

Klausur A/B Frühjahr 2016

Aufgabe 1 (Geostationärer Satellit)

- a) Geostationäre Satelliten befinden sich immer über dem gleichen Ort des Äquators. Berechnen Sie den Abstand eines solchen Satelliten zum Erdmittelpunkt mit Hilfe der Erdbeschleunigung g , des Erdradius $r_E = 6378 \text{ km}$ und der Rotationsperiode T der Erde um ihre eigene Achse.

Lösung:

$$\begin{aligned}
 F_{ZF} &= \omega^2 R \cdot m_s \\
 F_g &= \gamma \frac{m_E \cdot m_s}{R^2}; \text{ mit } g = \gamma \cdot \frac{m_E}{R_E^2} \rightarrow m_E = \frac{g}{\gamma} R_E^2 \\
 F_g &= \frac{g \cdot R_E^2}{R^2} \cdot m_s \\
 \omega^2 \cdot R \cdot m_s &= g \cdot \left(\frac{R_E}{R} \right)^2 \cdot m_s \\
 \omega &= \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600 \text{ s}} = 72,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{s}} \\
 R^3 &= \frac{g \cdot R_E^2}{\omega^2} \\
 R &= \sqrt[3]{\frac{g \cdot R_E^2}{\omega^2}} = 42257 \text{ km}
 \end{aligned}$$

- b) Berechnen Sie die Anfangsgeschwindigkeit v_F , mit der ein Körper der Masse m von der Erdoberfläche mindestens abgeschossen werden muss, um das Schwerefeld der Erde verlassen zu können (sog. Fluchtgeschwindigkeit). Luftreibung und Erdrotation bleibe unberücksichtigt.

Lösung:

$$\begin{aligned}
 \Delta E_{pot} &= \int_{R_E}^{\infty} \frac{\gamma \cdot m_E \cdot m}{r^2} dr = - \underbrace{\gamma \cdot m_E \cdot m}_{g \cdot R_E^2 \cdot m} \cdot \left[\frac{1}{r} \right]_{R_E}^{\infty} \\
 &= +g \cdot R_E^2 \cdot m \cdot \frac{1}{R_E} = g \cdot m \cdot R_E \\
 E_{kin} &= \frac{1}{2} m v^2 \stackrel{!}{=} \Delta E_{pot} = g \cdot m \cdot R_E \\
 v_F &= \sqrt{2g \cdot R_E} = 11,186 \text{ km/s}
 \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 2 (Wasserstrahl; Prüfung ExPh A F2016A2 und A/B F2016A2)

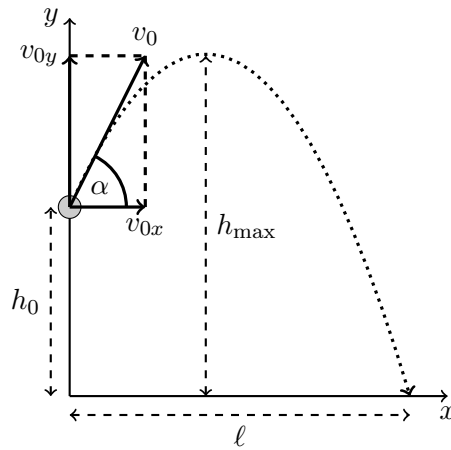
Ein Wasserstrahl verlässt ein Rohr in einer Anfangshöhe $h_0 = 2 \text{ m}$ über dem Boden mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 20 km/h unter einem Winkel von 60° gegen die Horizontale schräg nach oben.

- a) Welche Art von Kurve beschreibt der Wasserstrahl in der Luft? Skizzieren Sie die Bahn des Wassers in der Luft qualitativ.

Parabelbahn

Lösung:

Der Wasserstrahl beschreibt eine Parabelbahn.



b) Wie groß ist die maximale Höhe über dem Boden, die das Wasser erreicht?

3,18 m

Lösung:

Die Bewegung kann zerlegt werden in eine gleichförmige Bewegung in x -Richtung und eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung in y -Richtung. Wir betrachten nun zunächst die Bewegung in y -Richtung. Es gilt allgemein:

$$y(t) = \frac{1}{2}a_y t^2 + v_{0y}t + y_0$$

$$v_y(t) = a_y t + v_{0y}$$

$$a_y(t) = \text{const.}$$

Es gelten folgende Anfangsbedingungen:

$$y(t=0) = h_0$$

$$v_y(t=0) = v_0 \cdot \sin(\alpha)$$

$$a_y = -g$$

Für die Höhe $h(t)$ gilt damit:

$$h(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin(\alpha)t + h_0$$

Bestimmen des Maximums $h(t_{\max})$ durch $v_y(t_{\max}) = h'(t_{\max}) \stackrel{!}{=} 0$ und $h''(t_{\max}) = -g < 0$

$$h'(t) = -gt + v_0 \sin(\alpha) \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow t_{\max} = \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow h(t_{\max}) &= -\frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} \right)^2 + v_0 \sin(\alpha) \cdot \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} + h_0 \\ &= \frac{1}{2} \frac{(v_0 \sin(\alpha))^2}{g} + h_0 = \frac{1}{2} \frac{\left(5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin(60^\circ) \right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2 \text{ m} \\ &= 3,18 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Wie lange ist das Wasser ab seinem Austritt aus dem Rohr bis zum Auftreffen auf den Boden in der Luft?

1,30 s

Lösung:

Die Zeit die das Wasser in der Luft ist lässt sich bestimmen aus der Aufprallzeit t_a . Es gilt:

$$\begin{aligned}
 h(t_a) &\stackrel{!}{=} 0 = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin(\alpha)t + h_0 \\
 0 &= t^2 - 2 \cdot \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} - \frac{2h_0}{g} \\
 t_{a1,2} &= \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} \stackrel{(\pm)}{=} \sqrt{\left(\frac{v_0 \sin(\alpha)}{g}\right)^2 + \frac{2h_0}{g}} \\
 t_{a1} &= \frac{5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin(60^\circ)}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \sqrt{\left(\frac{5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin(60^\circ)}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}\right)^2 + \frac{2 \cdot 2 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \\
 &= 1,30 \text{ s}
 \end{aligned}$$

d) Wie groß ist die horizontale Reichweite des Wasserstrahls, bis er auf den Boden trifft?

3,6 m

Lösung:

Die Reichweite ergibt sich aus der Bewegung in x -Richtung. Es gilt allgemein:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= v_{0x}t + x_0 \\
 v_x(t) &= \text{const.}
 \end{aligned}$$

Es gelten folgende Anfangsbedingungen:

$$\begin{aligned}
 x(t=0) &= 0 \\
 v_x(t=0) &= v_0 \cdot \cos(\alpha)
 \end{aligned}$$

Damit gilt dann für die Weite $\ell(t)$:

$$\ell(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t$$

Die Reichweite $\ell_{\max}$ ergibt sich dann zum Aufprallzeitpunkt als $\ell_{\max} = \ell(t_{a1})$

$$\begin{aligned}
 \ell_{\max} &= v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t_{a1} \\
 &= 5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos(60^\circ) \cdot 1,30 \text{ s} \\
 &= 3,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e) Mit welcher Geschwindigkeit und unter welchem Winkel trifft das Wasser auf dem Boden auf?
8,41 m/s; 70,7°

Lösung:

Wir bestimmen die Geschwindigkeit in x - und y -Richtung zum Zeitpunkt des Aufpralls

$$\begin{aligned}
 v_x(t_{a1}) &= v_0 \cdot \cos(\alpha) \\
 v_y(t_{a1}) &= h'(t_{a1}) = -g \cdot t_{a1} + v_0 \cdot \sin(\alpha)
 \end{aligned}$$

Damit lässt sich Betrag v_a und Richtung β_a von $\vec{v}_a$ bestimmen.

$$\begin{aligned}
 v_a &= \sqrt{v_x^2(t_{a1}) + v_y^2(t_{a1})} = \sqrt{(v_0 \cdot \cos(\alpha))^2 + (-g \cdot t_{a1} + v_0 \cdot \sin(\alpha))^2} \\
 &= \sqrt{\left(5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos(60^\circ)\right)^2 + \left(-9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,30 \text{ s} + 5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin(60^\circ)\right)^2} \\
 &= 8,41 \text{ m/s} \\
 -\tan(\beta_a) &= \frac{v_y(t_{a1})}{v_x(t_{a1})} \\
 \Rightarrow \beta_a &= -\arctan\left(\frac{-g \cdot t_{a1} + v_0 \cdot \sin(\alpha)}{v_0 \cdot \cos(\alpha)}\right) \\
 &= -\arctan\left(\frac{-9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,30 \text{ s} + 5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin(60^\circ)}{5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos(60^\circ)}\right) \\
 &= 70,7^\circ
 \end{aligned}$$

- f) Welche Pumpleistung ist mindestens erforderlich, wenn pro Sekunde 10 Liter Wasser aus dem Rohr austreten? 154,56 W

Lösung:

Die Pumpleistung P ergibt sich aus der Energie die man pro Sekunde in das Wasser stecken muss um es auf die Anfangsgeschwindigkeit v_0 zu bekommen.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} m v_0^2}{t} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v_0^2}{t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 10 \text{ l} \cdot 5,56^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{1 \text{ s}} \\
 &= 154,56 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 3 (Stimmgabel; Prüfung ExPh A F2016A4 und A/B F2016A3)

Ein halbseitig offenes Glasrohr der Länge $\ell = 1 \text{ m}$ lässt sich auf beliebige Höhe h mit Wasser füllen. Eine Stimmgabel der Frequenz $\nu = 680 \text{ Hz}$ werde über das offene Rohrende gehalten. Es gilt: $c_{\text{Schall, Luft}} = 340 \text{ m/s}$.

- a) Wie groß ist die Wellenlänge der von der Stimmgabel erzeugten Schallwelle? 0,5 m

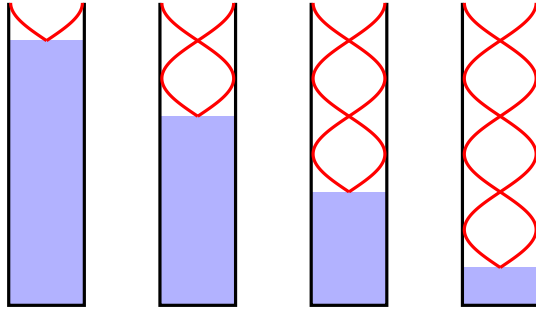
Lösung:

$$\begin{aligned}
 c &= \lambda \cdot \nu \\
 \lambda &= \frac{c}{\nu} = 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- b) Bei welchen Füllhöhen tritt Resonanz auf? Zeichnen Sie zunächst maßstabsgetreu die Knoten und Bäuche der Schwingungsamplituden für diese Fälle. 0,875 m; 0,625 m; 0,375 m; 0,125 m

Lösung:

Offenes Ende des Rohrs = Bewegungsbauch, geschl. Ende = Knoten



$$l - h_n = \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2} = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{mit } n \in 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$h_n = l - (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$$

$$\Rightarrow h_0 = 0,875 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,625 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,375 \text{ m}$$

$$h_3 = 0,125 \text{ m}$$

$$h_4 = -0,125 \text{ m} \quad (\text{nicht m\u00f6glich})$$

Quelle: Pr\u00fcfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 4 (Zimmerluft; Pr\u00fcfung ExPh A F2016A5 und A/B F2016A4)

Zimmerluft (ideales, zweiatomiges Gas) vom Volumen V und der Temperatur T werde durch eine elektrische Heizung der Leistung P um ΔT erw\u00e4rmt. Dabei entweiche durch Ritzen Luft aus dem Zimmer, so dass der Druck p konstant bleibt. Der W\u00e4rme\u00fcbergang auf die Zimmerw\u00e4nde bleibe unber\u00fccksichtigt.

- a) Welche Aufheizzeit wird zum Erreichen der Temperaturdifferenz ΔT gebraucht?

15,65 s

L\u00f6sung:

Die ben\u00f6tigte Aufheizzeit Δt kann aus der Leistung P und der \u00c4nderung der W\u00e4rmemenge ΔQ bestimmt werden. Es gilt:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{P}$$

Wir wollen nun die \u00c4nderung der W\u00e4rmemenge ΔQ berechnen. Es handelt sich um eine isobare Zustands\u00e4nderung ($p = \text{const.}$). Es ist zu beachten, dass Luft entweichen kann und somit die Teilchenzahl n von der Temperatur T abh\u00e4ngt.

$$\begin{aligned} dQ &= n(T) \cdot c_p \cdot dT \\ \Rightarrow \Delta Q &= \int_{Q_1}^{Q_2} dQ = \int_T^{T+\Delta T} n(T) \cdot c_p \cdot dT \end{aligned}$$

$n(t)$ kann aus der idealen Gasgleichung berechnet werden, die spezifische W\u00e4rme bei konstantem Druck c_p kann aus den Freiheitsgraden f bestimmt werden.

$$n(T) = \frac{pV}{RT}$$

$$c_v = \frac{f}{2} R$$

$$c_p = c_v + R = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) R$$

Damit kann man nun durch Integration die Änderung der Wärmemenge ΔQ berechnen.

$$dQ = n(T) \cdot c_p \cdot dT = n(T) \left(\frac{f}{2} + 1 \right) R dT = \frac{pV}{RT} \left(\frac{f}{2} + 1 \right) R \cdot dT$$

$$\Delta Q = \int_T^{T+\Delta T} n(T) \cdot c_p \cdot dT = pV \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \ln \frac{T + \Delta T}{T}$$

Mit $f = 5$ für ein zweiatomiges Gas und den Angaben in SI-Einheiten kann nun die Zeit bestimmt werden.

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{pV}{P} \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \ln \frac{T + \Delta T}{T} = \frac{pV}{P} \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \ln \frac{T + \Delta T}{T}$$

$$\Delta t = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 100 \text{ m}^3}{750 \text{ W}} \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \ln \frac{298,15 \text{ K} + 0,1 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} = 15,65 \text{ s}$$

- b) Man zeige, dass die innere Energie der im Zimmer verbleibenden Luft während des Aufheizprozesses konstant bleibt, man also tatsächlich „zum Fenster hinaus“ heizt.

Lösung:

Die innere Energie zu einem beliebigen Zeitpunkt mit beliebiger Temperatur T ist gegeben als:

$$U = n(T) \cdot c_v \cdot T = \frac{pV}{RT} \frac{f}{2} RT = pV \frac{f}{2} = \text{const.}$$

Dies ist unabhängig von der Temperatur und hier auch konstant, da p, V und f konstant sind.

Zahlenwerte: $p = 1 \text{ bar}$; $V = 100 \text{ m}^3$; $P = 750 \text{ W}$; $T = 25^\circ\text{C}$; $\Delta T = 0,1^\circ\text{C}$.

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 5 (Ideales Gas; Prüfung ExPh A F2016A5 und A/B F2016A6)

Zwei Mol Stickstoff (ideales, zweiatomiges Gas) werden unter verschiedenen Bedingungen von $T_1 = 300 \text{ K}$ auf $T_2 = 600 \text{ K}$ erwärmt.

- a) Berechnen Sie die Zunahme der inneren Energie, die verrichtete Arbeit und die zugeführte Wärmemenge, wenn das Volumen konstant gehalten wird. 12,5 kJ; 12,5 kJ; 0

Lösung:

Es handelt sich um eine isochore Zustandsänderung, d.h. $\Delta V = 0$. Dabei wird keine (mechanische) Arbeit verrichtet, d.h. $\Delta W = 0$.

Aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik folgt:

$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q$$

$$\Delta Q = \Delta U = n \cdot c_V \cdot \Delta T = n \cdot \frac{f}{2} \cdot R \cdot \Delta T$$

Mit $f = 5$ für ein zweiatomiges Gas und den gegebenen Zahlenwerten ergibt sich:

$$\Delta Q = \Delta U = 2 \text{ mol} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot (600 \text{ K} - 300 \text{ K})$$

$$= 12,5 \text{ kJ}$$

- b) Berechnen Sie dieselben Größen, wenn die Erwärmung bei konstanten Druck stattfindet. 12,5 kJ; 17,4 kJ; -5,0 kJ

Lösung:

Es handelt sich hier um eine isobare Zustandsänderung, d.h. $\Delta p = 0$.

Für die Änderung der inneren Energie ΔU gilt wie im Teil a).

$$\Delta U = n \cdot c_V \cdot \Delta T = 2 \text{ mol} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot (600 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 12,5 \text{ kJ}$$

Die Änderung der Wärmemenge wird mit Hilfe der isobare Wärmekapazität $c_p = c_V + R$ bestimmt.

$$\begin{aligned} \Delta Q &= n \cdot c_p \cdot \Delta T = n \cdot \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot R \cdot \Delta T \\ &= 2 \text{ mol} \cdot \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \cdot 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot (600 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 17,4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Die (mechanische) Arbeit wird dann wieder über den ersten Hauptsatz bestimmt.

$$\Delta W = \Delta U - \Delta Q = -n \cdot R \cdot \Delta T = -5,0 \text{ kJ}$$

Das Minuszeichen zeigt an, dass das System Arbeit an der Umgebung bei der Expansion verrichtet.

- c) Begründen Sie, warum die isobare Wärmekapazität c_p größer ist als die isochore Wärmekapazität c_V .
zusätzliche Wärme für Expansion

Lösung:

Bei einer isobaren Erwärmung dehnt sich das Gas aus und verrichtet an der Umgebung mechanische Arbeit. Dies bedeutet, dass die zugeführte Wärmemenge neben der Erhöhung der inneren Energie auch die für die Expansion nötige Energie (siehe Teil b)) bereit stellen muss. Daher ist die isobare Wärmekapazität c_p größer als die isochore Wärmekapazität c_V .

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A und A/B

Aufgabe 6 (Geladene Kugel, Prüfung AB H2016A6)

[Ag_EXPH_AB_F2016A6.tex](#)

Eine Ladung Q sei homogen im gesamten Volumen einer nicht leitenden Kugel mit einer konstanten Ladungsdichte ρ verteilt. Der Radius dieser geladenen Kugel sei R .

- a) Wie groß ist das elektrische Feld $E(r)$ sowie das elektrische Potential $\varphi(r)$ als Funktion des Abstandes r vom Kugelmittelpunkt (i) außerhalb und (ii) innerhalb der Kugel?

Lösung:

Satz von Gauß: $\oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

Kugelsymmetrie: $\vec{E} = E(r)\hat{e}_r \rightarrow \vec{E} \parallel d\vec{A}$, damit

(i) außerhalb

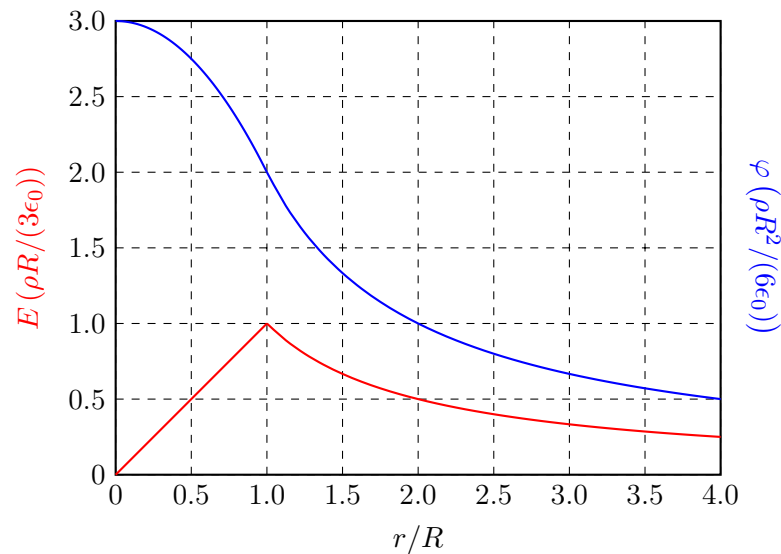
$$\begin{aligned} \oint_{\text{Kugel}} \vec{E} d\vec{A} &= \oint_{\text{Kugel}} E(r) dA = E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \\ E(r) &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\int_V \rho dV}{r^2} \\ E(r) &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho \int_0^R 4\pi r'^2 dr'}{r^2} = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{r^2} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \frac{R^3}{r^2} \\ \rightarrow \varphi(r) &= - \int_{\infty}^r E(r') dr' = - \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{1}{r'^2} dr' = - \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r'} \right]_{\infty}^r = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \frac{R^3}{r} \end{aligned}$$

(ii) innerhalb

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho \int_0^r 4\pi r'^2 dr'}{r^2} = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{r^2} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} r$$

$$\varphi(r) = \varphi(R) - \int_R^r E_0(r') dr' = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 R} - \left[\frac{\rho}{6\epsilon_0} r'^2 \right]_R^r = \frac{\rho}{6\epsilon_0} (2R^2 - r^2 + R^2) = \frac{\rho}{6\epsilon_0} (3R^2 - r^2)$$

Diagramm: elektrisches Feld (E) und Potential (φ) der nicht leitenden Kugel



- b) Wie groß ist der elektrische Fluss $\phi(r)$ durch eine konzentrische Kugeloberfläche mit Radius r (i) außerhalb ($r > R$) und (ii) innerhalb ($r < R$) der geladenen Kugel?

Lösung:

Wie in (a) gesehen folgt aus dem Satz von Gauß: $\phi_{\text{el}} = \oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$ und der Kugelsymmetrie:

$$\phi_{\text{el}} = E(r) \cdot 4\pi r^2$$

Damit folgt:

(i) außerhalb

$$\begin{aligned} \phi_{\text{el}} &= E(r) \cdot 4\pi r^2 \\ &= \frac{\rho}{3\epsilon_0} \frac{R^3}{r^2} \cdot 4\pi r^2 \\ &= \frac{4\pi \cdot \rho}{3\epsilon_0} R^3 = \frac{Q}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

(ii) innerhalb

$$\begin{aligned} \phi_{\text{el}} &= E(r) \cdot 4\pi r^2 \\ &= \frac{\rho}{3\epsilon_0} r \cdot 4\pi r^2 \\ &= \frac{4\pi \cdot \rho}{3\epsilon_0} r^3 \end{aligned}$$

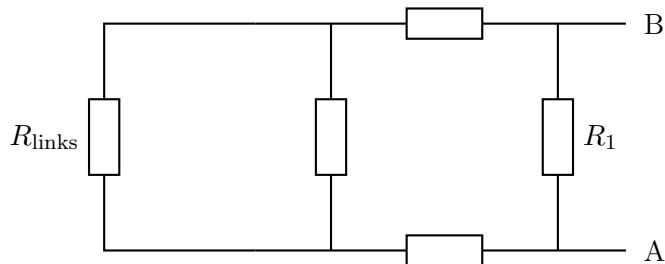
Aufgabe 7 (Schaltung aus Widerständen; Prüfung ExPh A/B F2016A7)

Gegeben ist nebenstehend abgebildete Schaltung.

- a) Welcher Gesamtwiderstand liegt zwischen den Punkten A und B, wenn die Einzelwiderstände jeweils $3\,\Omega$ haben? 2,20 Ω

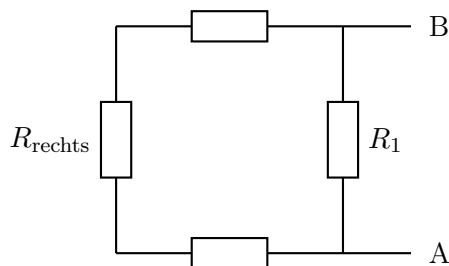
Lösung:

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



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

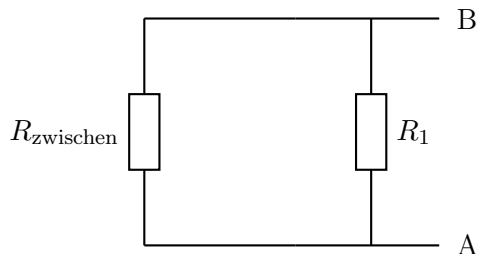
Diese drei Widerstände sind mit einem Widerstand parallel geschaltet $\rightarrow$ Ersatzwiderstand R_{rechts}



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_1 , der zum Widerstand R_{zwischen}

parallel geschaltet ist, erhält man:

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{\text{gesamt}}} &= \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{\text{zwischen}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{11}{4}R} \\ &= \frac{1}{R} + \frac{4}{11R} = \frac{11+4}{11R} = \frac{15}{11R} \\ \Rightarrow R_{\text{gesamt}} &= \frac{11}{15}R = \frac{11 \cdot 3}{15}\Omega = \frac{11}{5}\Omega = 2,2\Omega\end{aligned}$$

- b) Zwischen A und B wird eine elektrische Spannung von 10 V angelegt. Wie groß ist die an R_1 abfallende Spannung U_1 , der durch R_1 fließende Strom I_1 und die an R_1 erzeugte Wärmeleistung P_1 ? 10 V; $\frac{10}{3}$ A; $\frac{100}{3}$ W

Lösung:

Für den Widerstand R_1 gilt:

$$\begin{aligned}U_1 &= 10 \text{ V} \\ I_1 &= \frac{U_1}{R_1} = \frac{10}{3} \text{ A} \\ P_1 &= U_1 \cdot I_1 = 10 \text{ V} \cdot \frac{10}{3} \text{ A} = \frac{100}{3} \text{ W}\end{aligned}$$

- c) Zwischen A und B wird eine elektrische Spannung von 10 V angelegt. Wie groß ist die an R_2 abfallende Spannung U_2 ? $\frac{10}{11}$ V

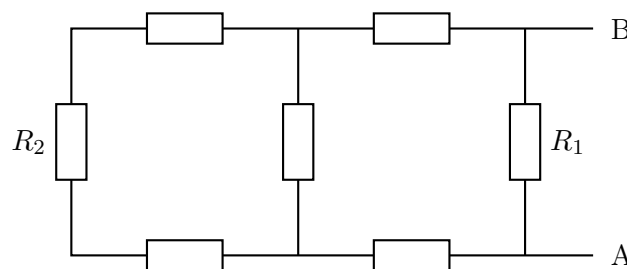
Lösung:

Durch R_{zwischen} fließt

$$I_{\text{zwischen}} = \frac{U_0}{R_{\text{zwischen}}} = \frac{40}{33} \text{ A}$$

Dieser Strom teilt sich dann im Verhältnis 3:1 auf, damit fließt durch R_{links} der Strom $I_{\text{links}} = \frac{1}{4}I_{\text{zwischen}}$. Dieser Strom geht dann auch durch R_2 . Damit gilt:

$$U_2 = R_2 \cdot I_{\text{links}} = \frac{10}{11} \text{ V}$$



Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 8 (Magnetfelder; Prüfung ExPh A/B F2016A8)

- a) Wie groß ist die magnetische Flussdichte B im Abstand $r = 1,0 \text{ m}$ von einem unendlich langen, mit einem elektrischen Strom der Stromstärke $I = 2,75 \text{ A}$ durchflossenen Leiter? $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

Lösung:

Betrag Magnetfeld:

$$B(r) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 2,75 \text{ A}}{2\pi \cdot 1,0 \text{ m}} \\ = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

Richtung mit der Rechte-Hand-Regel:

Umfasst man mit den Fingern der rechten Hand den Leiter, während der Daumen in Richtung der technischen Stromrichtung zeigt, so umfassen die Finger den Strom in Richtung des magnetischen Feldes, dessen Feldlinien konzentrische Kreise um den Leiter als Symmetrieachse darstellen.

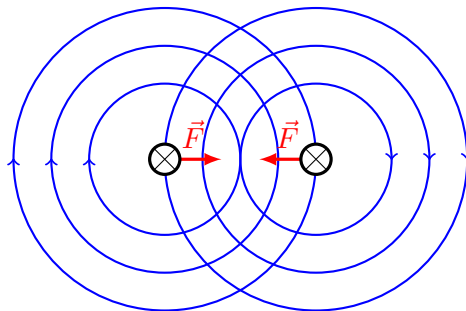
- b) Zwei solche unendlich langen Leiter verlaufen parallel zueinander im Abstand $d = 2 \text{ m}$ und werden von einem Strom der Stromstärke $I = 2,75 \text{ A}$ in gleicher Richtung durchflossen. Wie groß ist die pro Meter Drahtlänge wirkende Kraft? Ist diese anziehend oder abstoßend (bitte kurze Begründung mit Hilfe einer Skizze)? $7,56 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$

Lösung:

$$\frac{F(d)}{\ell} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot (2,75 \text{ A})^2}{2\pi \cdot 1,0 \text{ m}} \\ = 7,56 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$$

Bei parallelem Stromfluss ziehen sich die Leiter an, bei antiparallelem Stromfluss stoßen sie sich ab. Die Richtung des magnetischen Feldes des einen Leiter am Ort des Anderen lässt sich mit der rechten Hand bestimmen. Daumen zeigt in Stromrichtung, die Finger geben die Feldrichtung an. Die Richtung der Lorentzkraft ergibt sich ebenfalls mit der rechten Hand. Daumen in (konventionelle) Stromrichtung, Zeigefinger in Richtung des magnetischen Feldes. Die Kraft zeigt dann entlang des Mittelfingers.

Skizze:



- c) Wie lautet das Induktionsgesetz? Benennen Sie alle darin auftretenden Größen.

Lösung:

Eine zeitliche Änderung des magnetischen Flusses induziert eine Spannung, die seine Ursache entgegen wirkt.

$$U_{\text{ind}} = -\dot{\Phi} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

mit:

U_{ind} : Induzierte Spannung

Φ : magnetischer Fluss

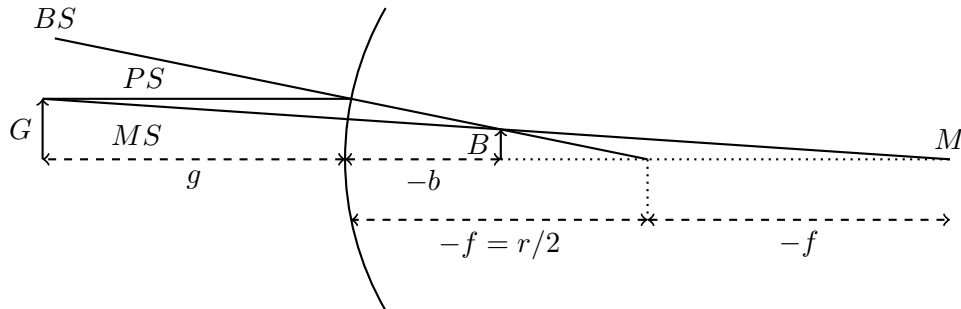
$\dot{\Phi}$: zeitliche Änderung des magnetischen Flusses

Aufgabe 9 (Wölbspiegel; Prüfung ExPh A/B F2016A9)

Vor einem sphärischen Wölbspiegel mit dem Krümmungsradius $r = 10 \text{ cm}$ steht im Abstand $g = 10 \text{ cm}$ ein Gegenstand der Größe $G = 2 \text{ cm}$.

- a) Zeichnen Sie den Strahlengang, benennen Sie alle wesentlichen Strahlen sowie den Brennpunkt F und den Mittelpunkt M des Hohlspiegels, erklären Sie kurz in Worten die Bildkonstruktion und skizzieren Sie die Lage des (virtuellen) Bildes.

Lösung:



- $f = -\frac{r}{2}$
Das Vorzeichen ist Konvention und hängt von der Krümmung des Spiegels ab. Beim Wölbspiegel liegt M hinter dem Spiegel.
- Mittelpunktstrahl (MS) wird in sich selbst reflektiert.
- (achsennaher) Parallelstrahl (PS) $\rightarrow$ Brennstrahl (BS)
(mit $f = -\frac{r}{2} \rightarrow$ Einfallswinkel = Ausfallswinkel bei Reflexion)
- virtuelles Bild entsteht am Schnittpunkt von MS und BS

- b) Berechnen Sie die Größe und die Lage des Bildes.

Lösung:

Abbildungsgleichung:

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$$

mit $f = -\frac{r}{2}$: Vorzeichen ist Konvention: „-“ bei Wölbspiegel (d.h. M hinter Spiegel)

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = -\frac{2}{r} \rightarrow b = -\frac{1}{\frac{2}{r} + \frac{1}{g}}$$

$$b = -\frac{1}{\frac{2}{0,1 \text{ m}} + \frac{1}{0,1 \text{ m}}} = -\frac{10}{3} \text{ cm}$$

Vergrößerung:

$$V = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g} \rightarrow B = -G \frac{b}{g} = -1 \text{ cm} \frac{-\frac{10}{3} \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = \frac{2}{3} \text{ cm}$$

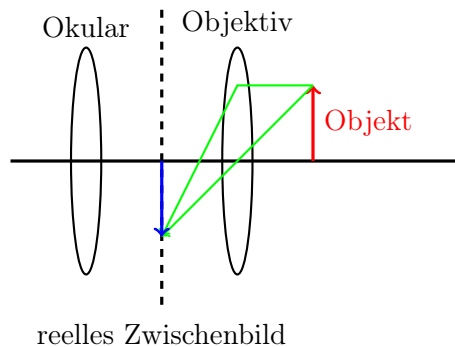
$$\frac{2}{3} \text{ cm}; -\frac{10}{3} \text{ cm}$$

- c) Skizzieren und erklären Sie Aufbau und Funktionsprinzip eines optischen Mikroskops und benennen Sie die einzelnen Komponenten aus denen es aufgebaut ist.

Lösung:

Optische Mikroskope sind Geräte, die stark vergrößerte Bilder von kleinen (oft für das Auge nicht sichtbaren) Strukturen oder Objekten erzeugen. Sie sind wie folgt aufgebaut.

Skizze:



Das Objektiv erzeugt ein reelles, vergrößertes Zwischenbild der Probe, das mit einer Lupe, dem Okular betrachtet wird. Die Gesamtvergrößerung ist das Produkt der Vergrößerung von Objektiv und Okular: $v = v_{\text{Objektiv}} \cdot v_{\text{Okular}}$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 10 (Relativistisches Elektron 1; Prüfung ExPh A/B F2016A10)

Ein Elektron wird aus der Ruhe mit einer Spannung U_0 beschleunigt, bis seine Masse das 1,37-fache seiner Ruhemasse beträgt.

- a) Berechnen Sie die kinetische Energie des Elektrons.

$$3,03 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

Lösung:

Die Gesamtenergie des Elektrons ist die Summe aus Ruheenergie und kinetischer Energie.

$$\begin{aligned} E &= E_{\text{kin}} + E_0 \\ \Rightarrow E_{\text{kin}} &= E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 \\ &= 1,37m_0c^2 - m_0c^2 = 0,37m_0c^2 = 3,03 \cdot 10^{-14} \text{ J} \end{aligned}$$

- b) Wie groß ist der Impuls des Elektrons?

$$2,56 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Lösung:

Es gilt: $m = \gamma m_0 = 1,37m_0$ mit $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Daraus lässt sich die Geschwindigkeit v bestimmen zu

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,37 \\ \frac{1}{1,37} &= \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \left(\frac{1}{1,37}\right)^2 &= 1 - \frac{v^2}{c^2} \\ 1 - \left(\frac{1}{1,37}\right)^2 &= \frac{v^2}{c^2} \\ v &= c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{1,37}\right)^2} = 2,05 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Damit ergibt sich der Impuls

$$\begin{aligned}p &= m \cdot v = 1,37 m_0 v \\ &= 1,37 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,05 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,56 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Alternative:

$$\begin{aligned}E_{\text{kin}} &= \frac{p^2}{2m} \\ p &= \sqrt{2mE_{\text{kin}}} = 2,35 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

- c) Mit welcher Spannung U_0 wurde das Elektron beschleunigt? $1,89 \cdot 10^5 \text{ V}$

Lösung:

Energieerhaltung

$$\begin{aligned}E_{\text{pot}} &= E_{\text{kin}} \\ eU_0 &= E_{\text{kin}} \\ \Rightarrow U_0 &= \frac{E_{\text{kin}}}{e} = 1,89 \cdot 10^5 \text{ V}\end{aligned}$$

- d) Wie lauten die Einstein'schen Postulate? Relativitätsprinzip, $c = \text{const.}$

Lösung:

Als Einstein'sche Postulate werden zwei entscheidende Grundannahmen bezeichnet, die Albert Einstein 1905 in seiner Arbeit zur Elektrodynamik bewegter Körper traf, um auf diesen die spezielle Relativitätstheorie zu begründen.

- Das erste Postulat ist das Relativitätsprinzip und besagt, dass physikalische Gesetze invariant gegen den Wechsel des Inertialsystems sind, d.h. dass sie in allen Inertialsystemen gleich sind. Aus diesem Grund lässt sich prinzipiell keine absolute Bewegung feststellen, sodass alle Bewegungen als relativ angesehen werden müssen.
- Das zweite Prinzip ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Es besagt, dass in allen Inertialsystemen die Vakuumlichtgeschwindigkeit gleich groß ist.