

Alle nicht explizit gegebenen Daten sind der Formelsammlung zu entnehmen.

1. Plattenspiele

Zwei isolierte quadratische Aluminiumplatten der Kantenlänge 80 cm und Dicke 1,0 mm befinden sich im Vakuum und in Schwerelosigkeit. Sie sind zueinander parallel ausgerichtet, so dass sie einen Plattenkondensator mit Innenabstand 2,0 cm bilden. Sie tragen die gegengesetzt gleich große Ladung $Q = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$.

- 9 BE a) Mit welcher Kraft ziehen sich die beiden Platten an?
(Ersatz-Ergebnis: $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$)

Die Platten werden nun sich selbst überlassen, so dass sie sich aufeinander zu bewegen.

- 3 BE b) Begründe, warum sich die Kraft zwischen den Platten mit kleiner werdendem Plattenabstand nicht ändert.
- 8 BE c) Wie lange dauert es, bis die Platten nach dem Loslassen aufeinander prallen?

2. Elektron am Kugelkondensator

Eine im Vakuum isoliert aufgestellte Metallkugel mit Radius $R = 6,0 \text{ cm}$ wird durch eine Spannung von $|U| = 1,8 \text{ kV}$ **negativ** aufgeladen.

- 5 BE a) Berechne die Feldstärke E unmittelbar an der Oberfläche, aber außerhalb der Kugel.
(Ergebnis: $E = 30 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$)
- 4 BE b) Im Abstand $d = 0,10 \text{ mm}$ von der Kugeloberfläche befindet sich ein freies Elektron? Mit welcher Kraft F wird dieses von der Kugel abgestoßen?
(Ergebnis: $F = 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ N}$)

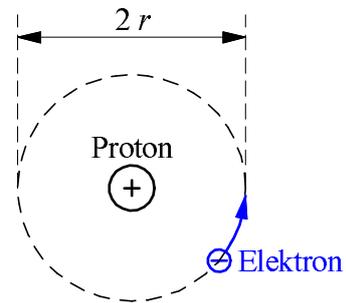
Nun wird eine andere Konstellation betrachtet: Ein freies Elektron befindet sich im Abstand d' zu einer geerdeten Metallplatte.

- 4 BE c) Erläutere anhand einer Skizze, warum das Elektron von der Platte angezogen wird.
- 7 BE d) Wie groß muss der Abstand d' sein, damit das Elektron mit einer Kraft von $F = 4,8 \cdot 10^{-17} \text{ N}$ von der Metallplatte angezogen wird?
(Ergebnis: $d' = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$)
- 3 BE e) Interpretiere das Ergebnis unter Bezugnahme auf die ursprüngliche Konstellation aus Elektron und geladener Kugel.

(bitte wenden!)

3. 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 Radius r der Kreisbahn kann durch den Ölfleckversuch (aus der 10. Jahrgangsstufe) zu $5 \cdot 10^{-11}$ m abgeschätzt werden.



- 3 BE a) Berechne die Kraft, welche das Proton auf das Elektron ausübt.
- 5 BE b) Mit welcher Bahngeschwindigkeit umkreist das Elektron das Proton?
(Ergebnis: $2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)
- 3 BE c) Welche kinetische Energie in eV besitzt das Elektron?
(Ersatz-Ergebnis: 10 eV)
- 4 BE d) Bestimme diejenige Arbeit, welche nötig ist, ein **ruhendes** Elektron vom Abstand r ins Unendliche zu befördern.
(Ersatz-Ergebnis: 25 eV)
- 2 BE e) Welche Arbeit ist zur Entfernung des Elektrons nötig, wenn man seine kinetische Energie mit berücksichtigt?

1. geg: $a = 0,80 \text{ m}$, $h = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $d = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $Q = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

9 BE

a) Kapazität der Platten:

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d} = \varepsilon_o \frac{a^2}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}} \cdot \frac{(0,80 \text{ m})^2}{2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 2,83 \cdot 10^{-10} \frac{\text{C}}{\text{V}}$$

Spannung zwischen den Platten:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Qd}{\varepsilon_o a^2} = 1,41 \cdot 10^3 \text{ V}$$

Feldstärke einer der Platten:

$$E = \frac{1}{2} \frac{U}{d} = \frac{Q}{2\varepsilon_o a^2} = 35,3 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Kraft zwischen den Platten:

$$F = QE = \frac{Q^2}{2\varepsilon_o a^2} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

3 BE

b) Bei allgemeiner Rechnung erkennt man, dass die Kraft unabhängig von d ist.

Ansonsten gilt:

$$C \sim \frac{1}{d}$$

$$U \sim \frac{1}{C} \sim d$$

$$E = \frac{U}{d} = \text{const.}$$

$$F \sim E = \text{const.}$$

8 BE

c) geg: $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Masse der Platten:

$$m = \rho V = \rho a^2 h = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,80 \text{ m})^2 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,73 \text{ kg}$$

Beschleunigung:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1,4 \cdot 10^{-2} \text{ N}}{1,73 \text{ kg}} = 8,09 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Bewegungsgleichung (Begegnung nach $\frac{d}{2}$):

$$\frac{d}{2} = \frac{a}{2} t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{d}{a}} = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{8,09 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,6 \text{ s}$$

($t = 1,3 \text{ s}$ bei Verwendung des Ersatz-Ergebnis)

2. geg: $R = 0,060 \text{ m}$, $U = 1800 \text{ V}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A s}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

5 BE a) Coulomb-Potential:

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

$$Q = 4\pi\epsilon_0 R U$$

Coulomb-Feld:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{4\pi\epsilon_0 R U}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{U}{R} = \frac{1800 \text{ V}}{0,060 \text{ m}} = 30 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

4 BE b) geg: $d = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \ll R$.

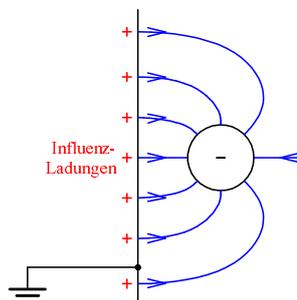
Feldstärke im Abstand d :

$$E = \frac{U}{(R+d)} \approx \frac{U}{d} = 30 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Kraft auf Elektron:

$$F = Ee = 30 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A s} = 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

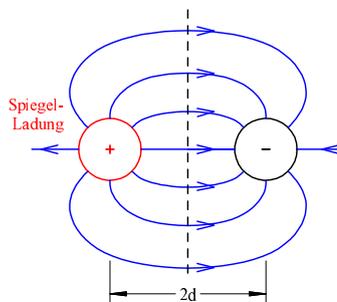
4 BE c)



Auf der Platte werden positive Ladungen induziert, welche das Elektron anziehen.

7 BE d) geg: $F = 4,8 \cdot 10^{-17} \text{ N}$.

Prinzip der Spiegelladung:



Kraft zwischen Elektron und Anti-Elektron im Abstand $2d$:

$$F_i = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 (2d)^2} = \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 d^2}$$

Kräftegleichheit:

$$\begin{aligned}
 F_i &= F \\
 \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 d'^2} &= F \\
 d' &= \frac{e}{\sqrt{16\pi\epsilon_0 F}} \\
 &= \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A s}}{\sqrt{16\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V m}} \cdot 4,8 \cdot 10^{-17} \text{ N}}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,1 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

- 3 BE e) Die Kugelfläche kann bei sehr kleinen Abständen durch eine ebene Fläche ersetzt werden. Die Influenz-Kraft überlagert sich stets der Coulomb-Kraft. Jedoch erst wenn sich das Elektron der Kugel bis auf die Größenordnung μm nähert, tritt der Effekt der Anziehung durch Influenz merklich in Erscheinung (1% der Kraft). Ansonsten kann der Effekt der Influenz bei freien Elektronen getrost vernachlässigt werden.

3. geg: $Q_P = e$, $Q_E = e$, $r = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

- 3 BE a) Coulomb-Kraft:

$$F_C = \frac{Q_P \cdot Q_E}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V m}} \cdot (5 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

- 5 BE b) Coulombkraft als Zentripetalkraft:

$$\begin{aligned}
 F_Z &= F_C \\
 \frac{mv^2}{r} &= F_C \\
 v &= \sqrt{\frac{rF_C}{m}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-11} \text{ m} \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

- 3 BE c) Kinetische Energie:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 14 \text{ eV}$$

- 4 BE d) Arbeit, um ruhendes Elektron zu entfernen:

$$W_{0\infty} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V m}} \cdot 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}} = 4,6 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 29 \text{ eV}$$

- 2 BE e) Die Arbeit, um ein bewegtes Elektron zu entfernen ist um die kinetische Energie geringer, denn diese wird vom Elektron sozusagen mit eingebracht:

$$W_\infty = W_{0\infty} - E_{\text{kin}} = 29 \text{ eV} - 14 \text{ eV} = 15 \text{ eV}$$