

Klausur A/B Herbst 2017

Aufgabe 1 (Abwurf; Prüfung ExPh A H2017A1 und A/B H2017A1)

Von einem Rettungsflugzeug, das sich mit einer Geschwindigkeit $v_{0,x} = 65,0 \text{ m/s}$ in der Höhe $h = 240 \text{ m}$ horizontal bewege, werde eine Rettungskapsel der Masse $m = 150 \text{ kg}$ fallengelassen. Vernachlässigen Sie den Luftwiderstand.

- a) Welche Art von Flugbahn durchläuft die Rettungskapsel? Skizzieren Sie den Verlauf der Flugbahn.

Lösung:

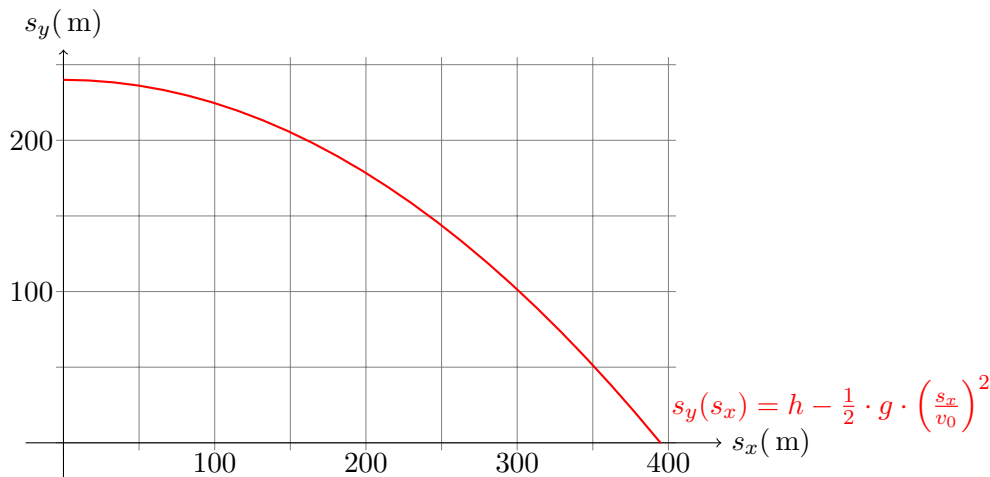
$$v_x = v_0$$

$$s_x = v_0 \cdot t \rightarrow t = \frac{s_x}{v_0}$$

$$v_y = -g t$$

$$s_y = h - \frac{1}{2} g t^2 = h - \frac{1}{2} g \left(\frac{s_x}{v_0} \right)^2$$

Die Flugbahn ist eine nach unten geöffnete Halb-Parabel.



- b) Berechnen Sie die Fallzeit bis zum Auftreffen.

Lösung:

$$h = \frac{1}{2} g T^2$$

$$T = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 240 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 7,0 \text{ s}$$

- c) Wie groß sind der Betrag der Geschwindigkeit v_k und die kinetische Energie $E_{\text{kin}, k}$ der Kapsel beim Auftreffen auf den Boden?

Lösung:

$$|v_k| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(65 \text{ m/s})^2 + (-9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,0 \text{ s})^2} = 94,5 \text{ m/s}$$

$$E_{\text{kin, k}} = \frac{1}{2} m v_k^2 = 670 \text{ kJ}$$

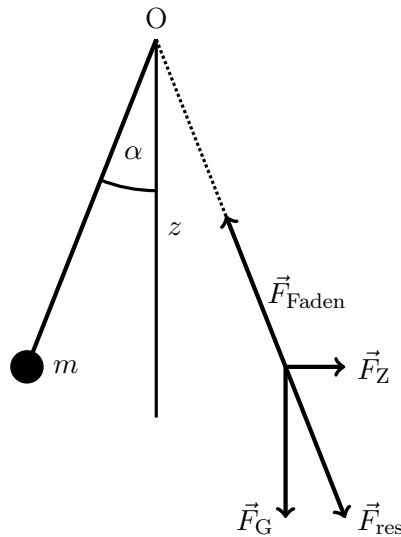
Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 2 (Kreispendel, Prüfung ExPh A H2017A2 und A/B H2017A2)

Eine punktförmig gedachte Masse m befindet sich am Ende eines masselosen Seils, das am Punkt O im Schwerfeld der Erde (z -Richtung) aufgehängt ist. Die Masse m führt nun in der xy -Ebene eine Kreisbewegung um die z -Achse aus.

- a) Um welchen Winkel α_1 gegen die Vertikale ist der Faden bei einer Winkelgeschwindigkeit ω_1 ausgelenkt?

Lösung:



$$\begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{F_z}{F_G} = \frac{m \omega_1^2 r}{m g} = \frac{\omega_1^2 r}{g} = \frac{\omega_1^2 l \sin \alpha_1}{g} = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1} \\ \cos \alpha_1 &= \frac{g}{\omega_1^2 l} \\ \alpha_1 &= 66^\circ \end{aligned}$$

- b) Mit welcher Kraft F_{Faden} ist der Faden dann gespannt? Wie groß ist dann die Zentralkraft F_{Zentral} auf die Masse m ?

Lösung:

$$\begin{aligned} F_{\text{Zentral}} &= m \omega_1^2 r = m \omega^2 l \sin \alpha_1 = 2,2 \text{ N} \\ F_{\text{Faden}} &= \sqrt{F_G^2 + F_z^2} = \sqrt{(m g)^2 + F_z^2} = \sqrt{(0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)^2 + (2,2 \text{ N})^2} = 2,4 \text{ N} \end{aligned}$$

- c) Wie groß ist der Winkel α_2 bei einer gegebenen Umlaufgeschwindigkeit v_2 ?

Lösung:

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \frac{F_z}{F_G} = \frac{m \frac{v^2}{r}}{m g} = \frac{v^2}{g r} = \frac{v^2}{g l \sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \\ v^2 \cos \alpha &= g l \sin^2 \alpha = g l (1 - \cos^2 \alpha) \\ g l \cos^2 \alpha + v^2 \cos \alpha - g l &= 0 \\ \cos \alpha &= \frac{1}{2 g l} \left(-v^2 + \sqrt{v^4 + 4 g^2 l^2} \right) \\ \alpha &= 40^\circ\end{aligned}$$

- d) Welcher Winkel $\alpha_{\max}$ kann maximal erzielt werden, falls das Seil bei einer Belastung mit der Kraft $F_{\max}$ reißt?

Lösung:

$$\begin{aligned}F_{\max} &= \frac{F_G}{\cos \alpha_{\max}} \\ \alpha_{\max} &= 86^\circ\end{aligned}$$

- e) Wie groß ist dann der Drehimpuls L der Masse m unmittelbar vor dem Reißen des Seils, wie groß der Impuls p unmittelbar danach?

Lösung:

$$\begin{aligned}L &= m r^2 \omega = m \cdot (l \sin \alpha_{\max})^2 \cdot \sqrt{\frac{g}{l \cos \alpha_{\max}}} = 2,2 \text{ kg m}^2/\text{s} \\ v &= \omega r = \sqrt{\frac{g}{l \cos \alpha_{\max}}} \cdot (l \sin \alpha_{\max}) = 14,5 \text{ m/s} \\ p &= m v = 1,5 \text{ kg m/s}\end{aligned}$$

Zahlenwerte: $m = 100 \text{ g}$; $l = 1,5 \text{ m}$; $\omega = 4,0 \text{ s}^{-1}$; $v_2 = 10 \text{ km/h}$; $F_{\max} = 15 \text{ N}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B (Prof. Schimmel)

Aufgabe 3 (Schwingungen und Wellen; Prüfung ExPh A H2017A3 und A/B H2017A3)

- a) Was ist der Unterschied zwischen einer Schwingung und einer Welle?

Lösung:

Im Unterschied zu Schwingungen breiten sich wellen aus, Schwingungen finden nur lokal statt. Wellen haben eine räumliche und zeitliche Komponente und werden durch eine Funktion der Form $f(\vec{t}, t)$ beschrieben.

Harmonische Schwingung	$\Rightarrow u(t) = A \cos(\omega t + \phi)$
$u(t)$	: Auslenkung zur Zeit t
A	: Amplitude
ω	: Kreisfrequenz der Schwingung, $\omega = 2\pi f$ (f : Frequenz)
t	: Zeit
ϕ	: Phasenverschiebung

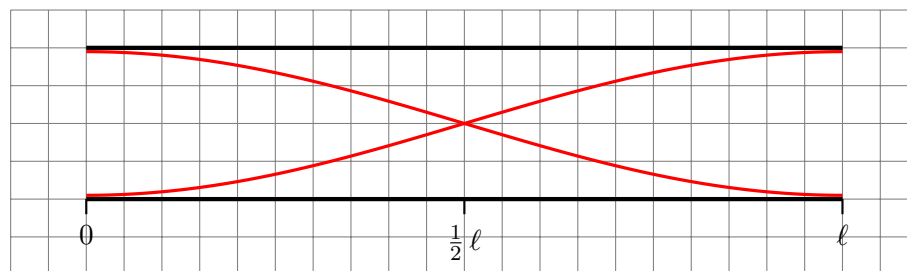
Ebene Welle	$\Rightarrow u(\vec{r}, t) = A \sin(\omega t - \vec{k}\vec{r})$
$u(\vec{r}, t)$	: Auslenkung am Ort $\vec{r}$ zur Zeit t
A	: Amplitude
ω	: Kreisfrequenz
t	: Zeit
$\vec{k}$	: Wellenvektor (k : Wellenzahl)
$\vec{r}$	: Ort
$\omega t - \vec{k}\vec{r}$	: Phase

- b) In einer mit Luft gefüllten Orgelpfeife (Länge der Luftsäule: 1,0 m) bildet sich eine stehende Welle aus. Zeichnen Sie maßstabsgetreu Wellenbäuche und Knoten für die Grundschiwingung und die erste Oberschiwingung ein für den Fall, dass die Orgelpfeife beidseitig offen ist.

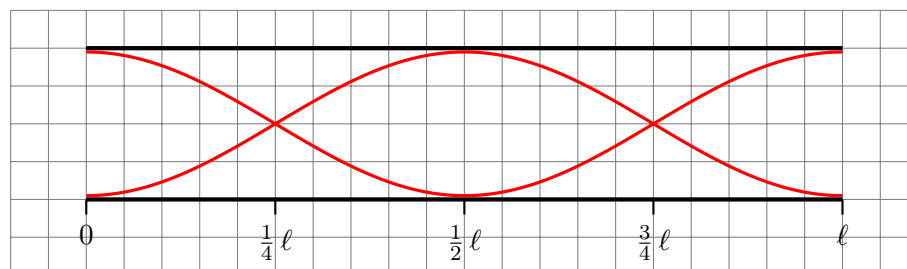
Lösung:

Schwingungsbäuche an den offenen Enden

Grundschiwingung: $\ell = \frac{1}{2} \lambda$



1. Oberschiwingung: $\ell = \frac{3}{2} \lambda$



- c) Welche Frequenzen haben für die Orgelpfeife aus b) die Grundschiwingung und die erste Oberschiwingung?

Lösung:

geg.: $c_{\text{Schall, Luft}} = 340 \text{ m/s}$ ges.: $\lambda = ?$

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

Art der Pfeife offen

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\text{Grundschiwingung } \lambda = 2\ell \Rightarrow f = \frac{c}{2\ell} = 170 \text{ Hz}$$

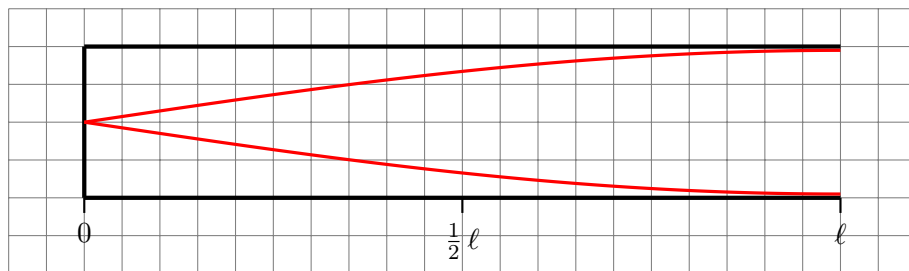
$$1. \text{ Oberschiwingung } \lambda = \ell \Rightarrow f = \frac{c}{\ell} = 340 \text{ Hz}$$

- d) Zeichnen Sie nun für den Fall, die die Orgelpfeife nur einseitig offen ist, ebenfalls maßstabsgetreu in einem Diagramm Wellenbäuche und Knoten für die Grundschiwingung und die erste Oberschiwingung und berechnen Sie die Frequenzen dieser Schwiwingung.

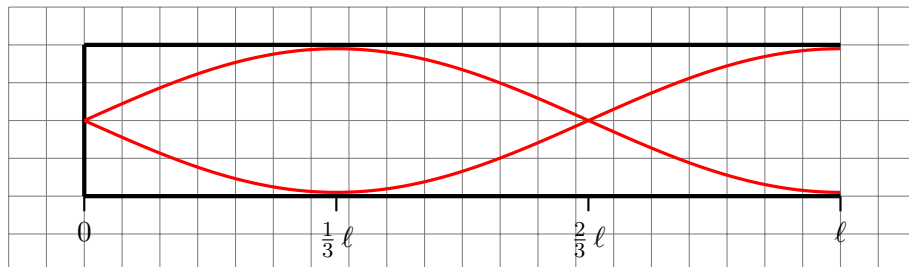
Lösung:

Schiwingungsbäuche am offenen Ende, Knoten am geschlossenen

$$\text{Grundschiwingung: } \ell = \frac{1}{4} \lambda$$



$$1. \text{ Oberschiwingung: } \ell = \frac{3}{4} \lambda$$



$$\text{geg.: } c_{\text{Schall, Luft}} = 340 \text{ m/s} \quad \text{ges.: } \lambda = ?$$

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

Art der Pfeife halboffen

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\text{Grundschiwingung } \lambda = 4\ell \Rightarrow f = \frac{c}{4\ell} = 85 \text{ Hz}$$

$$1. \text{ Oberschiwingung } \lambda = \frac{4}{3} \ell \Rightarrow f = \frac{3c}{4\ell} = 255 \text{ Hz}$$

Zahlenwerte: Schallgeschwindigkeit in Luft $c_{\text{Schall, Luft}} = 340 \text{ m/s}$.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A

Aufgabe 4 (Eisblock 2; Prüfung A/B H2017A4)

Ein Eisblock der Masse m und der Temperatur T_1 wird aus dem Gefrierfach entnommen und in einem Mikrowellenherd der Leistung P vom Zeitpunkt t_0 an erwärmt.

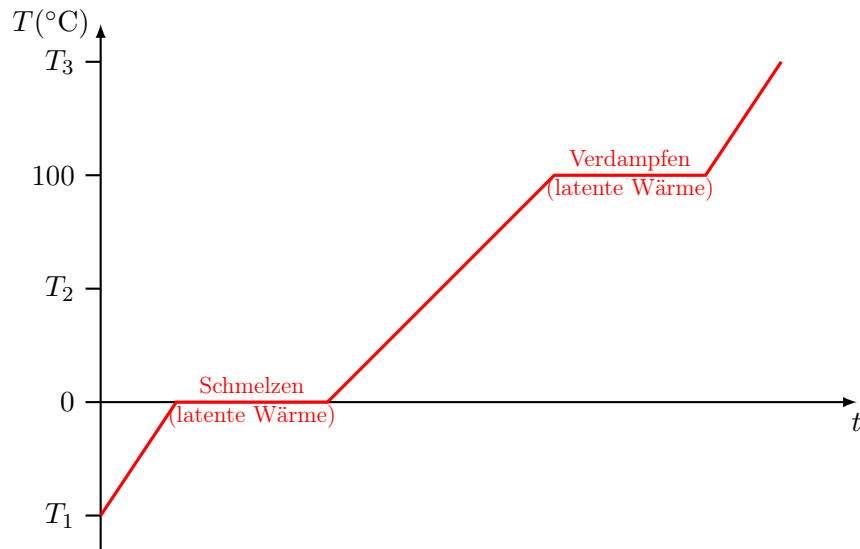
- a) Skizzieren Sie den Temperaturverlauf in einem $T(t)$ -Diagramm.

Lösung:

$$dQ = P \cdot dt$$

$$dT = \frac{dQ}{C} = \frac{P \, dt}{c \cdot m}$$

$$\frac{dT}{dt} \sim \frac{1}{c} \rightarrow \text{Steigung im Diagramm}$$



- b) Nach welcher Zeit ist das Eis vollständig geschmolzen?

Lösung:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{1}{P} (c_E \cdot m \cdot \Delta T_E + m \cdot c_s) = 725 \text{ s}$$

- c) Welche Energie wird für die Erwärmung von T_1 auf T_2 benötigt? Die Wärmekapazität des Gefäßes werde vernachlässigt.

Lösung:

$$\Delta Q = c_E \cdot m \cdot \Delta T_E + m \cdot c_s + c_W \cdot m \cdot \Delta T_w = 353 \text{ kJ}$$

Spezifische Wärme von Eis $c_E = 2,1 \text{ J/gK}$; spezifische Wärme von Wasser:
 $c_W = 4,2 \text{ J/gK}$; spezifische Schmelzwärme von Eis: $c_s = 330 \text{ J/g}$
 Zahlenwerte: $m = 750 \text{ g}$; $T_1 = -27^\circ\text{C}$; $T_2 = 20^\circ\text{C}$; $P = 400 \text{ W}$.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 5 (Heißluftballon; Prüfung A/B H2017A5)

Die Innenluft eines 450 m^3 fassenden Heißluftballons wird bei einer Außentemperatur von $T_1 = 17^\circ\text{C}$ und einem Luftdruck von $p = 9,7 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ auf durchschnittlich $T_2 = 110^\circ\text{C}$ erwärmt. Welche Nutzlast kann der Ballon höchstens tragen, wenn Hülle und Korb zusammen 35 kg Masse haben?

Lösung:

$$pV = nRT$$

$$p = \text{const.}$$

$$V = \text{const.}$$

$$n_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = 1,81 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

$$\Delta n = n_1 - n_2 = 0,44 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

$$M_{\text{Luft}} = \frac{4}{5}(2 \cdot A_N) + \frac{1}{5}(2 \cdot A_O) = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\Delta m = \Delta n \cdot M_{\text{Luft}} = 127 \text{ kg}$$

$$\text{Nutzlast} = \Delta m - m_B = 127 \text{ kg} - 35 \text{ kg} = 92 \text{ kg}$$

Zahlenwerte: Mittlere Molmasse von Luft: 28,8 g/mol.

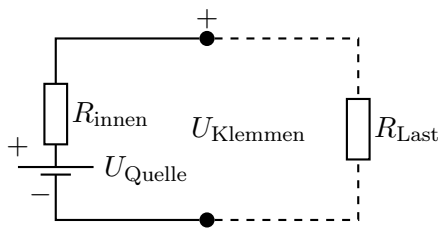
Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 6 (Autobatterie; Prüfung A/B H2017A6)

Eine Autowerkstatt bietet eine Autobatterie mit einer Batteriekapazität von 64 Ah, einer Kurzschluss-Stromstärke von 200 A und einer Leerlaufspannung von 12 V an.

- a) Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild der Batterie. Wie groß ist der Innenwiderstand der Batterie?

Lösung:



$$R_i = \frac{U_0}{I_k} = 0,06 \Omega$$

- b) Mit welcher Leistung wird die Batterie beheizt, wenn man sie kurzschließt?

Lösung:

$$P_k = U_0 \cdot I_k = 2,4 \text{ kW}$$

- c) Wie lange brennt das Standlicht (4 Birnchen zu je 5 Watt), wenn die Batterie zuvor voll geladen war?

Lösung:

In der Batterie gespeicherte Energie: $W = U \cdot Q = 12 \text{ V} \cdot 64 \text{ Ah} = 768 \text{ Wh}$

Diese Energie wird von den 4 Birnen verbraucht: $W = 4P_{\text{Birne}} \cdot t$, $t = \frac{W}{4P_{\text{Birne}}} = \frac{768 \text{ Wh}}{4 \cdot 5 \text{ W}} = 38,4 \text{ h}$.

Alternative:

$$\begin{aligned}t &= \frac{I \cdot t}{I} = \frac{72 \text{ Ah}}{I} \\R_{\text{Standlicht}} &= \frac{U_0^2}{P_{SL}} = 7,2 \Omega \\I &= \frac{U_0}{R_i + R_{\text{Standlicht}}} = \frac{U_0}{\frac{U_0}{I_k} + \frac{U_0^2}{P_{SL}}} \\t &= \frac{64 \text{ Ah}}{I} = 64 \text{ Ah} \left(\frac{1}{I_k} + \frac{U_0}{P_{SL}} \right) = 38,7 \text{ h}\end{aligned}$$

- d) Welche Energie ist in der vollgeladenen Batterie gespeichert?

Lösung:

siehe c): $W = U \cdot Q = 768 \text{ Wh} = 2,76 \text{ MJ}$

Alternative:

$$W = P \cdot t = U_0 \cdot I \cdot t = 768 \text{ Wh} = 2,76 \text{ MJ}$$

- e) Welche Spannung liegt an den Batterieklemmen noch an, wenn ein Strom von 125 A fließt? Wie groß ist dann die Nutzleistung beim Verbraucher?

Lösung:

$$\begin{aligned}U_{Kl} &= U_0 - R_i \cdot I = U_0 - \frac{U_0}{I_k} I = U_0 \left(1 - \frac{I}{I_k} \right) = 4,5 \text{ V} \\P &= U_{Kl} \cdot I = 563 \text{ W}\end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 7 (Prüfung ExPh A/B H2017A7)

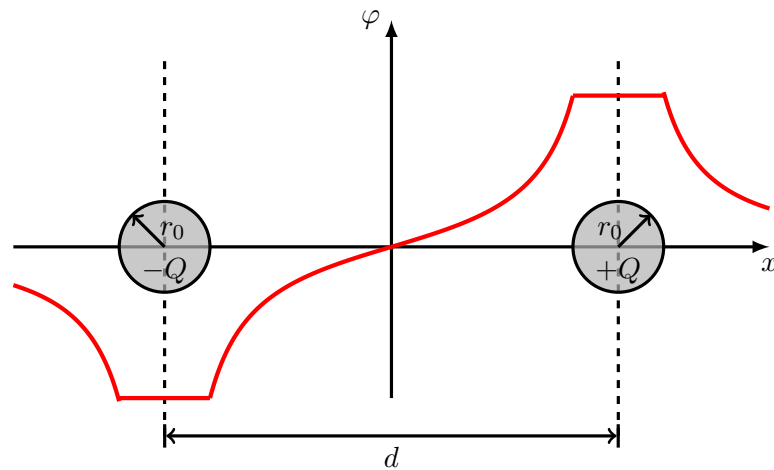
Zwei kleine Metallkugeln vom Radius r_0 befinden sich im Abstand d (Abstand der Kugelmittelpunkte) voneinander, wobei $d > 2r_0$ ist. Auf den Kugeln befinden sich die Ladungen $+Q$ bzw. $-Q$.

- a) Skizzieren Sie den Verlauf des Potentials $\varphi(r)$ längs der Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Kugeln.

Lösung:

$$\begin{array}{ll}\text{geg.:} & r_0 \quad \text{ges.:} \quad \varphi(r) = ? \text{ (Skizze)} \\ & Q_1 = +Q \\ & Q_2 = -Q \\ & d\end{array}$$

Es herrscht Kugelsymmetrie. Das Potential im Außenraum entspricht dem einer Punktladung. Im Innern bleibt das Potential konstant.



b) Mit welcher Kraft F ziehen sich die Kugeln an?

Lösung:

geg.: r_0 ges.: $F = ?$

$$Q_1 = +Q$$

$$Q_2 = -Q$$

d

Wie im Aufgabentext bereits steht handelt es sich um eine

anziehende Kraft, die Ladungen können wie Punktladungen betrachtet werden. Damit ist die anziehende Kraft die Coulomb Kraft zwischen zwei Ladungen im Abstand d .

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{d^2}$$

c) Welche Arbeit W muss man aufwenden, um die Kugeln vom Abstand d aus vollständig auseinander zu ziehen (d.h. für $d \rightarrow \infty$)?

Lösung:

geg.: r_0 ges.: $W = ?$

$$Q_1 = +Q$$

$$Q_2 = -Q$$

d

$$\begin{aligned} W &= \int_d^{+\infty} \vec{F} d\vec{x} = - \int_d^{+\infty} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{x^2} dx \\ &= - \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0} \int_d^{+\infty} \frac{1}{x^2} dx = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{d} \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 8 (Induktion; Prüfung A/B H2017A8)

a) Wie lautet das Induktionsgesetz? Benennen Sie alle in der Formel auftretenden Größen.

Lösung:

$$U_{\text{ind}} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\dot{\Phi}$$

U_{ind} : Induzierte Spannung

$\dot{\Phi}$: zeitliche Änderung des magnetischen Flusses

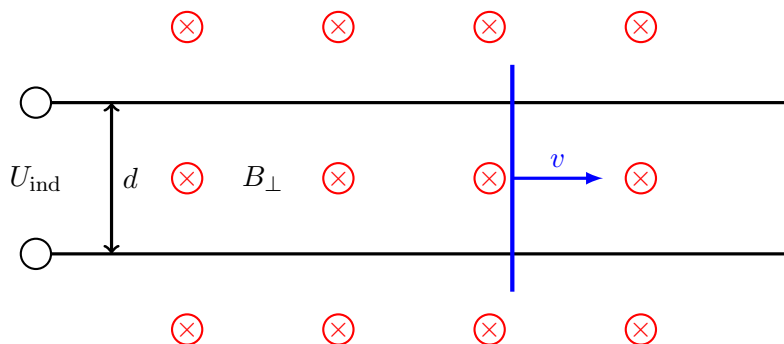
–: Auf Grund der Lenzschen Regel der Ursache entgegen gesetzt.

- b) Ein Schnellzug fährt mit einer Geschwindigkeit $v = 220 \text{ km/h}$ nach Süden über eine gerade Eisenbahnstrecke, deren Schienen einen Abstand d von $1,5 \text{ m}$ haben. Welche Spannung wird aufgrund der Flussdichte des Erdmagnetfeldes $\vec{B}$ zwischen den Schienen induziert, wenn $|\vec{B}| = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ und die $\vec{B}$ -Richtung um 55° gegen die Vertikale geneigt ist?

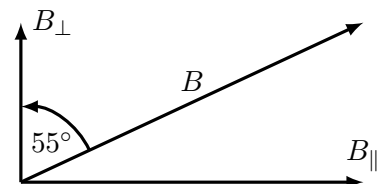
Lösung:

Die Schienen können als offene Leiterschleifen aufgefasst werden, die durch den Zug geschlossen wird. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Zuges ändert sich die vom Erdmagnetfeld durchflossene Fläche A mit der Zeit. Dabei ist die Erdmagnetfeldkomponente $B_\perp$ entscheidend, die senkrecht auf die Erdoberfläche zeigt. Betrachte folgende Skizze.

Aufsicht:



Seitenansicht:



Rechnung:

$$\begin{aligned} |U_{\text{ind}}| &= |-\dot{\Phi}| = |-B_\perp \cdot (d \cdot \dot{s})| \\ &= |-B_\perp \cdot d \cdot \dot{s}| = |-B_\perp \cdot d \cdot v| = |-B \cos(55^\circ) \cdot d \cdot v| \\ &= |-4,0 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cos(55^\circ) \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 61,11 \text{ m/s}| = 2,1 \text{ mV} \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 9 (Laser; Prüfung A/B H2017A9)

Ein Argon-Ionen-Laser emittiert Licht der Wellenlänge 514 nm . Die emittierte Leistungsdichte des Lasers betrage 100 mW .

- a) Wofür steht die Abkürzung LASER?

Lösung:

LASER=Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

- b) Wodurch unterscheidet sich Laserstrahlung vom Licht einer Glühlampe? Nennen Sie drei typische Merkmale.

Lösung:

- Emission monochromatischer Strahlung
- Hohe Parallelität der Strahlung

- Große Kohärenzlänge

c) Wie groß ist die Frequenz ν des Lichtes, das der oben genannte Laser emittiert?

Lösung:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{514 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,84 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

d) Wie groß sind Energie, Masse und Impuls der von diesem Laser emittierten Photonen?

Lösung:

$$E_{\text{Photon}} = h \frac{c}{\lambda} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{514 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,87 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$m_{\text{Photon}} = \frac{h}{\lambda \cdot c} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{514 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 4,30 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

(Äquivalente Masse aus $E = mc^2$, aber Ruhemasse $m_0 = 0$)

$$p_{\text{Photon}} = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{514 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 1,29 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg m}}{\text{s}}$$

e) Wieviele Photonen werden von dem genannten Laser pro Sekunde emittiert?

Lösung:

$$P = 100 \text{ mW} = \frac{n \cdot E_{\text{Photon}}}{1 \text{ s}}$$

$$\frac{n}{1 \text{ s}} = \frac{P}{E_{\text{Photon}}} = 2,58 \cdot 10^{17} 1/\text{s}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 10 (Relativistisches Elektron, Prüfung A/B H2017A10)

Ein Elektron wird beschleunigt, bis seine Masse das Dreifache seiner Ruhemasse beträgt.

a) Berechnen Sie die kinetische Energie des Elektrons

Lösung:

$$E = m c^2 = 3m_0 c^2$$

$$E_{\text{kin}} = E - E_0 = 2m_0 c^2 = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,0 \text{ MeV}$$

b) Wie groß ist seine Geschwindigkeit v wie groß sein Impuls p ?

Lösung:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2} = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = 0,94 \cdot c = 2,82 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$p = m v = 3m_0 v = 3 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,82 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 7,7 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

c) Mit welcher Spannung U wurde das Elektron beschleunigt?

Lösung:

$$E_{\text{kin}} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} = \frac{1,6 \cdot 10^{-13}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 1,0 \text{ MeV}$$

$$U = \frac{E_{\text{kin}}}{e} = 1,0 \text{ MV}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B (Prof. Schimmel)