

Klausur A/B Frühjahr 2017

Aufgabe 1 (Gravitation auf dem Mond; Prüfung ExPh A F2017A1 und A/B F2017A1)

Ein Körper der Masse $m = 5,0 \text{ kg}$ befinde sich in einer Höhe $h = 20,0 \text{ m}$ über der Mondoberfläche.

- a) Berechnen Sie die Beschleunigung g_M , die eine Masse im freien Fall auf dem Mond erfährt.

Lösung:

gegeben: $m_M = 7,350 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ gesucht: $g_M = ?$
 $r_M = 1738 \text{ km}$

$$F_\gamma = m \cdot g_M$$

$$\gamma \frac{m \cdot m_M}{r_M^2} = m \cdot g_M$$

$$\Rightarrow g_M = \gamma \frac{m_M}{r_M^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2} \frac{7,350 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{1738000^2 \text{ m}^2} = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- b) Berechnen Sie die potentielle Energie E_{pot} der Masse bezüglich der Mondoberfläche.

Lösung:

gegeben: $g_M = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gesucht: $E_{\text{pot}} = ?$
 $m = 5,0 \text{ kg}$
 $h = 20,0 \text{ m}$

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g_M \cdot h = 5,0 \text{ kg} \cdot 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20,0 \text{ m} = 162,2 \text{ J}$$

- c) Die Masse wird aus der Ruhe losgelassen. Mit welcher Geschwindigkeit v trifft sie auf die Mondoberfläche?

Lösung:

gegeben: $g_M = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gesucht: $v = ?$
 $m = 5,0 \text{ kg}$
 $h = 20,0 \text{ m}$

- 1. Möglichkeit: Energieerhaltung

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

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g_M h$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 h g_M} = \sqrt{2 \cdot 20,0 \text{ m} \cdot 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- 2. Möglichkeit: Bewegungsgleichung, i.e. freier Fall

Koordinatensystem: Ursprung in Masse zum Zeitpunkt $t = 0$, d.h. 20 m über der Mondoberfläche, positive z -Achse zeigt Richtung Mondoberfläche.

t_1 : Aufprallzeitpunkt

$$\begin{aligned}z(t) &= \frac{1}{2} g_M t^2 \\z(t_1) &\stackrel{!}{=} h = \frac{1}{2} g_M t^2 \\ \Rightarrow t_1 &= \sqrt{\frac{2h}{g_M}} \\v(t) &= \dot{z}(t) = g_M t \\ \Rightarrow v(t_1) &= g_M \cdot \sqrt{\frac{2h}{g_M}} = \sqrt{2 h g_M} = \sqrt{2 \cdot 20,0 \text{ m} \cdot 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Zahlenwerte: Mondmasse $m_M = 7,350 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; Mondradius $r_M = 1738 \text{ km}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 2 (Ampel; Prüfung ExPh A F2017A2 und A/B F2017A2)

Ein Autofahrer ist mit einer Geschwindigkeit von $v_0 = 54 \text{ km/h}$ im Stadtverkehr unterwegs als er eine rote Ampel bemerkt. Nach einer Reaktionszeit von $0,5 \text{ s}$ beginnt er sofort mit einer Vollbremsung und schafft es gerade noch vor der Ampel anzuhalten. Dank sehr günstiger Bedingungen kann der Fahrer mit einer gleichmäßigen Beschleunigung von $a = 10 \text{ m/s}^2$ bremsen.

a) Wie lange dauert der Bremsvorgang inklusive der Reaktionszeit des Fahrers?

Lösung:

Beachte:

1. Geschwindigkeit in m/s umrechnen
2. Beschleunigung entgegen der Bewegungsrichtung, daher $-$.

$$\begin{aligned}\text{geg.: } v_0 &= 15 \text{ m/s} & \text{ges.: } t_{\text{Ampel}} \\ t_R &= 0,5 \text{ s} \\ a &= -10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Die Zeit, die das Auto bis zur Ampel benötigt setzt sich aus zwei Teilen zusammen: 1. Reaktionszeit t_R ; 2. Bremszeit t_B

Die Reaktionszeit ist gegeben.

Es muss gelten, dass das Auto nach der Bremszeit t_B steht, d.h. $v(t_B) \stackrel{!}{=} 0$.

$$\begin{aligned}v(t_B) &\stackrel{!}{=} 0 = at_B + v_0 \\ \Rightarrow t_B &= -\frac{v_0}{a} = -\frac{15 \text{ m/s}}{-10 \text{ m/s}^2} = 1,5 \text{ s}\end{aligned}$$

$$t_{\text{Ampel}} = t_R + t_B = 2 \text{ s}$$

b) Wie weit ist das Auto von der Ampel entfernt, als der Fahrer die rote Ampel bemerkt?

Lösung:

$$\begin{aligned}\text{geg.: } v_0 &= 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s} & \text{ges.: } s_{\text{Ampel}} \\ t_R &= 0,5 \text{ s} \\ a &= -10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Der Weg des Autos bis zur Ampel setzt sich aus zwei Teilen zusammen: 1. Weg der während der Reaktionszeit zurück gelegt wird s_R ; 2. Weg der zum Bremsen benötigt wird s_B

Bestimmung von $s_R \rightarrow$ gleichförmige Bewegung

$$\begin{aligned}s(t) &= v_0 t \\ s_R = s(t_R) &= v_0 \cdot t_R \\ &= 15 \text{ m/s} \cdot 0,5 \text{ s} = 7,5 \text{ m}\end{aligned}$$

Bestimmung von $s_B \rightarrow$ gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$\begin{aligned}s(t) &= \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0 \\ v(t) &= at + v_0\end{aligned}$$

Man kann jetzt hier $s_0 = s_R$ und erhält direkt den Wert s_{Ampel} oder $s_0 = 0$ dann erhält man die Strecke s_B die beim Bremsen zurückgelegt wurde. Physikalisch bedeutet das die Zeit durchlaufen zu lassen oder seinen $t = 0$ Punkt neu zu setzen wenn der Bremsvorgang startet.

Wir wählen hier $s_0 = 0$:

Es muss dann gelten, dass das Auto nach der Bremszeit t_B steht, d.h. $v(t_B) \stackrel{!}{=} 0$. (siehe Teil a))

$$\begin{aligned}v(t_B) &\stackrel{!}{=} 0 = at_B + v_0 \\ \Rightarrow t_B &= -\frac{v_0}{a} = -\frac{15 \text{ m/s}}{-10 \text{ m/s}^2} = 1,5 \text{ s} \\ \Rightarrow s_B = s(t_B) &= \frac{1}{2}at_B^2 + v_0 t_B \\ &= \frac{1}{2}a \left(-\frac{v_0}{a}\right)^2 + v_0 \left(-\frac{v_0}{a}\right) \\ &= -\frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a} = -\frac{1}{2} \frac{15^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{-10 \text{ m/s}^2} = 11,25 \text{ m}\end{aligned}$$

Damit ergibt sich schließlich:

$$s_{\text{Ampel}} = s_R + s_B = 18,75 \text{ m}$$

- c) Kurz bevor das Auto zum Halt kommt löst sich ein kleines Plastikteil des Scheibenwischers in einer Höhe von 1,0 m relativ zur Straße ab. Es fliegt mit einer Geschwindigkeit von $v_1 = 5,0 \text{ m/s}$ und einem Winkel von 30° zur Horizontalen nach oben vom Auto weg. Wie weit fliegt das Teil bevor es auf dem Boden aufkommt? Die Luftreibung sei zu vernachlässigen.

Lösung:

Hier soll die z -Achse nach oben zeigen, damit ist die Beschleunigung nach unten gerichtet also negativ.

$$\begin{array}{ll}\text{geg.:} & v_1 = 5 \text{ m/s} \\ & \alpha = 30^\circ \\ & h = 1 \text{ m} \\ & g = -9,81 \text{ m/s}^2\end{array} \quad \text{ges.:} \quad s_{\text{Plastikteil}}$$

Es handelt sich hierbei um einen schiefen Wurf. Wir betrachten die unabhängigen Bewegung in x -Richtung (gleichförmige Bewegung) und z -Richtung (gleichmäßig beschleunigte Bewegung).

Zerlegung der Geschwindigkeit:

$$v_x = v_1 \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} v_1$$

$$v_z = v_1 \sin \alpha = \frac{1}{2} v_1$$

Zunächst bestimmen wir die Zeit t_A bis zum Aufprall aus der Bewegung in z -Richtung.

$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_z t + h$$

$$z(t_A) \stackrel{!}{=} 0 = \frac{1}{2}gt_A^2 + v_z t_A + h$$

$$\Rightarrow t_{A1,2} = \frac{-v_z \pm \sqrt{v_z^2 - 4 \cdot \frac{g}{2} \cdot h}}{2 \cdot \frac{g}{2}}$$

$$t_{A1} = +0,773 \text{ s} \quad (t_{A2} = -0,264 \text{ s})$$

In dieser Zeit bewegt sich das Plastikteil in x -Richtung um die Strecke:

$$s_{\text{Plastikteil}} = x(t_{A1}) = v_x \cdot t_{A1} = 3,35 \text{ m}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 3 (Oberflächenspannung; Prüfung ExPh A F2017A3 und A/B F2017A3)

- a) Wie ist der Begriff der Oberflächenspannung definiert? Geben Sie die entsprechende Formel an und benennen Sie die darin auftretenden Größen.

Lösung:

$$dW = \sigma dA$$

Aufgrund von anziehenden Kräften zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit benötigt man die Energie dW , um eine Oberfläche um dA zu vergrößern.

dW : verrichtete Arbeit

σ : Oberflächenspannung, Dimension: [Energie/Fläche], Einheit: Joule/m²

dA : gewonnene Fläche

- b) Welche Energie ist erforderlich, um 1,0 kg Wasser in Tröpfchen von je 25 μm Durchmesser zu zerstäuben.

Lösung:

geg.: $\sigma_{\text{Wasser}} = 0,074 \text{ N/m}$

ges.: $\Delta W = ?$

$m_{\text{Wasser}} = 1,0 \text{ kg}$

$\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$d_{\text{Wassertröpfchen}} = 25 \mu\text{m}$

mit: $N_{\text{Wassertröpfchen}} \hat{=}$ Anzahl der Wassertröpfchen

$$\begin{aligned}
 dW &= \sigma_{\text{Wasser}} dA \quad \Bigg| \int \\
 \Delta W &= \sigma_{\text{Wasser}} \Delta A \\
 &= \sigma_{\text{Wasser}} N_{\text{Wassertröpfchen}} 4\pi r_{\text{Wassertröpfchen}}^2 = \sigma \frac{V_{\text{ges}}}{\frac{4}{3}\pi r_{\text{Wassertröpfchen}}^3} \\
 &= \sigma_{\text{Wasser}} \frac{3V_{\text{ges}}}{r_{\text{Wassertröpfchen}}} = \sigma_{\text{Wasser}} \frac{6V_{\text{ges}}}{d_{\text{Wassertröpfchen}}} = \sigma_{\text{Wasser}} \frac{6 \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}}}{d_{\text{Wassertröpfchen}}} \\
 &= 0,074 \text{ N/m} \cdot \frac{6 \frac{1,0 \text{ kg}}{1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3}}{25 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 17,8 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Hinweis: Die Oberflächenenergie vor dem Zerstäuben ist vernachlässigbar.

$$\Delta A = \frac{6V}{d} = 240 \text{ m}^2; A_i \approx 10^{-1} \text{ m}^2 \Rightarrow A_i \ll \Delta A$$

c) Wieviele Moleküle enthält ein solches Tröpfchen?

Lösung:

$$\begin{aligned}
 \text{geg.: } m_{\text{molar, Wasser}} &= 18 \text{ g/mol} & \text{ges.: } N_{\text{Moleküle}} &=? \\
 m_{\text{Wasser}} &= 1,0 \text{ kg} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \\
 d_{\text{Wassertröpfchen}} &= 25 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Zunächst die Masse eines Tröpfchens bestimmen:

$$m_{\text{Tröpfchen}} = \rho_{\text{Wasser}} V_{\text{Tröpfchen}} = \rho_{\text{Wasser}} \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d_{\text{Wassertröpfchen}}}{2} \right)^3 = \frac{1}{6}\pi \rho_{\text{Wasser}} d_{\text{Wassertröpfchen}}^3$$

Nun kann die Anzahl der Moleküle bestimmt werden:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{Moleküle}} &= N_{\text{mol, Tröpfchen}} N_A = \frac{m_{\text{Tröpfchen}}}{m_{\text{molar, Wasser}}} N_A = \frac{\frac{1}{6}\pi \rho_{\text{Wasser}} d_{\text{Wassertröpfchen}}^3}{m_{\text{molar, Wasser}}} N_A \\
 &= \frac{\frac{1}{6}\pi \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot (25 \cdot 10^{-6} \text{ m})^3}{18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol} = 2,73 \cdot 10^{14}
 \end{aligned}$$

d) Wie groß ist der Überdruck in einer hohlkugelförmigen Seifenblase mit 4 mm bzw. 4 cm Durchmesser? ([nur ExPh A F2017A3](#))

Lösung:

$$\begin{aligned}
 \text{geg.: } d_1 &= 4 \text{ mm} & \text{ges.: } \Delta p_1 &=? \\
 d_2 &= 4 \text{ cm} & \Delta p_1 &=? \\
 \sigma_{\text{Seifenlösung}} &= 0,025 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

Hinweis: Bei einer Hohlkugel sind zwei Oberflächen zu betrachten.

$$\begin{aligned}
 W(r) &= \sigma \cdot \underbrace{2}_{\text{zwei Oberflächen}} \cdot A = \sigma \cdot 2 \cdot 4\pi r^2 \\
 \Delta p &= \frac{F}{A} = \frac{-\frac{dW}{dr}}{4\pi r^2} \\
 &= \frac{\sigma \cdot 8\pi \cdot 2r}{4\pi r^2} = \frac{4\sigma}{r} \\
 &= \frac{4\sigma}{r} = \frac{8\sigma}{d} \\
 \Rightarrow \Delta p_1 &= \frac{8\sigma_{\text{Seifenlösung}}}{d_1} = \frac{8 \cdot 0,025 \text{ N/m}}{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 50 \text{ Pa} \\
 \Rightarrow \Delta p_2 &= \frac{8\sigma_{\text{Seifenlösung}}}{d_2} = \frac{8 \cdot 0,025 \text{ N/m}}{4 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 5 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

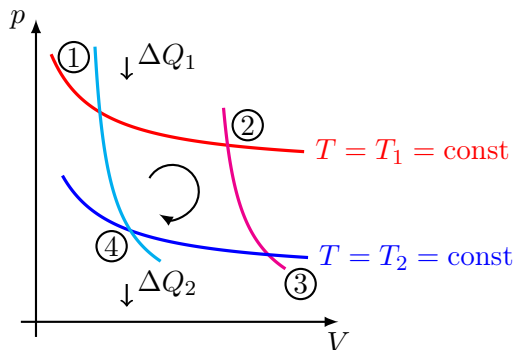
Zahlenwerte: $\sigma_{\text{Wasser}} = 0,074 \text{ N/m}$; $m_{\text{molar, Wasser}} = 18 \text{ g/mol}$; $\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$;
 $\sigma_{\text{Seifenlösung}} = 0,025 \text{ N/m}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 4 (Carnotscher Kreisprozess; Prüfung ExPh A F2017A5 und A/B F2017A4)

- a) Skizzieren Sie den Carnot-Prozess im pV -Diagramm. Benennen Sie die vier Teilprozesse und zeichnen Sie mit Pfeilen den Umlaufsinn ein für den Fall, dass die Carnot-Maschine als Wärmekraftmaschine arbeitet.

Lösung:



- 1 → 2: isotherme Expansion
- 2 → 3: adiabatische Expansion
- 3 → 4: isotherme Kompression
- 4 → 1: adiabatische Kompression

- b) Wie ist der Wirkungsgrad η einer Wärmekraftmaschine allgemein definiert?

Lösung:

$$\eta_{\max} = \frac{\text{pro Zyklus vom System verrichtete Arbeit}}{\text{pro Zyklus dem warmen Reservoir entnommenes}} = \frac{|\Delta W_{\text{ges}}|}{|\Delta Q_1|}$$

- c) Drücken Sie den Wirkungsgrad η_{Carnot} der reversibel arbeitenden Carnot-Wärmekraftmaschine durch die Temperaturen T_1 und T_2 des wärmeren bzw. kälteren Reservoirs aus.

Lösung:

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}}{RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$$

- d) Bei der Umkehrung des Umlaufsinnns der Carnot-Maschine erhält man eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine. Wie ist der Wirkungsgrad η in diesen beiden Fällen jeweils definiert?

Lösung:

Wärmepumpe:

$$\eta_{\text{WP}} = \frac{\Delta Q_1}{\Delta W_{\text{ges}}} = \frac{RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\eta_{\text{Carnot}}} > 1$$

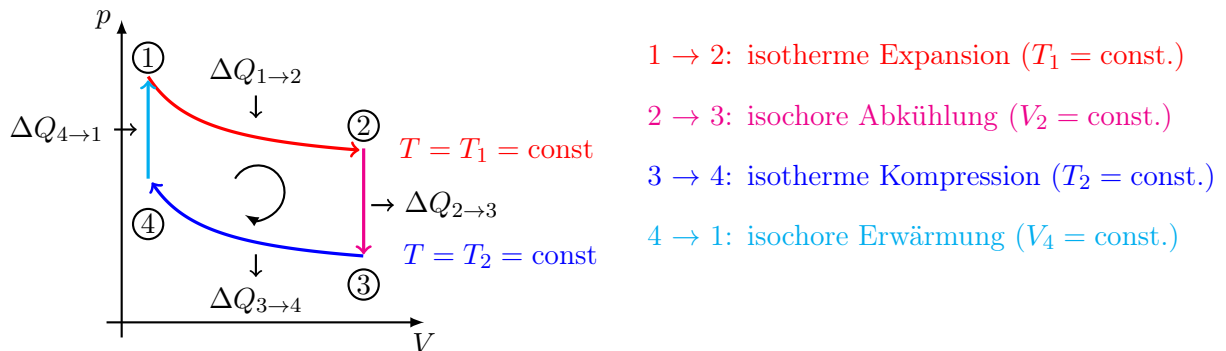
Kältemaschine:

$$\eta_{\text{K}} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta W_{\text{ges}}} = \frac{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}}{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

- e) Wie unterscheidet sich der Stirling-Prozess vom Carnot-Prozess? Skizzieren Sie den Stirling-Prozess im pV -Diagramm. Benennen Sie die vier Teilprozesse und zeichnen Sie mit Pfeilen den Umlaufsinn ein für den Fall, dass die Stirling-Maschine als Wärmekraftmaschine arbeitet. (Skizze nur für ExPh A F2017A5)

Lösung:

Der Stirling-Prozess besteht aus zwei Isothermen und zwei Isochoren, anstelle von zwei Isothermen und zwei Adiabaten wie beim Carnot-Prozess.



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 5 (Helium-Ballon, Prüfung ExPh A F2017A6 und A/B F2017A5)

Ein mit Helium-Gas (ideales Gas) der Masse m_{He} auf den Umgebungsdruck $p_0 = 1,0 \text{ bar}$ gefüllter Ballon (Volumen $V = 170 \text{ m}^3$) werde von der Sonne gleichmäßig erwärmt. Seine Temperatur steigt von der Umgebungstemperatur $T_1 = 300 \text{ K}$ auf $T_2 = 310 \text{ K}$ an. Um welchen Betrag ändert sich dabei die Tragkraft des Ballons wenn

Lösung:

In allen Fällen ist die Tragkraft gegeben als Differenz aus Auftriebskraft und Gewichtskraft.

$$F_{\text{Trag}} = F_{\text{Auftrieb}} - F_G$$

Die Änderung der Tragkraft ergibt sich damit aus der Änderung dieser beiden Kräfte, es gilt:

$$\Delta F_{\text{Trag}} = \Delta F_{\text{Auftrieb}} - \Delta F_G = \rho_{\text{Luft}} \Delta V g - \Delta m_{\text{He}} g$$

- a) der Ballon offen ist und sein Druck und sein Volumen konstant bleiben?

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{geg.: } p_0 &= 1,0 \text{ bar} = \text{const.} & \text{ges.: } \Delta F &=? \\ V &= 170 \text{ m}^3 = \text{const.} \\ T_1 &= 300 \text{ K} \\ T_2 &= 310 \text{ K} \\ &\text{offen} \end{aligned}$$

Wenn Druck und Volumen bei Erwärmung gleich bleiben sollen muss sich die Teilchenzahl ändern. Dieser Masseverlust führt dann zu einer Änderung der Tragkraft. Er kann mit Hilfe des idealen Gasgesetzes bestimmt werden.

$$\begin{aligned} p_0 V &= n_1 R T_1 \\ p_0 V &= n_2 R T_2 \\ \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} &= \frac{T_1}{T_2} \\ \text{mit: } \rho &= n \frac{M}{V} \propto n \\ \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} &= \frac{n_2}{n_1} = \frac{T_1}{T_2} \\ \Delta \rho &= \rho_2 - \rho_1 = \rho_1 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \\ \Rightarrow \Delta F_{\text{Trag}} &= \rho_{\text{Luft}} \Delta V g - \Delta m_{\text{He}} g = \rho_{\text{Luft}} \Delta V g - \Delta \rho_{\text{He}} V g \\ &= 0 - \rho_1 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) V g = \rho_1 \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) V g \\ &= 0,17 \text{ kg/m}^3 \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{310 \text{ K}} \right) \cdot 170 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,15 \text{ N} \end{aligned}$$

- b) der Ballon geschlossen ist und sein Volumen konstant bleibt?

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{geg.: } p_0 &= 1,0 \text{ bar} & \text{ges.: } \Delta F &=? \\ V &= 170 \text{ m}^3 = \text{const.} \\ T_1 &= 300 \text{ K} \\ T_2 &= 310 \text{ K} \\ &\text{geschlossen: } n = \text{const.} \end{aligned}$$

Da sich weder das Volumen und damit die Auftriebskraft, noch die Masse und damit die Gewichtskraft ändert bleibt die Tragkraft gleich. $\Rightarrow \Delta F_{\text{Trag}} = 0$

- c) der Ballon geschlossen ist und sein Druck gleich p_0 bleibt?

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{geg.: } p_0 &= 1,0 \text{ bar} = \text{const.} & \text{ges.: } \Delta F &=? \\ V &= 170 \text{ m}^3 \\ T_1 &= 300 \text{ K} \\ T_2 &= 310 \text{ K} \\ &\text{geschlossen: } n = \text{const.} \end{aligned}$$

Der Ballon ist geschlossen damit bleibt die Masse an Helium gleich und es gibt keine Änderung in der Gewichtskraft. Da bei konstantem Druck und steigender Temperatur das Volumen ansteigt verändert sich die Auftriebskraft. Die Änderung des Volumen ergibt sich aus dem idealen Gasgesetz.

$$\begin{aligned}
 p_0 V_1 &= nRT_1 \\
 p_0 V_2 &= nRT_2 \\
 \Rightarrow \Delta V &= V_2 - V_1 = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \\
 \Delta F_{\text{Trag}} &= \Delta F_A - \Delta F_G \\
 &= \rho_{\text{Luft}} \cdot \Delta V \cdot g = \rho_{\text{Luft}} \cdot V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot g \\
 &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 170 \text{ m}^3 \cdot \left(\frac{310 \text{ K}}{300 \text{ K}} - 1 \right) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 66,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Zahlenwerte: Dichte der Luft vor der Erwärmung: $1,2 \text{ kg/m}^3$; Dichte von Helium bei T_1 und p_0 : $0,17 \text{ kg/m}^3$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

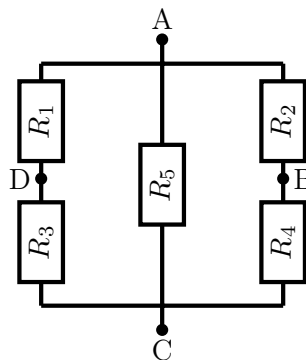
Aufgabe 6 (Widerstände, Prüfung ExPh A/B F2017A6)

Gegeben sei nebenstehende Anordnung von fünf gleichen Widerständen R_1, R_2, R_3, R_4 und R_5 von jeweils $R = 10 \Omega$.

- a) Berechnen Sie den Widerstand zwischen den Kontakten A und C.

Lösung:

Ersatzschaltbild:



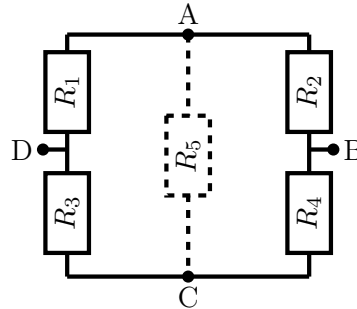
geg.: $R_i = 10 \Omega = R$ ges.: $R_{AC} = ?$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_{AC}} &= \frac{1}{R_1 + R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2 + R_4} \\
 &= \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{2}{R} \\
 \Rightarrow R_{AC} &= \frac{R}{2} = 5 \Omega
 \end{aligned}$$

- b) Berechnen Sie den Widerstand zwischen den Kontakten B und D und erläutern Sie kurz die Ihrer Rechnung zugrunde liegende Überlegung.

Lösung:

Da $R = R_1 = R_3 = R_2 = R_4$ liegen die Punkte A und C auf gleichem Potential. Durch R_5 fließt kein Strom. R_5 kann weggelassen werden. Es ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild:



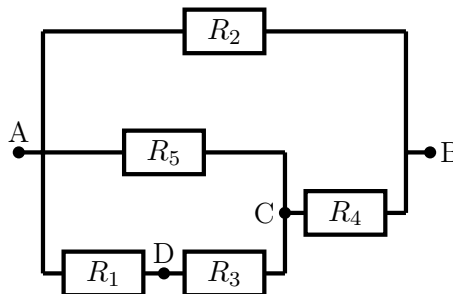
geg.: $R_i = 10\,\Omega = R$ ges.: $R_{DB} = ?$

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{DB}} &= \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} \\ &= \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{R} \\ \Rightarrow R_{DB} &= R = 10\,\Omega\end{aligned}$$

- c) Zwischen A und B werde nun eine Spannung von 12 V angelegt. Welcher Strom fließt zwischen A und B? Erläutern Sie kurz Ihre Rechnung.

Lösung:

Mit dem Ohmschen Gesetz läßt sich der Strom bestimmen. Dazu wird der Gesamtwiderstand zwischen A und B benötigt. Folgendes Ersatzschaltbild kann dabei helfen:



geg.: $R_i = 10\,\Omega = R$ ges.: $I_{AB} = ?$
 $U_{AB} = 12\,\text{V} = R$:

Bestimme R_{AB}

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{AB}} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{1345}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{135} + R_4} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_5}\right)^{-1} + R_4} \\ &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1 + R_3} + \frac{1}{R_5}\right)^{-1} + R_4} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\left(\frac{1}{R+R} + \frac{1}{R}\right)^{-1} + R} \\ &= \frac{1}{R} + \frac{1}{\left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{R}\right)^{-1} + R} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\left(\frac{3}{2R}\right)^{-1} + R} \\ &= \frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{2R}{3} + R} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{5}{3}R} = \frac{1}{R} + \frac{3}{5R} = \frac{8}{5R} \\ \Rightarrow R_{AB} &= \frac{5}{8}R\end{aligned}$$

Damit ergibt sich:

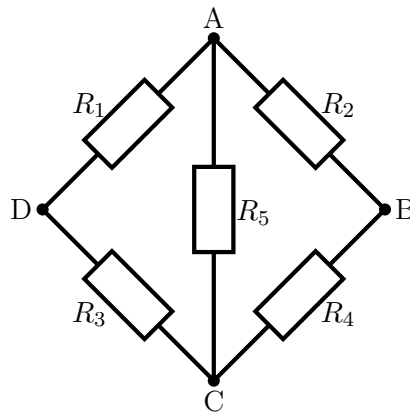
$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{8}{5} \frac{U_{AB}}{R} = \frac{8}{5} \frac{12 \text{ V}}{10 \Omega} = 1,92 \text{ A}$$

- d) Welche elektrische Leistung wird beim Anlegen einer Spannung $U_{AC} = 12 \text{ V}$ zwischen A und C in der Anordnung dissipiert?

Lösung:

$$\begin{array}{ll} \text{geg.:} & R_{AC} = 5 \Omega \\ & U_{AC} = 12 \text{ V} = R \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{ges.:} & P_{AB} = ? \\ & : \end{array}$$

$$P = U_{AC} \cdot I_{AC} = \frac{U_{AC}^2}{R_{AC}} = \frac{12^2 \text{ V}^2}{5 \Omega} = 28,8 \text{ W}$$



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 7 (Ladung im Feld; Prüfung ExPh A/B F2017A7)

Ein homogenes elektrisches Feld der Feldstärke E zeige in x -Richtung. Eine im Ursprung $x = 0$ ruhende elektrische Punktmasse Q (Ladung Q , Masse m_0) werde losgelassen.

- a) Mit welcher Kraft wird die geladene Punktmasse beschleunigt? Wie groß ist die resultierende Beschleunigung

Lösung:

$$\begin{array}{ll} \text{geg.:} & E = 2,0 \text{ kN/As} \\ & Q = 3,0 \mu\text{C} \\ & m_0 = 0,85 \text{ g} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{ges.:} & F = ? \\ & a = ? \end{array}$$

$$F = Q \cdot E = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 2,0 \cdot 10^3 \text{ N/As} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mN}$$

$$a = \frac{F}{m_0} = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{0,85 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

- b) Wie groß ist ihre kinetische Energie der Punktmasse bei $x = 0,25 \text{ m}$?

Lösung:

geg.: $E = 2,0 \text{ kN/As}$ ges.: $\Delta E_{\text{kin}} = ?$
 $Q = 3,0 \text{ }\mu\text{C}$
 $x_1 = 0$
 $x_2 = 0,25 \text{ m}$

Die an der Ladung verrichtete Arbeit wird in kinetische Energie umgewandelt:

$$W = \Delta E_{\text{kin}} = \int_{x_1=0}^{x_2=0,25 \text{ m}} F \, dx = F \cdot \Delta x = Q \cdot E \cdot \Delta x$$

$$= 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 2,0 \cdot 10^3 \text{ N/As} \cdot 0,25 \text{ m} = 1,5 \text{ mJ}$$

c) Wie groß ist die Änderung ihrer potentiellen Energie zwischen $x = 0 \text{ m}$ und $x = 0,25 \text{ m}$?

Lösung:

geg.: $E = 2,0 \text{ kN/As}$ ges.: $\Delta E_{\text{pot}} = ?$
 $Q = 3,0 \text{ }\mu\text{C}$
 $m_0 = 0,85 \text{ g}$
 ΔE_{kin}

$$\Delta E_{\text{pot}} = -E_{\text{kin}} = -1,5 \text{ mJ}$$

d) Wie groß ist der Potentialunterschied $\varphi(0,25 \text{ m}) - \varphi(0)$?

Lösung:

geg.: $E = 2,0 \text{ kN/As}$ ges.: $\Delta \varphi = ?$
 $Q = 3,0 \text{ }\mu\text{C}$
 $x_1 = 0$
 $x_2 = 0,25 \text{ m}$

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta E_{\text{pot}}}{Q} = -0,5 \cdot 10^3 \text{ V}$$

allgemein:

$$\Delta \varphi = -\frac{1}{Q} \int_{x_1}^{x_2} F \, dx = -\frac{1}{Q} F \cdot \Delta x = -E \cdot \Delta x$$

Zahlenwerte: $E = 2,0 \text{ kN/As}$; $Q = 3,0 \text{ }\mu\text{C}$; $m_0 = 0,85 \text{ g}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 8 (Magnetfelder; Prüfung ExPh A/B F2017A8)

Durch ein langes, gerades, horizontal ausgerichtetes Stück Kupferdraht fließe ein Strom $I = 28 \text{ A}$. Die lineare Dichte (Masse pro Längeneinheit) des Drahtes sei $m/L = 46,6 \text{ g/m}$

a) Welchen Betrag muss ein äußeres homogenes Magnetfeld B mindestens haben, um das Drahtstück in der Schwebe zu halten, also seine Gewichtskraft zu kompensieren?

Lösung:

Käftegleichgewicht (Betrag) zwischen Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$ und Kraft auf stromdurchflossenen Leiter $\vec{F}_L = I \vec{L} \times \vec{B}$ (Lorentz-Kraft). Der Vektor $\vec{L}$ zeigt in Richtung der technischen Stromrichtung.

Dazu ist folgende Eigenschaft des Kreuzproduktes hilfreich: $|\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin(\angle \vec{a}, \vec{b})$

geg.: $I = 28 \text{ A}$ ges.: $B = ?$
 $m/L = 46,6 \text{ g/m}$
horizontal $\Rightarrow \varphi = 90^\circ$

$$F_L = F_G$$

$$ILB \sin \varphi = mg$$

$$B = \frac{mg}{IL \sin \varphi} = \frac{m}{L} \frac{g}{I \sin \varphi} = 46,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{28 \text{ A} \cdot \sin 90^\circ} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ T}$$

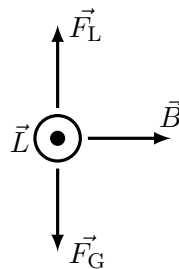
- b) In welche Richtung muss das Magnetfeld B aus Aufgabe a) zeigen, um das Drahtstück in der Schwebe zu halten? Erstellen Sie hierzu eine Skizze der wirkenden Kräfte und des Magnetfeldvektors.

Lösung:

Annahme: Stromfluss aus der Zeichenebe; Gewichtskraft nach unten

Die Lorentzkraft muss damit nach oben zeigen. Mit der Rechte-Hand-Regel ist die Kraft senkrecht zu $\vec{B}$ und $\vec{L}$. Damit zeigt $\vec{B}$ nach rechts.

Skizze:



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 9 (Brechung; Prüfung ExPh A/B F2017A9)

Ein Lichtstrahl fällt unter einem Winkel $\alpha = 58^\circ$ zur Grenzflächennormalen aus der Luft auf ein transparentes Material. Reflektierter und gebrochener Strahl stehen senkrecht aufeinander.

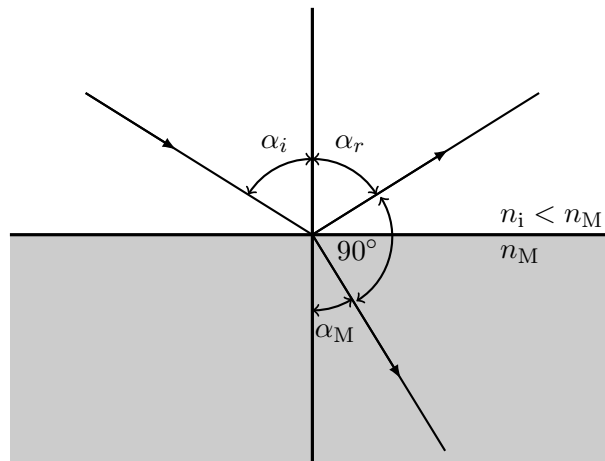
- a) Wie groß ist der Brechungsindex n_M des Materials?

Lösung:

gegeben: $\alpha_i = 58^\circ$
reflektierter und gebrochener Strahl senkrecht
Luft $n_i = n_{\text{Luft}} \approx 1$

gesucht: $n_M = ?$

Skizze:



Aus der Skizze kann man ablesen: $\alpha_r + \alpha_M = 90^\circ$.

Außerdem gilt $\alpha_i = \alpha_r$ (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel).

Mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 n_i \sin \alpha_i &= n_M \sin \alpha_M \\
 \Rightarrow n_M &= n_i \frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_M} \\
 &= n_i \frac{\sin \alpha_i}{\sin (90^\circ - \alpha_r)} = n_i \frac{\sin \alpha_i}{\sin (90^\circ - \alpha_i)} \\
 &= n_i \frac{\sin \alpha_i}{\cos (\alpha_i)} = n_i \tan \alpha_i = 1 \cdot \tan 58^\circ = 1,6
 \end{aligned}$$

- b) Welche besondere Eigenschaft hat der reflektierte Strahl in dieser Geometrie? Geben Sie hierfür eine Begründung.

Lösung:

Der reflektierte Strahl ist senkrecht zur Einfallsebene vollständig linear polarisiert.

Der Einfallswinkel unter dem reflektierte Strahl und gebrochener Strahl senkrecht stehen wird Brewsterwinkel oder Polarisationswinkel genannt.

Physikalische Grundlage: Eine unpolarisierte Welle lässt sich in zwei zueinander senkrecht linear polarisierte Anteile zerlegen. Die Vektoren der elektrischen Feldstärke liegen dabei senkrecht bzw. parallel zur Einfallsebene (senkrecht bzw. parallel linear polarisierter Anteil, auch s- bzw. p-Polarisation genannt). Der eintreffende Lichtstrahl regt die Elektronen des Materials zum Schwingen an (Verschiebungspolarisation). Es entsteht dadurch eine Ansammlung von atomaren Dipolen (hertzsche Dipole), die in Polarisationsrichtung schwingen und dadurch Sekundärwellen ausstrahlen, die nur in Richtung des reflektierten und des gebrochenen Strahles konstruktiv interferieren. Beim senkrecht polarisierten Anteil liegen Ein- und Ausfallsrichtung senkrecht zur Schwingungsrichtung der Dipole und somit in einer Richtung, in die ein hertzscher Dipol maximal ausstrahlt. Dabei bleibt die Polarisation erhalten. Anders verhält es sich bei der Anregung durch den parallel polarisierten Anteil, hier ergibt sich ein vom Einfallswinkel θ_1 veränderlicher Winkel $\alpha = 90^\circ - (\theta_1 + \theta_2)$ zwischen der Schwingungsrichtung der hertzschen Dipole und der Richtung der reflektierten Welle. Mit dem Anregungswinkel variiert auch die Strahlungsintensität I des Dipols ($I \sim \sin^2 \alpha$), daher werden beide Polarisationsanteile mit unterschiedlicher Intensität abgestrahlt und das reflektierte Licht ist teilweise polarisiert. Im Fall $\alpha = 0$ (Richtung der Dipolachse ist identisch mit der Richtung der Reflexion) erfolgt für den parallel polarisierten Anteil keine Abstrahlung der Dipole in Reflexionsrichtung und das reflektierte Licht ist vollständig senkrecht linear polarisiert.

Quelle: Wikipedia; de.wikipedia.org/wiki/Brewster-Winkel

- c) Unter welcher Bedingung tritt das Phänomen der Totalreflexion an der oben beschriebenen Grenzfläche auf? Verdeutlichen Sie die mit Hilfe einer Skizze. Wie groß muss der Einfallswinkel hierfür mindestens sein?

Lösung:

Totalreflexion: Licht wird nach Snellius beim Übergang vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium zum Lot hin gebrochen bzw. beim Übergang vom optisch dichteren zum dünneren Medium vom Lot weg.

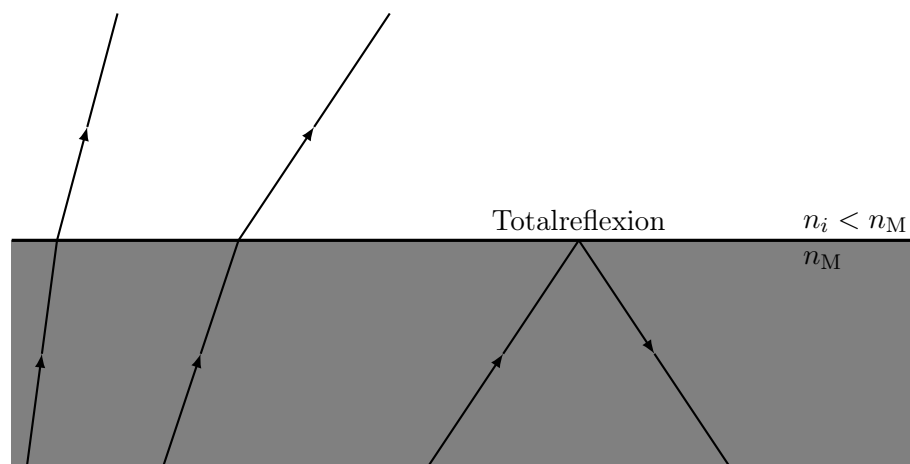
Snellius'sches Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_t} = \frac{n_M}{n_i}$$

Ab einem theoretischen Ausfallswinkel von 90° zum Lot ergibt sich Totalreflexion.

Grenzwinkel der Totalreflexion:

$$\sin \alpha_{\text{Grenz}} = \frac{n_M}{n_i}$$



gegeben: $n_M = 1,6$
Luft $n_i = n_{\text{Luft}} \approx 1$
Totalreflexion

gesucht: α_{Grenz}

$$\sin \alpha_{\text{Grenz}} = \frac{n_M}{n_i} = \frac{1,6}{1}$$

$$\Rightarrow \alpha_{\text{Grenz}} = \arcsin 1,6 = 38,7^\circ$$

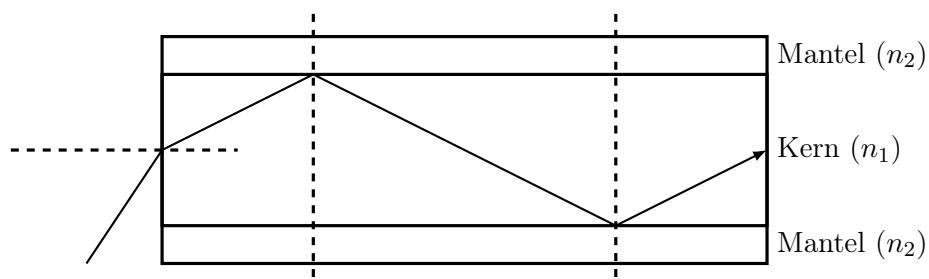
- d) Nennen Sie zwei Beispiele für Phänome oder technische Anwendungen der Totalreflexion und erklären Sie beide Beispiele kurz.

Lösung:

Anwendung 1: Lichtleiter

Die Lichtleitung in einer Glasfaser beruht auf dem Phänomen der Totalreflexion.

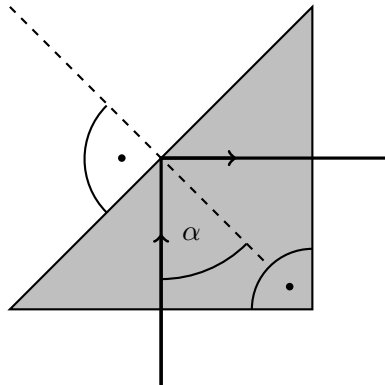
In einer Glasfaser wird das Licht so eingekoppelt, dass es durch Totalreflexion im Kern geleitet wird. Der Mantel muss hierfür einen geringeren Brechungsindex haben als der Kern.



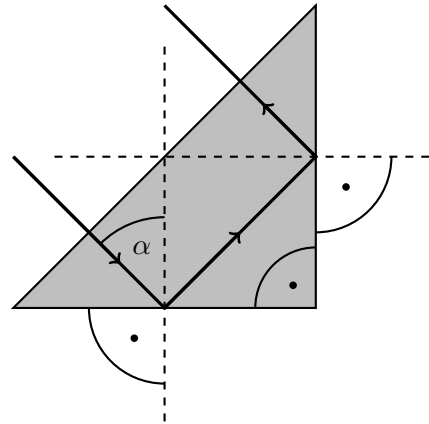
Anwendung 2: Umlenkprisma, Umkehrprisma

Umlenk- und Umkehrprismen werden verwendet um bei optischen Aufbauten die Richtung der Lichtstrahlen zu ändern. Dabei nutzt man Totalreflexion um Intensitätsverluste zu vermeiden.

Umlenkprisma



Umkehrprisma



Phänomen 1: Tauchen

Blickt man als Taucher von unten unter einem flachen Winkel gegen die Wasseroberfläche, so sieht man nicht das Ufer, sondern die Wasseroberfläche wirkt als Spiegel.

Phänomen 2: Luftspiegelung

Auf heißem Asphalt oder bei der Fata Morgana treten Reflexionen an Luftschichten mit unterschiedlicher Dicken, Temperatur usw. und damit unterschiedlichem Brechungsindex auf. Je nach Winkel tritt auch hierbei Totalreflexion auf.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 10 (Radioaktivität; Prüfung ExPh A/B F2017A10)

Das Uran-Isotop $^{226}_{92}\text{U}$ zerfällt mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 7 \cdot 10^8$ Jahren durch α -Zerfall in den Folgekern Thorium (Th).

- a) Wie groß sind die Ordnungszahl, Massenzahl, Neutronenzahl, Protonenzahl, Kernladungszahl und Elektronenzahl des neutralen Ausgangsisotops $^{226}_{92}\text{U}$ vor dem Zerfall?

Lösung:

gegeben: $A = 235$
 $Z = 92$

gesucht: $Z = ?$
 $A = ?$
 $N = ?$
 $Z = ?$
 $Z = ?$
 $N_e = ?$

- Anzahl der Protonen = Kernladungszahl = Ordnungszahl $\Rightarrow Z = 92$
- Anzahl der Neutronen = Massenzahl-Ordnungszahl $\Rightarrow N = A - Z = 143$
- Anzahl der Elektronen (nicht-ionisiert) = Anzahl der Protonen $\Rightarrow N_e = 92$

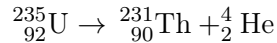
- b) Wie groß sind die Ordnungszahl, Massenzahl, Neutronenzahl, Protonenzahl, Kernladungszahl und Elektronenzahl des neutralen Zerfallsprodukts von $^{226}_{92}\text{U}$ nach dem Zerfall?

Lösung:

gegeben:	$A = 235$	gesucht:	$Z = ?$
	$Z = 92$		$A = ?$
	α -Zerfall		$N = ?$
			$Z = ?$
			$Z = ?$
			$N_e = ?$

Beim α -Zerfall wird ein ${}^4_2\text{He}$ abgespalten.

Die Zerfallsgleichung lautet im Fall von ${}^{235}_{92}\text{U}$:



Es gilt: $\Delta A = 4$ und $\Delta Z = 2$

Damit ergibt sich:

- Anzahl der Protonen = Kernladungszahl = Ordnungszahl $\Rightarrow Z = 90$
- Anzahl der Neutronen = Massenzahl-Ordnungszahl $\Rightarrow N = A - Z = 141$
- Massenzahl: $A = 231$
- Anzahl der Elektronen (nicht-ionisiert) = Anzahl der Protonen $\Rightarrow N_e = 90$

c) Nach welcher Zeit ist die Aktivität $|dN/dt|$ auf 40 % des ursprünglichen Wertes abgesunken?

Lösung:

gegeben:	$T_{1/2} = 7 \cdot 10^8 \text{ a}$	gesucht:	$t_1 = ?$
	$ dN/dt (t_1) = 0,4 \cdot dN/dt (t = 0)$		
	$N(t = 0) = N_0$		

Bestimme zunächst die Zerfallskonstante λ aus dem Zerfallsgesetz:

$$N(t = T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Mit dem Zerfallsgesetz kann die Aktivität bestimmt werden.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\frac{dN}{dt}(t) = -\lambda \cdot N_0 e^{-\lambda \cdot t} = -\lambda N(t)$$

$$0,4 \stackrel{!}{=} \frac{\frac{dN}{dt}(t_1)}{\frac{dN}{dt}(t = 0)}$$

$$0,4 \stackrel{!}{=} \frac{-\lambda \cdot N_0 e^{-\lambda \cdot t_1}}{-\lambda \cdot N_0 \cdot 1} = e^{-\lambda \cdot t_1}$$

$$\Rightarrow t_1 = -\frac{\ln 0,4}{\lambda} = -\ln 0,4 \cdot \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$= -\ln 0,4 \cdot \frac{7 \cdot 10^8 \text{ a}}{\ln 2} = 9 \cdot 10^8 \text{ a}$$

d) Die kinetische Energie des emittierten α -Teilchens beträgt 4,7 MeV. Wie groß ist die Rückstoßenergie des Folgekerns? Nutzen Sie den Impulserhaltungssatz und vernachlässigen Sie die Masse der Elektronen.

Lösung:

gegeben: $E_{\text{kin},\alpha} = 4,7 \text{ MeV}$

gesucht: $E_{\text{kin, Th}} = ?$

Impulserhaltung:

$$\begin{aligned} m_{\alpha} \cdot v_{\alpha} &= m_{\text{Th}} \cdot v_{\text{Th}} \\ \Rightarrow v_{\text{Th}} &= \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} v_{\alpha} \end{aligned}$$

Rückstoßenergie:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin, Th}} &= \frac{1}{2} m_{\text{Th}} v_{\text{Th}}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{Th}} \left(\frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} v_{\alpha} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} m_{\text{Th}} \frac{m_{\alpha}^2}{m_{\text{Th}}^2} v_{\alpha}^2 = \frac{1}{2} m_{\alpha} v_{\alpha}^2 \cdot \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} \\ &= \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} \cdot E_{\text{kin},\alpha} = \frac{4}{231} \cdot 4,7 \text{ MeV} = 0,081 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B