

1. Bei der Bewegung handelt es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, da der Graph im t - v -Diagramm eine Gerade ist.

Eigenschaften:

- v nimmt in der gleichen Zeit um den gleichen Betrag zu,
- die Steigung und damit die Beschleunigung sind konstant,
- zum Zeitpunkt $t = 0$ ist beträgt die Geschwindigkeit 2.

2. Es gilt: $v(t) = a \cdot t + v_0$.

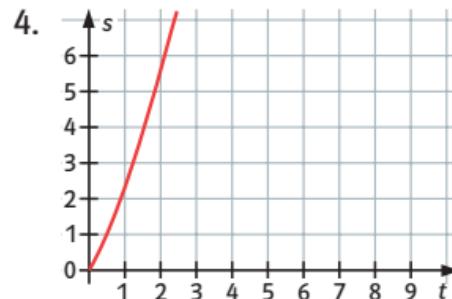
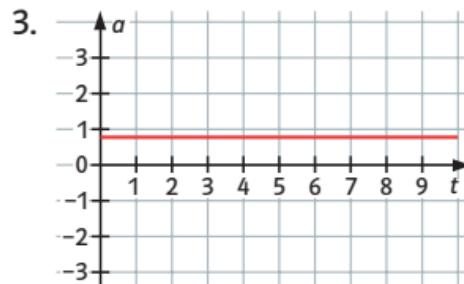
Dem Diagramm entnimmt man:

$$v(t = 0) = v_0 = 2 \text{ m/s},$$

$$v(t = 5) = a \cdot 5 \text{ s} + 2 \text{ m/s} = 6 \text{ m/s} \Rightarrow a = 0,8 \text{ m/s}^2,$$

und somit gilt:

$$v(t) = 0,8 \text{ m/s}^2 \cdot t + 2 \text{ m/s}.$$



1. $s(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$

$$s(t = \text{gesucht}) = 100 \text{ m} = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$100 \text{ m} = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2$$

$$t = 4,5 \text{ s}$$

$$v(t = 4,5 \text{ s}) = g \cdot t = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4,5 \text{ s} = 44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Zur Fallzeit von 4,5 s kommt die Zeit dazu, die der Schall benötigt, um nach oben zukommen.

$$t_{\text{gesamt}} = t + t_{\text{Schall}} = 4,5 \text{ s} + \frac{100 \text{ m}}{330 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4,8 \text{ s}$$

3. Wirft man den Stein mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in den Brunnen, so erreicht er den Boden nach kürzerer Zeit und mit einer höheren Geschwindigkeit.

$$s(t = \text{gesucht}) = 100 \text{ m} = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$100 \text{ m} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2$$

Löst man diese quadratische Gleichung nach t auf, so folgt:

$$t_1 = 3,2 \text{ s} \quad (t_2 = -6,0 \text{ s} \text{ entfällt}),$$

$$v(t = 3,24 \text{ s}) = v_0 + g \cdot t = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,24 \text{ s} = 46,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



1. Da nach einer Zeit von $t = 1,6\text{ s}$ die Kugel am Boden ankommt, ist $s_y(t = 1,6\text{ s}) = 0$.

Somit gilt: $s_y(t = 1,6\text{ s}) = 0 = s_{y,0} + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$.

Da die Kugel vom Boden abgeworfen wird, ist $s_{y,0} = 0$.

$$0 = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin \alpha \cdot 1,6\text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1,6\text{ s})^2$$

$$\sin \alpha = 0,65 \text{ und damit } \alpha = 40,8^\circ \approx 41^\circ$$

2. Die Wurfweite ergibt sich aus $s_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$:

$$s_x(t = 1,6\text{ s}) = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 41^\circ \cdot 1,6\text{ s} = 14,5\text{ m}.$$

3. Um den höchsten Punkt der Kugel zu bestimmen, muss man die Zeit berechnen, die die Kugel benötigt, um diesen Punkt zu erreichen.

Im höchsten Punkt gilt: $v_y = 0$.

$$0 = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$$

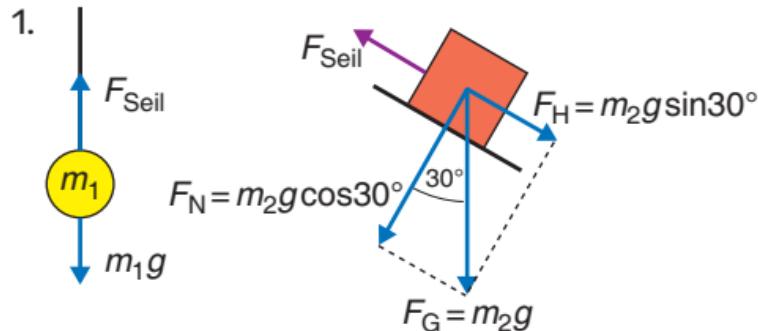
$$0 = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 41^\circ - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t$$

$$t = 0,8\text{ s}$$

Wurfhöhe:

$$s_y(t = 0,8\text{ s}) = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 41^\circ \cdot 0,8\text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,8\text{ s})^2 = 3,2\text{ m}$$





2. Auf den Körper m_2 wirkt die Hangabtriebskraft F_H . Ihr entgegen wirkt die Gewichtskraft G_1 des Körpers m_1 .

$$F_H = m_2 \cdot g \cdot \sin 30^\circ = 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 30^\circ = 24,5 \text{ N}$$

$$G_1 = m_1 \cdot g = 3 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 29,4 \text{ N}$$

Da $G_1 > F_H$ bewegen sich die beiden Körper in Richtung von G_1 .

3. Da sich der Körper entgegen der Hangabtriebskraft F_H bewegt, wirkt die Haftreibungskraft F_{Haft} in Richtung von F_H .

$$F_{\text{Haft}} = f \cdot F_H = f \cdot m_2 \cdot g \cdot \cos 30^\circ = 0,1 \cdot 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 30^\circ = 4,2 \text{ N}$$

$$F_H + F_{\text{Haft}} = 28,7 \text{ N} < 29,4 \text{ N} = G_1$$

Somit bewegen sich die beiden Körper immer noch in Richtung von G_1 .



1. Im unteren Punkt führt die Kugel um dem Punkt M_2 eine Kreisbewegung aus. Dabei erfährt sie folgende Kräfte (s. Abb. 1):

- Zentrifugalkraft \vec{F}_Z ,
- Gewichtskraft \vec{F}_G .
- Diese beiden Kräfte zusammen ergeben eine resultierende Kraft \vec{F}_{Res} , die senkrecht zur Tangente an die Rinne liegt.

Die gleichen Kräfte erfährt die Kugel im oberen Punkt M_1 .

2. Dazu muss man die beiden Anteile von F_Z und F_G in tangentialer Richtung (F_{Z_t} , F_{G_t}) betrachten. Heben sich die beiden Anteile gerade auf, so ist die Kugel kräftefrei und bleibt liegen (s. Abb. 2).

3. Die Herleitung bezieht sich auf Abbildung 3.

Für die Höhe h gilt: $h = R - R \cdot \cos \alpha = (1 - \cos \alpha) \cdot R$.

Für die tangentiale Komponente der Zentrifugalkraft gilt: $F_{Z \text{ tangential}} = m \omega^2 \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$.

Für die tangentiale Komponente der Gewichtskraft gilt: $F_{G \text{ tangential}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha$.

Es gilt: $F_{Z \text{ tangential}} = F_{G \text{ tangential}}$ und somit: $\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2 \cdot R}$

und somit für h : $h = (1 - \frac{g}{\omega^2 \cdot R}) \cdot R = R - \frac{g}{\omega^2}$.

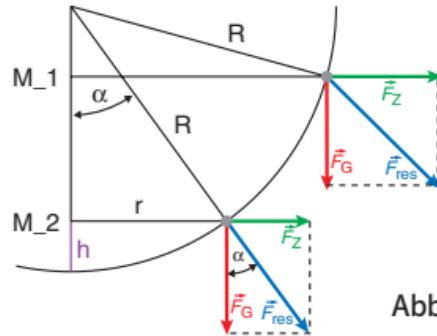


Abb. 1

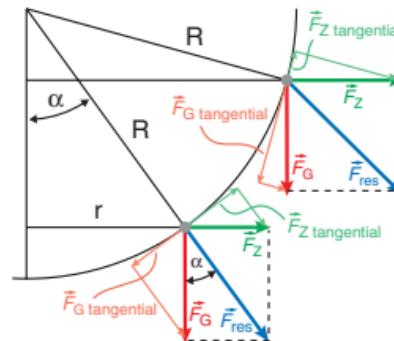


Abb. 2

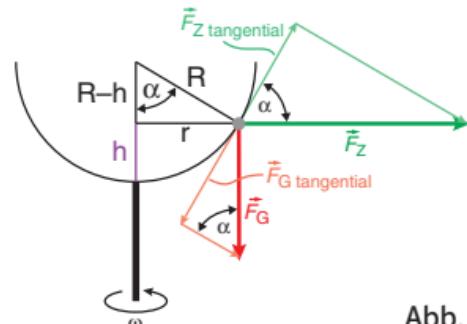


Abb. 3

1. Zentraler elastischen Stoß:

- Es gelten Impuls- und Energieerhaltungssatz für die kinetische Energie.
- Kein Verlust von kinetischer Energie.
- Nach dem Stoß bewegen sich die Körper getrennt von einander.

Zentraler unelastischer Stoß:

- Der Impulserhaltungssatz gilt, ein Energieerhaltungssatz für die kinetische Energie gilt nicht.
- Verlust von kinetischer Energie in Form von Wärme, Verformung oder potentieller Energie.
- Nach dem Stoß bewegen sich die Körper gemeinsam mit der gleichen Geschwindigkeit fort.

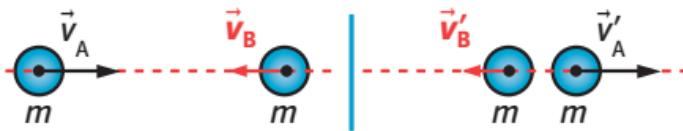
2. Die beiden Körper bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in die Richtung fort, die der schwerere Körper vor dem Stoß hatte.

$$\text{Impulserhaltungssatz: } m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

$$\text{Energieerhaltungssatz: } \frac{1}{2}m_A \cdot v_A^2 + \frac{1}{2}m_B \cdot v_B^2 = \frac{1}{2}m_A \cdot v'^2_A + \frac{1}{2}m_B \cdot v'^2_B$$

$$\text{Durch Umformen ergibt sich: } v_A = \frac{2m_B \cdot v_B + (m_A - m_B) \cdot v_A}{m_A + m_B}; \quad v_B = \frac{2m_A \cdot v_A + (m_B - m_A) \cdot v_A}{m_A + m_B}.$$

3. Die beiden Körper tauschen ihre Geschwindigkeiten: $v'_A = v_B$ und $v'_B = v_A$.



1. Da der Satellit an den verschiedenen Stellen unterschiedliche Entfernungen zur Erde hat, ist die Gravitationskraft nicht gleich groß. (Abb. 1)

2. Die Gravitationskraft wird in eine Tangential- und eine Normalkomponente zerlegt.

Die Tangentialkomponente ist für die Änderung des Betrages der Bahngeschwindigkeit, die Normalkomponente für die Richtungsänderung verantwortlich.

Im Bereich zwischen A bis D hat die Tangentialkomponente die gleiche Richtung wie die Bahngeschwindigkeit. Somit wird der Betrag in diesem Bereich größer.

Im Bereich zwischen D und A ist die Tangentialkomponenten der Bahngeschwindigkeit entgegengerichtet. Somit nimmt dort der Betrag ab.

Im von der Erde entferntesten Punkt A ist die Geschwindigkeit am kleinsten.

Im der Erde nächsten Punkt D ist sie am größten.

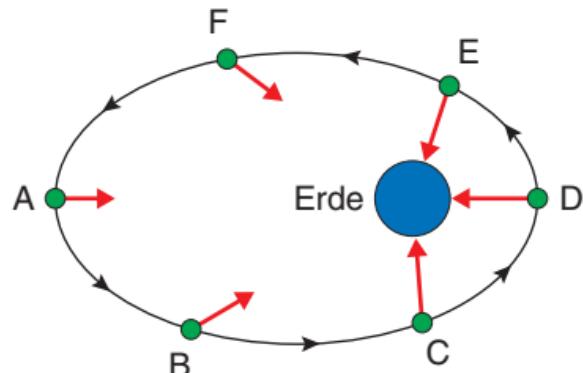


Abb. 1



1. Bei der Fahrt treten zwei mechanische Energieformen auf, die potentielle und die kinetische Energie. Da der Waggon im Punkt A mit $v = 0$ startet, hat er in diesem Punkt keine kinetische Energie. Aufgrund seiner Höhe bzgl. des Punktes B (tiefster Punkt der Achterbahn) hat er potentielle Energie. Beginnt der Waggon nun mit seiner Fahrt, so gewinnt er an Geschwindigkeit und damit an kinetischer Energie. Die potentielle Energie nimmt ab, bis sie im Punkt B (Bezugsniveau) den Wert Null annimmt. Dort ist, wenn man von einem reibungsfreien System ausgeht, die kinetische Energie maximal. Bewegt sich der Waggon nun in Richtung des Punktes C, so nimmt seine Geschwindigkeit wieder ab und damit auch die kinetische Energie. Die potentielle Energie nimmt zu. Im Punkt C liegen beide Energieformen vor, da der Waggon nicht die Höhe des Punktes A erreicht hat und somit noch nicht die komplette kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt wurde.

2. Im Punkt A gilt: $E_{\text{kin}} = 0$ und E_{pot} ist maximal.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h_A = 400 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (100 \text{ m} - 20 \text{ m}) = 313920 \text{ J}$$

- Im Punkt B gilt: $E_{\text{pot}} = 0$ und E_{kin} ist maximal.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 313920 \text{ J} \quad \text{Aufgelöst nach } v_B \text{ folgt: } v_B \approx 40 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 144 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

- Im Punkt C gilt: $E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 313920 \text{ J}$.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 + m \cdot g \cdot h_C = \frac{1}{2} \cdot 400 \text{ kg} \cdot v_C^2 + 400 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (80 \text{ m} - 20 \text{ m}) = 313920 \text{ J}$$

$$v_C \approx 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$



1. Elektrische Ladung kann mit einem Elektroskop nachgewiesen werden. Man nähert dem Elektroskop einen elektrisch geladenen Körper. Schlägt der Zeiger des neutralen Elektroskops aus, so liegt eine Ladung vor. Auf diese Art ist es jedoch nicht möglich nachzuweisen, ob es sich um positive oder negative Ladung handelt. Will man die Art der Ladung wissen, so lädt man das Elektroskop z.B. positiv auf und nähert ihm den geladenen Körper. Wird der Zeigerausschlag größer, so ist der Körper auch positiv geladen, wird er kleiner, so ist der Körper negativ geladen.

Eine zweite Möglichkeit elektrische Ladung nachzuweisen, ist eine Glimmlampe. Dazu entlädt man den Körper über die Glimmlampe. Blitzt die zum Körper zugewandte Elektrode auf, so ist der Körper negativ geladen. Blitzt die andere Elektrode auf, so ist er positiv geladen.

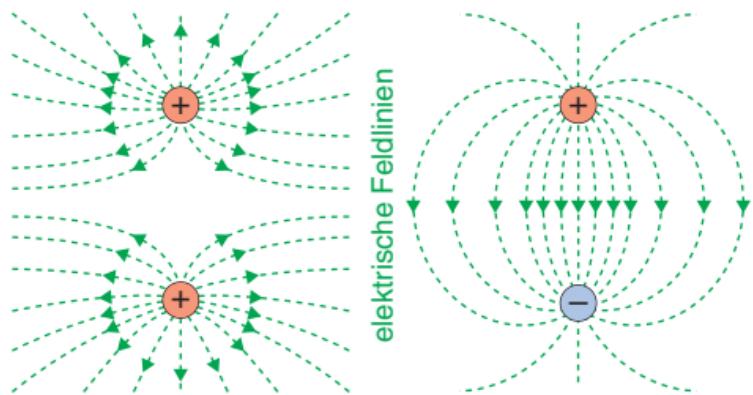
2. Ein elektrisch neutraler Körper hat gleich viele positive wie negative Ladungen.

3. a) Nähert man den positiv geladenen Körper nur dem Elektroskop, so findet im Elektroskop eine Ladungstrennung (Influenz) statt und das Elektroskop zeigt einen Ausschlag an. Die negativen Ladungen des Elektroskops wandern in Richtung des positiv geladenen Körpers, während die positiven Ladungen an ihren Plätzen bleiben. Entfernt man den geladenen Körper wieder, so geht der Ausschlag wieder zurück.

b) Berührt man das Elektroskop mit dem positiv geladenen Körper, so wandern die negativen Ladungen des Elektroskops auf den Körper und neutralisieren diesen. Das Elektroskop ist nun nicht mehr neutral, sondern hat einen Elektronenmangel. Entfernt man den nun neutralen Körper, so bleibt das Elektroskop positiv aufgeladen.



1. Mithilfe von Grieskörnern, die in Öl schwimmen, kann man elektrische Feldlinien sichtbar machen. Die Grieskörner verhalten sich wie kleine Dipole, die sich entlang der Feldlinien ausrichten.
2. Feldlinienbilder zweier Punktladungen:



3. Für die Flächenladungsdichte gilt: $\sigma = \frac{Q}{A} = \epsilon_0 \cdot E$ und damit gilt für die elektrische Feldstärke:
$$E = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_0} = \frac{5 \cdot 10^{-9} C}{4 \cdot \pi \cdot (0,025 m)^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} C^2/(N \cdot m^2)} = 71934,4 \frac{N}{C}$$

(Kugeloberfläche $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$).



1. Die Spannung U_{AB} zwischen den Punkten A und B ist definiert als Quotient der elektrischen Arbeit zum Transport der Ladung E_{AB} und der Ladung Q :

$$U_{AB} = \frac{E_{AB}}{Q} = \frac{2\text{J}}{1\text{mC}} = \frac{2\text{J}}{1 \cdot 10^{-3}\text{C}} = 2000\text{V}.$$

2. Die elektrische Arbeit E_{AB} entspricht der Differenz der potentiellen Energien zwischen den Punkten A und B. Daraus folgt:

$$E_{AB} = 2\text{J} = E_B - E_A = E_B - 8\text{J},$$

$$E_B = 2\text{J} + 8\text{J} = 10\text{J}.$$

3. Die Leistung P ist definiert als Quotient der Energieänderung und der dafür benötigten Zeit:

$$P = \frac{E_{AB}}{t} = \frac{2\text{J}}{10\mu\text{s}} = \frac{2\text{J}}{10 \cdot 10^{-6}\text{s}} = 200\text{kW}.$$



1. Die Kapazität eines Plattenkondensators hängt ab von der Größe der Platten, dem Abstand der Platten und dem Dielektrikum zwischen den Platten.
2. a) Bei angeschlossener Spannungsquelle ist die Spannung U konstant.

Für die Kapazität gilt: $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$. Vergrößert man nun den Plattenabstand auf das n-Fache, so verkleinert sich die Kapazität um das n-Fache.

Für den Betrag der Ladung gilt: $Q = C \cdot U$, da $U = \text{const.}$ und sich die Kapazität um das n-Fache verkleinert, so verkleinert sich auch die Ladung um das n-Fache.

Für die elektrische Feldstärke gilt: $E = \frac{U}{d}$. Auch die elektrische Feldstärke verkleinert sich bei Vergrößerung des Plattenabstandes um das n-Fache.

- b) Bei abgetrennter Spannungsquelle ist die Ladung Q auf dem Plattenkondensator konstant.

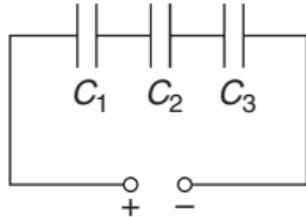
Für die Kapazität gilt: $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$. Vergrößert man nun den Plattenabstand auf das n-Fache, so verkleinert sich die Kapazität um das n-Fache.

Für die Spannung gilt: $U = \frac{Q}{C}$. Verkleinert sich die Kapazität um das n-Fache, so vergrößert sich die Spannung U um das n-Fache.

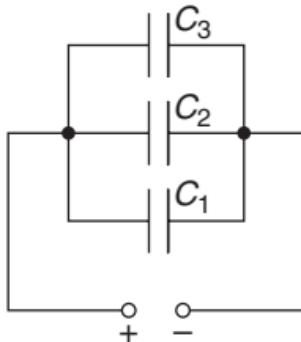
Für die elektrische Feldstärke gilt: $E = \frac{U}{d}$. Da sich sowohl die Spannung U als auch der Plattenabstand d um das n-Fache vergrößern, bleibt die elektrische Feldstärke konstant.



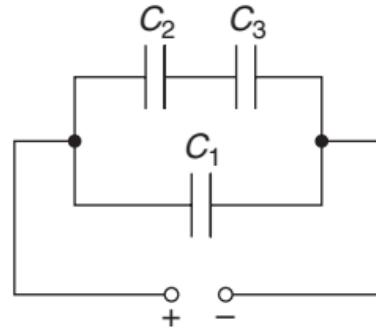
1. 1. Möglichkeit:



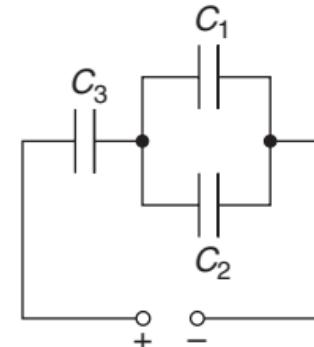
2. Möglichkeit:



3. Möglichkeit:



4. Möglichkeit:



2. 1. Möglichkeit:

$$\frac{1}{C_{\text{Ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{3}{C} \Rightarrow C_{\text{Ges}} = \frac{C}{3}$$

3. Möglichkeit:

Reihenschaltung aus C_2 und C_3

$$\frac{1}{C_{\text{Ers}_1}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{2}{C} \Rightarrow C_{\text{Ers}_1} = \frac{C}{2}$$

Parallelenschaltung aus C_{Ers_1} und C_1

$$C_{\text{Ges}} = C_{\text{Ers}_1} + C_1 = \frac{C}{2} + C_1 = 1\frac{1}{2}C$$

2. Möglichkeit

$$C_{\text{Ges}} = C_1 + C_2 + C_3 = 3C$$

4. Möglichkeit:

Parallelschaltung aus C_1 und C_2

$$C_{\text{Ers}_2} = C_1 + C_2 = 2C$$

Reihenhaltung aus C_{Ers_2} und C_3

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_{\text{Ers}_2}} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{C} = \frac{3}{2C} \Rightarrow C_{\text{Ges}} = \frac{2}{3}C$$



1. Elektronen können im Vakuum durch den glühelektrischen oder lichtelektrischen Effekt erzeugt werden.
In einem evakuierten Glaskolben befindet sich eine Drahtwendel, die durch eine Stromquelle erhitzt wird. Diese Drahtwendel sendet Elektronen aus, während die positiven Ladungsträger im Draht gebunden sind. Auch durch Bestrahlen einer negativ geladenen Metallplatte kann man ab einer bestimmten Energie Elektronen aus der Metalloberfläche lösen.
2. Tritt ein Elektron parallel zu den Feldlinien in ein elektrisches Feld ein, so hängt es davon ab, ob es in Richtung der Feldlinien oder entgegengesetzt zur Richtung der Feldlinien eintritt. Tritt es in Richtung der Feldlinien ein, so wird es abgebremst und kehrt um zur positiven Platte, wenn seine kinetische Energie aufgebraucht ist. Tritt es hingegen entgegengesetzt zur Richtung der Feldlinien ein, so wird es beschleunigt.
3. Tritt ein Elektron senkrecht zu den Feldlinien mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit ein, so bewegt es sich auf einer Parabelbahn, ähnlich der Bewegung beim waagerechten Wurf, in Richtung der positiven Platte.
4. In x -Richtung findet eine gleichförmige Bewegung statt: $v_x = v_0 = \frac{l}{t}$ bzw. $t = \frac{l}{v_x}$.
In y -Richtung findet eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung statt:
$$v_y = a \cdot t \text{ bzw. } y = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \frac{F}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \frac{E \cdot e}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{l^2}{v_x^2},$$
$$l^2 = 2y \cdot \frac{m}{e} \cdot \frac{d}{U} \cdot v_0^2 = 2 \cdot 0,004 \text{ m} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} / 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{0,01 \text{ m}}{50 \text{ V}} \cdot \left(1 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2,$$
$$l = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}.$$



- Die Ablenkung in y -Richtung findet durch die vertikalen Ablenkplatten statt. Da die Ablenkung nach oben erfolgt, ist die obere Platte positiv, die untere Platte negativ geladen.
Die Ablenkung in x -Richtung findet durch die horizontalen Ablenkplatten statt. Da die Ablenkung von vorne gesehen nach rechts erfolgt, ist die rechte Platte positiv, die linke Platte negativ geladen.
- Durch Erhöhung der Heizspannung kann man den Punkt auf dem Leuchtschirm heller machen.
- Da die elektrische Energie der Elektronen in kinetische Energie übergeht, gilt:

$$E_{\text{el}} = E_{\text{kin}} \text{ bzw. } e \cdot U = \frac{1}{2} m v_x^2.$$

Somit ist $v_x = \sqrt{2U_B \cdot \frac{e}{m}} = \sqrt{2 \cdot 1,5 \text{ kV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 22,97 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- Für die Ablenkung in y -Richtung gilt:

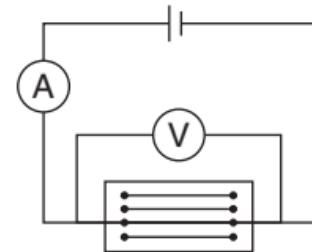
$$y = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t_x^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{U_y}{d} \cdot \frac{l^2}{v_x^2} \cdot$$

Für die Ablenkspannung U_y folgt:

$$U_y = 2 \cdot y \cdot d \cdot \frac{v_x^2}{l^2} \cdot \frac{m}{e} = 2 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 0,012 \text{ m} \cdot \frac{(22,97 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(0,05 \text{ m})^2} \cdot \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 576 \text{ V.}$$

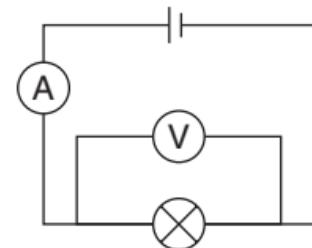


1. Ein elektrischer Widerstand, z.B. eine Glühlampe oder ein Draht, und ein Messgerät für die Stromstärke werden in Reihe mit einer Spannungsquelle verbunden. Ein Spannungsmessgerät wird parallel zum Widerstand geschaltet. Nun erhöht man langsam die Spannung und misst die dazugehörige Stromstärke.



2. Für die drei Kurven kann man in jedem Punkt die Steigung der Kurve ermitteln.

Die Änderungsrate $\frac{\Delta I}{\Delta U}$ ist für hinreichend kleine ΔU eine gute Näherung für die Steigung. Dieser Quotient ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes $(R = \frac{\Delta I}{\Delta U})$.



Kurve 1: Mit steigender Spannung nimmt die Steigung der Kurve ab. Somit steigt mit zunehmender Spannung der Widerstand. Bei dem elektrischen Widerstand könnte es sich um einen Eisendraht handeln, der nicht gekühlt wurde.

Kurve 2: Mit steigender Spannung bleibt die Steigung der Kurve gleich. Somit bleibt der Widerstand mit zunehmender Spannung konstant. Da es sich bei der Kurve um eine Ursprungsgerade handelt, gilt das ohmsche Gesetz. Bei dem elektrischen Widerstand könnte es sich um Konstantdraht handeln.

Kurve 3: Mit steigender Spannung nimmt die Steigung der Kurve zu. Somit nimmt mit zunehmender Spannung der Widerstand ab. Der elektrische Widerstand könnte Kohle enthalten.



1. Liegt keine Spannung am Kondensator, so wirken die Gewichtskraft und die Reibungskraft auf das Teilchen. Nach sehr kurzer Zeit stellt sich ein Kräftegleichgewicht ein und das Tröpfchen fällt mit konstanter Geschwindigkeit. Es gilt: $F_G = F_R$ bzw. $m \cdot g = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$.

Mit $m = \frac{4}{3}r^3 \cdot \pi \cdot \rho$ folgt für $r = 3 \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot v}{2 \cdot \rho \cdot g}}$.

2. Liegt am Kondensator mit dem Plattenabstand d eine Spannung U , so wirkt außer der Gewichtskraft auch eine elektrische Kraft F_{el} auf das Tröpfchen. Es schwebt, wenn $F_{el} = F_G$ bzw. $q \cdot E = m \cdot g$.

Mit $m \cdot g = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ und $E = \frac{U}{d}$ folgt: $q \cdot \frac{U}{d} = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ bzw. $q = \frac{6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \cdot d}{U}$.

Mit $r = 3 \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot v}{2 \cdot \rho \cdot g}}$ aus Teilaufgabe 1 gilt: $q = \frac{18\pi \cdot \eta^{\frac{3}{2}} \cdot v^{\frac{3}{2}} \cdot d}{\sqrt{2\rho \cdot g \cdot U}} = 18\pi \sqrt{\frac{\eta^3 \cdot d^2}{2\rho \cdot g}} \cdot \frac{v\sqrt{v}}{U} = \text{konst} \cdot \frac{v\sqrt{v}}{U}$.

3. Beim Schweben führen die Teilchen zusätzlich eine Zitterbewegung, die brown'sche Molekularbewegung, aus. Somit ist ihr Schwebezustand schwer messbar.

Auch der „Fallen ohne Feld“-Zustand ist schwer messbar, da man die Zeit für das Fallen nur einmal messen kann und diese sehr klein ist. Somit ist sie mit einem großen Fehler behaftet.

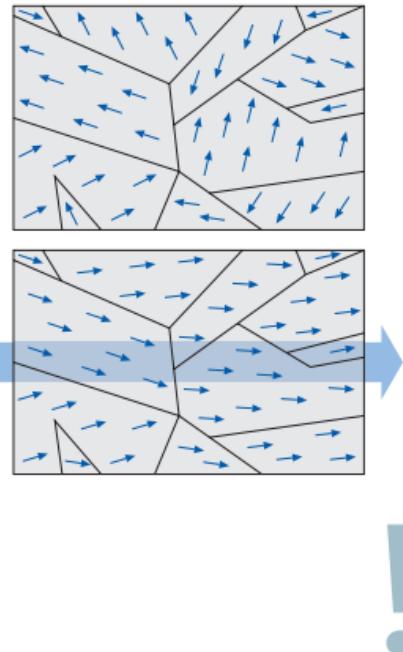
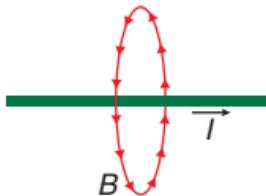
Legt man eine Spannung an, so kann man die Strecke mehrfach durchlaufen lassen, indem man die Spannung am Ende der Strecke umpolst. Dadurch erhöht sich die Messgenauigkeit für die Zeit.



1. Magnetische Feldlinien kann man mit Hilfe von Eisenfeilspänen, die sich auf einer Glasplatte befinden, sichtbar machen. Durch das äußere Magnetfeld werden die Eisenfeilspäne zu kleinen Magneten, und richten sich entlang der Feldlinien aus.
Anstelle von Eisenfeilspänen kann man auch kleine Kompassnadeln verwenden.

2. In der Modellvorstellung besteht ein Magnet aus vielen kleinen Magneten, den sogenannten Elementarmagneten. Auch ferromagnetische Stoffe enthalten Elementarmagnete. Solange die Elementarmagnete ungeordnet sind, ist der Stoff kein Magnet. Werden sie durch äußeren Einfluss geordnet, so ist der Stoff ein Magnet. Innerhalb dieser ferromagnetischen Stoffe gibt es Bereiche, in denen die Elementarmagnete alle gleich gerichtet sind, diese Bereiche nennt man Weiss'sche Bezirke.

- 3.



1. a) Durch die Kraft, die auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt.
b) Bei der magnetischen Flussdichte handelt es sich um eine vektorielle Größe.
c) Beim elektrischen Feld kommt ihr die elektrische Feldstärke E am nächsten.
2. Es gilt: $F = B \cdot I \cdot s \cdot \sin \alpha$. Da der Leiter senkrecht zum Magnetfeld steht ist $\alpha = 90^\circ$ und $\sin 90^\circ = 1$.
Somit gilt $F = B \cdot I \cdot s = 0,1\text{T} \cdot 4\text{A} \cdot 0,1\text{m} = 0,04\text{ N}$.
3. Für eine Spule im Magnetfeld gilt: $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot \frac{n}{l}$,
$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1 \cdot 3\text{A} \cdot \frac{500}{0,2\text{m}} = 0,094\text{T}$$
.
4. Man kann das Magnetfeld einer Spule vergrößern, indem man ein ferromagnetisches Material in das Innere der Spule gibt. Durch das in der Spule entstehende Magnetfeld richten sich die Elementarmagnete des ferromagnetischen Stoffes aus und bilden einen zusätzlichen Magneten.



1. Die Lorentzkraft wirkt immer senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen, d.h. sie ändert nur die Richtung der Elektronen, aber nicht ihre Geschwindigkeit. Somit ist sie eine Zentripetalkraft und zwingt die Elektronen auf eine Kreisbahn (Abb. 1).

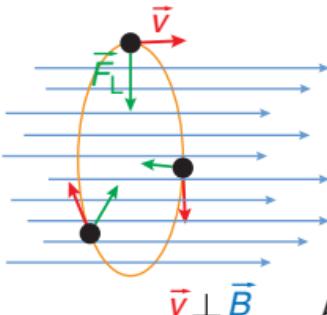


Abb. 1

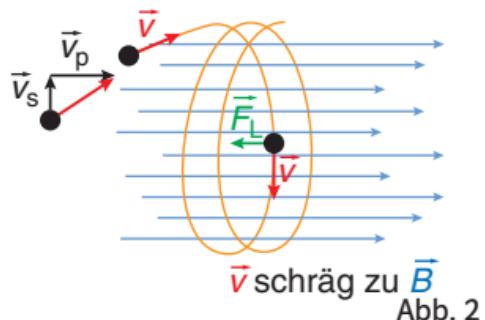


Abb. 2

2. Treten die Elektronen schräg zum Magnetfeld ein, so bewegen sie sich auf einer Schraubenbahn. Der Geschwindigkeitsvektor v wird zerlegt in eine senkrechte Komponente \vec{v}_s und eine parallele Komponente \vec{v}_p . Die Komponente \vec{v}_s zwingt die Elektronen auf die Kreisbahn und \vec{v}_p zieht die Kreisbahn auseinander (Abb. 2).

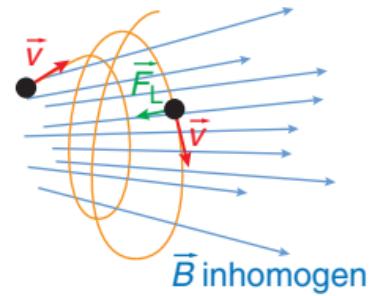


Abb. 3

3. Treten die Elektronen schräg in ein inhomogenes Magnetfeld ein, so bewegen sie sich auf einer Schraubenbahn mit wachsendem Radius (Abb. 3).

4. Aus $F_L = e \cdot B \cdot v = m \cdot \frac{v^2}{r} = F_z$ und $v = \sqrt{2 \cdot U \cdot \frac{e}{m}}$ folgt:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot U_B}{b^2 \cdot \frac{e}{m}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \text{ V}}{(0,75 \cdot 10^{-3} \text{ T})^2 \cdot 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{C}}}} = 0,064 \text{ m} = 6,4 \text{ cm.}$$



1. Wird ein stromdurchflossenes leitfähiges Plättchen senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen von einem Magnetfeld senkrecht durchsetzt, so kann man eine Spannung messen, die sog. Hallspannung.
2. Durch das Anlegen eines Stromes an das Plättchen werden die Elektronen in Bewegung versetzt. Aufgrund des senkrechten Magnetfeldes erfahren diese Elektronen die Lorentzkraft, die sie wie die Abbildung zeigt nach oben ablenkt. Nun herrscht am oberen Ende des Plättchens ein Elektronenüberschuss und am unteren Ende ein Elektronenmangel. Dadurch entsteht ein elektrisches Feld, das sich solange aufbaut, bis die Lorentzkraft und die elektrische Kraft gleichgroß sind. Dann werden keine Elektronen mehr abgelenkt und man kann eine konstante Hallspannung abgreifen.
3. Für die Hallspannung gilt: $U_H = v_D \cdot B \cdot b$ (*).

Für die Höhe des Plättchens gilt: $b = \frac{V}{d \cdot a}$.

Für die Stromstärke gilt: $I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e \cdot \frac{a}{v_D}}{t} = \frac{N \cdot e \cdot v_D}{a}$.

Löst man dies nun nach v_D auf und setzt es in Gleichung (*) ein, so erhält man:

$$U_H = \frac{V}{N \cdot e} \cdot \frac{I \cdot B}{d} = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}, \text{ wobei } R_H = \frac{V}{n \cdot e}.$$



1. a) Ändern der von den Feldlinien durchsetzten Fläche:

- Eine Leiterschleife wird im Magnetfeld gedreht oder verformt.
- Eine Leiterschleife wird in ein Magnetfeld hinein gezogen bzw. heraus gezogen.

b) Ändern des Magnetfeldes bei konstanter Spulenfläche:

- Ein- und Ausschalten eines Elektromagneten, der sich in der Spule befindet.
- Verschieben eines Eisenkerns in einer Spule.

2. Bewegt man eine Leiterschleife ($n = 1$) mit konstanter Geschwindigkeit v in ein Magnetfeld hinein, so ändert sich das Magnetfeld in der von der Leiterschleife begrenzten Fläche A . An ihren Enden wird eine Spannung induziert (Abb. 1).

$$U_{\text{ind}} = B \cdot d \cdot v = B \cdot d \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Das Produkt $d \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ist dabei die sich zeitlich ändernde Fläche A_s , die senkrecht vom Magnetfeld durchsetzt wird (Abb. 2).

Somit erhält man $U_{\text{ind}} = B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$ bzw. bei mehreren Windungen $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$.

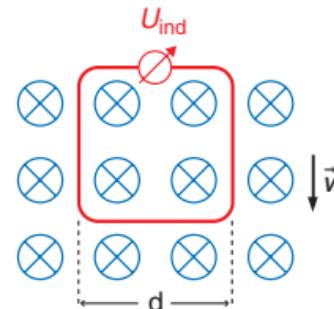


Abb. 1

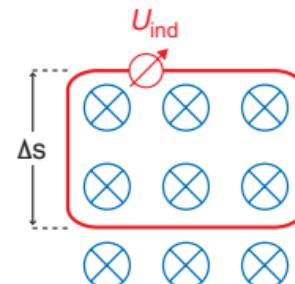


Abb. 2



Gegeben ist für die Feldspule $n_1 = 100$ und $l_1 = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ und für die Induktionsspule $n_2 = 200$ und $A_2 = 10 \text{ cm}^2 = 0,001 \text{ m}^2$.

Da die durchsetzte Fläche konstant ist, gilt für die Induktionsspannung:

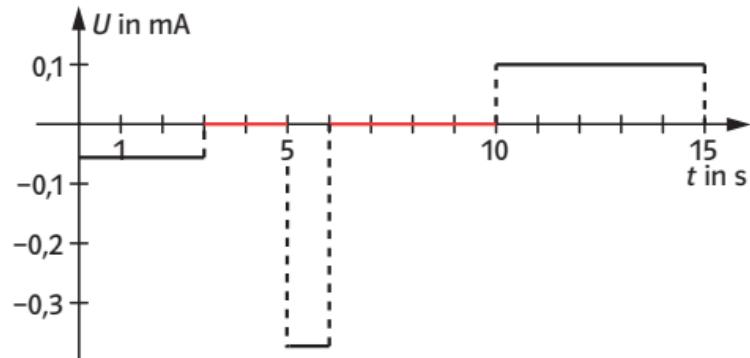
$$U_{\text{ind}} = -n_2 \cdot A_2 \frac{dB}{dt} = -n_2 \cdot A_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n_1}{l_1} \cdot \frac{dI}{dt} = -200 \cdot 0,001 \text{ m}^2 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1 \cdot \frac{100}{0,3 \text{ m}} \cdot \frac{dI}{dt} = -8,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{dI}{dt}.$$

$$\text{Für } 0 \leq t \leq 3 \text{ s} \text{ gilt: } \frac{dI}{dt} = \frac{2 \text{ A}}{3 \text{ s}} \text{ und } U_{\text{ind}} = -8,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{2 \text{ A}}{3 \text{ s}} = -5,6 \cdot 10^{-5} \text{ V}.$$

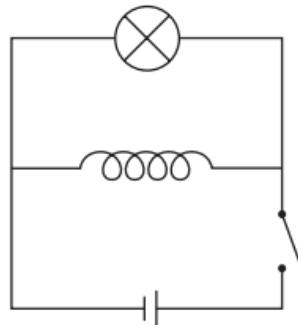
$$\text{Für } 3 \text{ s} < t \leq 5 \text{ s} \text{ und } 6 \text{ s} < t \leq 10 \text{ s} \text{ gilt: } \frac{dI}{dt} = 0 \text{ und } U_{\text{ind}} = 0.$$

$$\text{Für } 5 \text{ s} < t \leq 6 \text{ s} \text{ gilt: } \frac{dI}{dt} = \frac{4 \text{ A}}{1 \text{ s}} \text{ und } U_{\text{ind}} = -8,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{4 \text{ A}}{1 \text{ s}} = -3,36 \cdot 10^{-4} \text{ V}.$$

$$\text{Für } 10 \text{ s} < t \leq 15 \text{ s} \text{ gilt: } \frac{dI}{dt} = -\frac{6 \text{ A}}{5 \text{ s}} \text{ und } U_{\text{ind}} = -8,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \left(-\frac{6 \text{ A}}{5 \text{ s}} \right) = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ V}.$$



1.



2. Da die Glimmlampe erst bei einer Spannung über oder gleich 80V aufblitzt und dies beim Ausschaltvorgang der Fall ist, beträgt die Induktionsspannung der Spule mindestens 80V.

Aus $|U_{\text{ind}}| = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$ mit $U_{\text{ind}} \geq 80\text{V}$ folgt

$$L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \geq 80\text{V} \text{ und damit } L \geq 80\text{V} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta I} = 80\text{V} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}\text{s}}{0,15\text{A}} = 0,53\text{ H.}$$

Die Glimmlampe benötigt eine Spannung von mindestens 80V, damit sie aufblitzt. Da die Lampe und die Spule parallel geschaltet sind, beträgt bei geschlossenem Schalter die Spannung nur 50V. Da diese Spannung für das Aufblitzen der Lampe zu gering ist, blitzt sie erst beim Öffnen des Schalters auf, wenn die Selbstinduktion der Spule eine Induktionsspannung von mindestens 80V hervorruft.



1. Als geeignete Anfangsstellung bietet sich der Fall an, wenn die Fläche der felderzeugenden Spule senkrecht auf der Fläche der Induktionsspule steht. In diesem Fall wird die Induktionsspule von keinem Feld durchsetzt und somit ändert sich beim Einschalten der magnetische Fluss der Induktionsspule nicht. Es entsteht keine Induktionsspannung.

Somit gilt für die vom magnetischen Fluss durchsetzte Fläche der Induktionsspule:

$$A(t) = A_2 \cdot \sin(\omega t)$$

Die Induktionsspannung berechnet sich zu:

$$U_{\text{ind}}(t) = -n^2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -n_2 \cdot \frac{d}{dt}(B \cdot A_2 \cdot \sin(\omega \cdot t)) = -n_2 \cdot B \cdot A_2 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) = -\hat{U} \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

2. Für den Effektivwert der Spannung gilt: $U_{\text{eff}} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{n_2 \cdot B \cdot A_2 \cdot \omega}{\sqrt{2}} = \frac{n_2 \cdot B \cdot A_2 \cdot 2\pi \cdot f}{\sqrt{2}} = 25 \text{ mV}.$

Für die Drehfrequenz folgt nun: $f = \frac{25 \text{ mV} \cdot \sqrt{2}}{n_2 \cdot B \cdot A_2 \cdot 2\pi} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \sqrt{2}}{200 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 0,0025 \text{ m}^2 \cdot 2\pi} = 2,3 \text{ Hz}.$



1. Bei einer Reihenschaltung aus einem Glühlämpchen, einer Spule und einem Kondensator kann man beobachten, dass das Lämpchen nur in einem bestimmten Frequenzbereich leuchtet. Ist die Frequenz hoch, so ist der induktive Widerstand groß und es entsteht kein Strom. Die Spule sperrt. Ist hingegen die Frequenz klein, so sperrt der Kondensator.

2. Die Stromstärke $I(t)$ ist bei einer Reihenschaltung konstant. Die Teilspannung am ohmschen Widerstand ist mit der Stromstärke in Phase, während die Teilspannungen am Kondensator und der Spule um eine viertel Periode bezüglich der Stromstärke verschoben sind. Die Gesamtspannung ergibt sich aus dem Zeigerdiagramm zu:

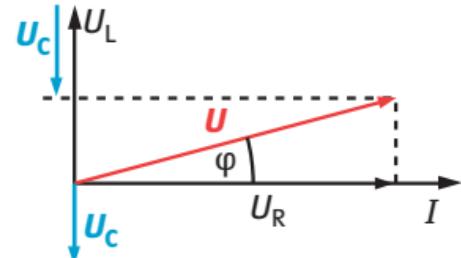
$$\hat{U} = \sqrt{(\hat{U}_L - \hat{U}_C)^2 + \hat{U}_R^2}.$$

$$\text{Der Scheinwiderstand berechnet sich zu: } Z = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} = \sqrt{(R_L - R_C)^2 + R^2}.$$

3. Eine Parallelschaltung aus diesen drei Bauteilen nennt man Sperrkreis, da sie bei einer bestimmten Frequenz sperrt und das Lämpchen nicht leuchtet.

4. Bei einer Parallelschaltung ist die Spannung $U(t)$ konstant. Am ohmschen Widerstand sind Spannung und Stromstärke phasengleich. Beim Kondensator und der Spule sind die Ströme um eine viertel Periode gegenüber der Stromstärke verschoben. In Analogie zur Spannung bei 2. ergibt sich für die

$$\text{Stromstärke: } \hat{I} = \sqrt{(\hat{I}_L - \hat{I}_C)^2 + \hat{I}_R^2}. \text{ Der Scheinwiderstand berechnet sich zu: } \frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{R_C} - \frac{1}{R_L}\right)^2}.$$



1. Für den Transformator gilt: $\frac{U_{1,\text{eff}}}{U_{2,\text{eff}}} = \frac{n_1}{n_2}$.

Aufgelöst nach $U_{2,\text{eff}}$ folgt: $U_{2,\text{eff}} = \frac{n_2}{n_1} \cdot U_{1,\text{eff}} = \frac{300}{1200} \cdot 220\text{V} = 55\text{V}$.

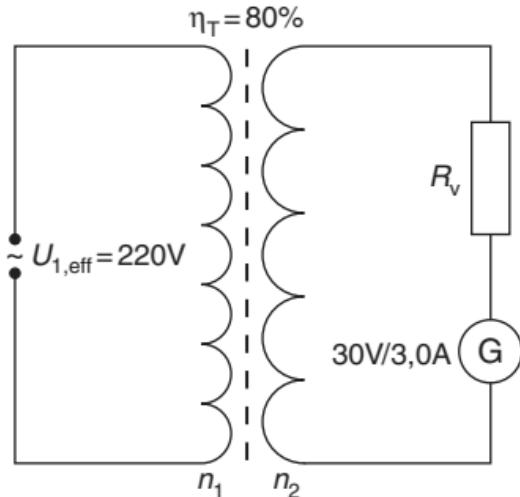
2. Da die Windungszahl der Sekundärspule nicht verändert werden kann, muss man auf der Sekundärseite einen Vorwiderstand in die Schaltung einbauen.

Am Vorwiderstand müssen $55\text{V} - 30\text{V} = 25\text{V}$ abfallen. Da es sich um eine Reihenschaltung von Vorwiderstand und Gerät G handelt, beträgt die Stromstärke am Vorwiderstand auch 3 A.

Es gilt: $R_V = \frac{25\text{V}}{3\text{A}} = 8,3\Omega$.

3. Für den Wirkungsgrad gilt: $\eta_T = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_{2,\text{eff}} \cdot I_2}{U_{1,\text{eff}} \cdot I_1}$.

Aufgelöst nach I_1 folgt: $I_1 = \frac{U_{2,\text{eff}} \cdot I_2}{U_{1,\text{eff}} \cdot \eta_T} = \frac{55\text{V} \cdot 3\text{A}}{220\text{V} \cdot 0,8} = 0,94\text{A}$.



1. Periode: Bewegungsabschnitt von einem Zeitpunkt bis zum Beginn der Wiederholung

Periodendauer: Dauer einer Periode

Auslenkung: Momentane Entfernung von der Ruhelage

Amplitude: Maximale Auslenkung

Frequenz: Anzahl der Schwingungen pro Sekunde

Ruhe-/Gleichgewichtslage: Ort, an dem sich der Körper in Ruhe befindet.

Umkehrpunkt: Punkt, an dem der Körper die Richtung der Schwingung ändert.

2. Schwingungen, die sich im Zeit-Weg-Diagramm durch eine Sinusfunktion beschreiben lassen, nennt man harmonische Schwingung.

3. Mit dem linearen Kraftgesetz wird der Zusammenhang zwischen Kraft und Auslenkung bei einer harmonischen Schwingung beschrieben: $F(t) = -D \cdot s(t)$, wobei $D = m \omega^2$.

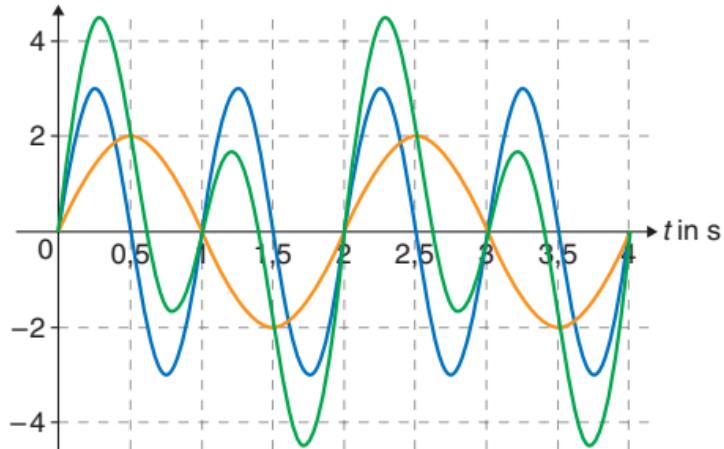
4. Durch Auslenkung des Oszillators aus seiner Ruhelage wird ihm Energie zugeführt. Drückt man die Feder zusammen oder dehnt sie, so erhält diese Spannenergie bzw. potentielle Energie, die kinetische Energie ist null. Lässt man den Körper los, so wird dieser beschleunigt und gewinnt an kinetischer Energie, während die potentielle Energie kleiner wird. Passiert der Körper die Ruhelage, so ist die kinetische Energie maximal und die potentielle Energie null. Nun wird der Körper wieder langsamer und verliert an kinetischer Energie, während die potentielle Energie wächst. Im unteren Umkehrpunkt erreicht die potentielle Energie ihr Maximum und die kinetische Energie wird null. Dieser Vorgang wiederholt sich immer wieder. Sieht man von der Reibung ab, bleibt die Gesamtenergie erhalten.



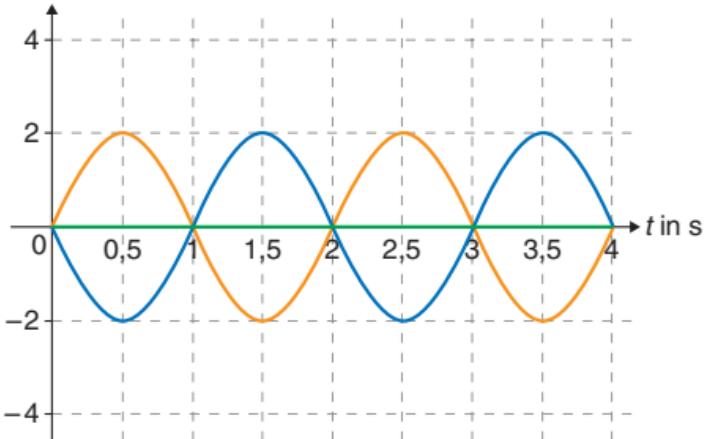
1. Der Zeichnung entnimmt man, dass $s_2(t)$ eine Amplitude von 3 cm und eine Frequenz von 2 Hz hat.

$$s_2(t) = 3 \text{ cm} \cdot \sin(2\pi t)$$

2. s in cm



3. s in cm



1. Abhängigkeit von der Auslenkung: Bei konstanter Fadenlänge l und Masse m zeigt sich, dass die Periodendauer mit größerer Auslenkung etwas zunimmt.

Abhängigkeit von der Länge des Fadens: Bei konstantem m und Auslenkung s , zeigt sich, dass mit länger werdendem Faden auch die Periodendauer zunimmt. Es ergibt sich folgender Zusammenhang: $T \sim l^2$.

Abhängigkeit von der Masse des Körpers: Bei konstantem l und s zeigt sich, dass bei veränderter Masse die Schwingungsdauer konstant bleibt.

2. Da ein Pendelkörper der Masse m auf einer Kreisbahn schwingt, ergibt sich für den Winkel φ im Bogenmaß: $\varphi = \frac{s}{l}$ (s. Abb. bei Wissen).

$$F = F_G \cdot \sin \varphi = m \cdot g \cdot \sin\left(\frac{s}{l}\right)$$

$$\text{Außerdem gilt: } \sin\left(\frac{s}{l}\right) = \frac{x}{l}.$$

Für kleine Winkel gilt: $s \approx x$ und es folgt: $F = m \cdot g \cdot \frac{s}{l}$. Somit ist $F \sim s$ und die Schwingung harmonisch.

3. Aus dem linearen Kraftgesetz $F = -D \cdot s$ und $F = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot s$ folgt: $D = \frac{m \cdot g}{l}$.

$$\text{Mit } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} \text{ ergibt sich } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Diese Formel kann man bei bekannter Periodendauer zur Bestimmung der Fallbeschleunigung nutzen.



1. Längswellen: Ausbreitungsrichtung und Schwingungsrichtung stimmen überein.

Beispiel: Schallwellen

Querwellen: Ausbreitungsrichtung und Schwingungsrichtung sind senkrecht zueinander.

Beispiel: Seilwellen

2. Mechanische Wellen benötigen zu ihrer Ausbreitung Materie. D.h. sie benötigen einen festen, flüssigen oder gasförmigen Wellenträger.

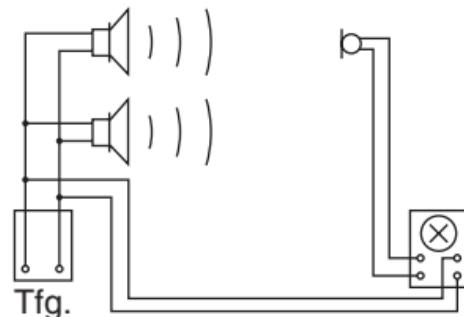
3. Bei dem Diagramm handelt es sich um ein t - s -Diagramm. Dargestellt ist also, wie sich der Oszillator an einem festen Ort in Abhängigkeit von der Zeit bewegt.

Aus diesem Diagramm kann man ablesen, dass die Bewegung des Oszillators nach unten erfolgt und die Periodendauer $T = 8$ s beträgt. Somit beträgt seine Frequenz: $f = \frac{1}{T} = 0,125$ Hz. Außerdem kann man die Amplitude ablesen. Sie beträgt 3 cm.

4. Man braucht entweder die Wellenlänge λ und kann damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle berechnen. Oder man braucht die Ausbreitungsgeschwindigkeit und kann damit die Wellenlänge bestimmen. Außerdem muss man den festen Zeitpunkt kennen, an dem man die Welle darstellen soll.



1. Man kann Stellen beobachten, an denen keine Schwingungsbewegung der Wasseroberfläche stattfindet und Stellen, an denen die Wasseroberfläche heftige Schwingungen ausführt. Die Stellen ohne Schwingungsbewegung kommen dadurch zustande, dass die beiden Wellen gegenphasig zueinander schwingen und sich bei gleicher Amplitude auslöschen. Die Stellen mit heftigen Schwingungsbewegungen kommen durch gleichphasige Überlagerung zustande.
2. Dazu nimmt man das Signal zweier Lautsprecher mit einem Mikrofon auf. Dieses Mikrofonsignal wird mit dem Signal, das unmittelbar mit einem Tongenerator erzeugt wird, verglichen. Zuerst schaltet man nur einen Lautsprecher ein, und verschiebt diesen solange, bis das Mikrofonsignal mit dem Vergleichssignal in Phase ist. Danach schaltet man den zweiten Lautsprecher hinzu, und verschiebt diesen solange, bis das Mikrofonsignal minimal wird. Schaltet man nun den ersten Lautsprecher aus, beobachtet man, dass das Signal des zweiten Lautsprechers gegenüber dem Bezugssignal eine Phasenverschiebung von π hat, also gegenphasig gegenüber dem Signal aus dem ersten Lautsprecher ist.



1. Trifft beim festen Ende eine nach oben ausgelenkte Störung auf das letzte feste Teilchen, so zieht dieses das vorletzte Teilchen nach unten. Das feste Ende verhält sich wie ein Erreger, der gegenphasig zur ankommenden Störung ist. Es findet ein Phasensprung von 180° statt, d.h. ein Wellenberg kommt als Wellental und ein Wellental als Wellenberg zurück.

Trifft beim losen Ende eine nach oben ausgelenkte Störung auf das letzte Teilchen, so bewegt es sich mit nach oben. Es verhält sich wie ein gleichphasig schwingender Erreger, es findet kein Phasensprung statt. Ein Wellental wird als Wellental und ein Wellenberg als Wellenberg reflektiert.

2. Fortschreitende Welle	Stehende Welle
1. Das räumliche Kurvenbild schreitet mit c fort.	1. Das räumliche Kurvenbild bleibt am Ort.
2. Alle Punkte erreichen nacheinander die gleiche Amplitude, umso später, je weiter sie vom Erreger entfernt sind.	2. Alle Punkte haben verschiedene Amplituden, die sie im gleichen Augenblick erreichen.
3. In keinem Moment herrscht überall Stillstand.	3. Im Moment größter Auslenkung ist Stillstand.
4. Die Auslenkung ist nie überall gleich null.	4. Alle Punkte erreichen gleichzeitig den Nullpunkt.
5. Es gibt keine Punkte ständiger Ruhe.	5. Die Knoten der Welle sind ständig in Ruhe.
6. Jeder Punkt auf der Strecke einer Wellenlänge hat eine andere Phase	6. Zwischen zwei Knoten haben alle Punkte gleiche Phase.
7. Energie wird transportiert	7. Keine Energie wird transportiert.



1. Nach dem Brechungsgesetz von Snellius gilt:

Fällt eine ebene Welle auf eine ebene Grenzfläche, so wird sie beim Übergang von dem einen in das andere Medium von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt. Dabei ist das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkel α und des Brechungswinkels β gleich dem Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in beiden Medien. Den konstanten Wert n nennt man den Brechungsindex des ersten Mediums geteilt durch den des zweiten.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = n$$

$$\frac{\sin 50^\circ}{\sin \beta} = \frac{0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \Leftrightarrow \sin \beta = \frac{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \sin 50^\circ \Rightarrow \beta = 36,1^\circ$$

2. Da sich bei der Brechung nur die Geschwindigkeit und Wellenlänge ändern, kann man die Frequenz folgendermaßen bestimmen:

$$f = \frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,018 \text{ m}} = 21,67 \text{ Hz.}$$

Aus Frequenz und Fortpflanzungsgeschwindigkeit lässt sich die Wellenlänge bestimmen:

$$\lambda_2 = \frac{c_2}{f} = \frac{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{21,67 \text{ Hz}} = 0,0138 \text{ m} = 1,38 \text{ cm.}$$



1. Im Resonanzfall entspricht die Resonanzfrequenz der Eigenfrequenz.

Für eine Länge von 0,5 m gilt:

$$f_0 = \frac{1}{2}\pi \cdot \sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{1}{2}\pi \cdot \sqrt{\frac{9,81 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}} = 0,705 \text{ Hz}.$$

2. a) $f \ll f_0$: Die Anregung erfolgt mit sehr kleiner Frequenz. Die Amplitude, mit der der Pendelkörper schwingt, ist etwa so groß wie die Amplitude der Anregung. Somit führt der Pendelkörper eine Bewegung in horizontaler Richtung aus, die der Bewegung entspricht, die die Finger entlang der Tischkante ausführen.
- b) $f \approx f_0$: Die Anregung erfolgt mit einer Frequenz, die ungefähr der Frequenz der Eigenschwingung entspricht. Da es sich in diesem Fall um ein schwach gedämpftes System handelt, wächst die Amplitude auf sehr große Werte an, bis sich das Pendel überschlägt. Es kommt zur Resonanzkatastrophe.
- c) $f \gg f_0$: Die Anregung erfolgt mit sehr großer Frequenz. Es tritt fast keine Schwingung mehr auf. Die Amplitude des Oszillators ist in diesem Fall nahezu Null.



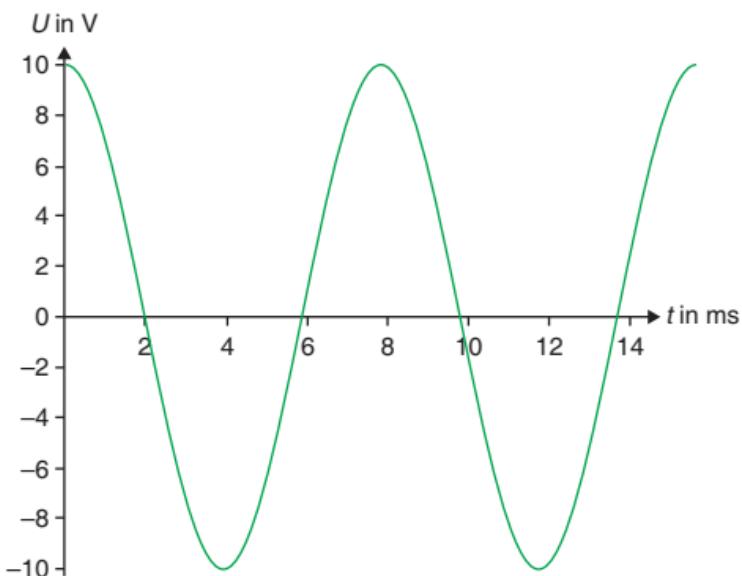
$$1. \quad U(t) = C \cdot Q(t) = C \cdot \hat{Q} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \hat{U} \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

$$\text{wobei } \hat{U} = 10V \text{ und } \omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{33 \cdot 10^{-3}H \cdot 47 \cdot 10^{-6}F}} = 803 \text{ Hz.}$$

$$\text{Also: } U(t) = 10V \cdot \cos(803 \text{ Hz} \cdot t).$$

$$2. \text{ Aus } \omega = 803 \text{ Hz folgt } f = \frac{\omega}{2\pi} = 127,8 \text{ Hz und } T = \frac{1}{f} = 7,8 \text{ ms.}$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt: $\hat{U} = 10V$.



1. Mit $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ folgt

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,5 \cdot 10^{-6} \text{H} \cdot 6 \cdot 10^{-12} \text{F}}} = 91,9 \text{ MHz},$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,5 \cdot 10^{-6} \text{H} \cdot 4 \cdot 10^{-12} \text{F}}} = 112,5 \text{ MHz}.$$

Mit $\lambda = \frac{c}{f}$ folgt:

$$\lambda_1 = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{91,9 \cdot 10^6 \text{Hz}} = 3,3 \text{ m} \quad \text{und} \quad \lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{112,5 \cdot 10^6 \text{Hz}} = 2,7 \text{ m}.$$

Die Antenne sendet in einem Frequenzbereich von 91,9 MHz bis 112,5 MHz und in einem Wellenlängenbereich von 2,7m bis 3m.

2. $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{97 \cdot 10^6 \text{Hz}} = 3,09 \text{ m}$

Für eine optimale Energieübertragung muss der Sender in der Grundschwingung schwingen,

d.h. $l = \frac{\lambda}{2}$. Somit muss die Antenne $l = \frac{3,09 \text{ m}}{2} = 1,55 \text{ m}$ lang sein.



1. Dazu spaltet man den Geschwindigkeitsvektor des einfallenden Teilchens in zwei Komponenten auf, eine parallel und die andere senkrecht zur Körperoberfläche.

Die Parallelkomponente wird vom elastischen Stoß nicht beeinflusst. Die senkrechte Komponente kehrt wie ein Gummiball, der auf den Boden trifft, ihre Richtung um. Dies geschieht, da die Masse der Lichtteilchen sehr viel kleiner ist als die Masse der Atome. Setzt man die beiden Komponenten wieder zusammen, so erhält man den Geschwindigkeitsvektor des reflektierten Teilchens. Somit bewegt sich das Teilchen analog zum Reflexionsgesetz.

2. Nach Newton wirken auf ein Teilchen von allen Seiten anziehende Kräfte. Diese Kraftkomponenten heben sich gegenseitig auf. Deshalb bewegen sich Lichtteilchen in einem Körper geradlinig und mit größerer Geschwindigkeit als im Vakuum. Trifft ein Teilchen, dass sich im Körper befindet, schräg auf dessen Oberfläche, so ist seine Geschwindigkeitskomponente sehr klein und es wird von den anziehenden Kräften wieder in den Körper hinein gezogen.

3. Bei der Reflexion findet keine Änderung der Lichtgeschwindigkeit statt. Nach Fermat gilt: Der Weg, den das Licht nimmt, um von einem Punkt zu einem anderen Punkt zu gelangen, ist stets so, dass die benötigte Zeit dafür minimal wird.

Der kürzeste Weg von P nach Q' ist die Verbindungsstrecke der beiden Punkte.

Diese stimmt mit dem Weg von P zum Spiegel und von dort zum Punkt Q überein und ist damit der kürzeste Weg.

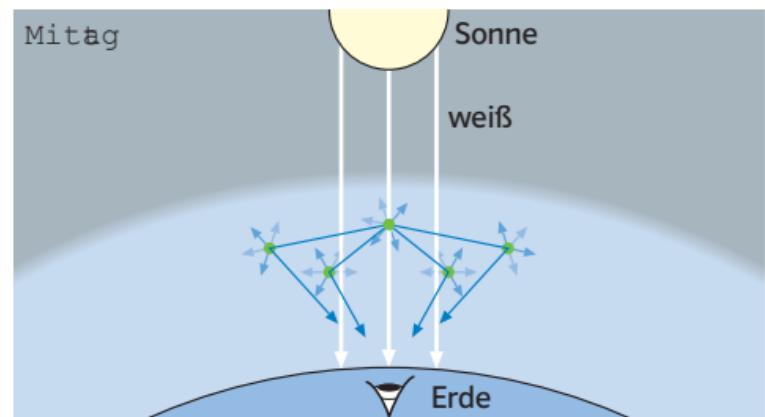


1. Eigenschaften von Spiegelbildern:

- Bildpunkt P und Spiegelpunkt P' liegen symmetrisch zum Spiegel.
- Spiegelbilder sind aufrecht und vertauschen rechts und links.
- Bild und Spiegelbild sind gleichgroß.
- Das Spiegelbild ist ein virtuelles Bild, d.h. man kann es am vermuteten Ort nicht mit einem Schirm auffangen.

2. Für den blauen Himmel sind zwei Streuprozesse wichtig:

- Rayleigh-Streuung: Der Teilchendurchmesser d ist größer als die Wellenlänge. Sie ist abhängig von der Wellenlänge, kurzwelliges Licht erfährt eine stärkere Streuung als langwelliges Licht.
- Mie-Streuung: Der Teilchendurchmesser d ist kleiner als die Wellenlänge. Sie hängt nicht von der Wellenlänge ab.



Steht die Sonne senkrecht, so gelangt ihr Licht auf direktem Wege durch eine dünne Schicht zum Betrachter. Es wird nur gering gestreut und er sieht das weiße Sonnenlicht. Kommt das Licht aus einer anderen Richtung, so wird das kurzwellige blaue Licht am stärksten gestreut und erreicht den Beobachter.



1. (siehe Abbildung)

2. Berechnung des Brechungswinkels β über das Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \text{ also } \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 40^\circ}{1,61} = 0,4 \text{ und damit } \beta = 23,5^\circ.$$

Berechnung der Verschiebung d :

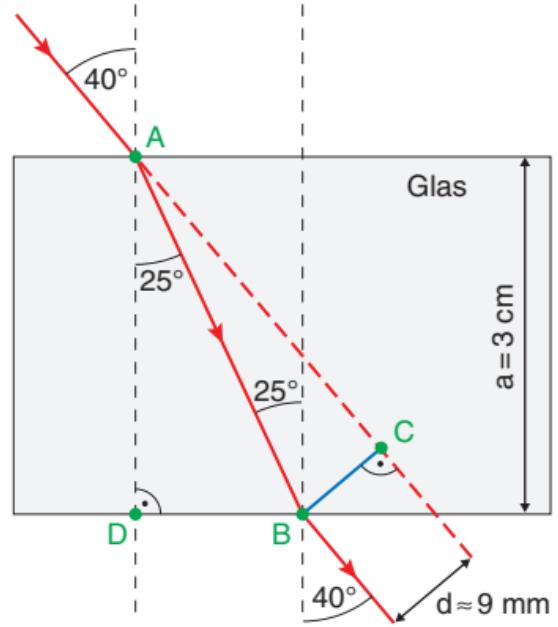
Im Dreieck ABC gilt: $\sin(\alpha - \beta) = \frac{d}{AB}$.

Im Dreieck ABD gilt:

$$\cos \beta = \frac{\overline{AD}}{\overline{AB}} = \frac{a}{\overline{AB}}, \text{ also } \overline{AB} = \frac{a}{\cos \beta} = \frac{3 \text{ cm}}{\cos 23,5^\circ} = 3,3 \text{ cm}.$$

Somit folgt für d :

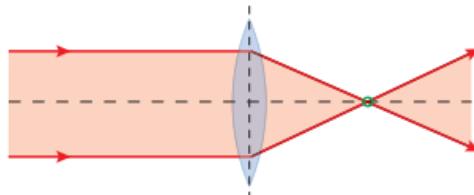
$$d = \overline{AB} \cdot \sin(\alpha - \beta) = 3,3 \text{ cm} \cdot \sin(40^\circ - 23,5^\circ) = 0,9 \text{ cm}.$$



1. Möglichkeit:

Man bestrahlt eine Sammellinse mit Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse einfallen. Hinter der Linse sammeln sich diese in einem Punkt, dem Brennpunkt.

Der Abstand von der Linse bis zum Brennpunkt ist die Brennweite.



2. Möglichkeit:

Man bildet mithilfe der Linse einen Gegenstand scharf auf einem Schirm ab.

Durch Messung der Gegenstands- und Bildweite kann mithilfe der Linsengleichung die Brennweite berechnet werden.

3. Möglichkeit:

Auf einer optischen Bank mit fester Länge a befindet sich am einen Ende ein leuchtender Gegenstand und am anderen Ende ein Schirm. Ist $a > 4f$, so kann man zwei Punkte für die Linse P_1 und P_2 finden, sodass die Linse ein scharfes Bild B auf dem Schirm erzeugt.

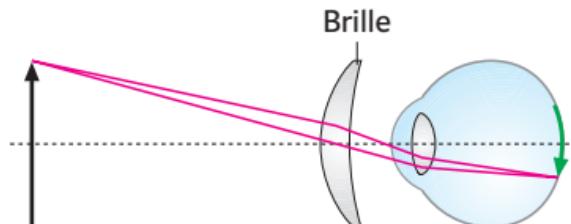
Dann gilt: $f = \frac{a^2 - e^2}{4a}$ wobei e der Abstand der Mittellinien der beiden Linsenpositionen ist.



1. a) Ist der Augapfel zu kurz, so ist die entsprechende Person weitsichtig.

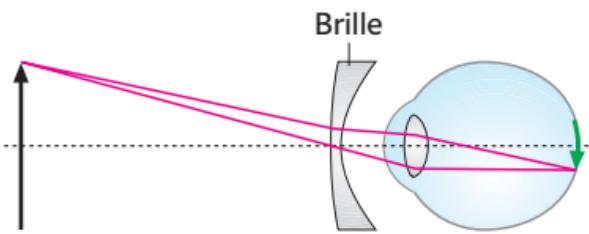
Diesen Sehfehler kann man mithilfe einer Sammellinse korrigieren. Die Sammellinse verkürzt die Bildweite durch zusätzliche Brechung, so dass ein scharfes Bild auf der Netzhaut entsteht.

b)



2. a) Ist der Augapfel zu lang, so ist die entsprechende Person kurzsichtig. Diesen Sehfehler kann man durch eine Zerstreuungslinse korrigieren. Diese verlängert die Bildweite durch Aufweitung der Lichtstrahlen und es entsteht ein scharfes Bild auf der Netzhaut.

b)



1. Sowohl das Mikroskop als auch das astronomische Fernrohr bestehen aus zwei Sammellinsen, die sich in ihrer Brennweite unterscheiden. Die dem Auge zugewandte Sammellinse nennt man Okular, die dem Gegenstand zugewandte Linse Objektiv.
Will man aus einem astronomischen Fernrohr ein Mikroskop bauen, so muss man das Objektiv tauschen, da beim Mikroskop ein Objektiv mit geringerer Brennweite benötigt wird.

2. Mit dem astronomischen Fernrohr betrachtet man große Objekte in weiter Entfernung, mit dem Mikroskop hingegen sehr kleine Objekte, die sich nahe beim Objektiv befinden.

3. Für die Vergrößerung beim Mikroskop gilt: $V = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}} = \frac{b}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{25\text{ cm}}{f_{\text{Okular}}}$.

Mit $V = 200$, $f_{\text{Objektiv}} = 12\text{ mm}$, $f_{\text{Okular}} = 20\text{ mm}$ folgt: $200 = \frac{b}{12\text{ mm}} \cdot \frac{250\text{ mm}}{20\text{ mm}}$ und für die Bildweite $b = 208\text{ mm}$.

Dem Bild zum Mikroskop aus dem Wissensteil entnimmt man, dass sich der Abstand d zwischen den beiden Linsen wie folgt zusammensetzt: $d = f_{\text{Okular}} + b = 20\text{ mm} + 208\text{ mm} = 228\text{ mm} = 22,8\text{ cm}$.

4. Für die Beantwortung benötigt man die Linsengleichung: $\frac{1}{f_{\text{Objektiv}}} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b'}$,
aufgelöst nach der Gegenstandsweite g folgt:

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f_{\text{Objektiv}}} - \frac{1}{b'} \quad \text{bzw. } g = \frac{f_{\text{Objektiv}} \cdot b'}{b' - f_{\text{Objektiv}}} = \frac{12\text{ mm} \cdot 208\text{ mm}}{208\text{ mm} - 12\text{ mm}} = 12,7\text{ mm}.$$

Das Objekt muss sich ca. 13 mm vor dem Okular befinden.



1. Für Interferenzminima beim Doppelspalt gilt: $(2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2g} = \frac{d_k}{l}$ mit $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Da die Minima 4. Ordnung einen Abstand von 2cm haben, gilt: $2d_4 = 2\text{ cm}$, also $d_4 = 1\text{ cm}$.

Aufgelöst nach g folgt für den Abstand der beiden Spaltmitten:

$$g = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l}{d_k} = (2 \cdot 4 + 1) \cdot \frac{546 \cdot 10^{-9}}{2} \cdot \frac{2\text{ m}}{0,01\text{ m}} = 4,91 \cdot 10^{-4}\text{ m} = 0,49\text{ mm}.$$

2. Dazu muss man die Formel für Interferenzminima aus Teilaufgabe 1 nach d_k auflösen:

$$d_k = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2g} \cdot l.$$

Da die Wellenlänge λ und der Abstand l zum Schirm nicht verändert werden und es egal ist, welcher Ordnung die Minima sind, gilt: Vergrößert man g , so verkleinert sich d_k , verkleinert sich g , so vergrößert sich d_k .

3. Für Interferenzmaxima gilt: $k \cdot \frac{\lambda}{g} = \frac{d_k}{l}$ mit $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Aufgelöst nach $d_k = k \cdot \frac{\lambda}{g} \cdot l$ hat das 1. Maximum von der Mitte der Spalte einen Abstand von

$$d_1 = 1 \cdot \frac{546 \cdot 10^{-9}\text{ m}}{4,91 \cdot 10^{-4}\text{ m}} \cdot 2\text{ m} = 2,22 \cdot 10^{-3}\text{ m} = 0,22\text{ cm}.$$

Da von der Mitte der beiden Spalte aus betrachtet, der Schirm nur 15cm breit nach rechts und nach links ist, passen links und rechts jeweils sechs Maxima auf den Schirm. Zusammen mit dem Maximum 0. Ordnung ergeben sich insgesamt 13 Maxima auf dem Schirm.



1. Für die Beugung am Gitter gilt:

$$\tan \varphi = \frac{\text{Abstand (1. Maximum - Spaltenmitte)}}{\text{Abstand (Gitter - Schirm)}}.$$

Außerdem gilt für Interferenzmaxima:

$$\sin \varphi = \frac{\Delta s}{g} = \frac{\lambda}{g}.$$

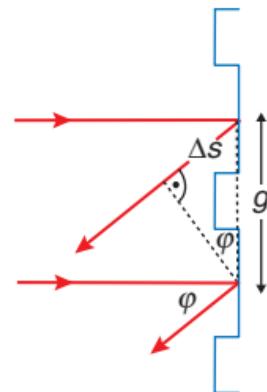
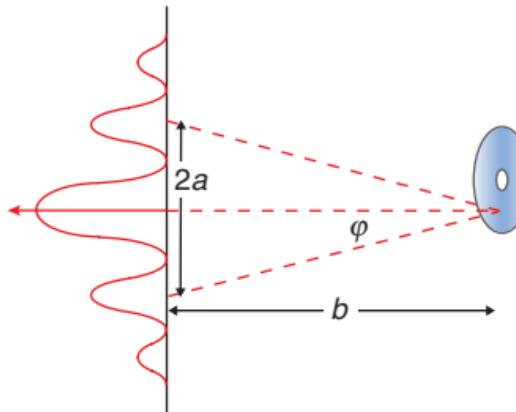
Da hier der Abstand der Maxima nicht sehr viel größer ist als der Abstand Gitter-Schirm, kann man die Näherung $\tan \alpha \approx \sin \alpha$ nicht anwenden.

Somit gilt für g : $g = \frac{\lambda}{\sin \varphi} = \frac{\lambda}{\sin(\arctan \frac{a}{b})}$.

2. Mit $g = \frac{\lambda}{\sin \varphi} = \frac{\lambda}{\sin(\arctan \frac{a}{b})}$ folgt:

$$g = \frac{633 \text{ nm}}{\sin(\arctan \frac{4 \text{ cm}}{9,5 \text{ cm}})} = 1,631 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,631 \mu\text{m}.$$

Die Abweichung von der deutschen Norm liegt unterhalb der Toleranzgrenze.



Bei Interferenz an dünnen Schichten gilt:

$$\text{Auslöschung (Minima) bei } \Delta l = 2d = k \cdot \lambda_s = k \cdot \frac{\lambda}{n}.$$

$$\text{Löst man diese Gleichung nach } \lambda \text{ auf, so folgt: } \lambda = \frac{2d \cdot n}{k} = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 1,35}{k}.$$

Für verschiedene k erhält man:

$k = 1: \lambda = 2025 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich),

$k = 2: \lambda = 1012,5 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich),

$k = 3: \lambda = 675 \text{ nm}$,

$k = 4: \lambda = 506,3 \text{ nm}$,

$k = 5: \lambda = 405 \text{ nm}$,

$k = 6: \lambda = 337,5 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich).

$$\text{Verstärkung (Maxima) liegt vor bei } \Delta l = 2d = \frac{1}{2}(2k+1) \cdot \lambda_s = \frac{1}{2}(2k+1) \cdot \frac{\lambda}{n}.$$

$$\text{Löst man diese Gleichung nach } \lambda \text{ auf, so folgt: } \lambda = \frac{4d \cdot n}{2k+1} = \frac{4 \cdot 750 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 1,35}{2k+1}.$$

Für verschiedene k erhält man:

$k = 0: \lambda = 4050 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich),

$k = 1: \lambda = 1350 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich),

$k = 2: \lambda = 810 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich),

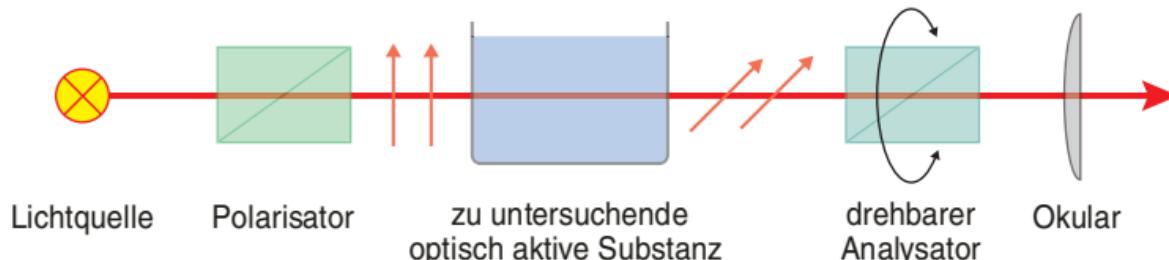
$k = 3: \lambda = 578,6 \text{ nm}$,

$k = 4: \lambda = 450 \text{ nm}$,

$k = 5: \lambda = 368,2 \text{ nm}$ (liegt nicht im sichtbaren Bereich).



Ein Polarimeter besteht aus einer Lichtquelle, die unpolarisiertes Licht aussendet, einem Polarisator, einem Analysator, einer Linse und einer Küvette, die die Lösung enthält.



Der Polarisator polarisiert das einfallende Licht linear, d.h. es schwingt ständig in einer Ebene. Durchläuft der polarisierte Lichtstrahl eine optisch aktive Lösung, so ändern die Moleküle die Polarisationsrichtung des Lichtes. Mithilfe des Analysators kann man nun die Stärke der Veränderung feststellen. Stehen der Polarisator und Analysator parallel, so ist die Intensität des durchgelassenen Lichtes maximal. Stehen sie senkrecht zueinander, so gelangt kein Licht hindurch.

Zuerst justiert man den Versuch ohne Lösung so, dass der Polarisator und Analysator senkrecht zueinander stehen, also kein Licht mehr hindurchgelangt. Bringt man nun die Lösung in die Anordnung und beobachtet eine Aufhellung, so handelt es sich um eine optisch aktive Lösung.



1. 1. Möglichkeit: Man lässt weißes Licht auf ein Prisma fallen, dadurch wird es in seine Spektralfarben aufgefächert. Dann blendet man die anderen Farben aus.
 2. Möglichkeit: Man lässt weißes Licht auf ein Gelbfilter fallen. Dieses lässt nur den gelben Anteil des Lichtes hindurch.
 3. Möglichkeit: Man benutzt eine Natriumdampflampe, die gelbes Licht aussendet.
2. Dem Farbkreis entnimmt man, dass man Blau mit Gelb mischen muss, damit Grün entsteht. Denn es gilt: Jede Farbe des Farbkreises kann mittels Farbabaddition aus ihren Nachbarfarben erzeugt werden.

Farbschicht	Absorbierte Farbe	Reflektierte Farben	Ergebnis
Magenta	grünes Licht	blaues + rotes Licht	Magenta
Cyan	rotes Licht	blaues + grünes Licht	Cyan
Gelb	blaues Licht	rotes + grünes Licht	Gelb
Magenta+Cyan	grünes + rotes Licht	blaues Licht	Blau
Magenta+Gelb	grünes + blaues Licht	rotes Licht	Rot
Cyan+Gelb	rotes + blaues Licht	grünes Licht	Grün



Farbenkreis



1. Eine relativistische Rechnung ist bei einer Energie von 54,0 eV nicht notwendig. Der Impuls ergibt sich aus der kinetischen Energie.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_e v^2 = eU \Rightarrow m_e^2 v^2 = 2 m_e eU \Rightarrow p = \sqrt{2 m_e eU} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_e eU}}$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 54,0 \text{ V}}} = 1,67 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

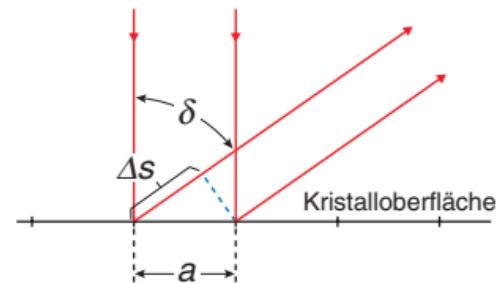
2. Ist der Gangunterschied Δs ein ganzzahliges Vielfache der Wellenlänge λ , dann beobachtet man maximale Verstärkung. Aus der Skizze entnimmt man:

$$\Delta s = a \cdot \sin \delta.$$

Mit $\Delta s = k \cdot \lambda$ ($k = 1, 2, 3 \dots$) folgt: $k \cdot \lambda = a \cdot \sin \delta$.

3. Für das erste Maximum ist $k = 1$, daher ist

$$\lambda = 215 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cdot \sin(50^\circ) = 1,65 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$



Das Ergebnis stimmt gut mit der in 1. berechneten Wellenlänge überein.
Das Experiment bestätigt die Hypothese von De-Broglie.



1. Die Energie der Fotoelektronen ist abhängig von der Frequenz des Lichtes, aber unabhängig von der Intensität des Lichtes.

Die Anzahl der Fotoelektronen und damit die Stromstärke ist abhängig von der Lichtintensität.
Es existiert eine materialabhängige Grenzfrequenz.

2. Licht besteht aus einzelnen Photonen der Energie $h \cdot f$.

3. Ein Photon überträgt seine ganze Energie $h \cdot f$ auf ein Elektron der Metallplatte und löst es heraus. Die Platte lädt sich positiv auf. Es entsteht zwischen Umgebung und Platte ein elektrisches Feld und damit eine Spannung. Die Spannung wächst nur so lange, bis auch die Elektronen mit maximaler kinetischer Energie nicht mehr gegen das Feld anlaufen können.

$$eU_{\max} = E_{\text{kin}} = hf - W_a$$

Änderung der Lichtintensität: Die maximale Spannung bleibt unverändert.

Die Frequenz steigt: Die maximale Spannung steigt.

Die Frequenz sinkt, bleibt aber größer als die Grenzfrequenz: Die maximale Spannung sinkt.

Gegeben: $\lambda = 250 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ und $W_a = 2,25 \text{ eV}$

$$U_{\max} = \frac{1}{e} (hf - W_a) = \frac{1}{e} \left(h \cdot \frac{\lambda}{c} - W_a \right) = 2,72 \text{ V}$$



1. Für die Abstände a der Intensitätsmaxima gilt die Näherungsformel $a = \lambda \cdot e/b$.

Auf der Fotoplatte sind Interferenzstreifen in Abständen von etwa $a = \frac{632 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 2 \text{ m}}{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \approx 2,5 \text{ mm}$ zu sehen.



2. • Man beobachtet stochastisch verteilte Schwärzungen auf der Fotoplatte (Abb. 1).

• Nach längerer Belichtungszeit erkennt man wieder ein Interferenzmuster (Abb. 2).

3. Im Wellenmodell ist das stochastische Verhalten der Photonen nicht zu erklären.

Im Modell der klassischen Teilchen ist das Interferenzmuster nach langer Belichtungszeit nicht zu erklären.

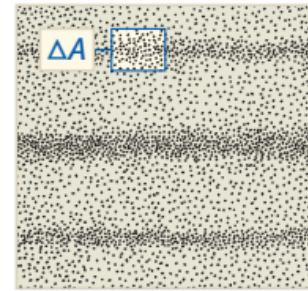
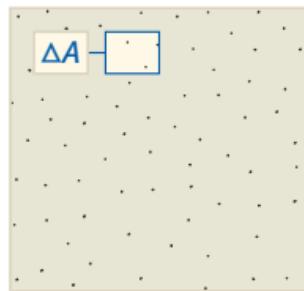


Abb. 1

Abb. 2



1. Es sind die Phasensprünge bei der Reflexion am idealen Spiegel (π) und am halbdurchlässigen Spiegel ($\pi/2$) zu berücksichtigen.

Bei einer Phasendifferenz π liegt Auslöschung vor. Der Detektor D_1 spricht nicht an.

Bei D_2 ist Verstärkung zu erwarten. Er werden Photonen nachgewiesen.

2. Auf dem Schirm am Ort D_2 erscheint ein Interferenzmuster. Der Schirm am Ort D_1 bleibt dunkel.

3. Die Interferenz verschwindet. Es werden Photonen mit D_1 und mit D_2 nachgewiesen

4. Nach dem Durchgang durch einen Polarisationsfilter sind die Photonen senkrecht zueinander polarisiert. Man kann feststellen, welchen Weg die Photonen genommen haben. Die Interferenz verschwindet.

Lichtweg	Phasensprünge	Phasendifferenz
$L-S_1-S_3-S_4-D_1$	$\pi/2 + \pi + \pi/2 = 2\pi$	π
$L-S_1-S_2-S_4-D_1$	π	
$L-S_1-S_3-S_4-D_2$	$\pi/2 + \pi = 3\pi/2$	0
$L-S_1-S_2-S_4-D_2$	$\pi + \pi/2 = 3\pi/2$	



1. Mit der Unbestimmtheit für die Geschwindigkeit $\overline{\Delta v} = 240 \text{ m/s} \cdot 0,01\% = 0,025 \text{ m/s}$ kann die Unbestimmtheit des Impulses $\overline{\Delta p} = m \cdot \overline{\Delta v}$ berechnet werden.

Damit ergibt sich aus der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation für den Ball mit der Masse $m = 0,200 \text{ kg}$

$$\overline{\Delta x} \geq \frac{h}{4\pi \cdot m \cdot \overline{\Delta v}} \geq \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{4\pi \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot 0,25 \text{ m/s}} = 1,1 \cdot 10^{-32} \text{ m.}$$

Für das Elektron mit der Masse $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ergibt sich entsprechend $\overline{\Delta x} \geq 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 2,3 \text{ mm}$.

Die Unbestimmtheit des Ortes ist für das Elektron um etwa 29 Zehnerpotenzen größer als die für den Ball.
Für den Ball ist sie kleiner als der Durchmesser eines Atomkerns und damit bedeutungslos.

2. $p = \sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U_B} = \sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 200 \text{ V}} = 2,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$

Als Unbestimmtheit des Ortes kann $b/2 = 0,5 \text{ mm}$ gewählt werden.

$$\overline{\Delta p_x} \geq \frac{h}{4\pi \overline{\Delta x}} = \frac{9,11 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{4\pi \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1,4 \cdot 10^{-31} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

Die relative Impulsänderung $\frac{\overline{\Delta p_x}}{p} \approx 0,5 \cdot 10^{-23}$ ist so gering, dass sie ohne Einfluss ist.



1. Beim Fotoeffekt wird Energie von Photonen in elektrische Energie umgesetzt, bei der Röntgenstrahlung dagegen elektrische Energie in Energie von Photonen.

Bremsstrahlung

Elektronen werden in einer Röntgenröhre beschleunigt und treffen auf die Anode. Im elektrischen Feld des Anodenmaterials werden sie abgebremst. Ihre elektrische Energie $e \cdot U_B$ wird dabei teilweise oder ganz in Energie von Röntgenphotonen $h \cdot f$ umgesetzt. Man erhält ein kontinuierliches Energiespektrum, die Röntgenbremsstrahlung. Das Bremspektrum ist vom Anodenmaterial unabhängig.

Wird die gesamte Energie des Elektrons auf einmal in Energie eines Photons umgesetzt, dann hat dieses Photon die größte Frequenz f_{grenz} bzw. die kleinste Wellenlänge λ_{grenz} :

$$e \cdot U_B = h \cdot f_{\text{grenz}} = h \cdot c / \lambda_{\text{grenz}} \Leftrightarrow \lambda_{\text{grenz}} = h \cdot c / e \cdot U_B.$$

Charakteristische Strahlung

Energiereiche Elektronen können Elektronen aus der K-Schale der Atome des Anodenmaterials herauslösen. Bei der Rekombination aus der L-, M- ... Schale wird Energie in Form von Licht frei. Die materialabhängigen Linien im Spektrum heißen K_{α} -, K_{β} -Linien. Im Spektrum sind dies die beiden scharfen Maxima. Sinkt die Beschleunigungsspannung, dann verschwinden diese Linien, da dann die Energie der beschleunigten Elektronen zu gering ist.

$$2. \lambda_{\text{grenz}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 25,0 \cdot 10^3 \text{ V}} = 49,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$



1. Compton beobachtete, dass neben der gestreuten Strahlung mit einer unveränderten Wellenlänge auch Strahlung mit größerer Wellenlänge entsteht. Er stellte fest, dass die Wellenlängenänderung vom Streuwinkel abhing (Abb. 1).

2. • $\Delta\lambda$: Wellenlängenänderung
 - λ_c : Comptonwellenlänge $2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.
 - Bei einem Streuwinkel von 90° stimmt die Wellenlängenänderung mit λ_c überein.
 - θ : Streuwinkel
- Impulsdiagramm s. Abb. 2.

3. $\lambda_s = \lambda + \Delta\lambda = \lambda + \lambda_c(1 - \cos(120^\circ)) = 6,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Die Energieabnahme der Photonen entspricht der Energiezunahme der Elektronen:

$$\begin{aligned}\Delta E &= \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_s} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s}\right) \\ &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(\frac{1}{2,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}} - \frac{1}{6,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}} \right) \\ &= 5,0 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 3,1 \cdot 10^5 \text{ eV.}\end{aligned}$$

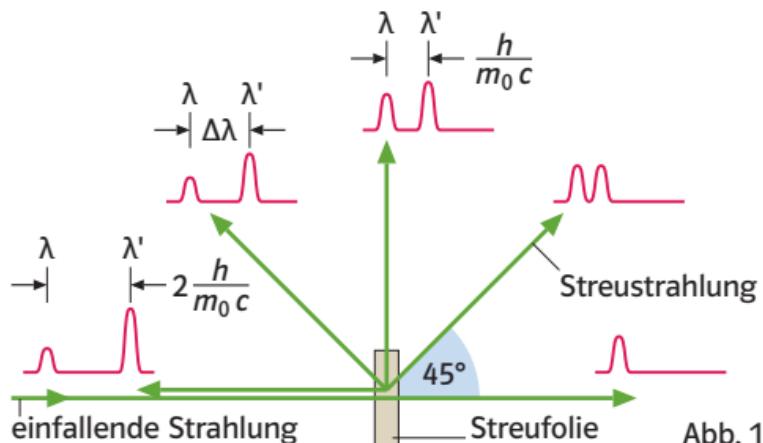


Abb. 1

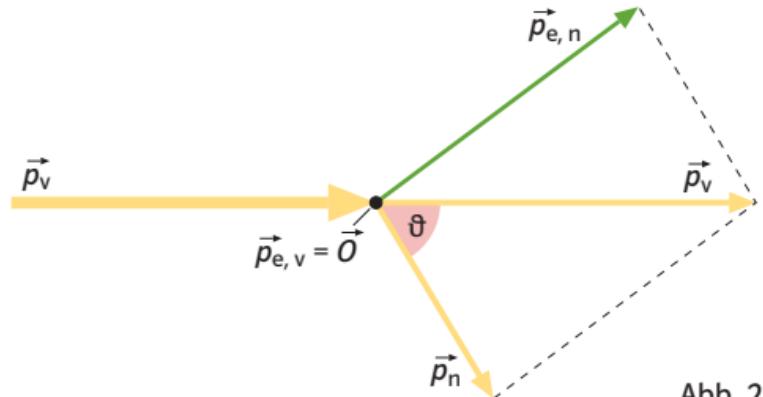


Abb. 2

1. Fotoeffekt (weitere Informationen finden Sie auf der Karte 50 „Der Fotoeffekt“):

Der äußere Fotoeffekt: Mit einer Vakuumfotozelle und der Gegenfeldmethode lässt sich die Energie der Fotoelektronen bestimmen. In einem Frequenz-Energie-Diagramm erhält man eine Gerade, deren Steigung h ist.

Elektronenbeugung (weitere Informationen finden Sie auf der Karte 49 „Ausbreitung von Elektronen“): Aus der Beschleunigungsspannung U erhält man den Impuls p eines Elektrons. Die De-Broglie-Wellenlänge λ lässt sich aus der Geometrie der Röhre bestimmen. Man erhält $h = p \cdot \lambda$.

Röntgenstrahlung (Weitere Informationen finden Sie auf der Karte 54 „Röntgenstrahlung“):

Für die kurzwellige Grenze gilt: $e \cdot U = h \cdot c / \lambda \Leftrightarrow h = eU\lambda/c$.

2. Welle – Teilchen:

h verknüpft die Frequenz mit der Energie: $E = hf$.

h verknüpft die Wellenlänge mit dem Impuls: $p = h/\lambda$.

Teilchen – Welle:

h verknüpft Impuls mit einer Wellenlänge: $\lambda = h/p$.

h begrenzt die Unbestimmtheiten von Ort und Impuls: $\overline{\Delta x} \cdot \overline{\Delta p_x} \geq \frac{h}{4\pi}$.

3. Die Energie der Photonen $E = h \cdot f$ wäre wesentlich größer. Die De-Broglie Wellenlänge $\lambda = h/p$ wäre deutlich größer. Es käme zu Interferenzen bei größeren Objekten. Außerdem würde sich die Unbestimmtheitsrelation im täglichen Leben bemerkbar machen, z. B. bei der Elektronenstrahlröhre.



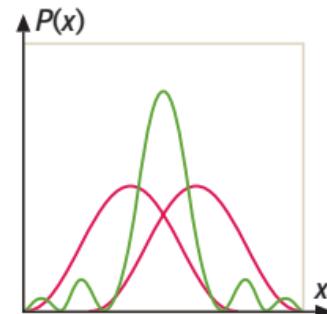
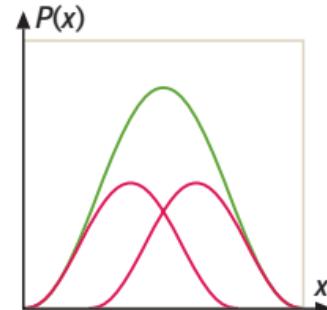
1. - $\psi(x)$ hat keine physikalische Bedeutung, es ist keine Messgröße.
- $\psi^2(x_0) \cdot \Delta x$ ist die Wahrscheinlichkeit, ein Quantenobjekt im Bereich Δx um den Ort x_0 zu registrieren.

2. $\psi_1(x)$ bzw. $\psi_2(x)$ sind die Zustandsfunktionen für einen Versuch, bei dem genau ein Spalt geöffnet ist.

Stellt man vor beide Spalte je ein Polarisationsfilter und sind diese senkrecht zu einander eingestellt, dann kann prinzipiell festgestellt werden, welchen Weg die Photonen gewählt haben (Spalt 1 oder Spalt 2). In diesem Fall beobachtet man keine Interferenz. Die Antreffwahrscheinlichkeiten addieren sich; deshalb ist:
 $\psi_{12}^2(x) = \psi_1^2(x) + \psi_2^2(x)$, s. obere Abb.

Entfernt man beide Polarisatoren oder stellt sie parallel ein, dann entfällt die Weginformation. Man beobachtet Interferenz. Jetzt müssen zuerst die Zustandsfunktionen addiert werden (entspricht der Addition der Amplituden zweier Wellen). Man erhält: $\psi_{12}^2 = (\psi_1(x) + \psi_2(x))^2$, s. untere Abb.

3. Das Elektron hält sich mit maximaler Wahrscheinlichkeit in einer Umgebung um den Ort $x_0 \approx a/2$ auf. Seine Gesamtenergie ist kleiner als 30 eV. Obwohl die Energie nicht reicht, besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit für den Aufenthalt im Bereich $[a, a + d]$. Elektronen können endlich hohe Energiebarrieren „durchtunneln“. Für $x < 0$ ist die Antreffwahrscheinlichkeit Null.



1. Rutherford schoss ein schmales Bündel α -Teilchen (das sind Heliumkerne) auf eine dünne Goldfolie. Er stellte fest:

- Fast alle α -Teilchen durchdringen die Goldfolie ohne Ablenkung.
- Wenige α -Teilchen wurden abgelenkt. Vereinzelt kam es zu einer Streuung um 180° .
- Durch die Ablenkung verlieren die α -Teilchen kaum Energie.

Die Masse m_α eines α -Teilchens ist sehr viel größer als die Masse m_e eines Elektrons. Eine Streuung an Elektronen konnte er so ausschließen. Rutherford führte die beobachteten Phänomene auf Coulomb-Kräfte zwischen einem positiv geladenen Kern und einem α -Teilchen zurück.

Rutherford'sches Atommodell: Die Masse und die positive Ladung eines Atoms sind in einem kleinen Raumbereich, dem Atomkern, konzentriert. Die Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen um den Kern und bilden die Atomhülle.

2. Nähert sich ein α -Teilchen dem Kern, dann wird seine kinetische Energie in potentielle Energie umgesetzt. Gilt $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$, dann ist der geringste Abstand erreicht.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{79e \cdot 2e}{r} \Leftrightarrow r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{79e \cdot 2e}{E_{\text{kin}}} \Rightarrow r = \frac{158 \cdot e^2}{4 \cdot \pi \cdot 8,6 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm} \cdot 8,0 \cdot 10^6 \text{ eV}} \approx 2,9 \cdot 10^{-14} \text{ m.}$$

Der Kerndurchmesser ist kleiner als $2,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.



1. Die Gegenspannung $U_G = 1\text{V}$ ist fest.

Die Stromstärke I wird in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B gemessen.

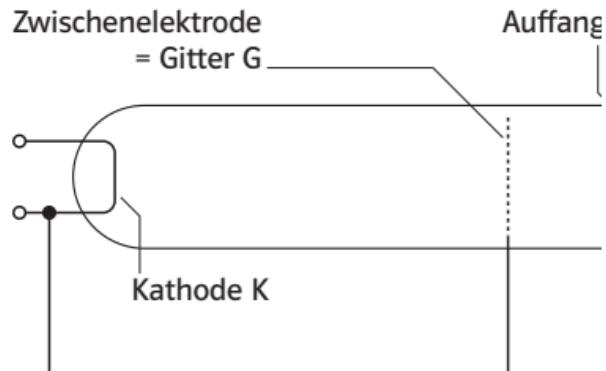
2. Sobald für die Beschleunigungsspannung $U_B > U_G$ ist, können die Elektronen die Gegenspannung überwinden. Die Stromstärke wächst zunächst, wie bei einer Diode, mit steigender Spannung U_B , dann aber folgen mehrere Maxima und Minima in Abständen von jeweils $4,9\text{V}$. Die Abnahme der Stromstärke kann nur mit einem Energieverlust der Elektronen erklärt werden.

Bis zu einer Energie kleiner als $4,9\text{eV}$ kommt es nur zu elastischen Stößen zwischen Elektronen und Quecksilberatomen, dabei ändert sich die Energie der Elektronen nicht.

Bei einer Spannung von $4,9\text{V}$ besitzen die Elektronen unmittelbar vor dem Gitter G genügend Energie für einen unelastischen Stoß. Ein Elektron, das seine Energie abgegeben hat, kann die Gegenspannung nicht mehr überwinden, die Stromstärke sinkt.

Steigt die Spannung weiter, so finden unelastische Stöße in größerer Entfernung vom Gitter statt.

Auf der „restlichen“ Strecke werden Elektronen erneut beschleunigt und können schließlich die Gegenspannung wieder überwinden. Die Stromstärke steigt bis zum nächsten Maximum. Die Elektronen erreichen nun eine Energie von $9,8\text{eV}$ und können zweimal Energie auf Quecksilberatome übertragen. Die Stromstärke sinkt erneut.



1. 1. Postulat: Elektronen mit der Masse m_e kreisen mit der Geschwindigkeit v_n im Abstand r_n strahlungsfrei um den Atomkern, wenn $2 \cdot \pi \cdot m_e \cdot v_n \cdot r_n = n \cdot h$ ist.

2. Postulat: Gehört zu einer äußeren Bahn die Energie E_m und zu einer inneren Bahn die Energie E_n , dann wird die Energiedifferenz $\Delta E = E_m - E_n = h \cdot f$ beim Übergang von der äußeren zur inneren Bahn abgegeben. Beim umgekehrten Vorgang wird ein Photon absorbiert.

2. – Im Energieterm ist r_n durch den angegebenen Radius zu ersetzen.

- Die Ionisierungsenergie beträgt 54,4 eV. Mit dieser Energie kann man das Elektron vom Grundzustand ($n = 1$) auf das Nullniveau heben.

- Energieschema: Siehe Abbildung

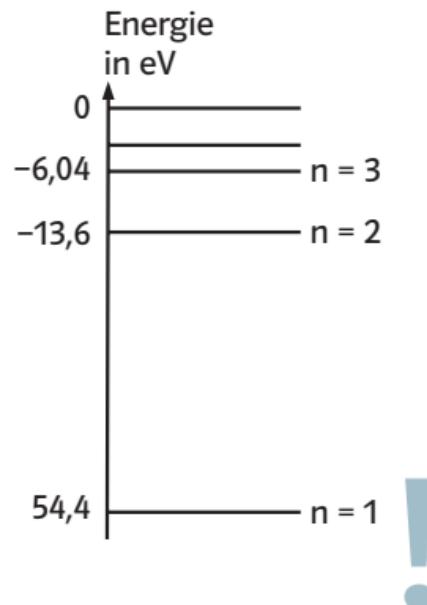
- $r_1 = 2,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

- $v_1 = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

- Man wählt für die Unbestimmtheit des Ortes den Radius r_1 , dann ist

$$\overline{\Delta x} \cdot \overline{\Delta p} = r_1 \cdot m_e \cdot \overline{\Delta v} \geq \frac{h}{4\pi} \Leftrightarrow \overline{\Delta v} \geq \frac{h}{4\pi m_e r_1} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Die Unbestimmtheit der Geschwindigkeit beträgt also etwa 50% von v_1 . Nach der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation ist die Angabe einer Bahnkurve nicht haltbar.



1. Das Elektron soll sich innerhalb der Strecke L kräftefrei bewegen können, daher kann dort $E_{\text{pot}} = 0$ gewählt werden. Außerhalb von L wird E_{pot} unendlich. Das Elektron kann die Strecke L nicht verlassen.

Elektronen werden als Quantenobjekte mit Zustands- bzw. Wellenfunktionen $\psi(x)$ beschrieben. Es gilt:

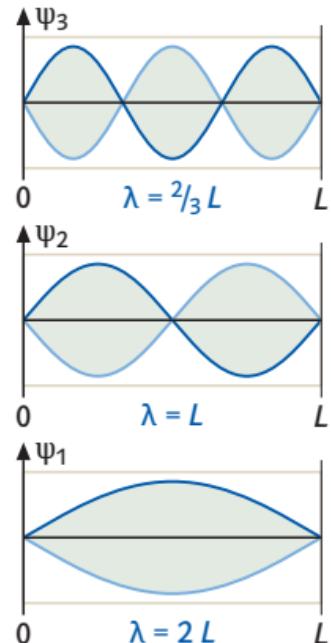
$\psi^2(x) \cdot \Delta x$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, ein Elektron in einem Intervall der Länge Δx in der Umgebung des Ortes x zu finden.

Für den Potenzialtopf sind die Zustandsfunktionen außerhalb der Strecke null und innerhalb der Strecke sind es stehende Wellen, für die die De-Broglie-Beziehung $\lambda = h/p$ gilt (s. Abb.).

$$\text{Es ist: } L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda_n} = \frac{n h}{2 L} \quad \text{also}$$

$$E_n = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin},n} = 0 + \frac{p^2}{2 m_e} = \frac{h^2}{8 m_e L^2} \cdot n^2.$$

$$2. E_5 - E_4 = 5,4 \cdot 10^{-19} \text{ J} = h f = \frac{h c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 366 \text{ nm}$$



$$1. f_R = \frac{f}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)} = \frac{c}{\lambda \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)}$$

Farbe	rot	grün	blau	violett
	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$
Wellenlänge	655 nm	490 nm	435 nm	410 nm
f_R	$3,30 \cdot 10^{15}$ Hz	$3,26 \cdot 10^{15}$ Hz	$3,28 \cdot 10^{15}$ Hz	$3,29 \cdot 10^{15}$ Hz

Mittelwert: $f_R = 3,28 \cdot 10^{15}$ Hz

2. Die Frequenzen gehören zu Übergängen von der m -ten Energiestufe zur zweiten Energiestufe.

$$hf = 13,6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right) \Rightarrow f_R = \frac{13,6 \text{ eV}}{h} = \frac{13,6 \text{ eV}}{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}} = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Gute Übereinstimmung mit dem experimentellen Wert.



1. Hauptquantenzahl n : Sie kennzeichnet das Energieniveau.

Nebenquantenzahl $l = 0, 1, \dots, n - 1$: Sie gibt die Anzahl der Knotenebenen der Orbitale an.

$l = 0$ kennzeichnet s-Orbitale, $l = 1$ kennzeichnet p-Orbitale usw.

Orientierungsquantenzahl $m = -l, \dots, -1, 0, 1, \dots, l$: Sie unterscheidet die Orbitale nach ihrer Rotationssymmetrie.

Spinquantenzahl $s = 1/2$ bzw. $s = -1/2$. Diese Zahl beschreibt eine Eigenschaft eines Elektrons, die vergleichbar mit dem klassischen Eigendrehimpuls ist.

2. Pauli-Prinzip: Elektronen eines Atoms unterscheiden sich in mindestens einer Quantenzahl.

3. $n = 3$

$l = 0; m = 0$ $l = 1; m = -1; m = 0; m = 1$ $l = 2; m = -2; m = -1; m = 0; m = 1; m = 2$

jeweils mit $s = 1/2$ oder $s = -1/2$

Daher beträgt die maximale Anzahl $2 \cdot 9 = 18$.

Allgemein gilt: Für die Hauptquantenzahl n gibt es $2n^2$ mögliche Kombinationen der Quantenzahlen.

4. Bei Natrium ist das 11. Elektron auf einem höheren Energieniveau als das 10. Elektron des Neon-Atoms.

Vom Natrium-Atom zum Argon-Atom wird die M-Schale mit Elektronen aufgefüllt. Die Kernladungszahl steigt und damit auch die anziehenden Kräfte, die die Elektronen in der Atomhülle erfahren.



1. Die K_{α} -Linie entsteht beim Übergang eines Elektrons von der Energiestufe $n = 2$ in einen freien Zustand $n = 1$. Das zweite Elektron im Zustand $n = 1$ schirmt ungefähr eine Kernladung ab. In guter Näherung kann Z durch $Z - 1$ ersetzt werden.

$$2. \Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot f_{K_{\alpha}} = 13,6 \text{ eV} \cdot (Z - 1)^2 \cdot 3/4$$

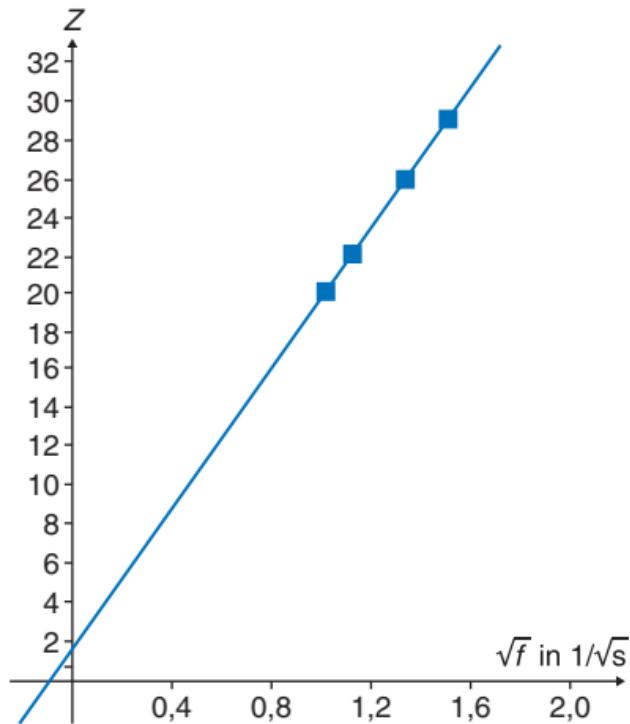
$$Z = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,93 \cdot 10^{18} \text{ Hz} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}}{13,6 \text{ eV} \cdot 3}} + 1 = 29. \text{ Es ist Kupfer.}$$

3. Die K_{β} -Linie gehört zum Übergang von $n = 3$ zu $n = 1$. Es ist also $h \cdot f_{K_{\beta}} = 13,6 \text{ eV} \cdot (Z - a)^2 \cdot 8/9$. Diese Gleichung stellt man nach Z frei.

$$Z = \sqrt{\frac{9h}{8 \cdot 13,6 \text{ eV}}} \cdot \sqrt{f_{K_{\beta}}} + a$$

Das Diagramm ergibt also eine Gerade. Der Achsenabschnitt 1,5 ist der Abschirmfaktor.

Da auch die Elektronen der L-Schale einen Teil der Kernladung abschirmen, erwartet man für a einen Wert größer als 1.



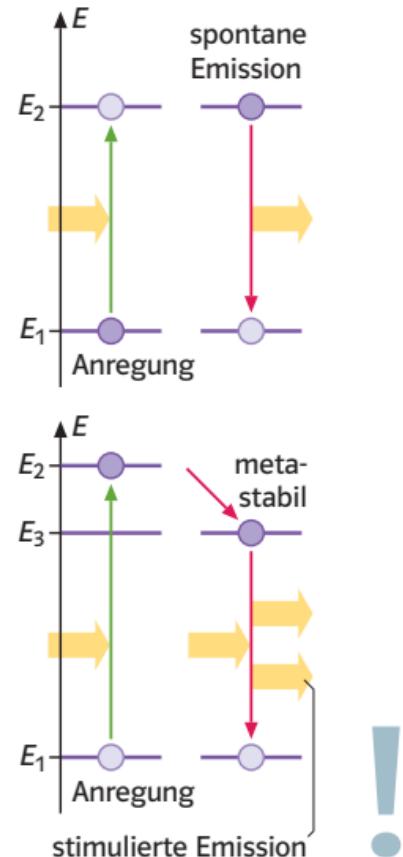
1. – Ein angeregtes Atom kehrt im allgemeinen spontan (Verweildauer etwa 10^{-8} s) in den Ausgangszustand zurück. Die dabei freiwerdende Energie wird als Photon abgegeben. Trifft ein Photon auf ein bereits angeregtes Atom, so kann es dieses veranlassen, aus dem höheren Niveau E_n in das niedrigere E_m unter Aussendung eines Photons der Energie $h \cdot f = \Delta E$ überzugehen, sofern es dieselbe Energie hat. Man erhält ein zweites Photon gleicher Energie. Der Vorgang heißt stimulierte Emission.

- Ist die Verweildauer im angeregten Zustand wesentlich größer als 10^{-8} s, dann spricht man von einem metastabilen Zustand.
- Durch Energiezufuhr müssen mehr Atome angeregt werden, als dem thermischen Gleichgewicht entspricht. Es liegt dann Besetzungsinversion vor.

2. a) Dem Argon-Ion muss die Energie $\Delta E = 36,0 \text{ eV} - 16 \text{ eV} = 20 \text{ eV} = 20 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ zugeführt werden. Für die Geschwindigkeit des Elektrons gilt dann: $\frac{1}{2} m_e v^2 = \Delta E \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \Delta E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,65 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Die Energiedifferenz ΔE beim Übergang von 4 p nach 4 s beträgt $36,0 \text{ eV} - 33,5 \text{ eV} = 2,5 \text{ eV}$.

$$\Delta E = h f = h c / \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{h c}{\Delta E} = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \text{ eV}} = 497 \text{ nm}$$



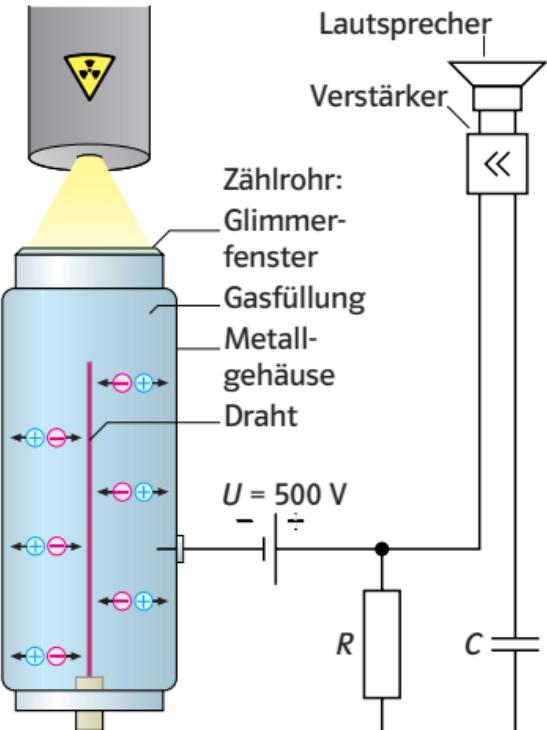
- a) In Metallen geben die Atome die am schwächsten gebundenen Elektronen ab. Diese können nicht mehr einem einzelnen Atom zugeordnet werden, sondern dem ganzen Metall. Die positiv geladenen Atomrümpfe werden durch die gemeinsamen Elektronen zusammengehalten.
 - b) Bei der kovalenten Bindung haben zwei Atome gemeinsame Elektronen. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen ist zwischen den beiden Atomen maximal. Die gemeinsamen Elektronen werden von beiden Atomkernen angezogen; es entsteht eine feste Bindung.
 - c) Die Ionenbindung entsteht durch anziehende Kräfte zwischen positiv und negativ geladenen Ionen.
2. Bei der Temperatur $T = 0 \text{ K}$ sind alle Energieniveaus vom Grundzustand aufwärts bis zu einer Energiegrenze besetzt. Alle höheren Energieniveaus sind leer. Die Energiegrenze E_F heißt Fermi-Energie.
3. Für freie Elektronen in Metallen liegen unmittelbar oberhalb der Fermi-Energie freie Energieniveaus. Diese haben so geringe Abstände, dass die Elektronen auch kleinste Energiebeträge absorbieren können. Deshalb absorbiert Metall Licht jeder Wellenlänge.
Die Elektronen im Halbleiter müssen eine Mindestenergie aufnehmen, um ein freies Energieniveau zu erreichen. Diese Mindestenergie ist materialabhängig. Halbleiter sind deshalb für Licht mit Wellenlängen, deren Energie unter dieser Schwelle liegt, durchlässig.



1. Die Strahlung ionisiert zunächst einige Atome des Edelgases. Die Elektronen werden zum Draht beschleunigt. Ihre Energie nimmt schnell zu. Sie können weitere Atome ionisieren. Die Anzahl der Ladungsträger wächst lawinenartig an. Die Folge ist ein Stromstoß und damit ein Spannungsimpuls am Widerstand. Da die Ionen wesentlich träger sind, entsteht um den Draht ein Bereich mit positiver Ladung. Das von außen angelegte elektrische Feld wird abgeschirmt. Für eine kurze Zeit (Totzeit) wird die lawinenartige Ladungserzeugung gestoppt.

2. In der Kammer befindet sich Luft, die bis zur Sättigung mit Wasser-Alkohol-Dampf gefüllt ist. Wird der Druck plötzlich (adiabatisch) verringert, kühlt sich die Luft ab. Die Ionen wirken als Kondensationskeime, um die sich Wassertröpfchen bilden.
– Dicke Spuren deuten auf α -Strahlung.
– Strahlung lässt sich durch Papier abschirmen.
– Kurze Reichweite der Strahlung.

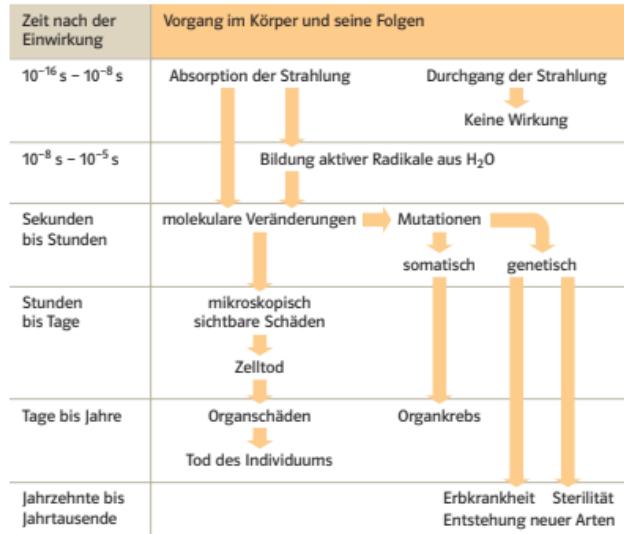
3. Weitere Nachweisgeräte:
Ionisationskammer, Halbleiterdetektor, Szintillationszähler



1. Strahlungsarten	α -Strahlung	β -Strahlung	γ -Strahlung
Strahlung besteht aus	positiv geladenen Heliumkernen	Elektronen (β^-) bzw. Positronen (β^+)	energiereichen Photonen
Energie	3 MeV bis 11 MeV	bis etwa 3 MeV	0,001 MeV bis 10 MeV
Reichweite in Luft	einige Zentimeter	einige Meter	sehr groß
Abschirmung	durch ein Blatt Papier	durch ein dünnes Aluminiumblech	durch dicke Bleiplatten; vollständige Abschirmung nicht möglich

2. Ein Teil der Strahlung wird schwach abgelenkt. Die Ablenkungsrichtung zeigt, dass sie aus positiv geladenen Teilchen besteht. Es ist die α -Strahlung. Ein anderer Teil wird stark abgelenkt. Die Richtung deutet auf negativ geladene Körper hin. Es ist die β -Strahlung. Ein dritter Teil durchdringt das Magnetfeld ohne Richtungsänderung. Es ist die γ -Strahlung.

3. Die Tabelle gibt einen Überblick



1. Die Punkte liegen mit guter Genauigkeit auf einer Geraden, d.h. die Messwerte genügen einem Exponentialgesetz $z(t) = z(0) \cdot e^{-\lambda t}$.

Mit dem Punkt (350 s / -1,6) erhält man die Steigung der Geraden $\ln(z/z_0) = m \cdot t$. Es ist: $m = -0,0046 \text{ s}^{-1}$.

$$\Rightarrow \ln(z/z_0) = -0,0046 \text{ s}^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow z(t) = 41 \frac{1}{\text{s}} \cdot e^{-0,0046 \frac{1}{\text{s}} \cdot t}$$

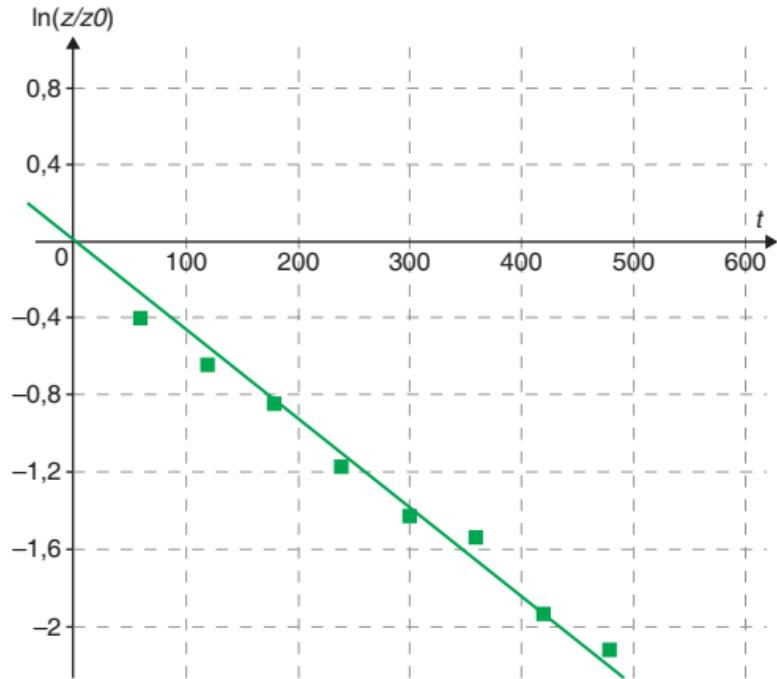
$$\Rightarrow \text{Zerfallskonstante } \lambda = 0,0046 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \text{Halbwertszeit } T_{1/2} = \ln(2)/\lambda = 150 \text{ s}$$

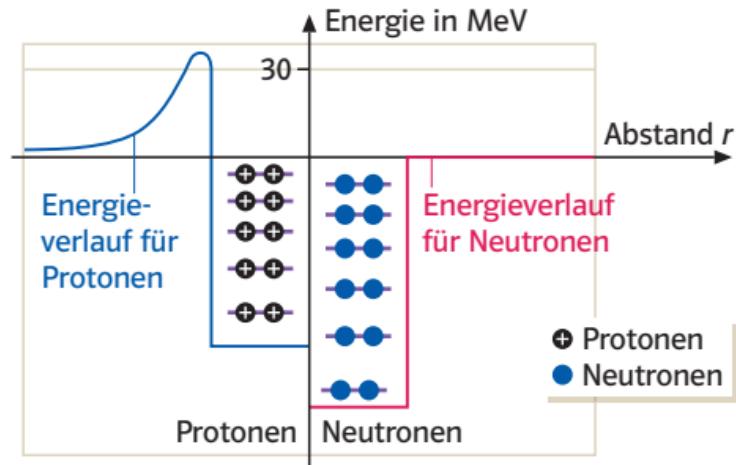
2. Für die Aktivität $A(t)$ gilt:

$$\Rightarrow A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow t = -\frac{\ln(A(t)/(A_0))}{\lambda} = -\frac{T_{1/2} \cdot \ln(A(t)/A_0)}{\ln(2)}$$

$$t = -\frac{270 \text{ d} \cdot \ln(0,8)}{\ln(2)} = 87 \text{ d.}$$



- Die Einschränkung ihres Aufenthaltbereichs führt bei Quantenobjekten zu diskreten Energieniveaus.
- Der Kernradius ist durch den starken Abfall der potenziellen Energie gekennzeichnet.
- Außerhalb des Kerns erfahren Neutronen keine Kräfte, daher kann $E_{\text{pot}} = 0$ gewählt werden. Für Protonen ist das Coulombpotenzial zu berücksichtigen. Es wird angenommen, dass sich Kräfte, die ein Nukleon im Kern erfährt, aufheben. Innerhalb des Kerns ist die potenzielle Energie konstant.
- Wegen der abstoßenden Coulombkraft sind die Energieniveaus für Protonen etwas höher als die für Neutronen.
- Nach dem Pauli-Prinzip ist jedes Niveau mit höchstens zwei Nukleonen besetzt.



- γ -Strahlung: Angeregter Kern geht in den Grundzustand über: ${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + \gamma$.
- β -Strahlung: Ein freies Energieniveau für Neutronen kann durch ein Proton mit höherer Energie besetzt werden oder umgekehrt: Ein Neutron besetzt ein niedrigeres Energieniveau für Protonen. Ein Elektron bzw. ein Positron verlässt den Kern als β^- - bzw. β^+ -Strahlung: ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A+1}_{Z+1} Y + e^-$ oder ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-1}_{Z-1} Y + e^+$.
- α -Strahlung: Zwei Protonen und zwei Neutronen können einen Heliumkern bilden. Dieser kann als α -Strahlung den Atomkern verlassen: ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$.



$$1. \ 1uc^2 = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{kg} \cdot (2,9979 \cdot 10^8 \text{m/s})^2 = 1,492 \cdot 10^{-10} \text{J} = 931,5 \text{ MeV}$$

2. Die Massen von Proton und Neutron sind in guter Genauigkeit bekannt.

Der Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Die Masse des Kerns sollte mit $2m_p + 2m_n$ übereinstimmen. Es ist:

$$2m_p + 2m_n = 2 \cdot 1,007727647u + 2 \cdot 1,00866490u = 4,03188274u$$

Experimentell erhält man jedoch für $m_{\text{He}} = 4,0015064u$ eine kleinere Masse als die berechnete. Die Differenz heißt Massendefekt Δm .

Es gilt allgemein: Die Masse eines Kerns ist kleiner als die Summe der Massen seiner Nukleonen.

Dem Massendefekt entspricht die Energie $\Delta m c^2$. Diese Energie muss aufgebracht werden, um die Nukleonen vom Kern zu trennen. Die Energie wird beim Aufbau des Kerns frei. In diesem Fall spricht man von der Bindungsenergie E_B . Da die Energie vom System Kern abgegeben wird, wird sie negativ angegeben.

Es ist: $E_B = -\Delta m \cdot c^2$

3. Der Betrag der Bindungsenergie ist bei dem schweren Kern kleiner als bei den beiden mittelschweren Kernen zusammen. Es wird Bindungsenergie frei.

Entsprechendes gilt für die Fusion leichter Kerne.



1. Der Radius des Bleikerns beträgt: $r = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A} = 1,5 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{209} \text{ m} = 8,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.

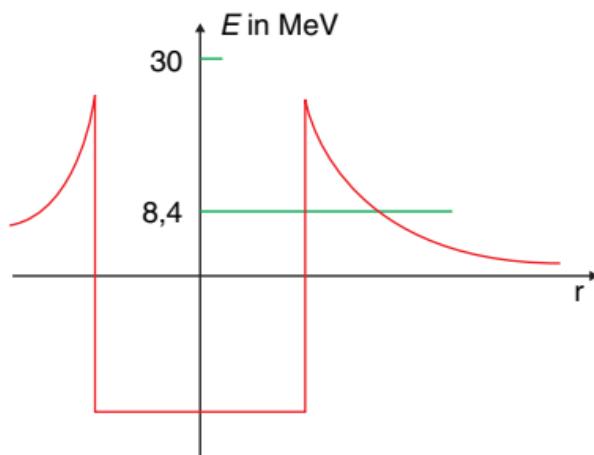
In großer Entfernung müsste sich die potentielle Energie am Ort r in kinetische Energie des α -Teilchens umgesetzt haben.

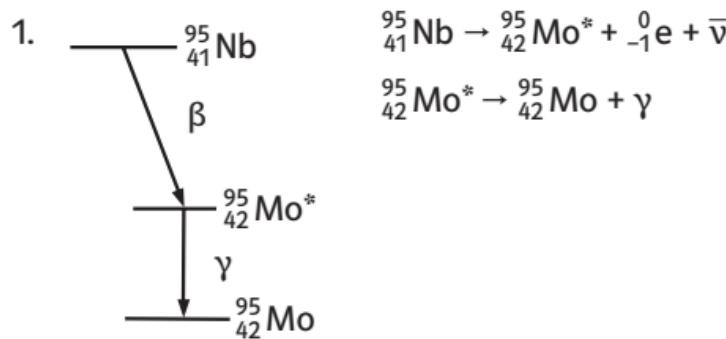
$$W_{\text{kin}} = W_{\text{pot}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{82e \cdot 2e}{r} = 4,2 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 26 \text{ MeV}$$

2. Das Ergebnis aus 1. ist etwa um den Faktor 3 größer als der gemessene Wert.

Es scheint so, als sei das α -Teilchen nicht aus dem Kern gekommen, denn zur Überwindung des Potentialwalls benötigt es die Energie von etwa 26 MeV. Zur Energie von 8,4 MeV gehört eine deutlich größere Entfernung vom Kernmittelpunkt.

Die Heliumkerne der α -Strahlung sind Quantenobjekte. Diese können Energiebarrieren durchdringen, man spricht vom Tunneleffekt. Dies heißt, dass mit einer von Null verschiedenen Wahrscheinlichkeit α -Teilchen außerhalb des Potentialtopfes anzutreffen sind, obwohl ihre Energie nach klassischer Vorstellung zu gering ist, um den Kern zu verlassen.





2. Maximale kinetische Energie erhält man aus dem Massendefekt der Kernmassen:

$$m({}_{41}^{95}\text{Nb}) \cdot c^2 = m({}_{42}^{95}\text{Mo}) \cdot c^2 + m_e c^2 + 0,768 \text{ MeV} + \Delta E.$$

$$\begin{aligned} 3. \Delta E &= (m({}_{41}^{95}\text{Nb}) - m({}_{42}^{95}\text{Mo})) \cdot c^2 - m_e c^2 - 0,768 \text{ MeV} \\ &= 1,542 \cdot 10^{-3} u \cdot c^2 - 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 0,768 \text{ MeV} \\ &= 1,542 \cdot 10^{-3} \cdot 931,5 \text{ MeV} - 0,51 \text{ MeV} - 0,768 \text{ MeV} = 0,157 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Ein Teil der Energie übernimmt das Antineutrino.

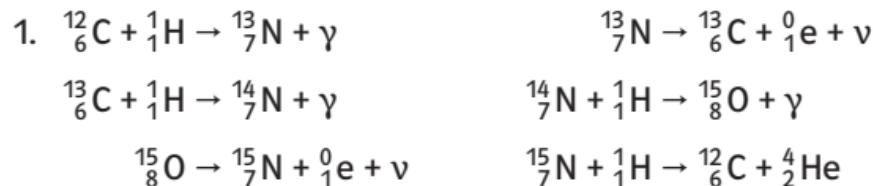


1. Für ein Neutron gibt es bei der Annäherung an einen Uran-Kern keinen Potenzialwall. Es kann bis zum Kern gelangen und von ihm eingefangen werden, dabei wird Bindungsenergie frei. Der Kern beginnt zu schwingen. Ist die Schwingung heftig genug, dann kann es zu einer hantelförmigen Einschnürung kommen. Die Kernkräfte habe nur eine sehr kurze Reichweite, so dass schließlich die abstoßenden Coulombkräfte zwischen den beiden „Hälften“ überwiegen. Der Kern bricht auseinander.
2. Zur Spaltung muss die Aktivierungsenergie aufgebracht werden. Bei Uran 238 reicht die bei der Anlagerung des Neutrons frei werdende Bindungsenergie nicht zur Spaltung des Kerns aus. Es wird zusätzlich Energie benötigt.
3. Das Neutron wird vom Uran-235 eingefangen. Es entsteht ein angeregter Uran-236-Kern. Bei der Spaltung entstehen Cs-140, Rb-94 und zwei Neutronen. Die Bruchstücke gehen nach jeweils drei β -Zerfällen in die stabilen Ce-140- und Zr-40-Kerne über.

$$\begin{aligned}\Delta m &= m_{(\text{U}235)} - m_{(\text{Ce}140)} - m_{(\text{Zr}40)} - 2 \cdot m_n - 6 \cdot m_e \text{ bzw. nach Einsetzung der betreffenden Massen:} \\ &= 234,99346 u - 139,87346 u - 93,884156 u - 1,008665 u - 6 \cdot 0,0005486 u \\ &= 0,22388 u\end{aligned}$$

Die freiwerdende Energie beträgt $931,5 \text{ MeV/u} \cdot 0,22388 \text{ u} = 208,5 \text{ MeV}$.





Ein Vergleich von Beginn und Ende des Zyklus liefert:

$$\begin{aligned}
 {}^{12}_6\text{C} + 4 \cdot {}^1_1\text{H} &\rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} + 2 \cdot {}^0_1\text{e} + 3 \cdot \gamma + 2 \cdot \nu \\
 \Rightarrow \quad 4 \cdot {}^1_1\text{H} &\rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 \cdot {}^0_1\text{e} + 3 \cdot \gamma + 2 \cdot \nu.
 \end{aligned}$$

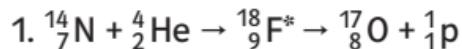
Der Kohlenstoff wirkt als Katalysator. Die frei werdende Energie beträgt:

$$\Delta m \cdot c^2 = 4 \cdot 1,000072765 u - (4,0015064 u + 2 \cdot 0,00054858 u) \cdot c^2 = 24,7 \text{ MeV}$$

$$2. \quad E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k \cdot T \quad \text{ergibt nach } T \text{ aufgelöst: } T = \frac{2 \cdot 0,40 \cdot 10^6 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}} = 3 \cdot 10^9 \text{ K.}$$

Die Temperatur eines Gases müsste etwa $3 \cdot 10^9 \text{ K}$ betragen.





Aus dem Massendefekt ($m_\alpha = 4,0015064 u$, $m_N = 13,9992342 u$, $m_p = 1,0072765 u$, $m_0 = 16,9947446 u$) erhält man:

$$\Delta m c^2 = ((m_0 + m_p) - (m_N - m_\alpha)) c^2 = 0,0012806 u \cdot 931 \text{ MeV/u} \approx 1,2 \text{ MeV.}$$

Die Kernumwandlung ist möglich, falls die Energie des α -Teilchens mindestens 1,2 MeV beträgt.

2. Impuls des α -Teilchens vor der Wechselwirkung:

$$p_\alpha = \sqrt{2 m_\alpha E_{\text{kin}}} = \sqrt{2 \cdot 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 3,9 \text{ MeV}} = 9,11 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

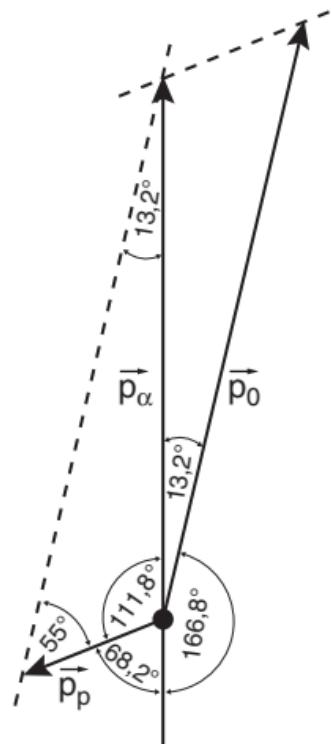
Die Impulse nach der Wechselwirkung ergeben sich aus dem Impulsdiagramm zu

$$p_p = p_\alpha \cdot \frac{\sin 13,2^\circ}{\sin 55^\circ} = 2,54 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \quad \text{und} \quad p_o = p_\alpha \cdot \frac{\sin 111,8^\circ}{\sin 55^\circ} = 10,33 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}.$$

Damit erhält man für die Energien nach dem Stoß:

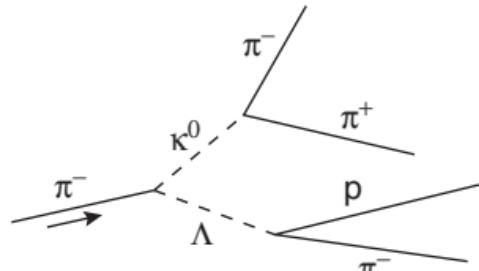
$$E_{{}_{8}^{17}\text{O}} = \frac{p_o^2}{2m_0} = 1,21 \text{ MeV} \approx 1,2 \text{ MeV} \quad \text{und} \quad E_p = \frac{p_p^2}{2m_p} = 1,18 \text{ MeV} \approx 1,2 \text{ MeV.}$$

Es besteht eine Energiedifferenz von $3,9 \text{ MeV} - (1,2 \text{ MeV} + 1,2 \text{ MeV} + 1,2 \text{ MeV}) = 0,3 \text{ MeV}$.
Der Sauerstoffkern könnte noch im angeregten Zustand sein.



1. – Der Gesamtimpuls der auseinanderfliegenden Teilchen ist ungleich null. Wegen der Impulserhaltung muss ein weiteres Teilchen diesen Impuls übertragen haben.
 - Die Teilchen müssen elektrisch neutral sein.

–



$$-\text{Lebensdauer } \tau \approx \frac{s}{c} = \frac{3\text{ cm}}{3 \cdot 10^{10} \text{ cms}^{-1}} = 10^{-10} \text{ s}$$

2. – Zur Bildung des Elektron-Positron-Paars ist mindestens die Ruheenergie von Elektron und Positron notwendig. $W_\gamma \geq 2m_0c^2 = 2 \cdot 0,511 \text{ MeV} = 1,02 \text{ MeV}$.
 - Es muss mindestens ein weiteres Teilchen beteiligt sein, damit die Impulserhaltung gewährleistet ist.
3. Eine Reaktion $\gamma \rightarrow e^-$ widerspricht dem Satz von der Erhaltung der Ladung.



1. – Elektromagnetische Wechselwirkung

Beispiel: Kräfte zwischen geladenen Teilchen (Elektron – Proton im Atom)

Austauschteilchen: Photonen

– Starke Wechselwirkung

Beispiel: Kräfte zwischen den Quarks eines Protons (Zusammenhalt des Protons)

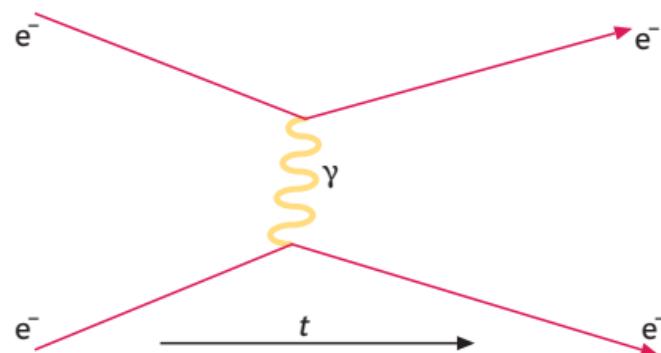
Austauschteilchen: Gluonen

– Schwache Wechselwirkung

Beispiel: Sie wirkt auf alle Teilchen. Bewirkt den β -Zerfall.

Die Reichweite ist mit etwa 10^{-17} m sehr kurz.

Austauschteilchen: W^+ , W^- und Z^0 -Bosonen



2. Beide Elektronen tauschen ein virtuelles Photon aus.

Dadurch erfahren sie die Impulsänderung $\Delta p \approx \frac{h}{r}$ (r ist der Abstand der beiden Elektronen) und üben die Coulomb-

kraft $F = \Delta p / \Delta t = h/r\Delta t = hc/r^2 \sim 1/r^2$ aufeinander aus. Dabei wurde benutzt, dass für die Wechselwirkungszeit Δt der Zusammenhang $c \cdot \Delta t = r$ gilt.

$$3. r \approx h/(4\pi mc) \Leftrightarrow m \approx h/(4\pi cr) = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} / (4\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} \cdot 10^{-15} \text{ m}) = 1,76 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

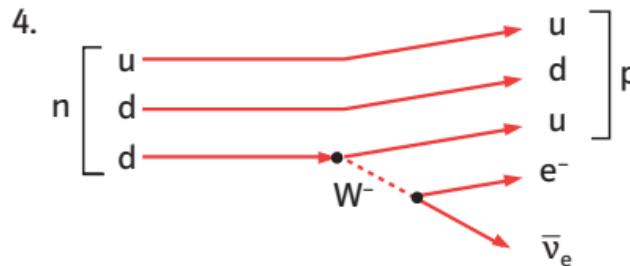
Dies entspricht in etwa der Masse eines Nukleons. In Energieeinheiten sind dies 990 MeV.



1.	Generation	I (leicht)	II (mittelschwer)	III (schwer)
Quarks	up-Quark u	charm-Quark c	top-Quark t	
	down-Quark d	strange-Quark s	bottom-Quark b	
Leptonen	Elektron Neutrino ν_e	Müon-Neutrino ν_μ	tauon Neutrino ν_t	
	Elektron e^-	Müon μ^-	Tauon t^-	

2. Fermionen sind Teilchen mit halbzahligen Spin. Dazu gehören die Quarks und die Leptonen.
 Bosonen sind Teilchen mit ganzzahligen Spin. Dazu gehören alle Austauschteilchen.

3. Ein Neutron besteht aus zwei d-Quarks mit einer elektrischen Ladung von je $-1/3 e$ und einem u-Quark mit der Ladung $+2/3 e$. Insgesamt ergibt sich ein neutrales Element mit halbzahligen Spin.



$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$



- Die Teilchen haben kein Volumen.
- Nur bei den Zusammenstößen wirken Kräfte.
- Alle Stöße sind elastische Stöße.
- Die Bewegung erfolgt völlig regellos.

2. a) Es gilt: $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$

Mit $V_1 = V_2 = 100\text{ l}$ folgt $T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot T_1 = \frac{28,0 \text{ MPa}}{23,0 \text{ MPa}} \cdot (273,2 + 20,2) \text{ K} = 356,9 \text{ K} \approx 84^\circ\text{C}$

- b) Aus $p \cdot V = NkT$ erhält man die Anzahl $N = (pV)/(kT)$ der Stickstoffmoleküle.
Die Masse m des eingefüllten Stickstoffs ist dann:

$$m = \frac{pV}{kT} \cdot m_{\text{N-Molekül}} = \frac{23,0 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-1} \text{ m}^3}{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 193,2 \text{ K}} 28 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 26,4 \text{ kg}$$



1. – Geschwindigkeit: $\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT \Rightarrow \bar{v}^2 = 3 \cdot \frac{kT}{m}$
 $\bar{v}^2 = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \cdot 773,15 \text{ K}}{3,347 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 9,57 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \Rightarrow \bar{v} = 3090 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

– Energie: $\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 773,15 \text{ K} = 1,60 \cdot 10^{-20} \text{ J}$

– Impuls: $\bar{p} = m\bar{v} = 3,347 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 3090 \text{ m/s} = 1,03 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$

– Impulsübertragung: $\overline{\Delta p} = 2\bar{p} = 2,06 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$

2. Das Maximum der Verteilung gibt die häufigste Geschwindigkeit v_0 an. Die Anzahl der Teilchen mit einer größeren Geschwindigkeit als v_0 ist größer als der Anteil mit einer kleineren Geschwindigkeit. Deshalb ist die mittlere Geschwindigkeit größer als v_0 .

Genauer gilt: $v_0 < \bar{v} = 1,128 \cdot v_0 < \sqrt{\bar{v}^2} = 1,224 \cdot v_0$ und damit $\bar{v} \approx 0,92 \cdot \sqrt{v^2}$.



1. Die innere Energie U eines Körpers ist die Summe aller Energien seiner Teilchen. In einem idealen Gas besitzen die Teilchen kinetische Energie. In einem festen oder flüssigen Körper kommt auf Grund der Kräfte zwischen den Molekülen noch potenzielle Energie und Bindungsenergie hinzu.
2. Benötigt man die Energie ΔE , um die Temperatur eines Körpers der Masse m um ΔT zu erhöhen, dann heißt der Quotient $\Delta E/m \Delta T$ spezifische Wärmekapazität.
Die Maßzahl dieser Größe gibt die Energie an, die benötigt wird, um die Temperatur eines Körpers der Masse 1kg um 1K zu erhöhen.

$$\begin{aligned}3. \Delta E &= m c_{\text{Wasser}} \Delta T = V \rho_{\text{Wasser}} c_{\text{Wasser}} \Delta T \\&= 100 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 30 \text{ K} = 1,26 \cdot 10^{10} \text{ J} \approx 1,3 \cdot 10^{10} \text{ J}\end{aligned}$$

Diese Energie reicht für $\frac{1,26 \cdot 10^{10} \text{ J}}{20 \cdot 10^3 \text{ W}} = 6,3 \cdot 10^5 \text{ s} \approx 7 \text{ Tage.}$

4. Bei konstantem Druck wird ein Teil der zugeführten Energie zur Volumenvergrößerung benutzt. Dieser Teil erhöht nicht die mittlere kinetische Energie der Gasteilchen, also auch nicht die Gastemperatur. Daher gilt stets $c_p > c_v$.



1. – Mit U bezeichnet man die innere Energie eines Systems.
 - Die Änderung der inneren Energie lässt sich durch Erwärmen oder Abkühlen erreichen. Dabei geht Energie von einem zweiten Körper durch den direkten Kontakt oder durch Strahlung auf den anderen Körper über. Diese Energieform nennt man Wärmeenergie Q (kurz: Wärme).
 - Mit W bezeichnet man die Arbeit (z.B. Reibungsarbeit), die verrichtet wird, um die innere Energie eines Systems zu ändern.

$W = 0$ und $Q > 0$: Dem System wird nur Wärmeenergie zugeführt. Dies kann z.B. durch Heizen geschehen.

$W = 0$ und $Q < 0$: Das System gibt nur Wärmeenergie ab. Beispiel: Abkühlen.

$W > 0$ und $Q = 0$: Am System wird Arbeit verrichtet. Beispiel: Kompression eines Gases, Reibungsarbeit.

$W < 0$ und $Q = 0$: Das System verrichtet Arbeit. Beispiel: Vergrößerung des Gasvolumens.

2. Bei konstanter Temperatur gilt das Gesetz von Boyle-Mariotte $p \cdot V = \text{konst.}$

Es gilt hier:

$$p_1 V_1 = 100\,000 \text{ Pa} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 2000 \text{ Nm} = \text{konst.}$$

Die Arbeit für die Volumenvergrößerung ist:
$$W = \int_{V_2}^{V_1} p dV = \text{konst.} \cdot \int_{V_2}^{V_1} \frac{1}{V} dV = 2000 \text{ Nm} \int_{5}^{20} \frac{1}{V} dV,$$

$$W = 2000 \text{ Nm} \cdot \ln\left(\frac{20}{5}\right) = 2773 \text{ J.}$$



1. Unter einem reversiblen Prozess versteht man einen Vorgang, der zeitlich umkehrbar ist, ohne dass eine Veränderung in der Umgebung zurückbleibt. Reversible Vorgänge sind Idealisierungen. Beispiele sind reibungsfrei ablaufende Vorgänge wie ungedämpfte Schwingungen oder elastische Stöße.

Ein irreversibler Prozess ist ein Vorgang, der von selbst nur in einer Richtung abläuft. Beispiele sind das gedämpfte Pendel oder der Crashtest.

2. 1 → 2: Isochore ($V = \text{konst}$) Zustandsänderung

$$Q_{\text{zu}} = m c_v \Delta T = 0,200 \text{ kg} \cdot 0,31 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (450 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 9,3 \text{ kJ}$$

2 → 3: Das Gesetz von Boyle-Mariotte beschreibt die isotherme ($T = \text{konst}$) Zustandsänderung.

$$\text{konst} = p_1 \cdot V_1 = 100 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 15 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{ab}} = -15 \text{ kJ} \cdot \ln(V_2/V_1) = -15 \text{ kJ} \cdot \ln(2) = -10,4 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{zu}} = -W_{\text{ab}} = 10,4 \text{ kJ}$$

3 → 1: Isobare ($p = \text{konst}$) Zustandsänderung

$$Q_{\text{ab}} = m c_p \Delta T = 0,200 \text{ kg} \cdot 0,52 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} (300 \text{ K} - 450 \text{ K}) = -15,6 \text{ kJ}$$

Der Wirkungsgrad ergibt sich aus der zugeführten und abgeführten Wärmeenergie.

$$\eta = \frac{|Q_{\text{zu}} - |Q_{\text{ab}}||}{Q_{\text{zu}}} = \frac{9,3 \text{ kJ} + 10,4 \text{ kJ} - 15,6 \text{ kJ}}{9,3 \text{ kJ} + 10,4 \text{ kJ}} = 0,21 \approx 20\%$$



1. Die Umkehrung einer Wärmekraftmaschine arbeitet als Wärmepumpe.
 - Isotherme Expansion bei niedriger Temperatur T_2 unter Zufuhr der Wärmeenergie Q_2 .
 - Der Arbeitsstoff wird verdichtet. Dabei steigt die Temperatur auf T_1 . Bei einer isothermen Verdichtung wird Wärmeenergie Q_1 abgegeben. Für diesen Vorgang muss die Arbeit $W = |Q_1| - |Q_2|$ verrichtet werden.
 - Es folgt eine Expansion des Arbeitsstoffes. Er kühlt auf die Anfangstemperatur T_2 ab.

2. Mit $T_1 = (273,15 + 50) \text{ K}$ und $T_2 = (273,15 + 10) \text{ K}$ folgt für den theoretischen Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{323,15 \text{ K}}{40 \text{ K}} = 8,1.$$

3. In $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ wird im Motor die Energie $W = 22 \text{ kg} \cdot 42 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ umgesetzt. Damit ist die zugeführte Leistung $P_{\text{zu}} = W/t = 22 \text{ kg} \cdot 42 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}/3600 \text{ s} = 2,57 \cdot 10^5 \text{ J/s}$. Hieraus ergibt sich ein Wirkungsgrad von $\eta = P_{\text{ab}}/P_{\text{zu}} = 66 \cdot 10^3 \text{ W} / 2,57 \cdot 10^5 \text{ W} = 0,257 = 25,7\%$.

4. $\eta_{\text{theor.}} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 1 - \left(\frac{1}{12} \right)^{0,4} = 63\%$

In der Theorie setzt man adiabatische Verdichtung voraus. Der Motor muss aber gekühlt werden. Dieser Energieverlust wurde nicht berücksichtigt. Deshalb ist der in 3 berechnete Wirkungsgrad wesentlich geringer.



1. Es gibt keine Prozesse, die zu einer Entropievernichtung führen.
2. – Die Entropie nimmt bei irreversiblen Vorgängen zu.
 - Eine Abnahme ist im abgeschlossenen System nicht möglich.
 - Die Entropie ändert sich bei reversiblen Vorgängen nicht.
3. Q ist die übertragene Wärme. Der 1. Körper gibt die Entropie $\Delta S_1 = -Q/T_1$ ab, der zweite Körper nimmt bei der Temperatur T_2 die Entropie $\Delta S_2 = Q/T_2$ auf.
Die Entropieänderung des Systems ist:
$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -Q/T_1 + Q/T_2 = Q(T_1 - T_2)/T_1 T_2.$$
 ΔS ist wegen $T_1 > T_2$ positiv, was einem irreversiblen Vorgang entspricht.
(Anmerkung: Bei veränderlicher Temperatur zerlegt man den Vorgang in viele isotherme Abschnitte und berechnet für jeden Abschnitt die Entropieänderungen, die anschließend aufsummiert werden.)

4. $\Delta S_{\text{Heizung}} = -120 \text{ J}/(273 + 60) \text{ K} = -120 \text{ J}/333 \text{ K}$ $\Delta S_{\text{Raum}} = 120 \text{ J}/(273 + 20) \text{ K} = 120 \text{ J}/293 \text{ K}$

Die Energieentwertung ermittelt man aus der Entropieänderung und der Umgebungstemperatur $T_0 = 293 \text{ K}$.

$$\Delta S \cdot T_0 = (-120 \text{ J}/333 \text{ K} + 120 \text{ J}/293 \text{ K}) \cdot 293 \text{ K} = 14,4 \text{ J}$$



1. Ein idealer schwarzer Körper (schwarzer Strahler) absorbiert jede einfallende Strahlung vollständig und emittiert diese im Strahlungsgleichgewicht ohne Wellenlängenänderung.

In guter Näherung sind Sonne, Glühlampe, Bügeleisen, Erde... schwarze Strahler. Dagegen ist eine Leuchtstoffröhre kein schwarzer Strahler, denn das Füllgas emittiert nur ganz bestimmte Wellenlängen.

2. Die Temperatur ergibt sich aus dem Wien'schen Verschiebungsgesetz.

$$\lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{T} \Rightarrow T_{\text{Sonne}} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5800 \text{ K}$$

3. Im Strahlungsgleichgewicht sind zugeführte Leistung P_{zu} und abgestrahlte Leistung P_{ab} gleich.

P_{zu} berechnet man mit Hilfe der Solarkonstanten.

$$P_{\text{zu}} = 0,7 \cdot 1340 \text{ Wm}^{-2} \cdot A_{\text{Querschnittsfläche - Erde}} = 0,7 \cdot 1340 \text{ Wm}^{-2} \cdot \pi r_{\text{Erde}}^2$$

Aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz folgt die abgestrahlte Leistung.

$$P_{\text{ab}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A_{\text{Oberfläche - Erde}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4} \cdot T^4 \cdot 4 \pi r_{\text{Erde}}^2$$

$$P_{\text{zu}} = P_{\text{ab}} \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{0,7 \cdot 1340}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} \text{ K} = 254 \text{ K} \approx -21^\circ\text{C}$$

Bei der Rechnung wurde die Atmosphäre nicht berücksichtigt. Der Treibhauseffekt sorgt dafür, dass die mittlere Temperatur auf etwa 15°C ansteigt.



1. Bezugssysteme, in denen alle kräftefreien Bewegungen eines Körpers geradlinig gleichförmig sind, heißen Inertialsysteme. Es gilt das Trägheitsprinzip. Kann man die Erddrehung vernachlässigen, dann ist z.B. der Klassenraum oder der mit konstanter Geschwindigkeit fahrende Zug ein Inertialsystem.
Keine Inertialsysteme sind beschleunigte Bezugssysteme, beispielsweise ein Zug während des Anfahrens bzw. Bremsens oder ein Auto während einer Kurvenfahrt.

2. Pilot: In Flugrichtung entfernt sich das Signal mit der Geschwindigkeit $c_{\text{Schall}} - v$. Nach der Reflektion nähert es sich mit der Geschwindigkeit $c_{\text{Schall}} + v$.

Er erhält damit die Zeiten $t_{AB} = s/(c_{\text{Schall}} - v)$, $t_{BA} = s/(c_{\text{Schall}} + v)$.

Ruhender Beobachter: Das Signal entfernt sich vom Flugzeug mit der Geschwindigkeit c_{Schall} und erreicht nach der Zeit t_{AB} den Punkt B. Während dieser Zeit hat das vordere Flugzeug die Strecke $v \cdot t_{AB}$ zurückgelegt. Die Gesamtstrecke für das Signal ist also $s + v \cdot t_{AB}$. Es gilt: $c_{\text{Schall}} \cdot t_{AB} = s + v \cdot t_{AB}$ bzw. $t_{AB} = s/(c_{\text{Schall}} - v)$. Entsprechend gilt für den Rückweg: $c_{\text{Schall}} \cdot t_{BA} = s - v \cdot t_{BA}$ bzw. $t_{BA} = s/(c_{\text{Schall}} + v)$.

Beide Beobachter kommen zum Ergebnis

$$t_{\text{gesamt}} = t_{AB} + t_{BA} = \frac{s}{c_{\text{Schall}} - v} + \frac{s}{c_{\text{Schall}} + v} = \frac{2sc_{\text{Schall}}}{c_{\text{Schall}}^2 - v^2}.$$

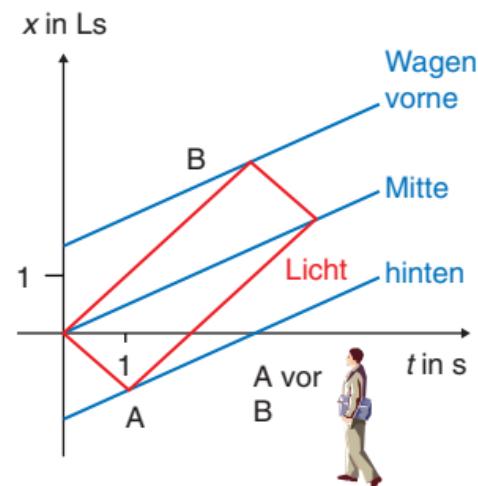
3. Relativitätsprinzip: Alle Inertialsysteme sind bezüglich physikalischer Gesetze gleichberechtigt.

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit: Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle und vom Inertialsystem, in dem sie gemessen wird.

Es ist $c = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.



1. Die Uhren A und B müssen auf gleiche Ganggeschwindigkeit und auf Gleichzeitigkeit eingestellt werden. Dies kann mit Hilfe von Lichtsignalen, die vom Mittelpunkt der Verbindungsstrecke ausgehen, geschehen. Zuerst werden Lichtsignale im Abstand von einer Sekunde ausgesandt. Die Uhren A und B können auf gleiche Ganggeschwindigkeit eingestellt werden. Anschließend werden die beiden Uhren auf Null gestellt. Ein weiteres Lichtsignal startet beide Uhren gleichzeitig.
2. Minkowski-Diagramme sind Zeit-Ort-Diagramme. Die Rechtsachse ist die Zeitachse in der Einheit Sekunde. Die zweite Achse ist Ortsachse in der Einheit Lichtsekunde (L_s). Es ist $1 L_s = 3 \cdot 10^8 m$.
3. Reisender: Das Lichtsignal breitet sich mit der Geschwindigkeit c aus. Für die gleich langen Wege zur Vorder- und Rückseite des Wagens werden gleiche Zeiten benötigt. Die Lichtsignale kommen gleichzeitig an.
Bahndamm: Das Lichtsignal breitet sich mit der Geschwindigkeit c aus. Das vordere Wagenende entfernt sich vom Lichtsignal, das hintere Wagenende kommt dem Lichtsignal entgegen. Das Lichtsignal erreicht zuerst das hintere Wagenende und dann das vordere.



1. Aus den Laborwerten $v = 0,75c$ und $s = 8,5\text{m}$ folgt die Lebensdauer im Laborsystem

$$t = \frac{8,5\text{m}}{0,75 \cdot c} = \frac{8,5\text{m}}{0,75 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{m/s}} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{s.}$$

Im Ruhesystem des Myons ergibt sich dann $t' = t \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{s} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,75c}{c}\right)^2} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{s.}$

2. Die Messergebnisse $v = 0,8c$ und $s = 10\text{m}$ sind Laborwerte. Die Streckenlänge im Ruhesystem des Elektron ist dann $l' = l \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 10\text{m} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,8c}{c}\right)^2} = 6\text{m.}$

3. Für die Stadtgeschwindigkeit gilt $v = 50\text{ km/h} \approx 15\text{ m/s} \Rightarrow v/c = 15/(3 \cdot 10^8) = 5 \cdot 10^{-8} \Rightarrow 1 - (v/c)^2 = 1 - 25 \cdot 10^{-16} \approx 1 \Rightarrow t = t'$ und $l = l'$. Es können keine relativistischen Effekte beobachtet werden.



1. Lichtsignale, die von einem Sender im Zeitabstand Δt abgesandt werden, werden von einem Empfänger im Zeitabstand $k \cdot \Delta t$ empfangen.
2. Beim akustischen Dopplereffekt muss die Luft als Wellenträger berücksichtigt werden. Es ist z.B. zu unterscheiden: bewegter Empfänger und ruhender Sender bzw. ruhender Empfänger und bewegter Sender. Es werden jeweils unterschiedliche Frequenzen empfangen.
Licht hat keinen Wellenträger. Die Unterscheidung bewegter Empfänger bzw. ruhender Empfänger entfällt. Es kommt nur auf die Relativgeschwindigkeit an.

3. Es ist: $\lambda_B = \lambda_Q \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \Rightarrow \lambda_B^2(c-v) = \lambda_Q^2(c+v) \Rightarrow \lambda_B^2 c - \lambda_B^2 v = \lambda_Q^2 c + \lambda_Q^2 v \Rightarrow c(\lambda_B^2 - \lambda_Q^2) = v(\lambda_B^2 + \lambda_Q^2)$.

$$v = c \cdot \frac{\lambda_B^2 - \lambda_Q^2}{\lambda_B^2 + \lambda_Q^2} = c \cdot \frac{475^2 - 394^2}{475^2 + 394^2} = 0,18 c$$

Der Nebel entfernt sich mit etwa 20 % der Lichtgeschwindigkeit.

4. Entfernen sich Beobachter und Quelle, so gilt: $t_B = t_Q \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \Rightarrow 20 \text{ min} = t_Q \sqrt{\frac{c + \frac{12}{13}c}{c - \frac{12}{13}c}} = t_Q \cdot 5 \Rightarrow t_Q = 4 \text{ min.}$

Die Prüfung im Raumschiff dauert 4 Minuten.



1. Die Invarianz folgt aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Startet im System S am Ort $x = 0$ zur Zeit $t = 0$ ein Lichtsignal, dann hat dieses zum Zeitpunkt t die Strecke $|x| = ct$ zurückgelegt. In einem zweiten System S' muss ebenfalls $|x'| = ct'$ gelten.

2. Im System Raumschiff wurde das Feuerwerk am Ort $x' = 0$ zur Zeit $t' = 1\text{a}$ gezündet. Für die Kontrollstation ist

$$x = \frac{x + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0 + 0,5c \cdot 1a}{\sqrt{1 - \frac{(0,5c)^2}{c^2}}} = \frac{0,5Lj}{\sqrt{0,75}} = 0,577a \quad \text{und}$$

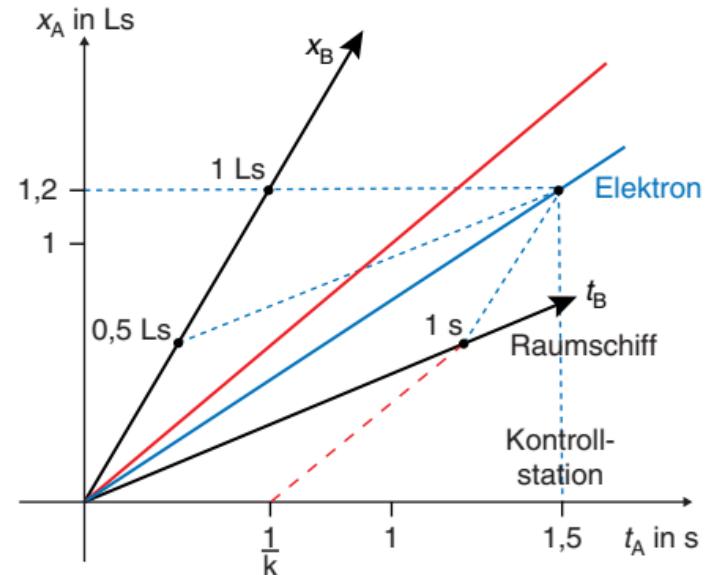
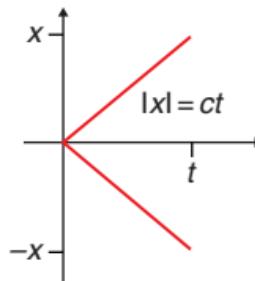
$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1\text{a} + 0}{\sqrt{0,75}} = 1,154\text{ a} \approx 1\text{a} + 56\text{ d.}$$

$$3. \text{ Zum Diagramm: } k = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = \sqrt{\frac{1,5}{0,5}} = \sqrt{3} \approx 1,73$$

$$\Rightarrow 1s/k \approx 0,6s.$$

Die Geschwindigkeit des Elektrons aus der Sicht der Kontrollstation ist $v = 1,2 \text{ Ls} / 1,5 \text{ s} = 0,8c$.

$$\text{Rechnung: Es ist } v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} = \frac{0,5c + 0,5c}{1 + \frac{0,5c \cdot 0,5c}{c^2}} = \frac{1c}{1,25} = 0,8c.$$



1. Der β -Strahler sendet schnelle Elektronen aus. Die erste Blende erzeugt einen Elektronenstrahl. Im Geschwindigkeitsfilter stehen elektrisches und magnetisches Feld senkrecht aufeinander. Durch die Öffnung der zweiten Blende gelangen nur Elektronen, die nicht abgelenkt werden. Für diese gilt $F_e = F_L$ bzw. $eE = evB$. Hieraus lässt sich v bestimmen. Die anschließende Ablenkung im zweiten Magnetfeld gestattet eine e/m -Bestimmung. Mit steigender Geschwindigkeit misst man immer kleiner werdende e/m -Werte. Da die Ladung konstant bleibt, muss die Masse steigen.

Rechnung: Aus dem Kräftegleichgewicht $eE = evB$ ergibt sich die Geschwindigkeit

$$v = E/B = 7,2 \cdot 10^6 \text{ Vm}^{-1}/0,030 \text{ Vsm}^{-2} = 2,4 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} = 0,8c \text{ und damit die Masse}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{0,6} = 15,2 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \Rightarrow 0,6m = m_0.$$

Aus der Bedingung Lorentzkraft = Zentralkraft ($evB = mv^2/r$) folgt $e/m = v/rB$. Setzt man die gegebenen Größen ein, so erhält man mit $e/m = 1,0526 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$ das 0,6fache des Tabellenwertes.

Dies entspricht der Massenzunahme, denn $\frac{e}{m} = \frac{0,6e}{0,6m} = \frac{0,6e}{m_0} = 0,6 \frac{e}{m_0}$.

$$2. \text{ Es ist: } E_{\text{kin}} = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right) \Rightarrow \frac{E_{\text{kin}}}{m_0 c^2} + 1 = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow v = c \sqrt{1 - \frac{1}{(1 + E_{\text{kin}}/(m_0 c^2))^2}}.$$

Am Ende der Beschleunigungsstrecke besitzen die Elektronen die kinetische Energie $E_{\text{kin}} = 30 \text{ keV}$. Außerdem gilt für Elektronen $m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$. Setzt man diese Werte in die letzte Gleichung ein, so erhält man $v = 0,73c = 2,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.



1. Die astronomische Einheit 1 Parsec ist die Entfernung, aus der die große Halbachse der Erdbahn $a = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ unter der Parallaxe $1''$ erscheint.

Eine Bogensekunde entspricht im Bogenmaß $1/206\,265 \text{ rad}$.

Allgemein gilt für die Entfernung r : $r = 206\,265'' \cdot \frac{a}{\Pi}$

Dabei ist Π die Parallaxe in Bogensekunden. Für $\Pi = 1''$ erhält man

$$1 \text{ pc} = 206\,265'' \cdot \frac{1,46 \cdot 10^{11} \text{ m}}{1''} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m} = 3,26 \text{ Lj.}$$

2. Misst man die Entfernung r in pc und die Parallaxe Π in Bogensekunden, dann ist $r = 1''/\Pi \text{ pc}$.

Damit erhält man $r = 1''/0,762'' \text{ pc} = 1,31 \text{ pc} = 4,27 \text{ Lj.}$

3. Aus $m - M = 5 \cdot \lg(r/10 \text{ pc})$ folgt $r = 10^{(m - M)/5} \cdot 10 \text{ pc}$

Mit $m = 1,3$ und $M = -7,5$ erhält man $r = 10^{1,76} \cdot 10 \text{ pc} \approx 580 \text{ pc}$.

Die Entfernung ist mit trigonometrischer Parallaxe nicht bestimmbar, da $\Pi = 1''/580 \text{ pc} \cdot 1 \text{ pc} = 0,002'' < 0,01''$.



1. Emissionsspektrum:

- Atome bzw. Moleküle werden durch Energiezufuhr angeregt.
- Beim Übergang in den Grundzustand geben diese die Energie E als Photonen der Frequenz f ab.
Es gilt $E = hf$.

Absorptionsspektrum:

- Elektromagnetische Strahlung mit einem kontinuierlichen Spektrum durchstrahlt kühles Gas.
- Die Atome bzw. Moleküle des Gases absorbieren die Wellenlängen, die zum jeweiligen Termschema passen.

2. a) Aus der Abbildung ergibt sich für das Verhältnis der beobachteten Wellenlängen

$$760 : 563 : 503 : 476 = 1,60 : 1,18 : 1,06 : 1$$

Die Bahmer-Serie ergibt ein Wellenlängen-Verhältnis von $656 : 486 : 434 : 410 = 1,60 : 1,18 : 1,06 : 1$.

Die Verhältnisse der Wellenlängen sind in beiden Fällen gleich. Man kann daher davon ausgehen, dass die beobachteten Wellenlängen zur Balmerserie gehören.

b)
$$\frac{\lambda_{\text{beobachtet}} - \lambda_{\text{Labor}}}{\lambda_{\text{Labor}}} = \frac{760 \text{ nm} - 656 \text{ nm}}{656 \text{ nm}} = 0,159$$

c) Bei nicht relativistischer Rechnung gilt für die Geschwindigkeit v : $v = z \cdot c \Rightarrow v = 0,16c$. (Bei relativistischer Rechnung erhält man $v = 0,15c$.)

d) Aus dem Hubble-Gesetz $v = H \cdot r$ folgt $r = \frac{0,16 \cdot 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{65 \frac{\text{km}}{\text{sMpc}}} = 740 \text{ Mpc}$.



1. Unter Leuchtkraft versteht man die gesamte vom Stern abgegebene Strahlungsleistung. Für die Sonne gilt $L_0 = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

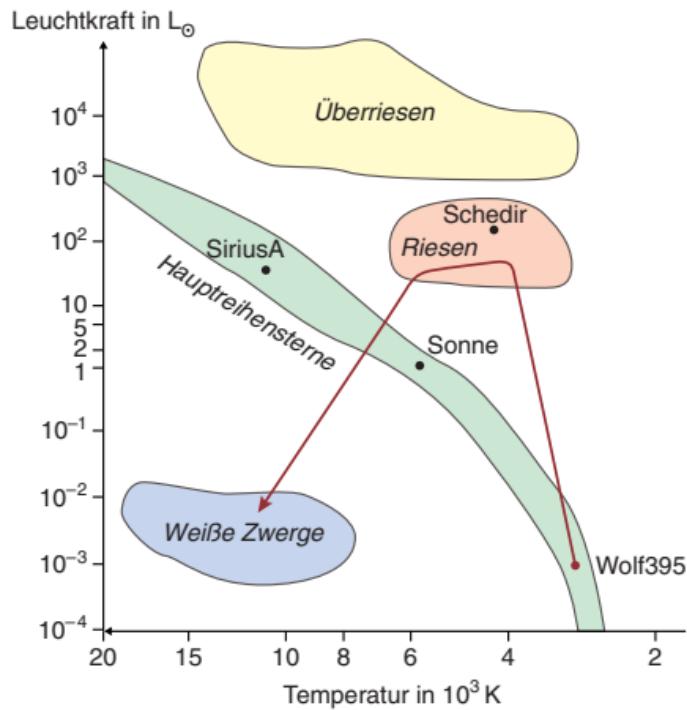
2. und 3. Wolf 395: Hauptreihe – roter Riese – weißer Zwerg.

4. – Wasserstoff-Brennen in der Hülle.

- Aufblähen des Sterns. Er wird zum roten Riesen.
- Mit dem Ende des nuklearen Brennens wird der rote Riese instabil. Er stößt seine Hülle ab (planetarischer Nebel).
- Zurück bleibt der hochverdichtete C-O-Kern.
- Es entsteht ein weißer Zwerg.

5.

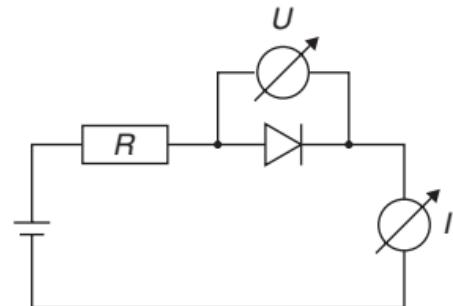
Massearme Sterne bis zu $0,3 M_\odot$	Massearme Sterne zwischen $0,3 M_\odot$ und $2,3 M_\odot$	Massereiche Sterne zwischen $2,3 M_\odot$ und $8 M_\odot$	Massereiche Sterne über $8 M_\odot$
weißer Zwerg schwarzer Zwerg	weißer Zwerg	Supernova-Explosion weißer Zwerg	Supernova-Explosion Neutronen-Stern oder schwarzes Loch



1. Bei der Kennlinie der Diode soll der Zusammenhang zwischen der Spannung, die an der Diode anliegt, und dem Strom, der durch die Diode fließt, untersucht werden.

Dazu baut man eine Reihenschaltung aus einer Spannungsquelle, einem Vorwiderstand R , der Diode und einem Strommessgerät auf. Ein Spannungsmessgerät, das parallel zur Diode angeschlossen wird, zeigt die Spannung an. Nun steigert man langsam die Spannung und misst die Stromstärke.

Ist die Diode in Durchlassrichtung gepolt, so wird die Spannung positiv definiert. In Sperrrichtung ist sie negativ.



2. Siliziumdiode: Bei Polung in Durchlassrichtung beträgt die Stromstärke bis $0,7\text{ V}$ nahezu 0 A . Ab $0,7\text{ V}$ steigt die Stromstärke sehr stark an. Bei Polung in Sperrrichtung fließt ein Sperrstrom von wenigen mA , der nur mit einem sehr empfindlichen Messgerät gemessen werden kann. In der Praxis ist er bedeutungslos.

Germaniumdiode: Hier steigt bei Polung in Durchlassrichtung die Stromstärke bereits ab $0,3\text{ V}$ stark an. Die Schwellenspannung ist bei einer Germaniumdiode nicht so eindeutig zu bestimmen wie bei der Siliziumdiode. Ebenso fließt bei Polung in Sperrrichtung ein sehr kleiner Sperrstrom, dieser ist jedoch noch kleiner als bei der Siliziumdiode.



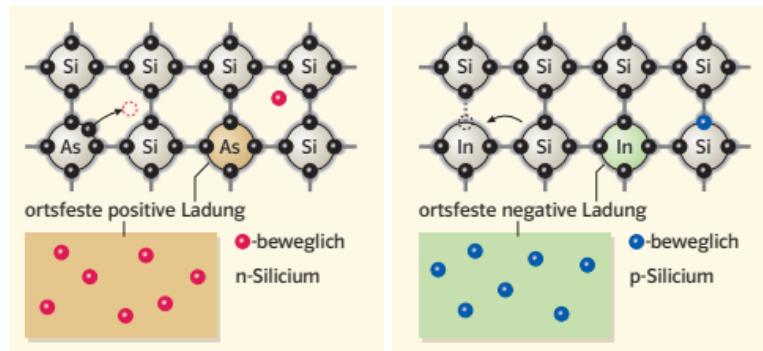
1. n-Leitung: Man ersetzt im Siliciumkristall etwa jedes 10^6 -te Siliciumatom durch ein Atom der V. Hauptgruppe, z.B. Arsen (As). Da dieses fünf Valenzelektronen hat, ist eines davon nicht an seinen Nachbarn gebunden, sondern steht als freies Elektron zur Verbesserung der Leitfähigkeit zur Verfügung. Da es sich hierbei um einen negativen Ladungsträger handelt, spricht man von n-Leitung.

p-Leitung: Man ersetzt im Siliciumkristall etwa

jedes 10^6 -te Siliciumatom durch ein Atom der

III. Hauptgruppe, z.B. Indium (In). Dieses hat drei Valenzelektronen, so dass ein Elektron des Silicium keine Bindung mit dem Indium eingeht. Zurück bleibt eine Elektronenfehlstelle, die von einem benachbarten Elektron besetzt werden kann. Nun entsteht am Nachbaratom eine Elektronenfehlstelle, die wieder besetzt wird. Somit wandern die Elektronenfehlstellen durch den Kristall. Der Silicium ist p-dotiert, da die Elektronenfehlstellen wie positive Ladungen wirken.

2. Heißleiter oder NTC-Widerstände (Negative Temperature Coefficient) sind Halbleiter, deren Widerstand mit steigender Temperatur sinkt. Kaltleiter oder PTC-Widerstände (Positive Temperature Coefficient) sind Halbleiter, deren Widerstand mit sinkender Temperatur sinkt. Bei einem Fotowiderstand oder LDR-Widerstand (Light Dependent Resistor) ändert sich der Widerstandswert mit der Beleuchtungsstärke. Je höher die Beleuchtungsstärke, umso kleiner der Widerstand.



Entstehen von n- und p-Leitern bei Silicium



1. Große Teile der Valenzelektronen sind bereits im Leitungsband. Das Leitungsband und das Valenzband überlappen sich. Kleine Feldkräfte rufen bereits einen Strom hervor.
2. a) Bewegte Elektronen erzeugen eine gerichtete Bewegung, dabei wird die Bewegung der Elektronen durch Hin- und Herschwingungen der Ionen um ihre Ruhelage behindert. Der spezifische Widerstand sowie die Beweglichkeit der Ladungsträger sind Größen, die die Stärke der Behinderung der Elektronen durch die Ionen angeben. Je größer diese Behinderung bei konstanter Spannung wird, umso langsamer sind die Ladungsträger und umso größer ist der spezifische Widerstand.
- b) Zur Bestimmung der Beweglichkeit der Ladungsträger stellt man die Formel für den spezifischen Widerstand um nach μ :

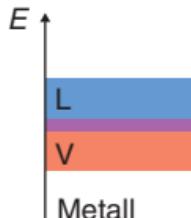
$$\varrho_{\text{spezifisch}} = \frac{1}{n \cdot e \cdot \mu}, \text{ also } \mu = \frac{1}{n \cdot e \cdot \varrho_{\text{spezifisch}}}.$$

Die Dichte der Ladungsträger n ist der Quotient aus der Avogadrozahl N_A und dem Molvolumen:

$$n = \frac{N_A}{V} = \frac{N_A \cdot \varrho}{M} = \frac{6,022142 \cdot 10^{23} \cdot 8,93 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{65,546 \text{ g}} = 8,205 \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3}.$$

Beweglichkeit der Ladungsträger:

$$\mu = \frac{1}{8,205 \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,017 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}} = \frac{1}{8,205 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,017 \cdot 10^{-6} \frac{\Omega \text{ m}^2}{\text{m}}} \approx 4,5 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega^2}{\text{Vs}}.$$



Eingangskennlinie: Die Basisstromstärke ist gegenüber der Basis-Emitter-Spannung aufgetragen. Erst bei der Schwellenspannung zwischen Basis und Emitter ist ein merklicher Basisstrom zu erkennen. Überschreitet die Spannung diesen Schwellenwert, so steigt der Basisstrom erheblich an. Deshalb sollte man einen Vorwiderstand verwenden. Mithilfe dieser Kennlinie kann man bestimmen, ab welcher Spannung ein Transistor leitend wird.

Übertragungskennlinie: Der Kollektorstrom ist gegenüber dem Basisstrom aufgetragen. Man erkennt, dass diese beiden Größen zueinander proportional sind. Außerdem erkennt man: Ein kleiner Basisstrom ergibt einen großen Kollektorstrom. Mithilfe dieser Kennlinie kann man die Stromverstärkung des Transistors ausrechnen. Je steiler die Kurve, desto größer die Stromverstärkung.

Für die Stromverstärkung gilt: $B = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$.

Je mehr die Kurve von einer Geraden abweicht, umso verzerrter ist das Ausgangssignal.

Ausgangskennlinie: Die Kollektorstromstärke ist gegenüber der Kollektor-Emitter-Spannung aufgetragen. Unterhalb von 1V ist eine Abhängigkeit der Kollektorstromstärke von der Kollektor-Emitter-Spannung zu erkennen. Oberhalb von 1V ändert sich der Kollektorstrom nur sehr gering. Deshalb sollten bei Schaltungen mit Transistoren die Betriebsspannungen über 1V liegen.

Da die Ausgangskennlinie bei konstanter Basisstromstärke aufgenommen wird, existiert für jede Basisstromstärke eine eigene Kennlinie.

