

Klausur A/B Frühjahr 2018

Aufgabe 1 (Unfall; Prüfung ExPh A F2018A1 und A/B F2018A1)

Zwei PKW der Massen M_1 und $M_2 = 0,5M_1$ und gleicher Geschwindigkeit v stoßen frontal zusammen. Der Stoß sei völlig inelastisch.

a) Welche Geschwindigkeit u haben die Wagen nach dem Stoß?

Lösung:

geg.: $M_1 = 1200 \text{ kg}$ ges.: $u = ?$

$$M_2 = 0,5M_1 = 600 \text{ kg}$$
$$t_D = 0,10 \text{ s}$$
$$v = 35,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

vollkommen inelastischer Stoß

Bei einem vollständig inelastischen Stoß sind die Körper am Ende vereint. Aus der Impulserhaltung kann dann u bestimmt werden. Es gilt:

$$p_{\text{ges, vor}} \stackrel{!}{=} p_{\text{ges, nach}}$$

$$M_1 \cdot v_1 + M_2 \cdot v_2 = u (M_1 + M_2)$$

Zu beachten ist, dass die Geschwindigkeiten sind entgegengesetzt, d.h. $v_1 = -v_2 = v$ (hierbei zeigt die positive Richtung in Richtung der Geschwindigkeit des schwereren (M_1) Autos).

$$\begin{aligned} M_1 \cdot v - M_2 \cdot v &= u (M_1 + M_2) \\ \Rightarrow u &= \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} \cdot v \\ u &= \frac{M_1 - \frac{1}{2}M_1}{M_1 + \frac{1}{2}M_1} \cdot v = \frac{1 - \frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2}} \cdot v = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{2}} \cdot v \\ &= \frac{1}{3} \cdot v = 3,24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

b) Die Knautschzonen sollen dabei zu einer konstanten Beschleunigung während der 'Dauer' t_D des Zusammenpralls führen. Welche Beschleunigungswerte im Verhältnis zur Erdbeschleunigung erfahren die Passagiere der beiden Wagen?

Lösung:

geg.: $u = \frac{1}{3} \cdot v$ ges.: $\frac{a_1}{a} = ?$

$$t_D = 0,10 \text{ s}$$
$$v = 35,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

konstante Beschleunigung

ges.: $\frac{a_1}{g} = ?$
 $\frac{a_2}{g} = ?$

Für eine konstante Beschleunigung gilt allgemein:

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

Daraus kann die bei gegebener Zeit t_0 (relativ zu $t = 0$) der Geschwindigkeitsunterschied Δv (relativ zur Anfangsgeschwindigkeit v_0) bestimmt werden zu:

$$\Delta v = v(t_0) - v(0) = a \cdot t_0$$

und damit wiederum die Beschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{t_0}$$

Hier ist $\Delta v = v_{\text{nach}} - v_{\text{vor}}$

Es ergibt sich für den schwereren Wagen (M_1):

$$\Delta v_1 = u - v \Rightarrow a_1 = \frac{\Delta v_1}{t_D} = -64,81 = -6,61 \cdot g$$

Analog für den leichteren Wagen (M_2)

$$\Delta v_2 = u + v \Rightarrow a_2 = \frac{\Delta v_2}{t_D} = 129,63 = 13,21 \cdot g$$

c) Welche Energie wird bei dem Zusammenstoß in Wärme umgewandelt?

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{geg.: } M_1 &= 1200 \text{ kg} & \text{ges.: } u &=? \\ M_2 &= 0,5M_1 = 600 \text{ kg} \\ u &= 1,3 \cdot v \\ v &= 35,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9,72 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

In Wärme wird der Verlust an kinetischer Energie umgewandelt. Es gilt:

$$\begin{aligned} Q &= -\Delta E_{\text{kin}} = -(E_{\text{kin, nach}} - E_{\text{kin, vor}}) = E_{\text{kin, vor}} - E_{\text{kin, nach}} \\ Q &= \frac{1}{2}M_1v_1^2 + \frac{1}{2}M_2v_2^2 - \frac{1}{2}(M_1 + M_2)u^2 \\ &= \frac{1}{2}M_1v^2 + \frac{1}{2}\frac{1}{2}M_1v^2 - \frac{1}{2}\left(M_1 + \frac{1}{2}M_1\right)\left(\frac{1}{3}v\right)^2 \\ &= M_1v^2\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} - \frac{1}{12}\right) = \frac{2}{3}M_1v^2 = 75,62 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Teil d) nur für ExPh A

d) Die beiden Autos treffen unter 90° aufeinander (völlig inelastisch). Um welchen Winkel wird der leichtere Wagen abgelenkt?

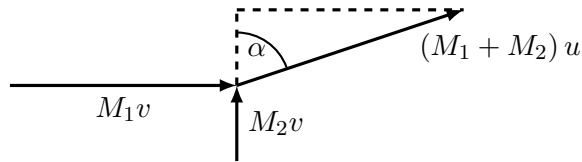
Lösung:

$$\begin{aligned} \text{geg.: } M_1 &= 1200 \text{ kg} & \text{ges.: } \alpha &=? \\ M_2 &= 0,5M_1 = 600 \text{ kg} \\ u &= 1,3 \cdot v \\ v &= 35,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9,72 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \angle(\vec{v}_1, \vec{v}_2) &= 90^\circ \end{aligned}$$

Der Impuls ist eine Vektorgröße, der Impulserhaltungssatz lässt sich mathematisch auch schreiben als:

$$\begin{aligned} \vec{p}_{\text{ges, vor}} &\stackrel{!}{=} \vec{p}_{\text{ges, nach}} \\ M_1 \cdot \vec{v}_1 + M_2 \cdot \vec{v}_2 &= \vec{u}(M_1 + M_2) \end{aligned}$$

Graphisch lässt sich dies so darstellen:



α kann damit bestimmt werden zu durch:

$$\tan \alpha = \frac{M_1 v}{M_2 v} = \frac{M_1}{\frac{1}{2} M_1} = 2$$

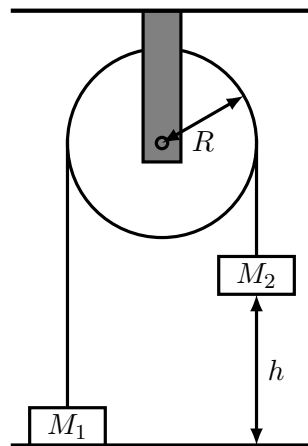
$$\Rightarrow \alpha = \arctan(2) = 63,43^\circ$$

Zahlenwerte: $M_1 = 1200 \text{ kg}$; $v = 35,0 \text{ km/h}$; $t_D = 0,10 \text{ s}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und Experimentalphysik A/B

Aufgabe 2 (Rolle, Prüfung ExPh A F2018A2 und A/B F2018A2)

Zwei anfangs ruhende Massen M_1 und M_2 sind durch einen masselosen nicht dehnbaren Faden verbunden, der ohne Schlupf über eine Rolle (Masse M_r ; Radius R) läuft. Die Rolle (dünnwandiger Hohlzylinder) dreht sich reibungsfrei.



a) Wie groß ist das Trägheitsmoment J des Hohlzylinders um die Zylinderachse?

Lösung:

gegeben: $M_r = 8,0 \text{ kg}$

gesucht: $J = ?$

$R = 0,6 \text{ m}$

dünnwandiger Hohlzylinder

$$J = M_r \cdot R^2 = 2,88 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

b) Berechnen Sie das Drehmoment auf die Rolle und die Beschleunigung der Masse M_2 ?

Lösung:

gegeben: $M_r = 8,0 \text{ kg}$

gesucht: $|\vec{M}| = ?$

$M_1 = 2,0 \text{ kg}$

$M_2 = 4,0 \text{ kg}$

$R = 0,6 \text{ m}$

$J = M_r \cdot R^2$

Die Kraft $\vec{F}_{\text{Rolle}}$ auf die Rolle greift immer senkrecht mit dem Hebelarm R an. Das Drehmoment ist damit gegeben durch:

$$|\vec{M}| = R \cdot F_{\text{Rolle}} = J \cdot \alpha$$

Hier ist α die Winkelbeschleunigung. Weiter gilt mit der Tangentialbeschleunigung a_t :

$$\alpha = \frac{a_t}{R}$$

Damit ergibt sich:

$$|\vec{M}| = J \cdot \frac{a_t}{R} = \frac{M_r \cdot R^2 \cdot a_t}{R} = M_r \cdot R \cdot a_t (= R \cdot F_{\text{Rolle}})$$

und damit:

$$F_{\text{Rolle}} = M_r \cdot a_t$$

Aus dem Kräftebilanz lässt sich nun die Beschleunigung a bestimmen. Diese ist für alle Massen gleich (mit Seil verbunden) und entspricht auch der Tangentialbeschleunigung a_t .

$$\begin{aligned} M_1 \cdot g - M_2 \cdot g &= (M_1 + M_2) \cdot a + F_{\text{Rolle}} \\ M_1 \cdot g - M_2 \cdot g &= (M_1 + M_2) \cdot a + M_r \cdot a_t \\ (M_1 - M_2) \cdot g &= (M_1 + M_2) \cdot a + M_r \cdot a \\ (M_1 - M_2) \cdot g &= (M_1 + M_2 + M_r) \cdot a \\ \Rightarrow a &= \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2 + M_r} \cdot g \\ &= \frac{1}{7} \cdot g = 1,40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Damit kann nun $|\vec{M}|$ bestimmt werden:

$$\begin{aligned} |\vec{M}| &= M_r \cdot R \cdot a_t \\ &= \frac{1}{7} \cdot M_r \cdot R \cdot g = 6,73 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- c) Nach welcher Zeit und mit welcher kinetischen Energie schlägt M_2 bei einer Anfangshöhe h auf den Boden auf?

Lösung:

gegeben: $M_2 = 4,0 \text{ kg}$

$h = 1,0 \text{ m}$

$a = \frac{1}{7} \cdot g$

gesucht: $t_A = ?$

$E_{\text{kin}} = ?$ Es handelt sich um eine gleichmäßig be-

schleunigte Bewegung. Mit Ursprung im Startpunkt der Masse M_2 und positiver z -Achse nach unten gilt:

$$\begin{aligned} z(t) &= \frac{1}{2} a t^2 \\ v(t) &= a \cdot t \end{aligned}$$

Zum Aufprallzeitpunkt t_A gilt:

$$\begin{aligned} z(t_A) &\stackrel{!}{=} h = \frac{1}{2} a t_a^2 \\ \Rightarrow t_A &= \sqrt{\frac{2h}{a}} = \sqrt{\frac{14h}{g}} \\ &= 1,19 \text{ s} \end{aligned}$$

Die kinetische Energie lässt sich damit bestimmen zu:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} \cdot M_2 (v(t_A))^2 = \frac{1}{2} M_2 \left(\frac{1}{7} \cdot g \cdot \sqrt{\frac{14h}{g}} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot M_2 \cdot \frac{1}{49} \cdot g^2 \cdot \frac{14h}{g} \\ &= \frac{1}{7} \cdot M_2 \cdot g \cdot h = 5,61 \text{ J} \end{aligned}$$

Zahlenwerte: $M_1 = 2,0 \text{ kg}$; $M_2 = 4,0 \text{ kg}$; $M_r = 8,0 \text{ kg}$; $R = 0,6 \text{ m}$; $h = 1,0 \text{ m}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 3 (Looping; Prüfung ExPh A F2018A3 und A/B F2018A3)

Ein Wagen der Masse m fährt reibungsfrei durch den skizzierten Looping (Radius r). Die Höhe des Wagens und die Rotationsenergie der Räder seien vernachlässigbar.

- a) Wie groß muss die Geschwindigkeit im Punkt B mindestens sein, damit der Wagen die Bahn nicht verlässt?

Lösung:

geg.: $m = 2,0 \text{ kg}$ ges.: $v_B = ?$
 $r = 0,6 \text{ m}$
bleibt auf der Bahn

Die Zentrifugalkraft muss gerade $\geq$ der Gravitationskraft sein:

$$\begin{aligned} F_Z &= \frac{m \cdot v_B^2}{r} \stackrel{!}{\geq} m \cdot g = F_G \\ \Rightarrow v_B &\geq \sqrt{r \cdot g} = 2,43 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

- b) Wie groß muss für diesen Grenzfall die Ausgangshöhe h des Punktes A sein, wenn der Wagen an Punkt A mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0 \text{ m/s}$ startet?

Lösung:

geg.: $m = 2,0 \text{ kg}$ ges.: $v_B = ?$
 $r = 0,6 \text{ m}$
 $v_B^2 = r \cdot g$

Lösung mit Hilfe der Energieerhaltung, bei Wahl des Nullpunkts der potentiellen Energie auf der Grundfläche.

$$\begin{aligned} E_{\text{ges}}^{(A)} &\stackrel{!}{=} E_{\text{ges}}^{(B)} \\ m \cdot g \cdot h &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot 2r \\ g \cdot h &= \frac{1}{2} r \cdot g + g \cdot 2r \\ \Rightarrow h &= \frac{1}{2} r + 2r = \frac{5}{2} \cdot r = 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

- c) Wie groß ist für diesen Fall die kinetische Energie und die Geschwindigkeit des Wagens in B?

Lösung:

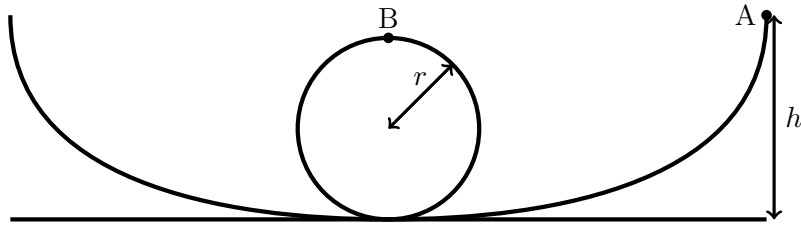
geg.: $m = 2,0 \text{ kg}$ ges.: $v_B = ?$
 $r = 0,6 \text{ m}$
 $v_B^2 = r \cdot g$

Die Geschwindigkeit wurde bereits im Aufgabenteil a) bestimmt:

$$v_B = \sqrt{r \cdot g} = 2,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung der Energie:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}}^{(B)} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r \cdot g \\ &= 5,89 \text{ J} \end{aligned}$$



Zahlenwerte: $m = 2,0 \text{ kg}$; $r = 0,6 \text{ m}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und Experimentalphysik A/B

Aufgabe 4 (Luft im Hörsaal; Prüfung ExPh A F2018A4 und A/B F2018A4)

Der Gerthsen-Hörsaal hat ein Volumen von $V = 6000 \text{ m}^3$. Die Luft im Hörsaal (80% Stickstoff, N_2 ; 20% Sauerstoff, O_2) werde als ideales Gas angenommen.

- a) Welche Stoffmenge an Luft und wieviele Luftmoleküle sind bei einem Druck von $p = 10^5 \text{ Pa}$ und einer Temperatur von $T = 293 \text{ K}$ in dem Hörsaal enthalten?

Lösung:

gegeben: $p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ gesucht: $n = ?$
 $V = 6000 \text{ m}^3$ $N = ?$
 $T = 293 \text{ K}$
ideales Gas

Benutze die Ideale Gasgleichung:

$$\begin{aligned} pV &= nRT \\ \Rightarrow n &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 6000 \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 293 \text{ K}} = 2,46 \cdot 10^5 \text{ mol} \end{aligned}$$

Umrechnen von Stoffmenge in Anzahl:

$$\begin{aligned} N &= n \cdot N_A \\ &= 2,46 \cdot 10^5 \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 1,481 \cdot 10^{28} \end{aligned}$$

- b) Wie groß ist die Masse der Luft in Hörsaal

Lösung:

gegeben: 80% N₂
 *M*_{molar, N₂} = 28 g/mol
 20% O₂
 *M*_{molar, O₂} = 32 g/mol

$$\begin{aligned} m_{\text{N}_2} &= 0,8 \cdot n \cdot M_{\text{molar, N}_2} \\ m_{\text{O}_2} &= 0,2 \cdot n \cdot M_{\text{molar, O}_2} \\ m_{\text{Luft}} &= m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 0,8 \cdot n \cdot M_{\text{molar, N}_2} + 0,2 \cdot n \cdot M_{\text{molar, O}_2} \\ &= n \cdot (0,8 \cdot M_{\text{molar, N}_2} + 0,2 \cdot M_{\text{molar, O}_2}) \\ &= 2,46 \cdot 10^5 \text{ mol} \cdot (0,8 \cdot 28 \text{ g/mol} + 0,2 \cdot 32 \text{ g/mol}) \\ &= 7105,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

c) Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit v_{rms} der Sauerstoffmoleküle?

Lösung:

gegeben: $T = 293 \text{ K}$
 $M_{\text{molar}, \text{O}_2} = 32 \text{ g/mol}$

gesucht: $v_{\text{rms}, \text{O}_2} = ?$

Ein Sauerstoffmolekül wird hier als Punktteilchen mit $f = 3$ Freiheitsgraden betrachtet. Aus dem Gleichverteilungssatz folgt:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}m_{\text{O}_2}\langle v^2 \rangle &= \frac{f}{2}k_{\text{B}} \cdot T = \frac{3}{2}k_{\text{B}} \cdot T \\ \Rightarrow \langle v^2 \rangle &= \frac{3k_{\text{B}} \cdot T}{2m_{\text{O}_2}} = \frac{3R \cdot T}{2A_{\text{O}_2}} \\ v_{\text{rms}} &= \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3R \cdot T}{2A_{\text{O}_2}}} = 477,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Zahlenwerte: Molmasse von Stickstoff: $M_{\text{molar, N}_2} = 28 \text{ g/mol}$; Molmasse von Sauerstoff: $m_{\text{molar, O}_2} = 32 \text{ g/mol}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 5 (Isochor und Isobar; Prüfung ExPh A F2018A5 und A/B F2018A5)

Einem idealen Gas der Masse m wird die Wärmemenge $\Delta Q = 3,1 \cdot 10^4 \text{ J}$ bei konstantem Volumen zugeführt und eine Temperaturerhöhung von $\Delta T = 10,0 \text{ K}$ gemessen.

a) Zeigen Sie, dass es sich bei dem Gas um Helium und nicht um Stickstoff N_2 handelt.

Lösung:

gegeben: ideales Gas $\Rightarrow f = 3$ gesucht: He oder N₂?

$M_{\text{molar, He}} = 4,0 \text{ g/mol}$

$M_{\text{molar, N}_2} = 4,0 \text{ g/mol}$

$m = 1,0 \text{ kg}$

$\Delta Q = 3,1 \cdot 10^4 \text{ J}$

$\Delta T = 10,0 \text{ K}$

$\Delta V = 0$

Aufgabe 6 (Gravitation und Coulombkraft, Prüfung ExPh A/B F2018A6)

Zwei identische punktförmige Massen m tragen jeweils die gleiche Ladung q . Sie sind an zwei als masselos angenommenen Fäden der Länge ℓ im selben Punkt aufgehängt. Die Gravitation zwischen den Massen m darf vernachlässigt werden.

- a) Skizzieren Sie die wirksamen Kräfte. Welche von derer Kraftkomponenten kompensieren sich in der Gleichgewichtslage?

Lösung:

Es wirken Coulombkraft $\vec{F}_C$ und Gewichtskraft $\vec{F}_G$. Die Vektorsumme $\vec{F}_{\text{res}}$ dieser beiden wird in der Gleichgewichtslage gerade von der Seilkraft $\vec{F}_{\text{Faden}}$ im Faden kompensiert. Die Kraft im Faden ist somit antiparallel zur resultierenden aus Coulombkraft und Gewichtskraft. Die resultierende und die Kraft im Faden laufen entlang des Fadens.

Es kompensieren sich somit folgende Anteile:

- die senkrecht zum Faden gerichtete Komponente der Schwerkraft $F_t = F_G \cdot \sin \varphi$
 - die dieser Komponente der Schwerkraft entgegengesetzt gerichtete Komponente der Coulombkraft $F_t = F_C \cdot \cos \varphi$
- b) Geben Sie eine Beziehung für den Winkel φ an, den die Fäden mit der Senkrechten im Gleichgewicht bilden.

Lösung:

Der Abstand zwischen den beiden Kugeln sei r , dieser lässt sich über die Länge ℓ des Fadens und den Winkel θ ausdrücken.

$$r = 2 \cdot \ell \cdot \sin \varphi$$

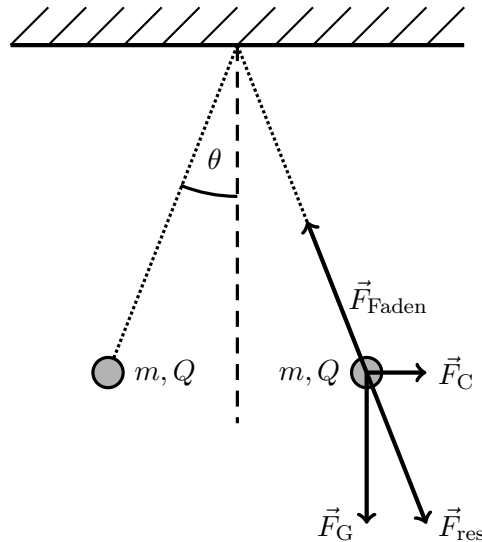
Da die resultierende Kraft parallel zum Faden ist gilt für den Winkel:

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}}{m g} \\ &= \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{4 \cdot \ell^2 \cdot \sin^2 \varphi}}{m g} \\ \Rightarrow \sin^2 \varphi \cdot \tan \varphi &= \frac{\sin^3 \varphi}{\cos \varphi} = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 \cdot m g} \frac{1}{\ell^2} \end{aligned}$$

Für kleine Winkel gilt $\sin \alpha \approx \tan \alpha$, damit kann man vereinfachen zu:

$$\sin \varphi \approx \sqrt[3]{\frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 \cdot m g} \frac{1}{\ell^2}}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B



Aufgabe 7 (Plattenkondensator; Prüfung ExPh A/B F2018A7)

Ein luftgefüllter Plattenkondensator mit der Plattenfläche A und dem Plattenabstand d_0 werde auf eine Spannung U_0 aufgeladen. Der Kondensator wird anschließend von der Spannungsquelle getrennt.

- a) Berechnen Sie die Kapazität C_0 des Kondensators. Wie groß ist die Ladung Q_0 auf den Platten und die in dem Kondensator gespeicherte elektrische Energie W_0 ?

Lösung:

gegeben: $A = 300 \text{ cm}^2$
 $d_0 = 5 \text{ mm}$
 $U_0 = 24 \text{ V}$
 luftgefüllt $\epsilon_r = 1$

gesucht: $C_0 = ?$
 $Q_0 = ?$
 $W_0 = ?$

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_0} = 5,31 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 53,1 \text{ pF}$$

$$Q_0 = C_0 \cdot U_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_0} U_0 = 1,27 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 1,27 \text{ nC}$$

$$W_0 = \frac{1}{2} C_0 \cdot U_0^2 = 1,529 \cdot 10^{-8} \text{ J} = 15,29 \text{ nJ}$$

- b) Der Plattenabstand werde nun auf $2d_0$ vergrößert. Wie ändert sich die Ladung Q auf den Platten sowie das elektrische Feld E , die Verschiebungsdichte D und die Spannung U zwischen den Platten? Wie ändert sich die Kapazität und gespeicherte elektrische Energie?

Lösung:

gegeben: $d_1 = 2d_0$
 von Quelle getrennt
 $\Rightarrow Q = \text{const.}$
 luftgefüllt $\epsilon_r = 1$

gesucht: $Q_1 = ?$
 $E_1 = ?$
 $D_1 = ?$
 $U_1 = ?$
 $W_1 = ?$

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \\ E_1 &= \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{Q_1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot A} = \frac{Q_0}{\varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot A} = E_0 \\ D_1 &= \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_0}{A} = D_0 \\ U_1 &= E_1 \cdot d_1 = E_0 \cdot 2d_0 = 2U_0 = 24 \text{ V} \\ C_1 &= \frac{Q_1}{U_1} = \frac{Q_0}{2U_0} = \frac{C_0}{2} = 26,6 \text{ pF oder} \\ C_1 &= \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d_1} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{2d_0} = \frac{C_0}{2} \\ W_1 &= \frac{1}{2} Q_1 U_1 = \frac{1}{2} Q_0 \cdot 2U_0 = 2W_0 = 30 \end{aligned}$$

- c) Berechnen Sie die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um die Platten auseinanderzuziehen. Eine Metallplatte der Dicke d_0 werde anschließend zwischen die Platten des Kondensators geschoben. Wie groß ist nun die Spannung über dem Kondensator?

Lösung:

gegeben: W_0
 $W_1 = 2W_0$
 Energieerhaltung

gesucht: $W_{\text{mech}} = ?$

mech. Arbeit $\rightarrow$ Feldenergie

$$W_{\text{mech}} = \Delta W_{\text{el}} = W_1 - W_0 = W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2 = 15,29 \text{ nJ}$$

gegeben: $d_{\text{Platte}} = d_0$ gesucht: $U_{\text{Platte}} = ?$
 metallische Platte
 $\Rightarrow$ feldfrei

Platte ist feldfrei ($\varphi = \text{const.}$). Rest des Feldraums mit Feldstärke E_0

$$U_{\text{Platte}} = E_0(2d_0 - d_0) = U_0 = 12V$$

- d) Anschließend werde ein Kondensator der Kapazität $2C_0$ parallel geschaltet. Welche Spannung kann dann über dem Kondensator gemessen werden?

Lösung:

gegeben: $C_2 = 2C_0$
parallel Schaltung
 $\Rightarrow U$ an allen Kapazitäten gleich

$$C_{\text{ges}} = C_0 + 2C_0 = 3C_0$$

$$U = \frac{Q_0}{C_{\text{ges}}} = \frac{Q_0}{3C_0} = \frac{1}{3}U_0 = 8 \text{ V}$$

Zahlenwerte: $A = 300 \text{ cm}^2$; $d_0 = 5 \text{ mm}$; $U_0 = 24 \text{ V}$.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 8 (Schaltung aus Glühlampen; Prüfung ExPh A/B F2018A8)

Von einer Reise aus den USA hat jemand eine 60 W-Glühlampe mitgebracht, ausgelegt für die Spannung 115 V.

- a) Welcher Strom fließt bei diese Nennspannung durch die Lampe?

Lösung:

gegeben: $P = 60 \text{ W}$ gesucht: $I = ?$
 $U = 115 \text{ V}$

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \\ \Rightarrow I &= \frac{P}{U} \\ &= \frac{60 \text{ W}}{115 \text{ V}} = 0,52 \text{ A} \end{aligned}$$

- b) Welchen Widerstand müssen Sie zur Lampe in Reihe schalten, um die 60 W-Glühlampe an unserem Stromnetz (230 V) zu betreiben?

Lösung:

gegeben: $U_{\text{Netz}} = 230 \text{ V}$ gesucht: $R_{\text{Vorwds}} = ?$
 $U_{\text{Lampe}} = 115 \text{ V}$
 $P_{\text{Lampe}} = 60 \text{ W}$

$$\begin{aligned} U_{\text{Netz}} &= U_{\text{Lampe}} + U_{\text{Vorwds}} \\ I_{\text{Lampe}} &= I_{\text{Vorwds}} \\ R_{\text{Vorwds}} &= \frac{U_{\text{Vorwds}}}{I_{\text{Vorwds}}} \\ &= \frac{U_{\text{Netz}} - U_{\text{Lampe}}}{I_{\text{Lampe}}} = \frac{(U_{\text{Netz}} - U_{\text{Lampe}}) U_{\text{Lampe}}}{P_{\text{Lampe}}} \\ &= 220,41 \Omega \end{aligned}$$

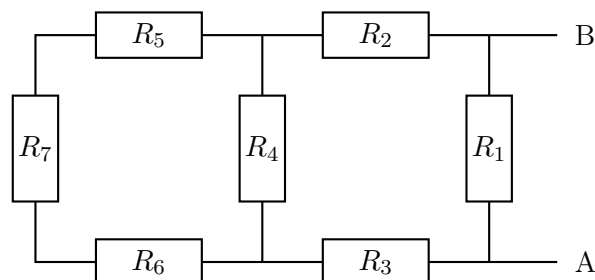
- c) Welche Leistung wird im Fall b) im Vorwiderstand dissipiert?

Lösung:

gegeben: $U_{\text{Vorwds}} = U_{\text{Lampe}} = 115 \text{ V}$ gesucht: $P_{\text{Vorwds}} = ?$
 $I_{\text{Vorwds}} = I_{\text{Lampe}}$

$$\begin{aligned} P_{\text{Vorwds}} &= U_{\text{Vorwds}} \cdot I_{\text{Vorwds}} \\ &= U_{\text{Vorwds}} \cdot \frac{P_{\text{Lampe}}}{U_{\text{Lampe}}} \\ P_{\text{Vorwds}} &= P_{\text{Lampe}} = 60 \text{ W} \end{aligned}$$

- d) Welcher Gesamtwiderstand R_{ges} des nebenstehend abgebildeten Widerstandsnetzwerk liegt zwischen den Punkten A und B, wenn die Einzelwiderstände R_{1-7} jeweils $10,0 \Omega$ haben? Erläutern Sie ihren Gedankenansatz.

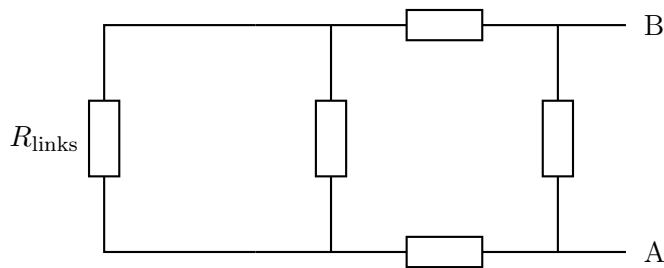


Lösung:

gegeben: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$

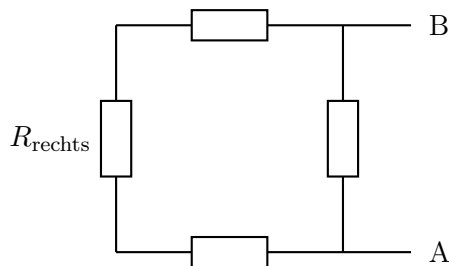
gesucht: $R_{\text{ges}} = ?$

Auf der linken Seite sind drei Widerstände in Reihe geschaltet $\rightarrow$ Ersatzwiderstand R_{links}



Damit ist der Ersatzwiderstand $R_{\text{links}} = 3R$.

Diese drei Widerstände sind mit einem Widerstand parallel geschaltet $\rightarrow$ Ersatzwiderstand R_{rechts}

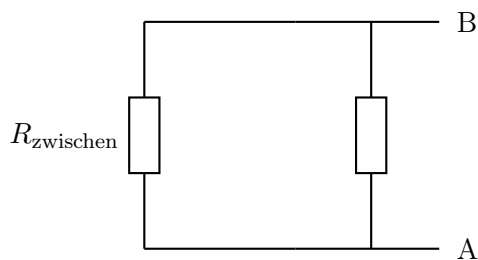


Somit ergibt sich für die linke Vierergruppe

$$\frac{1}{R_{\text{rechts}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{3R} = \frac{3+1}{3R} = \frac{4}{3R}$$

$$\Rightarrow R_{\text{rechts}} = \frac{3}{4}R$$

Dieser Widerstand ist wiederum mit zwei Widerständen in Reihe geschaltet $\rightarrow$ Ersatzwiderstand R_{zwischen}



Damit ergibt sich:

$$R_{\text{zwischen}} = R + R + R_{\text{rechts}} = R + R + \frac{3}{4}R = \frac{11}{4}R$$

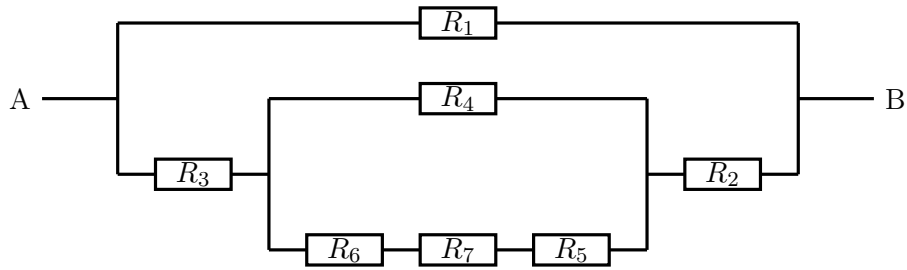
Berücksichtigt man am Ende noch den weiteren Widerstand R , der zum Widerstand R_{zwischen} parallel geschaltet ist, erhält man:

$$\frac{1}{R_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{\text{zwischen}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{11}{4}R}$$

$$= \frac{1}{R} + \frac{4}{11R} = \frac{11+4}{11R} = \frac{15}{11R}$$

$$\Rightarrow R_{\text{gesamt}} = \frac{11}{15}R = \frac{11 \cdot 10}{15} \Omega = \frac{110}{15} \Omega = 7,33 \Omega$$

Alternatives Ersatzschaltbild:



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 9 (Laserpointer; Prüfung ExPh A/B F2018A9)

Ein Laser der Lichtleistung 1 mW sendet monochromatisches Licht der Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$ aus.

- a) Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich das Licht in Glas aus, wenn der Brechungsindex des Glases $n = 1,5$ beträgt?

Lösung:

gegeben: $n_{\text{Glas}} = 1,5$ gesucht: $c_{\text{Glas}} = ?$

$$c_{\text{Glas}} = \frac{c_0}{n_{\text{Glas}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,5} = 2,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) Wieviele Photonen werden von diesem Laser pro Sekunde ausgesandt?

Lösung:

gegeben: $\lambda = 500 \text{ nm}$ gesucht: $n = ?$
 $P = 1 \text{ mW}$
 $t = 1 \text{ s}$

Zunächst wird die Gesamtenergie die der Laser in einer Sekunde aussendet bestimmt:

$$P = \frac{E_{\text{ges}}}{t}$$

$$E_{\text{ges}} = P \cdot t$$

Nun die Energie eines Photons:

$$E_{\text{Photon}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Damit ergibt sich die Anzahl der Photonen zu:

$$E_{\text{ges}} = n \cdot E_{\text{Photon}}$$

$$n = \frac{E_{\text{ges}}}{E_{\text{Photon}}}$$

$$= \frac{P \cdot t}{h \cdot \frac{c}{\lambda}}$$

$$= \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

$$= \frac{1 \text{ mW} \cdot 1 \text{ s} \cdot 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2,51 \cdot 10^{15}$$

- c) Wie lange dauert ein Lichtpuls jeweils, wenn der Wellenzug (i) im Vakuum und (ii) im Glas eine Länge von 1,0 m hat?

Lösung:

gegeben: $s = 1 \text{ m}$ gesucht: $t = ?$
 $c_0 = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $c_{\text{Glas}} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Es gilt:

$$s(t) = v \cdot t$$

$$t = \frac{s(t)}{v}$$

Damit ergibt sich:

(i) $t = \frac{s}{c_0} = 3,33 \cdot 10^{-9} \text{ s}$
(ii) $t = \frac{s}{c_{\text{Glas}}} = 5,00 \cdot 10^{-9} \text{ s}$

- d) Was versteht man unter Dispersion? Geben Sie ein Beispiel, wo man Dispersion beobachten kann.

Lösung:

Die Lichtgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit des Lichts) in einem Medium (und daher auch dessen Brechzahl) hängt geringfügig von der Wellenlänge des Lichts ab ($n = n(\lambda)$). Wegen diesem Effekt wird in einem Prisma weißes Licht in seine Bestandteile aufgespalten. Denselben Effekt kann man auch in der Natur beobachten, wenn es gleichzeitig regnet und die Sonne scheint. Auch in Wasser gibt es Dispersion. Darum wird das gelbweiße Sonnenlicht, das in den Wassertropfen gebrochen wird, in seine Bestandteile zerlegt und das von vielen Wassertropfen gleichzeitig. Wir nehmen in diesem Fall einen Regenbogen wahr.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 10 (Bohr'sches Atommodell; Prüfung ExPh A/B F2018A10)

- a) Wie lauten die drei Bohr'schen Postulate?

Lösung:

1. Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen um den Kern mit diskreten Energien E_n .
2. Die Kreisbewegung des Elektrons erfolgt strahlungslos. Beim Übergang von einer Bahn mit höherer Energie zu einer Bahn mit niedriger Energie kommt es zur Emission von Licht mit der Frequenz ν : $h\nu = E_2 - E_1$
3. Stationäre Bahnen, falls $m_e \cdot v_n r_n = n\hbar$, $n \in \mathbb{N}$ und $\hbar = \frac{2}{2\pi}$
Der Drehimpuls eines Elektrons in einem stationären Zustand nimmt nur diskrete Werte an.

- b) Leiten Sie die Formel für die Radien r_n der Bohr'schen Bahnen mit der Hauptquantenzahl n her.

Lösung:

Gleichgewichtsbedingung (Coulombkraft, für Kernladung Z wirkt als Zentralkraft):

$$F_{\text{Coul}} = F_Z \Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}$$

Quantisierungsbedingung:

$$m_e v_n r_n = n\hbar, \text{ mit } n \in \mathbb{N}$$

Einsetzen der Quantisierungsbedingung **ohne** kürzen von r_n in die Gleichgewichtsbedingung liefert:

$$\begin{aligned} \frac{m_e v_n^2}{r_n} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{\frac{n^2\hbar^2}{m_e^2 v_n^2}} \\ \Rightarrow r_n &= 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2\hbar^2}{m_e Ze^2} = \frac{1}{Z} r_B n^2 \end{aligned}$$

Zahlenwerte einsetzen:

$$\begin{aligned} r_B &= 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,53 \text{ \AA} \\ r_n &= 0,53 \text{ \AA} \cdot \frac{n^2}{Z} \end{aligned}$$

- c) Leiten Sie die Formel für die Geschwindigkeiten v_n der Elektronen mit der Hauptquantenzahl n her.

Lösung:

Gleichgewichtsbedingung (Coulombkraft, für Kernladung Z wirkt als Zentralkraft):

$$F_{\text{Coul}} = F_Z \Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}$$

Quantisierungsbedingung:

$$m_e v_n r_n = n\hbar, \text{ mit } n \in \mathbb{N}$$

Einsetzen der Quantisierungsbedingung **nach** kürzen von r_n in die Gleichgewichtsbedingung liefert:

$$\begin{aligned} m_e v_n^2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{\frac{n\hbar}{m_e v_n}} \\ \Rightarrow v_n &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{n\hbar} \end{aligned}$$

Zahlenwerte einsetzen:

$$v_n = 2,19 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{Z}{n}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B