

**1.Aufgabe:** a) Leiten Sie die Bahngleichung für den waagerechten Wurf im Plattenkondensator her. Legen Sie den Eintritt des Elektrons in die Mitte des Plattenkondensators. (Versuchsskizze!)  
b) Ersetzen Sie die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  durch die Beschleunigungsspannung.

(Versuchsskizze!)

c) Ein Elektron bewegt sich parallel zu den Platten eines horizontalen Plattenkondensators mit einer Geschwindigkeit von  $3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Die Feldstärke im Kondensator beträgt  $3,7 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . Die Kondensatorplatten sind 20 cm lang. Um wie viel verschiebt sich das Elektron während seiner Bewegung im Kondensator unter dem Einfluss des elektrischen Feldes. Im Abstand von 1 m vom Ende des Plattenkondensators befindet sich ein Schirm, auf den der Elektronenstrahl auftrifft. Leiten Sie für die Ablenkung aus der horizontalen Richtung auf dem Schirm eine allgemeine Beziehung her (Skizze). Geben Sie auch den Zahlenwert der Ablenkung für das Zahlenbeispiel an.

d) Ein Proton fliegt mit einer Geschwindigkeit von  $1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  parallel zu den Platten eines horizontalen Plattenkondensators hinein. Die Feldstärke im Kondensator beträgt  $3 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ , die Länge des Kondensators 10 cm. Wie groß ist die Geschwindigkeit in x- bzw. in y-Richtung beim Verlassen des Kondensators? Welchen Winkel bildet der austretende Protonenstrahl mit der Horizontalen? Wie lange ist das Proton im Plattenkondensator unterwegs?

e) Nehmen Sie an, in der Braunschen Röhre bewegen sich anstatt der Elektronen Teilchen mit I. der doppelten Masse, II. der doppelten Ladung, III. der doppelten Ladung und der doppelten Masse.

Wie würden sich die Berechnungen für diese Teilchen ändern

1. in Bezug auf die Bahnkurve und 2. in Bezug auf den zeitlichen Ablauf?

Die Ergebnisse sind zu begründen.

**f)** Ein einfach positives Wasserstoff-Ion ( $\text{H}^+$ -Ion) durchläuft im Hochvakuum die Beschleunigungsspannung von 5 kV und tritt dann senkrecht zu den Feldlinien eines Plattenkondensators von 6,0 cm Länge und 10 mm Plattenabstand ein. An den Platten liegt eine Spannung von 400 V.  $m_{\text{H}^+} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   $m_{\text{D}^+} = 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

1. Mit welcher Geschwindigkeit  $v_0$  tritt das Ion in das Kondensatorfeld ein?

2. Berechnen Sie die Kraft, welche auf das Ion im Kondensatorfeld ausgeübt wird. Erläutern Sie, ob bei dieser Überlegung die Schwerkraft berücksichtigt werden muss. Begründen Sie Ihre Antwort.

3. Welche Spannung ist nötig, damit ein einfach positiv geladenes Deuterium-Ion ( $\text{D}^+$ -Ion) dieselbe Bahn durchläuft wie das  $\text{H}^+$ -Ion (unter sonst gleichen Bedingungen)?

## 2.Aufgabe:

**I.** Ein erster Plattenkondensator hat die Plattenfläche  $A_1 = 4,52 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$  und den Plattenabstand  $d_1 = 2,0 \text{ mm}$ . Zwischen den Platten befindet sich eine Kunststoffplatte, die den Raum zwischen den Platten vollständig ausfüllt. Die Dielektrizitätskonstante des Kunststoffes ist  $\epsilon_r = 2,5$ .

a) Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators.

b) Welche Spannung  $U_1$  muss an die Platten gelegt werden, damit der Kondensator die Ladung  $Q_1 = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  aufnimmt?

c) Wie groß ist die elektrische Feldstärke  $E_1$  im geladenen Kondensator?

d) Der Kondensator wird von der Spannungsquelle getrennt, er bleibt geladen. Ein zweiter, noch ungeladener Plattenkondensator soll zum ersten Kondensator parallel geschaltet werden, damit die Spannung um 25% sinkt. Der zweite Kondensator hat die Plattenfläche  $A_2 = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ , zwischen seinen Platten befindet sich Luft. Die Dielektrizitätskonstante der Luft ist  $\epsilon_r = 1$ .

Auf welchen Plattenabstand  $d_2$  muss dieser Kondensator eingestellt werden?

e) Um wie viel Prozent sinkt die Feldstärke im ersten Kondensator, wenn der zweite Kondensator parallel geschaltet wird?

**II.** Zwischen den kreisförmigen Platten (Durchmesser = 40 cm) eines Kondensators mit dem Plattenabstand  $d = 5\text{mm}$  befindet sich Luft ( $\epsilon_r \approx 1$ ).

a) Der Kondensator wird durch eine Spannungsquelle mit der Spannung  $U_0 = 3000\text{ V}$  aufgeladen. Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators, die aufgebrauchte Ladung und die Feldstärke.

b) Der geladene Kondensator wird von der Spannungsquelle getrennt und dann an ein Elektrometer angeschlossen. Dieses zeigt eine Spannung von  $U_2 = 300\text{ V}$  an. Wie groß ist die Kapazität des Elektrometers? Skizze!

c) Anschließend (Spannungsquelle bleibt abgetrennt) wird der Raum zwischen den Platten von der einen Platte bis zur Mitte mit Glimmer ( $\epsilon_r \approx 7$ ) und von dort bis zur anderen mit Plexiglas ( $\epsilon_r \approx 3$ ) ausgefüllt. Wie ändert sich die Kapazität des Kondensators? Skizze!

Berechnen Sie die Spannung, die nun vom Elektrometer angezeigt wird? Wie groß ist die Ladung auf dem Elektrometer?

## Anhang:

Bahngleichung des Elektronenstrahls in einer Braunschen Röhre am Ende des Ablenkkondensators

$$y(x) = \frac{U_y}{4 \cdot d \cdot U_b} \cdot x^2$$

Ablenkung  $y_0$  in einer Braunschen Röhre auf einem Schirm, der in der Entfernung  $a$  vom Ablenkkondensator entfernt ist.

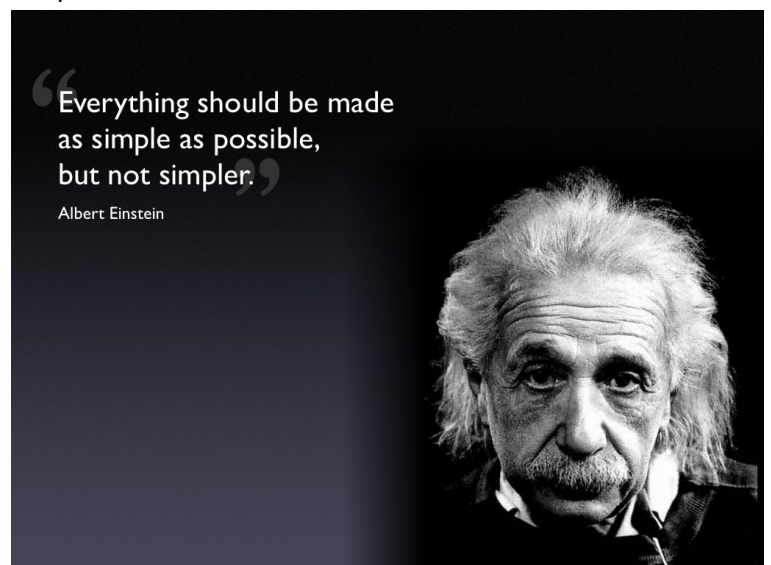
$$y_0 = \frac{U_y \cdot l}{4 \cdot U_x \cdot d} \cdot (l + 2a)$$

$g = 9,81$       Protonenmasse:  $m_p = 1,6 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$        $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$

Elektronenmasse:  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$

|Elektronenladung| = |Protonenladung| :  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$

# VIEL ERFOLG!



# Lösung

## 1. Aufgabe:

a) und b) siehe PowerPoint-Einführung (E\_lehre).

c) Man muss hier die Gleichung für die Bahnkurve mit der Feldstärke  $E$  und der Geschwindigkeit  $v_0$  benutzen:

$$y_l = \frac{1}{2} \frac{e \cdot E}{v_0^2 \cdot m_e} l^2 = 0,0100468 m \approx 1 \text{ cm}$$

Die Ablenkung auf dem Schirm ergibt sich entsprechend der Formel für  $y_0$  auf einem Schirm

$$y_l = \frac{1}{2} \frac{e \cdot E}{v_0^2 \cdot m_e} l(l + 2 a) = 0,1105 m \approx 11,05 \text{ cm}$$

d) In x-Richtung bleibt die Geschwindigkeit konstant, damit kann die Zeit berechnet werden, die das Elektron benötigt, um den Kondensator zu durchqueren.

$$t = l/v_0 = 8,33 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Die Geschwindigkeit in x-Richtung ändert sich nicht:  $v_x = 1,2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

Für die Geschwindigkeit in y-Richtung gilt (gleichmäßig beschleunigte Bewegung):

$$v_y = a \cdot t = \frac{e E}{m_{\text{Pr oton}}} \cdot t = 239442 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Für den Winkel erhält man die Beziehung:

$$\tan \alpha = \frac{v_x}{v_y} \Rightarrow \alpha = 26,61^\circ$$

e) Die Geschwindigkeit eines Elektrons vor dem Eintritt in den Ablenkkondensator sei  $v_0$ . Nach der Gleichung für die Gesamtablenkung  $y_0$  ergibt bei konstanten  $U_B$  **doppelte Masse** geringere Geschwindigkeit  $v_0$ , aber **längere Aufenthaltszeit** im Ablenkkondensator und somit **unveränderte Bahn** bei **verlängertem zeitlichen Ablauf**;

**doppelte Ladung** ergibt größere Geschwindigkeit  $v_0$ , aber **kürzere Aufenthaltszeit** im Ablenkkondensator und somit **unveränderte Bahn** bei **verkürztem zeitlichen Ablauf**;

**doppelte Masse** und **doppelte Ladung** ergeben gleiche Geschwindigkeit  $v_0$ , **gleiche Aufenthaltszeit** im Ablenkkondensator und somit **unveränderte Bahn** bei **unveränderter Dauer**.

f) 1) Aufzulösen ist die Gleichung nach  $v_0$ :

$$\frac{1}{2} m_{\text{Proton}} v_0^2 = e U \Rightarrow v_0 = 978656 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2) Man benötigt die Gleichung für die elektrische Kraft:

$$F_{el} = e \frac{U}{d} = 6,408 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

$$F_G = m_{\text{Proton}} g = 1,6408 \cdot 10^{-26} \text{ N}$$

Man sieht, dass die Gewichtskraft ungefähr um den Faktor  $10^{11}$  kleiner ist.

3) Bei der Bahngleichung spielt die Masse des Ions keine Rolle. Damit das Deuterium-Ion die gleiche Bahn durchläuft wie das Wasserstoff-Ion, braucht man die Spannungen nicht zu ändern.

## 2.Aufgabe:

### I.

a) Man benötigt die Gleichung für die Kapazitätsberechnung und erhält:

$$C1 = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 500 \text{ pF}$$

b) Die Gleichung  $Q = C \cdot U$  ergibt für die Spannung:  $U = 799,599 \text{ V}$ .

c) Die elektrische Feldstärke ergibt sich aus  $E = U/d = 399\,800 \text{ V/m}$ .

d) Die beiden Kondensatoren sind parallel geschaltet. Somit ergibt sich für die Gleichung, die nach  $d$  aufgelöst werden muss:

$$Q = (C1 + \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}) \cdot 0,75 \cdot 799599 \Rightarrow d = 0,0007 \text{ m} = 0,7 \text{ mm}$$

e) Die prozentuale Abweichung berechnet sich wie folgt:

$$\frac{(399800 - 299850)}{399800} = 0,25 = 25\%$$

Es sind also ebenfalls 25%.

### II.

a) Man benötigt die Gleichung zur Berechnung der Kapazität:

$$C1 = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} = 2,22525 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 222,5 \text{ pF}$$

Die aufgebrachte Ladung beträgt:

$$Q = C1 \cdot U = 6,67575 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

Das elektrische Feld hat die Größe:

$$E = U/d = 600\,000 \text{ V/m}$$

b) Es handelt sich um eine Parallelschaltung von Kondensatoren. Hier gilt die Gleichung:  
 $Q = (C_1 + C_{\text{Elektrometer}}) * U$  aufgelöst nach  $C_{\text{Elektrometer}}$  ergibt sich:

$$C_{\text{Elektrometer}} = 2,00273 * 10^{-9} \text{ C} = 2 \text{ nF}$$

c) Wenn man die Dielektrika so einführt, handelt es sich um eine Reihenschaltung zweier mit einem Dielektrikum gefüllten Kondensatoren mit jeweils dem Abstand  $d/2 = 2,5 \text{ mm}$ .

$$\frac{1}{C_{\text{Ersatz}}} = \frac{1}{\epsilon_{r1} \epsilon_0 \frac{A}{(d/2)}} + \frac{1}{\epsilon_{r2} \epsilon_0 \frac{A}{(d/2)}}$$

Formt man diese Gleichung so um, dass man nach  $C_{\text{Ersatz}}$  auflöst, so ergibt sich:

$$C_{\text{Ersatz}} = 9,346 * 10^{-10} \text{ F} = 934,6 \text{ pF}$$

Die Spannung  $U_3$  berechnet man nach der bekannten Gleichung:

$$Q = C_{\text{Gesamt}} (= 934,6 \text{ pF} + 2002,73 \text{ pF}) * U_3$$

$$\text{Es ergibt sich: } U_3 = 227,273 \text{ V}$$

Für die Ladung auf dem Elektrometer gilt:

$$Q = C * U = 2 * 10^{-9} \text{ C} * 227 \text{ V} \approx 4,55 * 10^{-7} \text{ C}$$