

## Klausur A/B Herbst 2016

### Aufgabe 1 (Tennisball, Prüfung ExPh A H2016A1 und A/B H2016A1)

Ein Tennisball der Masse  $m = 58,0 \text{ g}$  wird in der Höhe  $h = 20 \text{ m}$  über dem Erdboden mit der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0 = 5,0 \text{ m/s}$

#### Lösung:

Wir legen fest  $z(0) = h$  dann kann die Fallzeit bestimmt werden aus  $z(t) \stackrel{!}{=} 0$ . Es handelt sich in allen Teilen um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung in  $z$ -Richtung. Geschwindigkeit, Impuls und Energie kann einfach mit den Formeln bestimmt werden oder durch Nachdenken. In allen Fällen wird der Anteil der potentiellen Energie der Anfangsenergie in kinetische Energie umgewandelt. Es gilt Energieerhaltung, d.h. alle haben die gleiche Endenergie. Im Endzustand haben wir nur noch kinetische Energie, da der gleiche Tennisball (gleiche Masse) benutzt wird müssen auch die Geschwindigkeiten gleich sein, da  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ . Ebenso gilt dies für den Impuls, da  $E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m}$ .

a) waagrecht nach vorne

2 s; 20,43 m/s; 1,2 kgm/s; 12,1 J

#### Lösung:

Zeit  $t_E$  des Aufpralls:

$$z(t_{\text{End}}) = -\frac{1}{2}gt_{\text{End}}^2 + h \stackrel{!}{=} 0$$

$$t_{\text{End}} = \pm \sqrt{\frac{2h}{g}} = 2 \text{ s} \quad (\text{nur positive Lösung physikalisch sinnvoll})$$

Aufprallgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$

$$\begin{aligned} v_z &= -gt_{\text{End}} \\ v_{\text{End}} &= \sqrt{v_0^2 + v_z^2} \\ &= \sqrt{v_0^2 + 2gh} = 20,43 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Impuls  $p_{\text{End}}$ :

$$\begin{aligned} p_{\text{End}} &= mv_{\text{End}} \\ &= 1,2 \text{ kgm/s} \end{aligned}$$

Energie  $E_{\text{kin}}$ :

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2}mv^2 \\ &= \frac{p^2}{2m} \\ &= 12,1 \text{ J} \end{aligned}$$

b) senkrecht nach oben

2,6 s; 20,43 m/s; 1,2 kgm/s; 12,1 J

#### Lösung:

Zeit  $t_E$  des Aufpralls:

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + h \stackrel{!}{=} 0$$

$$t_{\text{End}} = \frac{v_0}{g} \pm \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} = 2,6 \text{ s} \quad (\text{nur positive Lösung physikalisch sinnvoll})$$

Aufprallgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$

$$\begin{aligned}v_z &= v_0 - gt_{\text{End}} \\v_{\text{End}} &= \sqrt{v_z^2} \\&= \sqrt{v_0^2 + 2gh} = 20,43 \text{ m/s}\end{aligned}$$

c) senkrecht nach unten

1,57 s; 20,43 m/s; 1,2 kgm/s; 12,1 J

**Lösung:**

Zeit  $t_E$  des Aufpralls:

$$\begin{aligned}z(t) &= -\frac{1}{2}gt^2 - v_0t + h \stackrel{!}{=} 0 \\t_{\text{End}} &= -\frac{v_0}{g} \pm \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} = 1,57 \text{ s} \quad (\text{nur positive Lösung physikalisch sinnvoll})\end{aligned}$$

Aufprallgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$

$$\begin{aligned}v_z &= -v_0 - gt_{\text{End}} \\v_{\text{End}} &= \sqrt{v_z^2} \\&= \sqrt{v_0^2 + 2gh} = 20,43 \text{ m/s}\end{aligned}$$

geworfen. Von der Luftreibung werde abgesehen. Nach welcher Zeit erreicht er jeweils den Erdboden und wie groß ist dann jeweils die Endgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$ , der Impuls  $p$  und die kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$ ?

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

**Aufgabe 2** (Auftrieb und Stokes'sche Reibung, Prüfung ExPh A H2016A2 und A/B H2016A2)

- a) Was versteht man unter der Auftriebskraft in Flüssigkeiten und was besagt das Prinzip von Archimedes?

**Lösung:**

Die Auftriebskraft ist eine der Erdanziehungskraft entgegen gerichtete Kraft, die auf alle Körper wirkt, die in einer Flüssigkeit oder einem Gas teilweise oder vollständig eingetaucht sind.

Das Prinzip von Archimedes besagt, dass der Betrag der Auftriebskraft die ein Körper erfährt gleich dem Betrag der Gewichtskraft der vom Körper verdrängten Flüssigkeits- oder Gasmenge ist.

- b) Eine Stahlkugel (Radius  $R = 5,0 \text{ cm}$ , Dichte von Stahl:  $7,86 \text{ g/cm}^3$ ) hat im Inneren einen kugelförmigen, luftgefüllten Hohlraum vom Radius  $r$ . Wie groß muss  $r$  gewählt werden, dass die Kugel in Wasser schwebt? (Dichte von Wasser:  $1,0 \text{ g/cm}^3$ )

4,78 cm

**Lösung:**

gegeben:  $\varrho_{\text{Stahl}} = 7,86 \text{ g/cm}^3$       gesucht:  $r = ?$   
 $\varrho_{\text{Wasser}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$   
 $R = 5,0 \text{ cm}$   
Kugel schwebt

Damit die Kugel schwebt muss die Auftriebskraft gerade die Gewichtskraft kompensieren. Es gilt also:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Auftrieb}} &\stackrel{!}{=} F_{\text{Gewicht, Stahlkugel}} \\
 \varrho_{\text{Wasser}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot g &= m_{\text{Stahlkugel}} \cdot g \\
 \varrho_{\text{Wasser}} \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 &= \varrho_{\text{Stahl}} \cdot \frac{4}{3}\pi (R^3 - r^3) \\
 r^3 &= R^3 - \frac{\varrho_{\text{Wasser}}}{\varrho_{\text{Stahl}}} \cdot R^3 \\
 r &= R \cdot \sqrt[3]{1 - \frac{\varrho_{\text{Wasser}}}{\varrho_{\text{Stahl}}}} \\
 &= 5,0 \text{ cm} \cdot \sqrt[3]{1 - \frac{1,0 \text{ g/cm}^3}{7,86 \text{ g/cm}^3}} = 4,78 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- c) Was versteht man unter Stokes'sche Reibung und wie lautet das Gesetz für Stokes'sche Reibung?

$$F_R = 6 \pi \eta r v$$

### Lösung:

Stokes'sche Reibung tritt auf bei der laminaren Umströmung einer Kugel von einer Flüssigkeit, bzw. wenn sich eine Kugel gleichförmig durch einen Flüssigkeit bewegt.

Es gilt:

$$F_R = 6 \pi \eta r v$$

mit:

- $F_R$ : Reibungskraft
- $\eta$ : Viskosität der Flüssigkeit
- $r$ : Radius der Kugel
- $v$ : Geschwindigkeit der Strömung oder der Kugel

- d) Eine Stahlkugel (Vollkugel) mit dem Radius  $R = 2,0 \text{ mm}$  ist vollständig in Glycerin eingetaucht (Dichte von Glycerin:  $1,26 \text{ g/cm}^3$ , Viskosität von Glycerin:  $1,408 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ). Wie groß ist der Anfangswert der Beschleunigung der Kugel unmittelbar nach dem Loslassen der anfangs ruhenden Kugel?

$$8,24 \text{ m/s}^2$$

### Lösung:

- gegeben:  $\varrho_{\text{Stahl}} = 7,86 \text{ g/cm}^3$       gesucht:  $a = ?$   
 $\varrho_{\text{Glycerin}} = 1,408 \text{ g/cm}^3$   
 $R = 2,0 \text{ cm}$   
 Kugel ruht zu Beginn

Die maximale Beschleunigung errechnet sich aus der Kraft die direkt zu Beginn wirkt. Es gilt:

$$\begin{aligned}
 m \cdot a_{\text{max}} &= F_{\text{Anfang}} = F_{\text{Gewicht, Stahlkugel}} - F_{\text{Auftrieb}} \\
 \varrho_{\text{Stahl}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot a &= \varrho_{\text{Stahl}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot g - \varrho_{\text{Glycerin}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot g \\
 a &= \frac{\varrho_{\text{Stahl}} - \varrho_{\text{Glycerin}}}{\varrho_{\text{Stahl}}} \cdot g \\
 &= \left(1 - \frac{\varrho_{\text{Glycerin}}}{\varrho_{\text{Stahl}}}\right) \cdot g \\
 &= \left(1 - \frac{1,26 \text{ g/cm}^3}{7,86 \text{ g/cm}^3}\right) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 8,24 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

- e) Mit welcher maximalen Geschwindigkeit sinkt die Stahlkugel aus d) im Glycerin?

$$3,9 \text{ cm/s}$$

**Lösung:**

gegeben:  $\rho_{\text{Stahl}} = 7,86 \text{ g/cm}^3$       gesucht:  $v_{\text{max}} = ?$   
 $\rho_{\text{Glycerin}} = 1,408 \text{ g/cm}^3$   
 $\eta = 1,408 \text{ Pa} \cdot \text{s}$   
 $R = 2,0 \text{ cm}$   
 gleichförmige Bewegung

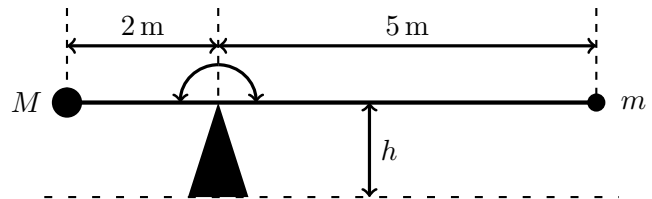
Gleichförmige Bewegung (konstante Geschwindigkeit) wenn die Reibungskraft gerade die beschleunigende Kraft kompensiert.

$$\begin{aligned}
 F_R &= F_{\text{Gewicht, Stahlkugel}} - F_{\text{Auftrieb}} \\
 6 \pi \eta R v_{\text{max}} &= \rho_{\text{Stahl}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot g - \rho_{\text{Glycerin}} \cdot V_{\text{Stahlkugel}} \cdot g \\
 6 \pi \eta R v_{\text{max}} &= \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g (\rho_{\text{Stahl}} - \rho_{\text{Glycerin}}) \\
 v_{\text{max}} &= \frac{2}{9} R^2 \cdot \frac{g}{\eta} (\rho_{\text{Stahl}} - \rho_{\text{Glycerin}}) \\
 &= \frac{2}{9} \cdot (2,0 \text{ mm})^2 \cdot \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1,408 \text{ Pa} \cdot \text{s}} (7,86 \text{ g/cm}^3 - 1,26 \text{ g/cm}^3) = 3,9 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

**Aufgabe 3** (Schaukel, Prüfung ExPh A H2016A3 und A/B H2016A3)

Auf einer exakt waagrecht stehenden asymmetrischen Schaukel vernachlässigbarer Masse befindet sich auf einer Seite der Schaukel im Abstand von 2,0 m von der Drehachse und in einer Höhe von  $h = 1,24 \text{ m}$  über dem Boden eine Person der Masse  $M = 75 \text{ kg}$ . Auf der anderen Seite der Schaukel befindet sich im Abstand von 5,0 m von der Drehachse ein Gegengewicht der Masse  $m$ , das die ruhende Schaukel exakt im Gleichgewicht hält.



- a) Wie groß ist die Masse  $m$  des Gegengewichts? Welche Kraft  $F$  und welches Drehmoment  $M$  muss das Gegengewicht ausüben, damit sich die Schaukel im Gleichgewicht befindet? 30 kg; 294,3 N; 1472 Nm

**Lösung:**

gegeben:  $M = 75 \text{ kg}$       gesucht:  $m = ?$   
 $r_M = 2 \text{ m}$        $F_m = ?$   
 $r_m = 5 \text{ m}$        $|\vec{M}_m| = ?$   
 waagrecht  
 in Ruhe

Damit es in Ruhe bleibt müssen sich die Drehmomente gerade aufheben. Bei waagrechter Ausrichtung ist der Winkel zwischen Kraft und Kraftarm gerade  $90^\circ$

$$\begin{aligned}
 |\vec{M}_M| &\stackrel{!}{=} |\vec{M}_m| \\
 r_M \cdot F_M &= r_m \cdot F_m \\
 r_M \cdot M \cdot g &= r_m \cdot m \cdot g \\
 \Rightarrow m &= \frac{r_M}{r_m} \cdot M \\
 &= \frac{2 \text{ m}}{5 \text{ m}} \cdot 75 \text{ kg} = 30 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Die Kraft ist gerade die Gewichtskraft.

$$F_m = m \cdot g = 30 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 294,3 \text{ N}$$

Damit ergibt sich das Drehmoment:

$$|\vec{M}_m| = r_m \cdot F_m = 5 \text{ m} \cdot 294,3 \text{ N} = 1472 \text{ Nm}$$

- b) Welches Trägheitsmoment hat die Anordnung der beiden Massen bezüglich der Drehachse?  
1050 kg · m<sup>2</sup>

**Lösung:**

$$\begin{array}{ll} \text{gegeben:} & M = 75 \text{ kg} \\ & m = 30 \text{ kg} \\ & r_M = 2 \text{ m} \\ & r_m = 5 \text{ m} \end{array} \quad \text{gesucht:} \quad \theta = ?$$

Es handelt sich dabei um Punktmassen mit dem Abstand  $r_M$  und  $r_m$  von der Drehachse. Damit gilt:

$$\begin{aligned} \theta &= \sum_i m_i \cdot r_i^2 = M \cdot r_M^2 + m \cdot r_m^2 \\ &= 75 \text{ kg} \cdot 2^2 \text{ m}^2 + 30 \text{ kg} \cdot 5^2 \text{ m}^2 = 1050 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

- c) Nun wird das Gegengewicht entfernt. Welche beschleunigende Kraft, welche Beschleunigung und welche Winkelbeschleunigung erfährt die Person unmittelbar nach dem das Gegengewicht entfernt worden ist?  
736 N;  $g$ ; 4,9 1/s<sup>2</sup>

**Lösung:**

$$\begin{array}{ll} \text{gegeben:} & M = 75 \text{ kg} \\ & r_M = 2 \text{ m} \end{array} \quad \text{gesucht:} \quad \begin{array}{l} F = ? \\ a = ? \\ \alpha = ? \end{array}$$

Die Kraft die beschleunigt ist die Gewichtskraft der Masse  $M$ . Das Trägheitsmoment ändert sich auch, da nur noch eine Punktmasse gibt.

$$\begin{aligned} F &= M \cdot g = 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 736 \text{ N} \\ a &= g = 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \alpha &= \frac{a}{r_M} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{2 \text{ m}} = 4,9 \text{ 1/s}^2 \\ \text{oder } \alpha &= \frac{|\vec{M}_M|}{\theta_M} = \frac{1472 \text{ Nm}}{75 \text{ kg} \cdot 2^2 \text{ m}^2} = 4,9 \text{ 1/s}^2 \end{aligned}$$

- d) Wie groß ist die (i) kinetische Energie, (ii) der Impuls und (iii) der Drehimpuls bezüglich der Drehachse der Schaukel unmittelbar vor dem Auftreffen auf dem Boden? 912 J; 370  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ ; 740  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$

**Lösung:**

$$\begin{array}{ll} \text{gegeben:} & M = 75 \text{ kg} \\ & r_M = 2 \text{ m} \\ & h = 1,24 \text{ m} \end{array} \quad \text{gesucht:} \quad \begin{array}{l} E_{\text{kin}} = ? \\ p = ? \\ L = ? \end{array}$$

Aus der Energieerhaltung kann die Geschwindigkeit und damit dann alle weiteren Größen bestimmt werden.

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= E_{\text{pot}} \\ \frac{1}{2} M v_M^2 &= M g h \\ \Rightarrow v &= \sqrt{2 g h} \end{aligned}$$

(i)

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= M g h \\ &= 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,24 \text{ m} = 912 \text{ J} \end{aligned}$$

(ii)

$$\begin{aligned} p &= M \cdot v_M = M \cdot \sqrt{2 g h} \\ &= 75 \text{ kg} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,24 \text{ m}} = 370 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

(iii)

$$\begin{aligned} L &= r_M \cdot p = r_M \cdot M \cdot \sqrt{2 g h} \\ &= 2 \text{ m} \cdot 75 \text{ kg} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,24 \text{ m}} = 740 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

**Aufgabe 4** (Autoreifen; Prüfung ExPh A H2016A5 und A/B H2016A4)

Ein Autoreifen habe bei  $0^\circ\text{C}$  und einem Druck von 2,5 bar ein Volumen von  $0,06 \text{ m}^3$ . Nach einer Erwärmung auf  $30^\circ\text{C}$  ist der Druck im Reifen auf 2,65 bar angestiegen.

a) Wie groß ist das Volumen nach der Erwärmung?

$0,063 \text{ m}^3$

**Lösung:**

$$\begin{aligned} \text{gegeben: } p_0 &= 2,5 \text{ bar} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} & \text{gesucht: } V_1 &=? \\ p_1 &= 2,65 \text{ bar} = 2,65 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ V_0 &= 0,06 \text{ m}^3 \\ T_0 &= 0^\circ\text{C} = 273,14 \text{ K} \\ T_1 &= 30^\circ\text{C} = 303,14 \text{ K} \\ &\text{ideales Gas} \end{aligned}$$

Im Reifen ändert sich die Stoffmenge nicht. Benutze die Ideale Gasgleichung:

$$\begin{aligned} pV &= nRT \Rightarrow \frac{pV}{T} = \text{const. für } n=\text{const} \\ \frac{p_0 V_0}{T_0} &= \frac{p_1 V_1}{T_1} \\ V_1 &= \frac{p_0 V_0 T_1}{T_0 p_1} \\ &= \frac{2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,06 \text{ m}^3 \cdot 303,14 \text{ K}}{273,14 \text{ K} \cdot 2,65 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,063 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b) Welche Stoffmenge und welche Masse hat die Luft im Autoreifen?

6,61 mol,  $m = 190,3 \text{ g}$

**Lösung:**

gegeben:  $p_0 = 2,5 \text{ bar} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$       gesucht:  $V_1 = ?$   
 $V_0 = 0,06 \text{ m}^3$   
 $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,14 \text{ K}$   
 $4:1 \hat{=} \text{N}_2:\text{O}_2$   
ideales Gas

Benutze die Ideale Gasgleichung:

$$\begin{aligned} n &= \frac{p_0 V_0}{RT_0} \\ &= \frac{2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,06 \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot 273,14 \text{ K}} = 6,61 \text{ mol} \\ m &= n \left( \frac{4}{5} m_{\text{molar, N}_2} + \frac{1}{5} m_{\text{molar, O}_2} \right) = \frac{1}{5} n (4 m_{\text{molar, N}_2} + m_{\text{molar, O}_2}) \\ &= \frac{1}{5} \cdot 6,61 \text{ mol} (4 \cdot 28 \text{ g/mol} + 32 \text{ g/mol}) = 190,3 \text{ g} \end{aligned}$$

Die Luft werde als ideales Gas behandelt und besteht im Verhältnis 4:1 aus Stickstoff und Sauerstoff. Molmassen von Stickstoff und Sauerstoff:  $m_{\text{molar, Sauerstoff}} = 32 \text{ g/mol}$ ;  $m_{\text{molar, Stickstoff}} = 28 \text{ g/mol}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

**Aufgabe 5** (Druckflasche; Prüfung ExPh A H2016A6 und A/B H2016A5)

In einer Druckflasche mit dem Volumen  $V$  ist bei der Temperatur  $T$  das einatomige Gas Helium der Masse  $m$  eingeschlossen.

a) Welche mittlere Geschwindigkeit  $v_{\text{rms}}$  haben die Moleküle?

$1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

**Lösung:**

gegeben:  $M_{\text{molar, Helium}} = 4,0 \text{ g/mol}$       gesucht:  $v_{\text{rms}} = ?$   
 $T = 290 \text{ K}$   
einatomiges Gas

Ein einatomiges Gas hat nur die drei Freiheitsgrade der Translation.

$$\begin{aligned} \frac{m_{\text{He-Atom}}}{2} v_{\text{rms}}^2 &= \frac{3}{2} kT \\ \frac{M_{\text{molar, Helium}}}{2} v_{\text{rms}}^2 &= \frac{3}{2} RT \\ v_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{molar, Helium}}}} = 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,9 \cdot 10^3 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$

b) Wie viele He-Moleküle sind in der Flasche und wie groß ist die im Gas gespeicherte Wärmeenergie?

$4,5 \cdot 10^{23}$ ;  $2,7 \cdot 10^3 \text{ kJ}$

**Lösung:**

gegeben:  $M_{\text{molar, Helium}} = 4,0 \text{ g/mol}$       gesucht:  $n = ?$   
 $T = 290 \text{ K}$        $U = ?$   
 $m = 3,0 \text{ g}$   
einatomiges Gas

$$n = \frac{m}{M_{\text{molar, Helium}}}$$

$$N = n \cdot N_A = \frac{m}{M_{\text{molar, Helium}}} \cdot N_A = 4,5 \cdot 10^{23} \text{ Moleküle}$$

$$\Rightarrow U = N \cdot \frac{f}{2} kT = n \frac{3}{2} RT = \frac{m}{M_{\text{molar, Helium}}} \frac{3}{2} RT = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

c) Welcher Druck  $p$  wirkt auf die Flaschenwand?

$6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

**Lösung:**

gegeben:  $M_{\text{molar, Helium}} = 4,0 \text{ g/mol}$       gesucht:  $n = ?$   
 $T = 290 \text{ K}$        $U = ?$   
 $m = 3,0 \text{ g}$

$$p \cdot V = nRT$$

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{m}{M_{\text{molar, Helium}}} \cdot \frac{RT}{V} = 6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Zahlenwerte:  $V = 3,0 \text{ l}$ ;  $T = 290 \text{ K}$ ;  $m = 3,0 \text{ g}$ ; Molmasse von Helium:  $M_{\text{molar, Helium}} = 4,0 \text{ g/mol}$ .

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

**Aufgabe 6** (Elektron und Proton eines Wasserstoffatoms; ; Prüfung ExPh A/B H2016A6)

Berechnen Sie die Gravitationskraft zwischen Elektron und Proton in einem Wasserstoffatom (mittlerer Abstand zwischen Elektron und Proton  $r = a_{\text{Bohr}}$ ) und die elektrostatische Kraft zwischen den beiden Teilchen. Welche von beiden Kräften ist als Zentralkraft relevant?  $3,61 \cdot 10^{-47} \text{ N}$ ;  $8,21 \cdot 10^{-8} \text{ N}$ ; el. Kraft

**Lösung:**

- Gravitationskraft

$$F_{\text{grav}} = \gamma \frac{m_e \cdot m_p}{a_{\text{Bohr}}^2}$$

$$= 3,61 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

- elektrostatische Kraft

$$F_{\text{el}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e \cdot e}{a_{\text{Bohr}}^2}$$

$$= 8,21 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

As dem Verhältnis  $F_{\text{grav}}/F_{\text{el}} \approx 4,4 \cdot 10^{-40}$  erkennt man, dass die elektrostatische Kraft die relevante Zentralkraft ist.

Zahlenwerte:  $a_{\text{Bohr}} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  
 Elementarladung  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

**Aufgabe 7** (Kondensator-Netzwerk; Prüfung ExPh A/B H2016A7)

Gegeben ist nebenstehend abgebildetes Kondensator-Netzwerk. Zwischen den Punkten  $A$  und  $B$  liegt eine Spannung  $U_0 = 100 \text{ V}$  an.

Für die Kapazitäten der Kondensatoren gilt:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 10 \mu\text{F}$$

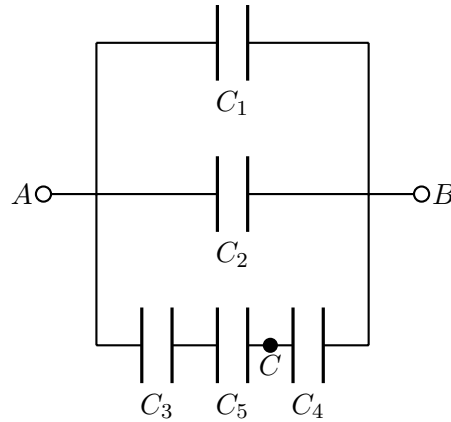


a) Berechnen Sie  $C_{AB}$  und  $C_{BC}$  zwischen den jeweiligen Anschlusspunkten.

23,3  $\mu\text{F}$ ; 14  $\mu\text{F}$

**Lösung:**

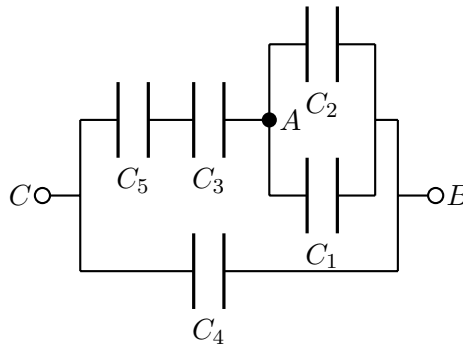
$C_{AB}$ : Zum Berechnen der Ersatzkapazität empfiehlt es sich die Schaltung ein wenig umzustellen, so kann man leichter erkennen welche Kapazitäten wie zusammengefasst werden.



gegeben:  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C = 10 \mu\text{F}$       gesucht:  $C_{AB} = ?$

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{3,4,5}} &= \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} = \frac{3}{C} \\ \Rightarrow C_{3,4,5} &= \frac{C}{3} \\ C_{AB} &= C_1 + C_2 + C_{3,4,5} = \frac{7}{3} C \\ &= C + C + \frac{C}{3} = 23,3 \mu\text{F} \end{aligned}$$

$C_{BC}$ : Auch hier kann man durch Umstellen leichter erkennen was zu tun ist.



gegeben:  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C = 10 \mu\text{F}$       gesucht:  $C_{BC} = ?$

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= C_1 + C_2 = 2C \\ \frac{1}{C_{1,2,3,5}} &= \frac{1}{C_{1,2}} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_5} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{5}{2C} \\ \Rightarrow C_{1,2,3,5} &= \frac{2}{5} C \\ C_{BC} &= C_4 + C_{1,2,3,5} = C + \frac{2}{5} C \\ &= \frac{7}{5} C = 14 \mu\text{F} \end{aligned}$$

b) Berechnen Sie für den Kondensator  $C_1$  die Ladung  $Q_1$ , die in ihm gespeicherte Energie  $W_1$ , und die an ihm anliegende Spannung  $U_1$

1 mC; 50 mJ; 100 V

**Lösung:**

gegeben:  $C_1 = C = 10 \mu\text{F}$       gesucht:  $Q_1 = ?$   
 $U = 100 \text{ V}$        $W_1 = ?$   
 $U_1 = ?$

$$U_1 = U = 100 \text{ V}$$

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = C \cdot U = 10 \mu\text{F} \cdot 100 \text{ V} = 1 \text{ mC}$$

$$W_1 = \frac{1}{2} C_1 \cdot U_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \mu\text{F} \cdot 100^2 \text{ V}^2 = 50 \text{ mJ}$$

c) Berechnen Sie die entsprechenden Größen  $Q_5$ ,  $W_5$  und  $U_5$  für den Kondensator  $C_5$ . 333,33  $\mu\text{C}$ ; 5,56 mJ; 33,33 V

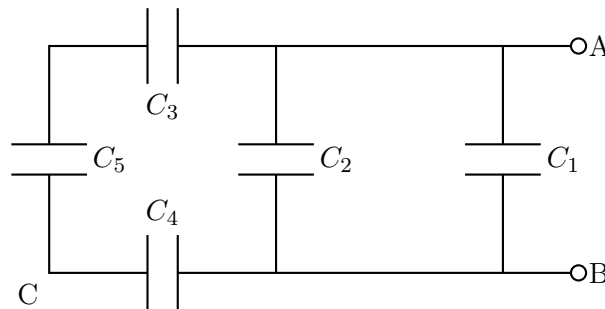
**Lösung:**

gegeben:  $C_5 = C = 10 \mu\text{F}$       gesucht:  $Q_5 = ?$   
 $U = 100 \text{ V}$        $W_5 = ?$   
 $C_{3,4,5} = \frac{C}{3}$        $U_5 = ?$

$$Q_5 = Q_{3,4,5} = C_{3,4,5} \cdot U_1 = \frac{C}{3} \cdot U = 333,33 \mu\text{C}$$

$$U_5 = \frac{Q_5}{C_5} = \frac{\frac{C}{3} \cdot U}{C} = \frac{1}{3} U = 33,33 \text{ V}$$

$$W_5 = \frac{1}{2} C_5 \cdot U_5^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \mu\text{F} \cdot 33,33^2 \text{ V}^2 = 5,56 \text{ mJ}$$



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

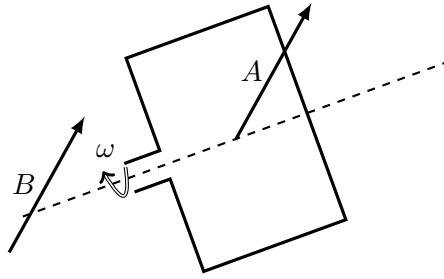
**Aufgabe 8** (Induktion; Prüfung ExPh A/B H2016A8)

Eine ebene Rechteckspule mit 100 Windungen und der Fläche  $A = 10 \text{ cm}^2$  rotiert um eine Spulenfläche liegende Achse mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 200 \text{ s}^{-1}$ .

- a) Wie groß ist die elektrische Spannung an den Enden der Spule, wenn die Rotation in einem zur Rotationsachse senkrechten Magnetfeld vom Betrag  $B = 0,20 \text{ Vs/m}^2$  erfolgt? 4 V

**Lösung:**

gegeben:  $N = 100$  Windungen      gesucht:  $U_{\text{ind}} = ?$   
 $A = 10 \text{ cm}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$   
 $\omega = 200 \text{ s}^{-1}$   
 $B = 0,20 \text{ Vs/m}^2$   
 $\vec{B} \perp \vec{\omega}$



$$\begin{aligned}
 U_{ind} &= -N \cdot \dot{\Phi} = -N \cdot \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = -N \cdot \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{A}) = -N \cdot \frac{d}{dt} (B \cdot A \cdot \cos \varphi) \\
 &= N \cdot B \cdot A \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = N \cdot B \cdot A \omega \sin \omega t = U_0 \cdot \sin \omega t \\
 U_0 &= N \cdot B \cdot A \cdot \omega \\
 &= 100 \cdot 0,20 \text{ Vs/m}^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ s}^{-1} = 4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- b) Die Spule wird mit ihrer Fläche senkrecht zum Magnetfeld festgehalten. Das Magnetfeld wird innerhalb von 0,50 s mit konstantem  $dB/dt$  vom Wert 0 auf den Maximalwert  $0,2 \text{ Vs/m}^2$  hochgefahren. Welche Spannung tritt dabei zwischen den Enden der Spule auf? – 0,04 V

**Lösung:**

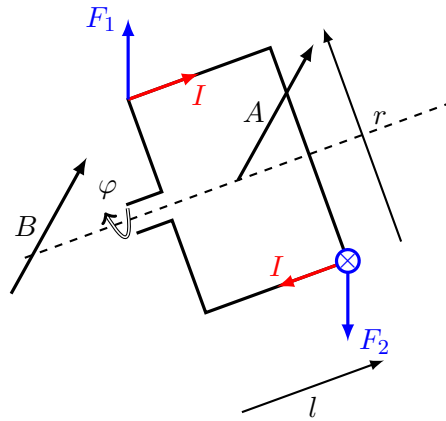
gegeben:  $N = 100$  Windungen gesucht:  $U_{ind} = ?$   
 $A = 10 \text{ cm}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$   
 $\Delta B = 0,2 \text{ Vs/m}^2$   
 $\Delta t = 0,5 \text{ s}$   
 $\frac{dB}{dt} = \text{const.} = \frac{\Delta B}{\Delta t}$   
 $\vec{A} \parallel \vec{B}$

$$\begin{aligned}
 U_{ind} &= -N \cdot \frac{d}{dt} (B \cdot A \cdot \cos \varphi) = -N \cdot A \cdot \dot{B} \cdot \cos \varphi \\
 &= -N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -100 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \frac{0,2 \text{ Vs/m}^2}{0,5 \text{ s}} = -0,04 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- c) Anschließend fließe durch Anlegen einer äußeren Spannung ein Strom von 0,5 A durch die Spule. Wie groß ist das Drehmoment auf die Spule?  $M = 0$

**Lösung:**

gegeben:  $N = 100$  Windungen gesucht:  $M = ?$   
 $A = 10 \text{ cm}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$   
 $B = 0,2 \text{ Vs/m}^2$   
 $I = 0,5 \text{ A}$   
 $\vec{A} \parallel \vec{B}$



$$F_1 = N \cdot I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

$$F_2 = -N \cdot I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

$$\vec{M} = \left( \frac{\vec{r}}{2} \times \vec{F}_1 \right) + \left( \frac{-\vec{r}}{2} \times \vec{F}_2 \right) = N \cdot I \cdot \vec{r} \times \vec{l} \times \vec{B} = N \cdot I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$$

$$M = N \cdot I \cdot A \cdot B \cdot \sin \alpha = 0$$

Maximales Drehmoment, falls  $B$  in der Ebene der Leiterschleife liegt:  $M = N \cdot I \cdot A \cdot B = 0,01 \text{ N m}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

### Aufgabe 9 (Vergütungsschicht; Prüfung ExPh A/B H2016A9)

Die Oberfläche einer Linse mit dem Brechungsindex  $n_L$  wird mit einem Material vom Brechungsindex  $n < n_L$  vergütet.

- a) Berechnen Sie den Gangunterschied  $\Delta$  für die Reflexion zweier zur Linsenoberfläche senkrecht stehender Teilstrahlen, die auf der Ober- bzw. an der Unterseite der Vergütungsschicht reflektiert der Dicke  $d = 200 \text{ nm}$  reflektiert werden? 480 nm

#### Lösung:

gegeben:  $n = 1,2$

gesucht:  $\Delta = ?$

$d = 200 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$n_{\text{Luft}} < n < n_L$

Reflexion am dichteren Medium

Bei beiden Reflexionen, d.h.

Übergang von Luft zur Vergütungsschicht und beim Übergang Vergütungsschicht zur Linse, tritt ein Phasensprung um  $\pi$  auf, da es sich jeweils um eine Reflexion am optisch dichteren Medium handelt.

Unterschied im optischen Weg:

$$\Delta = 2nd = 2 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 480 \text{ nm}$$

- b) Welches ist die kleinstmögliche Dicke der Vergütungsschicht, bei der senkrecht einfallendes, grünes Licht der Wellenlänge  $\lambda_g$  bei der Reflexion ausgelöscht wird? 115 nm

#### Lösung:

gegeben:  $n = 1,2$

gesucht:  $d = ?$

$\lambda_g = 550 \text{ nm}$

Bedingung für destruktive Interferenz:

$$\Delta = 2nd = \frac{\lambda_g}{2}$$

$$d = \frac{\lambda_g}{4n} = 115 \text{ nm}$$

- c) Welchen Gangunterschied erfährt rotes Licht der Wellenlänge  $\lambda_r$  bei der Reflexion (ausgedrückt in Anteilen von  $\lambda_g$ )?

**Lösung:**

gegeben:  $n = 1,2$  gesucht:  $x = ?$   
 $d = 115 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m}$   
 $\lambda_g = 550 \text{ nm}$   
 $\lambda_r = 650 \text{ nm}$

$$\Delta = 2nd = \frac{\lambda_g}{2} = x \lambda_r$$

$$\Rightarrow x = \frac{\lambda_g}{2 \cdot \lambda_r} = \frac{550 \text{ nm}}{2 \cdot 650 \text{ nm}} = 0,42$$

*Zahlenwerte:*  $n = 1,2$ ;  $\lambda_g = 550 \text{ nm}$ ;  $\lambda_r = 650 \text{ nm}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

**Aufgabe 10** (Radioaktivität; Prüfung ExPh A/B H2016A9)

Radium hat die Ordnungszahl 88. Das Isotop  $^{226}\text{Ra}$  ist ein  $\alpha$ -Strahler mit einer Halbwertszeit von 1602 Jahren.

- a) Wie gross sind die Protonenzahl und die Neutronenzahl im Kern des Radiums-Isotops  $^{226}\text{Ra}$ ?  
Wie gross ist die Anzahl der Elektronen im nicht-ionisierten Atom dieses Typs? 88; 138; 88

**Lösung:**

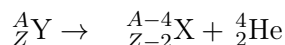
gegeben:  $M = 226$                   gesucht:  $Z = ?$   
                $N = ?$   
                $N_e = ?$

- Anzahl der Protonen = Kernladungszahl = Ordnungszahl  $\Rightarrow Z = 88$
- Anzahl der Neutronen = Massenzahl-Ordnungszahl  $\Rightarrow N = 138$
- Anzahl der Elektronen (nicht-ionisiert) = Anzahl der Protonen  $\Rightarrow N_e = 88$

- b) Was geschieht jeweils (i) bei einem  $\alpha$ -Zerfall, (ii) bei einem  $\beta$ -Zerfall und (iii) bei einem  $\gamma$ -Zerfall?  
He-Kern; Elektron/Anti-Elektronneutrino; Photon

**Lösung:**

- (i) Der Kern zerfällt in einen Tochterkern  ${}_{Z-2}^{A-4}\text{X}$  und in ein Alphateilchen (Heliumkern)  ${}^4_2\text{He}^{2+}$ .



- (ii) Bei einem  $\beta^-$ -Zerfall zerfällt ein Neutron in ein Proton, ein Elektron und ein Anti-Elektronneutrino.

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

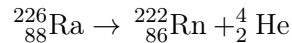
- (iii) Der Kern geht von einem angeregten Zustand in einen energetisch niedrigeren Zustand über. Dabei wird ein Photon ( $\gamma$ -Teilchen) abgestrahlt.

- c) Wie groß sind die Protonenzahl, die Neutronenzahl und die Massenzahl des Tochter-Nuklids des Radium-Isotops  $^{226}\text{Ra}$  nach dem  $\alpha$ -Zerfall? 86; 136; 222

**Lösung:**

gegeben:  $^{226}\text{Ra}$                       gesucht:  $Z = ?$   
 $\alpha$ -Zerfall                                 $N = ?$   
                                                        $A = ?$

Beim  $\alpha$ -Zerfall wird ein  $^4_2\text{He}$  abgespalten. Die Zerfallsgleichung lautet im Fall von Radium:



Damit ergibt sich:

- Protonenzahl:  $Z = 86$
- Neutronenzahl:  $N = 136$
- Massenzahl:  $A = 222$

- d) Wie lange dauert es, bis aufgrund des genannten radioaktiven Zerfalls von ursprünglich 4,00 g  $^{226}\text{Ra}$  nur noch 1,00 g übrig ist? 3204 a

**Lösung:**

gegeben:  $m_0 = 4,00 \text{ g}$                       gesucht:  $t_1 = ?$   
 $m_1 = 1,00 \text{ g}$   
 $T_{1/2} = 1602 \text{ a}$

Aus dem Zerfallsgesetz  $m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$  und der Halbwertszeit kann die Zerfallskonstante  $\lambda$  bestimmt werden. Es gilt:

$$\begin{aligned} m(T_{1/2}) &= \frac{m_0}{2} = m_0 \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} \\ \Rightarrow -\lambda T_{1/2} &= \ln\left(\frac{1}{2}\right) \\ \Rightarrow \lambda &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \end{aligned}$$

Nun kann mit Hilfe des Zerfallsgesetz die Zeit  $t_1$  bestimmt werden.

$$\begin{aligned} m(t_1) &= m_0 \cdot e^{-\lambda t_1} \stackrel{!}{=} \frac{m_0}{4} \\ m_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1} &= \frac{m_0}{4} \\ e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1} &= \frac{1}{4} \\ e^{\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1} &= 4 \\ \frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1 &= \ln 4 \\ t_1 &= \frac{\ln 4}{\ln 2} T_{1/2} = 2 \cdot T_{1/2} = 3204 \text{ a} \end{aligned}$$

- e) Durch welche Wechselwirkung werden Nukleonen im Atomkern zusammengehalten?    starke WW

**Lösung:**

Die starke Wechselwirkung hält die Nukleonen im Atomkern zusammen. Die Austauschteilchen der starken Wechselwirkung sind die Gluonen.

- f) Welche vier Grundkräfte gibt es in der Natur?    Gravitation; Elektromagnetische WW; schwache WW; starke WW

**Lösung:**

Die vier Grundkräfte der Natur, geordnet nach der relativen Stärke, beginnend mit der Schwächsten. Zusätzlich sind die Ladungen angegeben.

- Gravitationskraft: Masse
- Elektromagnetische Wechselwirkung: Elektrische Ladung
- Schwache Wechselwirkung: Schwache Ladung
- Starke Wechselwirkung: Farbladung

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B