

3.1. Aufgaben zur Elektrostatik

Aufgabe 1

- Wie lassen sich elektrische Ladungen nachweisen?
- Wie kann man positive und negative elektrische Ladungen unterscheiden?
- In welcher Einheit gibt man elektrische Ladungen an?

Aufgabe 2

- Nenne die Namen und die Ladung der drei Elementarteilchen, aus denen ein Atom aufgebaut ist.
- Was sind Edelgase?
- Welche Merkmale hat ein typisches Metallatom und wie versucht es den Edelgaszustand zu erreichen?
- Welche Merkmale hat ein typisches Nichtmetallatom und wie versucht es den Edelgaszustand zu erreichen?

Aufgabe 3

Formuliere mit einer chemischen Gleichung, wie die folgenden Elemente durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen den Edelgaszustand erreichen und welche Ladung die dabei entstehenden Ionen haben.

Beispiel: Kalium ${}_{19}\text{K} \rightarrow {}_{19}\text{K}^+ + 1 \text{e}^-$ (Argon)

- a) Natrium ${}_{11}\text{Na}$ b) Fluor ${}_{9}\text{F}$ c) Beryllium ${}_{4}\text{Be}$ d) Phosphor ${}_{15}\text{P}$ e) Aluminium ${}_{13}\text{Al}$ f) Schwefel ${}_{16}\text{S}$

Aufgabe 4: Salze

- Skizziere das Kristallgitter von Magnesiumoxid MgO mit jeweils 8 Ionen.
- Warum ist das Kristallgitter von Magnesiumoxid viel schwerer zu schmelzen und zu lösen als das von Natriumchlorid?
- In welchem Zustand leiten Salze den elektrischen Strom?

Aufgabe 5: Metalle

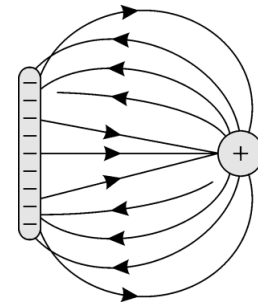
- Skizziere das Metallgitter von Aluminium ${}_{13}\text{Al}$ mit 4 Atomen.
- Wie werden die positiven geladenen Aluminiumionen in dem Gitter zusammengehalten?
- Wie verhält sich die Leitfähigkeit von Metallen bei steigenden Temperaturen? Begründe.
- Warum leitet Aluminium den Strom besser als Natrium?

Aufgabe 6: Nichtmetalle

- Skizziere zwei Fluoratom ${}_{9}\text{F}$ mit jeweils allen Elektronen und Energiestufen.
- Zeige, wie die beiden Atome gemeinsam durch Bildung eines Moleküls den Edelgaszustand anstreben.
- Wie werden die beiden Atome im Molekül zusammengehalten?
- Wie reagiert das Fluormolekül auf ein sich näherndes negatives Ion?

Aufgabe 7: Feldlinien

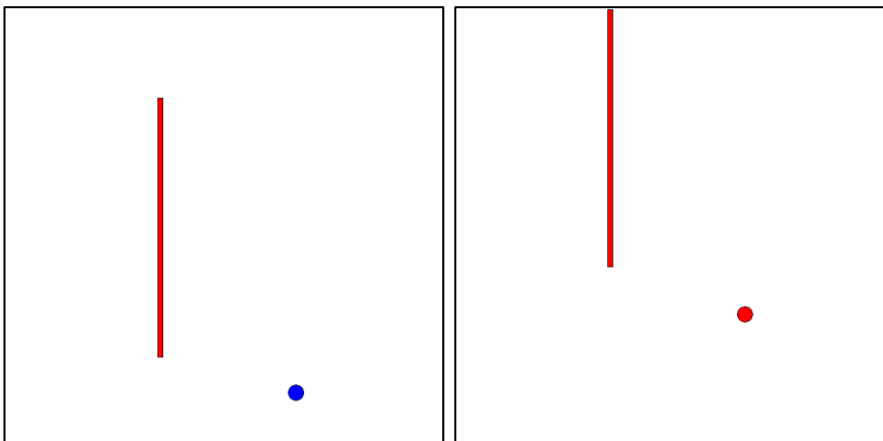
- Zeichne die Feldlinien für zwei positive geladene Metallkugeln.
- Nenne vier Fehler in dem nebenstehenden Feldlinienbild und begründe.



Aufgabe 8: Feldlinien

Zeichne die Feldlinien für Platte und Kugel

- entgegengesetzt geladen (links)
- gleichnamig geladen (rechts)



Aufgabe 9: Elektrischer Fluss und Feldstärke

Zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Platten herrscht eine Feldstärke von $E = 3000 \text{ N/C}$.

- Wie groß ist die Kraft auf eine Ladung von $Q = 2 \text{ mC} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$?
- Wie groß ist der Fluss zwischen den Platten, wenn die Platten einen Flächeninhalt von 200 cm^2 besitzen?
- Wie groß ist die Ladung einer Platte, wenn man annimmt, dass die Feldstärke außerhalb der Platten vernachlässigbar gering ist?
- Wie viele Elektronen sind auf der negativ geladenen Platte zuviel und wie viele sind auf der positiv geladenen Platte zuwenig?

Aufgabe 10: Coulomb-Gesetz

Berechne jeweils die elektrische Feldstärke und den elektrischen Fluss:

- In einer Entfernung $r = 10 \text{ m}$ von einer Punktladung mit $Q = 10^{-5} \text{ C}$
- An der Oberfläche einer Metallkugel mit dem Radius $r = 20 \text{ cm}$ und der Ladung $Q = 10^{-9} \text{ C}$
- In einem Abstand $d = 10 \text{ cm}$ von der Oberfläche der Kugel aus b)

Aufgabe 11: Coulomb-Gesetz

- Wie groß ist die Abstoßung zweier Kugeln mit den Ladungen $Q_1 = 10^{-7} \text{ C}$ und $Q_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, die sich im Abstand $r = 50 \text{ cm}$ zueinander befinden?
- Zwei entgegengesetzt gleich geladene Kugeln ziehen sich in 10 cm Abstand mit 300 N an. Wie groß sind die Ladungen der Kugeln?
- Zwei jeweils 2 g schwere Kugeln hängen dicht nebeneinander an $l = 20 \text{ cm}$ langen Fäden. Nun werden sie durch einen Gummistab geladen und dadurch um $2s = 10 \text{ cm}$ auseinandergedrängt. Wie groß ist die Ladung der beiden Kugeln?
- Eine 3 g schwere Kugel mit der Ladung 10^{-8} C hängt an einem 4 m langen Faden. Um welche Strecke s wird die Kugel ausgelenkt, wenn eine zweite Kugel mit der gleichen Ladung an den ursprünglichen Platz der ersten Kugel gebracht wird? Der Ablenkungswinkel α ist so klein, dass näherungsweise $\tan(\alpha) = \sin(\alpha)$ gilt.
- Nach dem (vereinfachten) Bohr-Modell des Wasserstoffatoms umkreist ein negatives Elektron den Atomkern, der aus einem positiven Proton besteht. Die Beträge der beiden Ladungen sind gleich der Elementarladung von $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ und der Radius der Kreisbahn ist $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Berechne die Coulomb-Kraft zwischen Elektron und Proton und die Geschwindigkeit des Elektrons, wenn es eine Masse von $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ besitzt.

Aufgabe 12: Kondensatoren

Zwei Kondensatorplatten von je $0,25 \text{ m}^2$ Fläche stehen sich im Abstand von 2 mm gegenüber. Nun wird eine Spannung von 200 V angelegt.

- Welche Feldstärke wirkt auf eine Ladung, die sich **zwischen** den Platten befindet?
- Welche Feldstärke wirkt auf jede der Platten selbst?
- Welcher Ladungsbetrag Q liegt auf jeder Platte vor?
- Mit welcher Kraft F ziehen sich die Platten an?

Aufgabe 13: Kondensatoren

An einen Plattenkondensator mit dem Flächeninhalt $A = 400 \text{ cm}^2$ je Platte und dem Plattenabstand $d = 3 \text{ mm}$ wird die Spannung $U = 500 \text{ V}$ angelegt. Nach dem Ladevorgang wird die Spannungsquelle vom Kondensator getrennt.

- Welche Feldstärke herrscht zwischen den Platten?
- Welche Ladung Q nimmt der Kondensator auf?
- Wie ändern sich die Feldstärke und die Spannung, wenn der Abstand der Platten nach der Trennung von der Spannungsquelle um 1 mm erhöht wird?

Aufgabe 14: Kondensatoren

Ein Kondensator hat zwei kreisförmige Platten mit einem Durchmesser von 20 cm und einen Plattenabstand von 3 mm . Der Kondensator wird mit einer Spannung von 400 V geladen. Dann wird die Spannungsquelle entfernt.

- Berechne die Feldstärke und die Ladung des Kondensators.
- Wie ändern sich die Feldstärke und die Spannung, wenn der Abstand der Platten **nach** der Trennung von der Spannungsquelle verdoppelt wird?
- Wie ändern sich die Feldstärke und die Spannung, wenn der Abstand der Platten **vor** der Trennung von der Spannungsquelle verdoppelt wird?

Aufgabe 15: Kondensatoren

Zwischen die **horizontal** liegenden Platten eines Kondensators mit einem Plattenabstand von 8 mm und einer Spannung von 5640 V schweben geladene Öltröpfchen mit der Masse $2,3 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$. Berechne die Anzahl der überzähligen Elektronen auf jedem Tröpfchen, wenn die Fallbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ beträgt und jedes Elektron die Elementarladung von $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ trägt.

Aufgabe 16: Kondensatoren

Zwischen die **horizontal** liegenden Platten eines Kondensators mit einem Plattenabstand von $6,4 \text{ mm}$ und einer Spannung von 1250 V schweben geladene Öltröpfchen mit dem Radius $r = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ und der Dichte $\rho = 0,9 \text{ g/cm}^3$. Berechne die Ladung der Tröpfchen, wenn die Fallbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ beträgt.

Aufgabe 17: Energie des elektrischen Feldes

Ein Plattenkondensator mit kreisförmigen, 20 cm großen Platten mit einem Abstand von $d = 2$ mm wird mit 500 V aufgeladen und dann von der Spannungsquelle getrennt. Welche Energie ist in dem Kondensator gespeichert?

Aufgabe 18: Energie des elektrischen Feldes

Ein Plattenkondensator mit der Fläche $A = 0,9 \text{ m}^2$ und dem Plattenabstand $d = 2,5$ mm wird mit 480 V aufgeladen und dann von der Spannungsquelle getrennt.

- Berechne die Feldstärke und die Ladung des Kondensators
- Welche Arbeit ist erforderlich, wenn man nun die Platten auf einen Abstand von 4 mm auseinanderzieht?

Aufgabe 19: Teilchenbeschleuniger

Berechne die kinetische Energie E_{kin} und die Teilchengeschwindigkeit v bei einer Beschleunigungsspannung von 10 kV für

- Elektronen mit der Ruhemasse $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Protonen mit der Ruhemasse $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- α -Teilchen (${}^4_2\text{He}$ Helium-Kerne)

Aufgabe 20: Influenz und Polarisierung

Ein Plattenkondensator besteht aus zwei quadratischen Platten der Seitenlänge $a = 20$ cm mit dem Abstand $d = 1$ mm. Welche Kapazität C_1 bzw. C_2 hat der Kondensator, wenn zwischen den Platten a) Luft und b) Plexiglas ($\epsilon_r = 3,2$) verwendet wird?

Aufgabe 21: Influenz und Polarisierung

Der Raum zwischen den Platten eines Kondensators mit der Kapazität $C = 30$ pF wird durch eine Plexiglasplatte mit $\epsilon_r = 3,2$, vollständig ausgefüllt. Der Kondensator wird mit 350 V geladen. Anschließend wird die Plexiglasplatte herausgezogen.

Welche Energie ist in dem Kondensator vor und nach dem Herausziehen der Platte gespeichert? Begründe mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes.

Aufgabe 22: Influenz und Polarisierung

Untersuche das Verhalten von Kapazität, Ladung, Spannung, Feldstärke und Energieinhalt eines Plattenkondensators ändern, wenn der Kondensator beim Aufladen Luft zwischen den Platten hatte und dann eine Kunststoffplatte mit $\epsilon_r = 3,2$ zwischen die Platten geschoben wurde.

- Der Kondensator bleibt an der Spannungsquelle angeschlossen
- Der Kondensator wird vor dem Einschieben der Platte von der Spannungsquelle getrennt.

Aufgabe 23: Gewitter

Eine Wolke befindet sich in der Höhe $h = 420$ m über dem Erdboden und hat eine Flächenausdehnung von $A = 100\,000 \text{ m}^2$. Zwischen der Wolke und dem Erdboden, die man als geladenen Kondensator auffassen kann, wird eine Feldstärke von 200 000 V/m gemessen.

- Wie groß ist die Spannung zwischen Wolke und Erdboden?
- Wie groß ist die elektrische Ladung der Wolke?
- Wie groß ist die in dem elektrischen Feld zwischen Wolke und Erdboden gespeicherte Energie?

3.1. Lösungen zu den Aufgaben zur Elektrostatik

Aufgaben 1 und 2

siehe Theorie

Aufgabe 3

- $_{11}\text{Na} \rightarrow _{11}\text{Na}^+ + 1 e^-$ (Neon)
- $_9\text{F} + e^- \rightarrow _9\text{F}^-$ (Neon)
- $_4\text{Be} \rightarrow _4\text{Be}^{2+} + 2 e^-$ (Helium)
- $_{15}\text{P} + 3 e^- \rightarrow _{15}\text{P}^{3-}$ (Argon)
- $_{13}\text{Al} \rightarrow _{13}\text{Al}^{3+} + 3 e^-$ (Neon)
- $_{16}\text{S} + 2 e^- \rightarrow _{16}\text{S}^{2-}$ (Argon)

Aufgabe 4: Salze

- siehe rechts
- Infolgeder doppelten Ladung ist die elektrische Anziehung der Ionen untereinander viel größer als bei Na^+Cl^- und das Gitter ist gegenüber Erwärmung oder Angriff von Wassermolekülen viel widerstandsfähiger.
- Salze leiten den elektrischen Strom nur, wenn die Ionen sich frei bewegen können, d.h. im gelösten, geschmolzenen oder gasförmigen Zustand.

Aufgabe 5: Metalle

- siehe rechts oben
- Die positiv geladenen Aluminiumionen werden durch das negativ geladene Elektronengas zusammengehalten
- Bei steigender Temperatur behindert die Vibration der Aluminiumionen den Elektronenfluss
- Das Elektronengas von Aluminium enthält dreimal so viele Außenelektronen pro Atom wie das von Natrium

Aufgabe 6: Nichtmetalle

- siehe rechts
- siehe rechts
- Die negativ geladenen Bindungselektronen halten die positiv geladenen Atomkerne zusammen.
- Die Elektronen des Moleküls werden in die entgegengesetzte Richtung gedrängt, wo sich eine negative Teilladung bildet. Auf der dem negativen Ion zugewandten Seite entsteht durch den Elektronenmangel und die Ladung des Atomkerns eine positive Teilladung. Insgesamt bildet sich durch diese Polarisierung ein Dipol.

Aufgabe 7: Feldlinien

- siehe Theorie
- Feldlinien können sich nicht **überschneiden**, denn an der Kreuzung wäre die Kraftrichtung nicht eindeutig festgelegt. (Sie können sich dagegen ungestört überlagern und dann werden die Kraftpfeile addiert.)

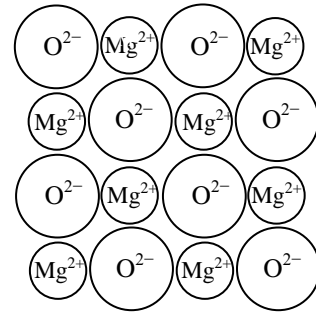
Feldlinien können nicht im Raum **vor dem Leiter** **enden**, weil eine Probeladung nicht vor einem geladenen Körper einfach stehenbleibt. Es wirkt immer eine abstoßende oder anziehende Kraft.

Feldlinien können nicht **schief auf der Leiteroberfläche** stehen, weil die Ladungsträger im Leiter so lange an der Oberfläche verschoben werden, bis sich alle Kräfte entlang der Oberfläche ausgleichen.

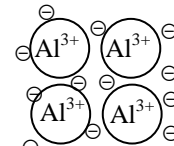
Benachbarte Feldlinien können nicht **entgegengesetzte Richtungen** haben, weil die Kraftrichtung zwischen den beiden Linien dann nicht festgelegt ist.

Aufgabe 8: Feldlinien

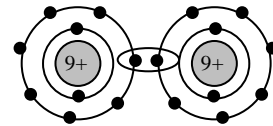
- entgegengesetzt geladen: rechts oben
- gleichnamig geladen: rechts unten



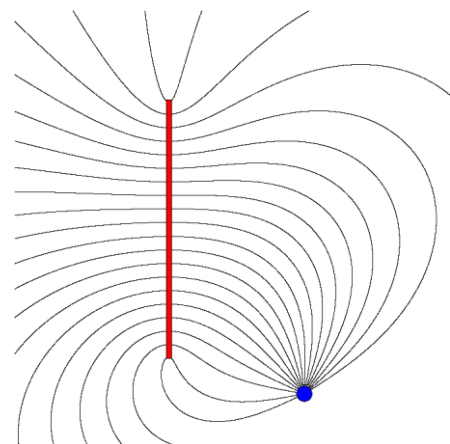
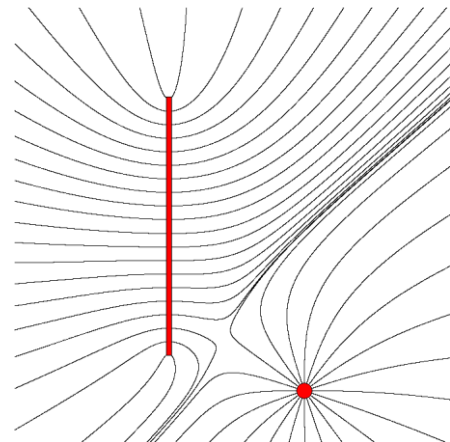
Magnesiumoxid $\text{Mg}^{2+}\text{O}^{2-}$



Aluminium Al



Fluor F_2



Aufgabe 9: Elektrischer Fluss und Feldstärke

- a) $F = E \cdot Q = 6 \text{ N}$.
 b) $\Phi = E \cdot A = 60 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{m}^2$.
 c) $Q = \epsilon_0 \cdot \Phi = 5,3 \cdot 10^{-10} \text{ C}$
 d) Es sind $\frac{5,3 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 3,3$ Milliarden Stück.

Aufgabe 10: Coulomb-Gesetz

$$\Phi = \frac{Q}{\epsilon_0} \text{ und } E = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \Rightarrow$$

- a) $\Phi \approx 1\,128\,670 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$ und $E \approx 898,2 \text{ N/C}$
 b) $\Phi \approx 112,9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$ und $E \approx 224,5 \text{ N/C}$
 c) $\Phi \approx 112,9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$ und $E \approx 99,8 \text{ N/C}$

Aufgabe 11: Coulomb-Gesetz

a) $F_C = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon_0 \cdot 4\pi r^2} \approx 0,018 \text{ N}$.

b) $Q_1 = Q_2 = \sqrt{F_C \cdot \epsilon_0 \cdot 4\pi r^2} \approx 1,83 \cdot 10^5 \text{ C}$.

c) Der Auslenkwinkel zur Vertikalen ist $\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{s}{l}\right) \approx 14,48^\circ$.

Die Gewichtskraft ist $F_g = m \cdot g = 0,02 \text{ N}$.

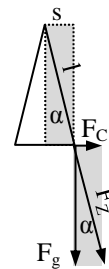
Die Coulomb-Kraft ist dann $F_C = F_g \cdot \tan(\alpha) = 0,0052 \text{ N}$.

Die Ladung ist $Q_1 = Q_2 = \sqrt{F_C \cdot \epsilon_0 \cdot 4\pi(2s)^2} \approx 7,6 \cdot 10^8 \text{ C}$

d) Aus der Skizze von Teil c) und mit den gleichen Bezeichnungen erhält man

$$\frac{s}{4 \text{ m}} = \sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) = \frac{F_C}{F_g} \approx \frac{Q^2}{\epsilon_0 \cdot 4\pi(2s)^2} \Leftrightarrow s \approx \sqrt[3]{\frac{Q^2 \cdot l}{\epsilon_0 \cdot 16\pi}} \approx 4,1 \text{ cm}$$

e) Zentripetalkraft $F_Z = \text{Coulomb-Kraft } F_C \Leftrightarrow \frac{mv^2}{r} = \frac{Q^2}{\epsilon_0 \cdot 4\pi r^2} = 8,19 \cdot 10^{-8} \text{ N}$ und $v = \frac{Q}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot 4\pi r \cdot m}} \approx 2,18 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

**Aufgabe 12: Kondensatoren**

a) $E = \frac{U}{d} = 100\,000 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

b) $\frac{1}{2} E = 50\,000 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

c) $Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A \approx 2,21 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

d) $F = \frac{1}{2} E \cdot Q \approx 1,10 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

Aufgabe 13: Kondensatoren

a) $E = \frac{U}{d} \approx 166\,666 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

b) $Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A \approx 5,90 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

c) Die Feldstärke bleibt gleich und die Spannung erhöht sich auf ca. 667 V.

Aufgabe 14: Kondensatoren

a) $E = \frac{U}{d} \approx 133\,333 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ und $Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A \approx 3,71 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

b) Die Feldstärke bleibt gleich und die Spannung verdoppelt sich auf 800 V.

c) Die Spannung bleibt gleich und die Feldstärke halbiert sich auf ca. 66 666 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$.

Aufgabe 15: Kondensatoren

Wenn die Tröpfchen schweben, herrscht Gleichgewicht zwischen der Gewichtskraft $F_g = m \cdot g$ und der Coulomb-Kraft $F_C = E \cdot Q =$

$$\frac{U \cdot Q}{d}. \text{ Aus } F_g = F_C \text{ folgt } Q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U} \approx 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \text{ also 2 Elektronen pro Tröpfchen.}$$

Aufgabe 16: Kondensatoren

Die Tröpfchen haben ein Volumen von $V = \frac{4}{3}\pi r^3 \approx 1,41 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3$ und ein Gewicht von $m = \rho \cdot V \approx 1,27 \cdot 10^{-19} \text{ kg}$. Wenn die

Tröpfchen schweben, herrscht Gleichgewicht zwischen der Schwerkraft $F_g = m \cdot g$ und der Coulomb-Kraft $F_C = E \cdot Q = \frac{U \cdot Q}{d}$.

Aus $F_g = F_C$ folgt $Q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U} \approx 6,39 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, also 4 Elektronen pro Tröpfchen

Aufgabe 17: Energie des elektrischen Feldes

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{\epsilon_0 \cdot \pi r^2}{d} \approx 2,78 \cdot 10^{-10} \frac{\text{C}}{\text{V}} \Rightarrow W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = 3,48 \cdot 10^{-5} \text{ J.}$$

Aufgabe 18: Energie des elektrischen Feldes

a) $E = \frac{U}{d} = 192\,000 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ und $Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A \approx 1,53 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

b) $W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot \Delta U = \frac{1}{2} \cdot E \cdot Q \cdot \Delta d = 2,20 \cdot 10^{-4} \text{ J.}$

Aufgabe 19: Teilchenbeschleuniger

a) $E_{\text{kin}} = 10 \text{ keV} \approx 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ und $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}} \approx 5,93 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

b) $E_{\text{kin}} = 10 \text{ keV} \approx 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ und $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}} \approx 1,38 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

c) $E_{\text{kin}} = 20 \text{ keV} \approx 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ und $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}} \approx 9,81 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

Aufgabe 20: Influenz und Polarisation

$C_1 = 354 \mu\text{F}$ und $C_2 = 1,13 \text{ nF}$

Aufgabe 21: Influenz und Polarisation

Vor dem Herausziehen $W_1 = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ und nach dem Herausziehen nur noch $W_2 = 5,75 \cdot 10^{-7} \text{ J}$. Beim Herausziehen wird Arbeit gegen die aus dem Rand tretenden Feldlinien geleistet.

Aufgabe 22: Influenz und Polarisation

a) Kapazität $C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$ und Ladung $Q = C \cdot U$ verdreifachen sich, Spannung U und Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ bleiben gleich,

Energie $E = \frac{1}{2} C U^2$ verdreifacht sich.

b) Kapazität $C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$ verdreifacht sich, Ladung bleibt gleich, Spannung $U = \frac{Q}{C}$, Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ und Energie $E = \frac{1}{2} C U^2$ sinken auf ein Drittel.

Aufgabe 23: Gewitter

a) $U = 8,4 \cdot 10^7 \text{ V}$ b) $Q = 0,177 \text{ C}$ c) $W = 7,42 \text{ MJ}$