

- Von einem Rettungsflugzeug, das sich mit einer Geschwindigkeit $v = 55,0$ m/s in der Höhe $h = 200$ m horizontal bewege, werde eine Rettungskapsel fallengelassen. Vernachlässigen Sie den Luftwiderstand.
 - Welche Art von Flugbahn durchläuft die Kapsel? Skizzieren Sie den Verlauf der Flugbahn.
 - Berechnen Sie die Fallzeit bis zum Auftreffen der Kapsel auf den Boden.
 - Wie groß ist der Betrag der Geschwindigkeit v_K der Kapsel beim Auftreffen auf den Boden?
- Zwei Körper gleicher Masse m werden beschleunigt bewegt. In beiden Fällen sei der Betrag a der Beschleunigung gleich und zeitlich konstant. Bei Körper A steht die Richtung der Beschleunigung stets senkrecht auf der Richtung seiner Geschwindigkeit. Bei Körper B zeigt die Beschleunigung stets in Richtung seiner Geschwindigkeit. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei Körper B in Ruhe, Körper A habe die Anfangsgeschwindigkeit v_0 .
 - Welche Form hat die jeweilige Bahn der beiden Körper?
 - Zu welchem Zeitpunkt t_2 sind die Beträge der Geschwindigkeiten beider Körper gleich?
 - Welche Strecken haben Körper A und Körper B bis dahin jeweils zurückgelegt?
 - Wie groß sind zum Zeitpunkt t_2 die kinetische Energie, der Impuls und der Drehimpuls des Körpers A?
- Zwei Massen m_1 und m_2 führen einen zentralen, elastischen Stoß aus. Die Geschwindigkeiten der Massen vor dem Stoß seien $v_1 \neq 0$ und $v_2 = 0$.
 - Welche Erhaltungssätze der Mechanik sind bei dem Stoß erfüllt? Stellen Sie (i) ganz allgemein und (ii) für den gegebenen Fall $v_2 = 0$ die Gleichungen für die Erhaltungssätze auf.
 - Wie groß sind die Geschwindigkeiten v_1' und v_2' nach dem Stoß für die Fälle (i) $m_1 \ll m_2$ und (ii) $m_1 = m_2$?
Geben Sie jeweils eine kurze Begründung anhand einer kleinen qualitativen Skizze, in der die Massen und die Geschwindigkeitsvektoren vor und nach dem Stoß eingezeichnet sind.
- Ein mit Helium-Gas (ideales Gas) der Masse m_{He} auf den Umgebungsdruck $p_0 = 1,00$ bar gefüllter Ballon (Volumen $V = 120$ m³) werde von der Sonne gleichmäßig erwärmt. Seine Temperatur steigt von der Umgebungstemperatur $T_1 = 300$ K auf $T_2 = 315$ K an. Um welchen Betrag ändert sich dabei die Tragkraft des Ballons, wenn
 - der Ballon geschlossen ist und sein Volumen konstant bleibt,
 - der Ballon geschlossen ist und sein Druck konstant bleibt.

Zahlenwerte: Dichte der Luft bei T_1 und p_0 : $\rho_{\text{Luft}} = 1,18$ kg/m³;
Dichte des Heliums bei T_1 und p_0 : $\rho_{\text{He}} = 0,179$ kg/m³.
- Wasserstoffmoleküle
 - Welche Gewichtskraft wirkt nahe der Erdoberfläche auf ein Wasserstoffmolekül (H₂)?
 - Wie viele Moleküle sind in 10 g Wasserstoff (H₂) enthalten?
 - Welche Geschwindigkeit v_{rms} haben Wasserstoffmoleküle bei einer Temperatur von 300 K?
 - Berechnen Sie die spezifische Wärme c_v von 1 mol Wasserstoff H₂ (ideales, zweiatomiges Gas).
Erläutern Sie kurz in Worten, was der Index „v“ bei c_v bedeutet.

Zahlenwert: Molmasse von molekularem Wasserstoff H₂: $M_{\text{H}_2} = 2,0$ g/mol.
- Eine isolierte, elektrisch leitende Kugel mit dem Radius $R = 2,00$ cm trage eine Ladung von $q = 1,45$ nC.
 - Wie groß ist die elektrische Ladungsdichte σ auf der Kugeloberfläche?
 - Wie groß sind jeweils die elektrische Verschiebungsdichte D und die elektrische Feldstärke E , und zwar (i) im Inneren der Kugel und (ii) im Außenraum direkt an der Oberfläche der Kugel?
 - Wie groß ist die elektrische Energiedichte w im Außenraum unmittelbar an der Oberfläche der Kugel?

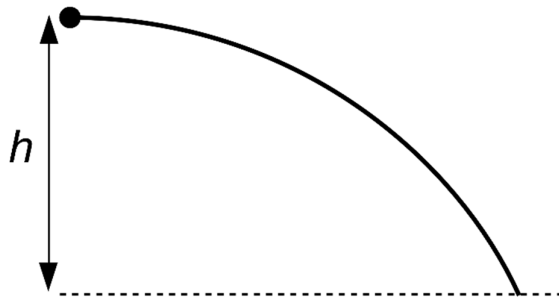
Lösungsvorschlag zur Klausurprüfung in Experimentalphysik A und B

**Lehramt Chemie, Lebensmittelchemie, Chemie,
Chem. Biologie, Biologie, Lehramt NWT, Geodäsie,
Angewandte Geowissenschaften, Geoökologie,
Materialwiss. & Werkstofftechnik ETIT (vor PO 2015),
Technische VWL, Ingenieur-Pädagogik,
Wissenschaft – Medien – Kommunikation**

Frühjahr 2024

Aufgabe 1: Schiefer Wurf

- a) Die Flugbahn hat die Form einer nach unten geöffneten Parabel:



- b) Die vertikale Bewegung ist unabhängig von der horizontalen. Für erstere gilt (Koordinatenursprung im Abwurfpunkt):

$$y(t) = h - \frac{1}{2}gt^2$$

Auftreffen auf dem Boden bei $y(t) = 0$:

$$0 = h - \frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{-\frac{2h}{g}} = \sqrt{-\frac{2 \cdot (-200 \text{ m})}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 6,39 \text{ s}$$

- c) Die Komponenten des Geschwindigkeitsvektors \boldsymbol{v}_K vor dem Auftreffen sind:

$$v_x = v_{x_0} = 55,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_y = -g \cdot t = -9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,39 \text{ s} = -62,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

und damit sein Betrag

$$|v_K| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(55,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \left(-62,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 83,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aufgabe 2: Zwei beschleunigte Körper

- a) Körper A bewegt sich auf einer Kreisbahn mit betragsmäßig konstanter Geschwindigkeit.
Körper B bewegt sich geradlinig.

b) $v_0 = a \cdot t_2 = \frac{v_0^2}{r} \cdot t_2 \Rightarrow r = \frac{v_0^2}{a}; t_2 = \frac{r}{v_0} = \frac{v_0}{a}$

c) $s_A = v_0 \cdot t = v_0 \cdot \frac{r}{v_0} = r = \frac{v_0^2}{a}$

$$s_B = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{r} \cdot \frac{r^2}{v_0^2} = \frac{r}{2} = \frac{v_0^2}{2 \cdot a}$$

d) $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$

$$p = m \cdot v_0$$

$$L = m \cdot r \cdot v_0 = m \cdot \frac{v_0^2}{a} \cdot v_0 = \frac{m \cdot v_0^3}{a}$$

Aufgabe 3: Elastischer Stoß

- a) Impulserhaltungssatz (IES)
Energieerhaltungssatz (EES)

(i) Allgemein:

$$\text{IES: } m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$\text{EES: } \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v_2^2 = \frac{m_1}{2} \cdot v_1'^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v_2'^2$$

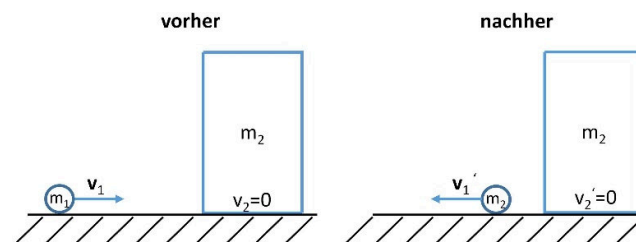
(ii) für $v_2 = 0$:

$$\text{IES: } m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$\text{EES: } \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{2} \cdot v_1'^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v_2'^2$$

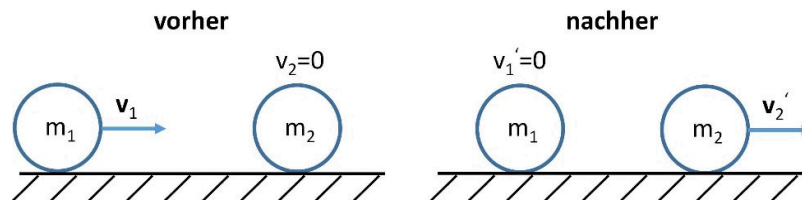
- b) (i) $m_1 \ll m_2$:

$$v_1' = -v_1; \quad v_2' = v_2 = 0$$



- (ii) $m_1 = m_2$:

$$v_1' = 0; \quad v_2' = -v_1$$



Herleitung (nicht verlangt)

$$\text{IES} \quad \Rightarrow m_1(v_1 - v_1') = m_2 v_2' \quad (1)$$

$$\text{EES} \quad \Rightarrow m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2 v_2'^2 \Rightarrow m_1(v_1 - v_1')(v_1 + v_1') = m_2 v_2'^2 \quad (2)$$

$$\text{Aus (1) und (2):} \quad \Rightarrow (v_1 + v_1') = v_2' \quad (3)$$

$$\text{in (1)} \quad m_1 v_1 - m_1 v_1' = m_2 v_1 + m_2 v_1'$$

$$\Rightarrow v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \quad \text{bzw. mit (3)} \quad v_2' = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + 1 \right) v_1 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

Aufgabe 4: Heliumballon

$$\Delta F = \Delta F_A - \Delta G = \rho_{\text{Luft}} \cdot \Delta V \cdot g - \Delta m_{\text{He}} \cdot g$$

Thermische Zustandsgleichung idealer Gase: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

a) $V = \text{const.} \Rightarrow \Delta F_A = 0$

$$m_{\text{He}} = \text{const.} \Rightarrow \Delta G = 0$$

$$\Rightarrow \Delta F = 0$$

Da sich weder das Gewicht der verdrängten Luft (Auftriebskraft) noch das Gewicht des gefüllten Ballons ändern, bleibt die Tragkraft des Ballons unverändert.

b) $n, p = \text{const.} \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const.} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot V_1 \Rightarrow \Delta V = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$

$$m_{\text{He}} = \text{const.} \Rightarrow \Delta G = 0$$

$$\Delta F = \rho_{\text{Luft}} \cdot \Delta V \cdot g = \rho_{\text{Luft}} \cdot V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot g = 1,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 120 \text{ m}^3 \cdot \left(\frac{315 \text{ K}}{300 \text{ K}} - 1 \right) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 69,5 \text{ N}$$

Das Gewicht der zusätzlich verdrängten Luft erhöht die Tragkraft des Ballons.

Aufgabe 5: Wassermoleküle

a) $F_G = m_{\text{H}_2} \cdot g = \frac{M_{\text{H}_2}}{N_A} \cdot g$ mit $M_{\text{H}_2} = (1 + 1) \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

Einsetzen: $F_G = \frac{0,002 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,26 \cdot 10^{-26} \text{ N}$

b) Anzahl der Mole: $n = \frac{m}{M_{\text{H}_2}}$

Anzahl der Moleküle: $N = N_A \cdot n = N_A \cdot \frac{m}{M_{\text{H}_2}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot \frac{10 \text{ g}}{2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3,01 \cdot 10^{24}$

c) $\frac{M}{2} \cdot \bar{v}^2 = \frac{3}{2} \cdot R \cdot T \Rightarrow \sqrt{\bar{v}^2} = v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M_{\text{H}_2}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 300 \text{ K}}{0,002 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}} = 1930 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

d) Für ein zweiatomiges Gas ist die Anzahl der Freiheitsgrade $f = 5$.

Spezifische Wärme bei konstantem Volumen:

$$c_V = \frac{f}{2} \cdot R = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 20,8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Spezifische Wärme bei konstantem Druck:

$$c_p = \left(\frac{f}{2} + 1\right) \cdot R = \left(\frac{5}{2} + 1\right) \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 29,1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Der Index „V“ steht für das Volumen.

Aufgabe 6: Energie im elektrischen Feld

a) Ladungsdichte σ : Ladung pro Fläche

$$\text{Oberfläche } A = 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 4 \cdot \pi \cdot (0,0200 \text{ m})^2 = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{q}{A} = \frac{1,45 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{5,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 2,9 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

b) (i) Sowohl die Verschiebungsdichte D als auch das E -Feld im Innern ist null, da die Kugel leitend ist.

(ii) E -Feld an der Oberfläche ($r = R$):

$$E(R) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q}{R^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}} \cdot \frac{1,45 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(0,02 \text{ m})^2} = 32,6 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$$

Verschiebungsdichte an der Oberfläche D :

$$D = \epsilon_0 \cdot E = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 32,6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 2,89 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

c) Elektrische Energiedichte w :

$$w = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{2} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \left(32,6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}} \right)^2 = 4,70 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

Aufgabe 7: Wheatstone'sche Brückenschaltung

a) $U_{\text{Brücke}} = 0 \Rightarrow \frac{x}{\ell-x} = \frac{R_x}{R_4} \Rightarrow R_x = R_4 \cdot \frac{x}{\ell-x} = R_4 \cdot \frac{0,75 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} = 3 \cdot R_4 = 3,00 \text{ k}\Omega$

b) $P = U_0 \cdot I_\ell = U_0 \cdot \frac{U_0}{R_\ell} = 0,001 \text{ W}$

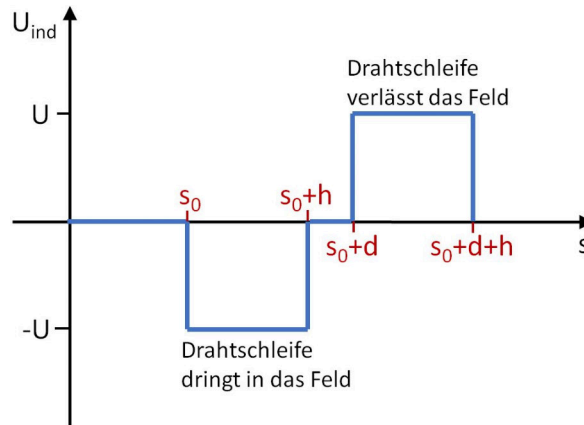
- c) Knotenregel: Die Summe aller Ströme, die zu einem Knoten hinfließen, ist gleich der Summe der Ströme, die von diesem Knoten wegfließen.

Maschenregel: Beim Durchlaufen einer Masche (also einer geschlossenen Schleife) in einem willkürlich festgelegten Umlaufsinn ist die Summe aller Spannungen gleich Null.

Anwendung: Widerstandsnetzwerke

Aufgabe 8: Induktion

a)



$$|U| = |-\dot{\Phi}| = B \cdot \frac{dA}{dt} = B \cdot l \cdot v = 1,1 \text{ T} \cdot 0,050 \text{ m} \cdot 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5,50 \text{ mV}$$

$$\text{b) } I = \frac{U}{R} = \frac{B \cdot l \cdot v}{R} = \frac{1,1 \text{ T} \cdot 0,050 \text{ m} \cdot 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,5 \cdot 10^{-3} \Omega} = 3,67 \text{ A}$$

$$\text{c) } P = U \cdot I = 5,50 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot 3,67 \text{ A} = 20,2 \text{ mW}$$

$$F_m = B \cdot I \cdot l = 1,1 \text{ T} \cdot 3,67 \text{ A} \cdot 0,050 \text{ m} = 202 \text{ mN}$$

Lenzsche Regel: Der Induktionsstrom ist so gerichtet, dass er der Änderung des magnetischen Flusses entgegenwirkt. Die Kraft wirkt nach oben.

Aufgabe 9: Optik und Laser

a) Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

b) Laserlicht ist typischerweise monochromatisch, parallel und kohärent.

c) (i)
$$E_{\text{Photon}} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js} \cdot \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{650 \cdot 10^{-9} \text{m}} = 3,06 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

(ii) Emittierte Energie des Lasers pro Sekunde: $E = P \cdot t = 0,80 \text{ mW} \cdot 1 \text{ s} = 0,80 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

Das entspricht $N = \frac{E}{E_{\text{Photon}}} = \frac{0,80 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,61 \cdot 10^{15}$ Photonen.

Aufgabe 10: Radioaktiver Zerfall

a) Zerfallsgesetz:

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

$N(t)$: Zahl der Mutterkerne (noch nicht zerfallen) zur Zeit t

N_0 : Zahl der Mutterkerne (noch nicht zerfallen) zur Zeit $t = 0$

α : Zerfallskonstante

b) Nach Abwarten der Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist jeweils nur noch die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Mutterkerne vorhanden, also:

$$N(T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot N(t = 0) = \frac{1}{2} \cdot N_0$$

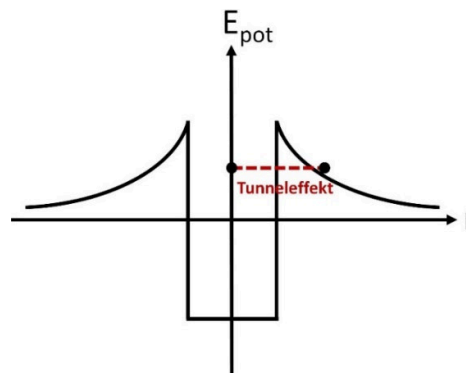
Nach Ablauf der Halbwertszeit ist also nur noch $0,5 \cdot N_0$ vorhanden.

Nach Abwarten des Dreifachen seiner Halbwertszeit gilt:

$$N(3 \cdot T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot N(t = 0) = \frac{1}{8} \cdot N_0 \Rightarrow m(3 \cdot T_{1/2}) = \frac{1}{8} \cdot m_0 = \frac{1}{8} \cdot 0,080 \text{ kg} = 10 \text{ g}$$

b) Beim α -Zerfall wird ein α -Teilchen durch den Atomkern emittiert. Das α -Teilchen wäre nach der klassischen Physik stabil im Kern gebunden (siehe Skizze des Potentialverlaufs). Mittels des quantenmechanischen Tunneleffekts kann es ihn jedoch verlassen.

Beim α -Teilchen handelt es sich um einen Helium-Kern ${}^4_2\text{He}^{2+}$, d. h. zwei Protonen und zwei Neutronen.



Änderung der Kennzahlen des zerfallenen Kerns:

Protonenzahl: $Z \rightarrow Z - 2$

Neutronenzahl: $N \rightarrow N - 2$

Massezahl $A = Z + N$: $A \rightarrow A - 4$

Die Zahl der Elektronen in der (neutralen) Atomhülle reduziert sich um 2.