen im Kondensator:

$$t = \frac{\ell}{v_x} = \frac{0,080 \text{ m}}{2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

Vertikale Beschleunigung im Kondensator:

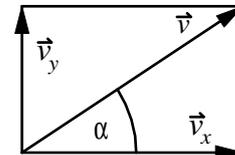
$$a = \frac{F}{m} = \frac{Ee}{m} = \frac{U_y e}{hm} = \frac{1700 \text{ V} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{0,060 \text{ m} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 5,0 \cdot 10^{15} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v_y = at = \frac{U_y e \ell}{hmv_x} = 5,0 \cdot 10^{15} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 1,6 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aus dem Geschwindigkeitsdiagramm:

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{1,6 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,64$$

$$\alpha = 33^\circ$$



6 BE

c) x -Komponente:

$$x = v_x t$$

$$t = \frac{x}{v_x}$$

 y -Komponente:

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

Setze t von oben ein:

$$y = \frac{1}{2}a \cdot \frac{x^2}{v_x^2} = \frac{a}{2v_x^2} \cdot x^2$$

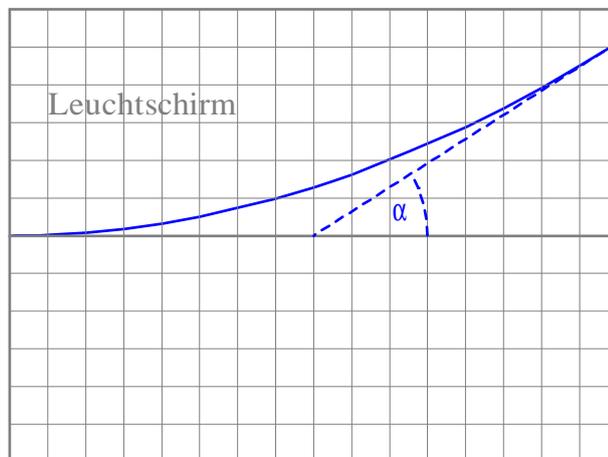
$$= \frac{5,0 \cdot 10^{15} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot (2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} \cdot x^2 = 4,0 \frac{1}{\text{m}} \cdot x^2$$

$$y = 0,04 \frac{1}{\text{cm}} \cdot x^2$$

4_{BE}

d) Wertetabelle:

x in cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8
y in cm	0,00	0,04	0,16	0,36	0,64	1,00	1,44	1,96	2,56

65_{BE}