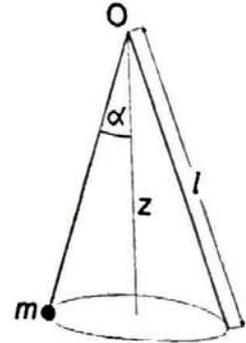


1. Von einem Rettungsflugzeug, das sich mit einer Geschwindigkeit $v_{0,x} = 65 \text{ m/s}$ in der Höhe $h = 240 \text{ m}$ horizontal bewege, werde eine Rettungskapsel der Masse $m = 150 \text{ kg}$ fallengelassen. Vernachlässigen Sie den Luftwiderstand.

- Welche Art von Flugbahn durchläuft die Kapsel? Skizzieren Sie den Verlauf der Flugbahn.
- Berechnen Sie die Fallzeit bis zum Auftreffen.
- Wie groß sind der Betrag der Geschwindigkeit v_k und die kinetische Energie $E_{\text{kin},k}$ der Kapsel beim Auftreffen auf den Boden?

2. 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.

- Um welchen Winkel α_1 gegen die Vertikale ist der Faden bei einer Winkelgeschwindigkeit ω_1 ausgelenkt?
- Mit welcher Kraft F_{Faden} ist der Faden dann gespannt? Wie groß ist dann die Zentralkraft F_{Zentral} auf die Masse m ?
- Wie groß ist der Winkel α_2 bei einer gegebenen Umlaufgeschwindigkeit von v_2 ?
- Welcher Winkel α_{max} kann maximal erzielt werden, falls das Seil bei einer Belastung mit der Kraft F_{max} reißt?
- Wie groß ist dann der Drehimpuls L der Masse m unmittelbar vor dem Reißen des Seils, wie groß der Impuls p unmittelbar danach?



Zahlenwerte: $m = 100 \text{ g}$; $l = 1,5 \text{ m}$; $\omega_1 = 4,0 \text{ s}^{-1}$; $v_2 = 10 \text{ km/h}$; $F_{\text{max}} = 15 \text{ N}$.

3. Schwingungen und Wellen

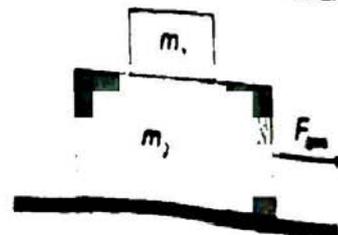
- Was ist der Unterschied zwischen einer Schwingung und einer Welle?
- In einer mit Luft gefüllten Orgelpfeife (Länge der Luftsäule: $1,0 \text{ m}$) bildet sich eine stehende Welle aus. Zeichnen Sie maßstabsgetreu Wellenbäuche und Knoten für die Grundschwingung und die erste Oberschwingung ein für den Fall, dass die Orgelpfeife beidseitig offen ist.
- Welche Frequenzen haben für die Orgelpfeife aus b) die Grundschwingung und die erste Oberschwingung?
- Zeichnen Sie nun für den Fall, dass die Orgelpfeife nur einseitig offen ist, ebenfalls maßstabsgetreu in einem Diagramm Wellenbäuche und Knoten für die Grundschwingung und die erste Oberschwingung und berechnen Sie die Frequenzen dieser Schwingungen.

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

4. Ein Block mit einer Masse m_2 ruhe auf einer reibungsfreien Fläche. Auf ihm liege ein zweiter Block der Masse m_1 . Zwischen den Blöcken sei die Haftreibungszahl μ_H und die Gleitreibungszahl μ_G .

- Welche Beschleunigung a_{max} kann maximal aufgebracht werden, ohne dass der obere Block auf dem unteren rutscht?
- Wie groß ist dann die gesamte Zugkraft F_{ges} ?
- Die Kraft F_{ges} sei nun halb so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes Blockes.
- Die Kraft F_{ges} sei jetzt doppelt so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes Blockes.

Zahlenwerte: $\mu_H = 0,3$, $\mu_G = 0,2$; $m_1 = 2 \text{ kg}$; $m_2 = 4 \text{ kg}$.



5. Ideale und reale Gase

- Was versteht man unter einem idealen Gas? Was sind seine mikroskopischen Merkmale?
- Die Innenluft eines 450 m^3 fassenden Heißluftballons wird bei einer Außentemperatur $T_1 = 17^\circ\text{C}$ 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 und die Luft in guter Näherung als ideales Gas betrachtet werden kann?
- Worin unterscheiden sich die ideale Gasgleichung und die van der Waals'sche Zustandsgleichung für reale Gase und warum? Erläutern Sie kurz in Worten die Bedeutung der beiden Terme, in denen sich die beiden Gleichungen unterscheiden. Wie heißen diese Terme?

Zahlenwerte: Mittlere Molmasse von Luft: $28,8 \text{ g/mol}$.

6. Wärmetransport

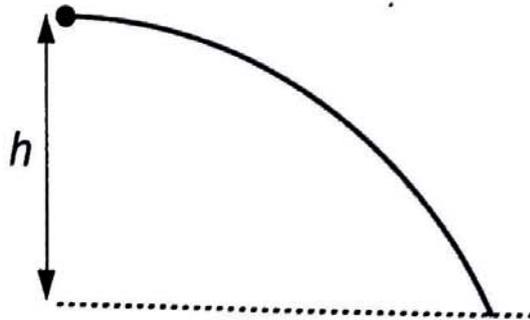
- Nennen Sie ganz allgemein drei Mechanismen für den räumlichen Transport von Wärmeenergie und beschreiben Sie jeden dieser Mechanismen kurz.
- Wie lautet die Wärmeleitungsgleichung? Benennen Sie alle darin auftretenden Größen.
- Was versteht man (i) unter dem Joule-Thomson-Effekt und (ii) unter dem Linde-Verfahren? Beschreiben Sie letzteres in Worten und unter Verwendung einer Skizze.
- Beschreiben Sie mit Hilfe einer Skizze die Funktion eines Kühlschranks. Welcher physikalische Effekt wird dabei zur Abkühlung des Innenraumes genutzt?
- Erläutern Sie das Prinzip einer Carnot-Wärmepumpe und zeichnen Sie den Carnot-Prozess im pV -Diagramm für den Betrieb als Wärmepumpe. Benennen Sie die einzelnen Prozessschritte und zeichnen Sie mit Pfeilen den Umlaufsinn des Kreisprozesses sowie die Wärme- und Energieströme (mit Pfeilrichtung) für den Betrieb als Wärmepumpe.

Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Universelle Gaskonstante: $R = 8,3 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$

Aufgabe	1	2	3	4	5	6
Punkte	4	8	6	6	8	8

Aufgabe 1: Flugbahn der Rettungskapsel

- 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):

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

$$\Rightarrow t = \sqrt{-\frac{2h}{g}} = \sqrt{-\frac{2(-240 \text{ m})}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 6,99 \text{ s}$$

- c) Die Komponenten des Geschwindigkeitsvektors \vec{v}_i beim Auftreffen sind

$$v_x = v_{0,x} = 65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_y = -gt = -9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,99 \text{ s} = -68,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

und damit sein Betrag

$$|\vec{v}_i| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(65 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \left(-68,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 94,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Für die kinetische Energie gilt

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m|\vec{v}_i|^2 = \frac{1}{2} \cdot 150 \text{ kg} \cdot \left(94,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 670 \text{ kJ}$$

Aufgabe 2: Kreisbewegung

$$\text{a) } \tan \alpha_1 = \frac{F_z}{F_G} = \frac{m\omega_1^2 r}{mg} = \frac{\omega_1^2 r}{g} = \frac{\omega_1^2 \ell \sin \alpha}{g} = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1}$$

$$\Rightarrow \cos \alpha_1 = \frac{g}{\omega_1^2 \ell} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\left(4,0 \frac{1}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1,5 \text{m}} \Rightarrow \alpha_1 = 66^\circ$$

$$\text{b) } F_z = m\omega_1^2 r = m\omega_1^2 \ell \sin \alpha = 0,1 \text{ kg} \cdot (4 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot \sin(66^\circ) = 2,2 \text{ N}$$

$$\Rightarrow F_{\text{Faden}} = \sqrt{F_G^2 + F_z^2} = \sqrt{(mg)^2 + F_z^2} = \sqrt{(0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)^2 + (2,2 \text{ N})^2} = 2,4 \text{ N}$$

$$\text{c) } \tan \alpha_2 = \frac{F_z}{F_G} = \frac{m \frac{v_2^2}{r}}{mg} = \frac{v_2^2}{gr} = \frac{v_2^2}{gl \sin \alpha_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\cos \alpha_2}$$

$$\Rightarrow v_2^2 \cos \alpha_2 = gl \sin^2 \alpha_2 = gl(1 - \cos^2 \alpha_2)$$

$$\Rightarrow gl \cos^2 \alpha_2 + v_2^2 \cos \alpha_2 - gl = 0$$

$$\Rightarrow \cos \alpha_2 = \frac{1}{2gl} \left(-v_2^2 + \sqrt{v_2^4 + 4g^2 \ell^2} \right)$$

$$\Rightarrow \alpha_2 = 40^\circ$$

$$\text{d) } F_{\text{max}} = \frac{F_G}{\cos \alpha_{\text{max}}} \Rightarrow \alpha_{\text{max}} = 86^\circ$$

e) Drehimpuls unmittelbar vor dem Reißen:

$$L = mr^2 \omega = m \cdot (\ell \sin \alpha_{\text{max}})^2 \cdot \sqrt{\frac{g}{\ell \cos \alpha_{\text{max}}}} = 0,1 \text{ kg} \cdot (1,5 \text{ m} \cdot \sin(86^\circ))^2 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1,5 \text{ m} \cdot \cos(86^\circ)}} = 2,2 \text{ kg m}^2/\text{s}$$

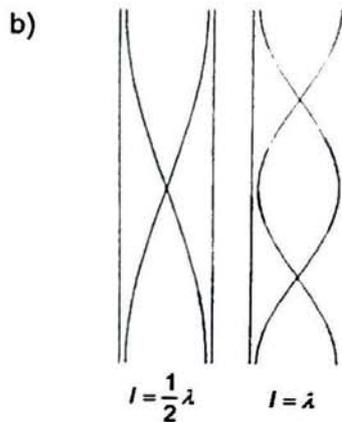
Impuls unmittelbar nach dem Reißen (Die Masse bewegt sich dann geradlinig tangential zur ursprünglichen Kreisbewegung):

$$v = \omega r = \sqrt{\frac{g}{\ell \cos \alpha_{\text{max}}}} \cdot (\ell \sin \alpha_{\text{max}}) = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1,5 \text{ m} \cdot \cos(86^\circ)}} \cdot (1,5 \text{ m} \cdot \sin(86^\circ)) = 14,5 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow p = mv = 0,1 \text{ kg} \cdot 14,5 \text{ m/s} = 1,5 \text{ kg m/s}$$

Aufgabe 3: Schwingungen und Wellen

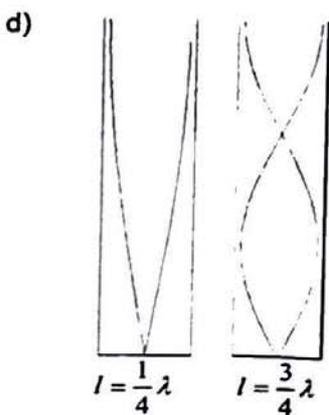
- a) Im Unterschied zu Schwingungen breiten sich Wellen aus, Schwingungen finden nur lokal statt. Schwingungen haben eine räumliche und zeitliche Komponente und werden durch eine Funktion der Form $f(\vec{r}, t)$ beschrieben.



c) $f = \frac{c_{\text{Schall, Luft}}}{\lambda}$

Grundschiwingung $\lambda = 2l \Rightarrow f = \frac{c_{\text{Schall, Luft}}}{2l} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 1 \text{ m}} = 170 \text{ Hz}$

1. Oberschiwingung $\lambda = l \Rightarrow f = \frac{c_{\text{Schall, Luft}}}{l} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ m}} = 340 \text{ Hz}$



Grundschiwingung $\lambda = 4l \Rightarrow f = \frac{c_{\text{Schall, Luft}}}{4l} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \cdot 1 \text{ m}} = 85 \text{ Hz}$

1. Oberschiwingung $\lambda = \frac{4}{3}l \Rightarrow f = \frac{c_{\text{Schall, Luft}}}{\frac{4}{3}l} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\frac{4}{3} \cdot 1 \text{ m}} = 255 \text{ Hz}$

Aufgabe 4: Reibung

a) Block oben: $F_{a,1} = F_{R,1} \Rightarrow m_1 a_{\max} = \mu_H m_1 g \Rightarrow a_{\max} = \mu_H g = 2,94 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) Kraft unten: $F_{\text{ges}} = m \cdot a_{\max} = (m_1 + m_2) a_{\max} = 17,7 \text{ N}$

c) $a_1 = a_2 = \frac{F_{\text{ges}}}{2(m_1 + m_2)} = \frac{a_{\max}}{2} = \frac{\mu_H g}{2} = 1,47 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

d) $m_1 a_1 = \mu_G m_1 g \Rightarrow a_1 = \mu_G g = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$m_2 a_2 = F - F_{R,1} = 2(m_1 + m_2) \mu_H g - m_1 \mu_G g \Rightarrow a_2 = \frac{2(m_1 + m_2) \mu_H - m_1 \mu_G}{m_2} g = 7,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aufgabe 5: Ideale und reale Gase

a) Ein ideales Gas ist eine idealisierte Modellvorstellung des realen Gases. Es gibt drei mikroskopische Merkmale:

1. Das Gas besteht aus einer großen Zahl von Teilchen, die untereinander und mit den Wänden nur elastische Stöße ausführen.
2. Die Teilchen werden als ausdehnungslose Massepunkte angenommen. Damit dies gilt, muss ein großer Teilchenabstand vorliegen, d.h. das Gefäßvolumen muss viel größer als das Eigenvolumen der darin enthaltenen Teilchen sein.
3. Zwischen den Stößen bewegen sich die Teilchen wechselwirkungsfrei.

b) Es gilt: $pV = nRT$ (ideales Gasgesetz)

Während der Erwärmung des Ballons gilt:

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

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

n_1 : Stoffmenge der Luft im Ballon verändert sich mit T

$$\text{bei } T_1: n_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{9,7 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 450 \text{ m}^3}{8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot 290 \text{ K}} = 1,81 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

$$\text{bei } T_2: n_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2} = n_1 \frac{T_1}{T_2} = 1,81 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot \frac{290 \text{ K}}{383 \text{ K}} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

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

$$\text{Molmasse von Luft: } M_{\text{Luft}} = \frac{4}{5} 2A_N + \frac{1}{5} 2A_O = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{Gewichtverlust Ballon: } \Delta m = \Delta n M_{\text{Luft}} = 127 \text{ kg}$$

$$\text{Nutzlast: } 127 \text{ kg} - 35 \text{ kg} = 92 \text{ kg}$$

c) Die van der Waals'sche Zustandsgleichung lautet: $\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - bn) = nRT$.

Im Vergleich zur idealen Gasgleichung enthält sie zwei zusätzliche Terme, durch die die Anziehungskraft zwischen den Teilchen und das Eigenvolumen der Teilchen berücksichtigt werden:

an^2/V^2 ist der Binnendruck (a : Binnendruckparameter): Hierbei werden auf das Gas wirkende innere anziehende Kräfte berücksichtigt, welche zusätzlich zum äußeren Druck p der Gefäßwände wirken.

bn ist das van-der-Waals-Kovolumen: Hierbei wird berücksichtigt, dass das für die Gasmoleküle verfügbare Volumen durch das Eigenvolumen vermindert wird.

Aufgabe 6: Wärmetransport (Teil1)

- a) Räumlicher Transport von Wärmeenergie findet infolge eines Temperaturunterschieds in Richtung der Orte mit tieferen Temperaturen statt. Man unterscheidet drei Prozesse:

1. Wärmeleitung

Der Wärmetransport findet in einem Medium ohne Transport von Materie statt. In dielektrischen Festkörpern (Isolatoren) geschieht die Wärmeleitung nur durch Gitterschwingungen. In elektrisch leitfähigen Körpern können auch die Elektronen zur Wärmeleitung beitragen. In Fluiden geschieht die Wärmeleitung durch Stöße zwischen Teilchen.

2. Konvektion

Der Wärmetransport findet in einem Fluid statt, wobei es zum Transport von Materie kommt, wegen $\rho = \rho(T)$ (genauer: wegen der Gravitation und Dichteunterschieden). So steigt beispielsweise warme Luft aufgrund der geringeren Dichte nach oben.

3. Wärmestrahlung

Hierbei handelt es sich um elektromagnetische Strahlung, die von Körpern emittiert wird und am Ort ihrer Entstehung im thermischen Gleichgewicht mit der Materie ist. Je größer T ist, desto mehr Wärmestrahlung wird emittiert. Es ist kein Medium erforderlich. Beispielweise ist Glühen von Materie Wärmestrahlung im sichtbaren Bereich.

b)
$$\frac{dQ}{dT} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

$\frac{dQ}{dT}$: Wärmestrom

λ : Wärmeleitfähigkeit des Materials

A : Querschnittsfläche

$\frac{dT}{dx}$: Temperaturunterschied pro Länge

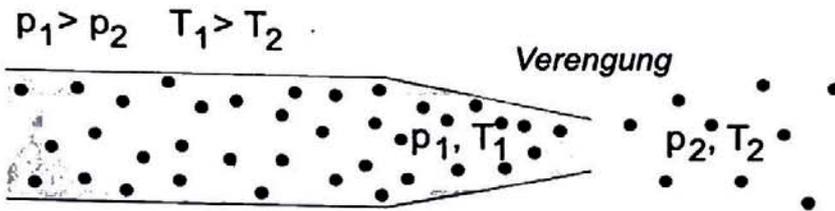
- c) (i) Joule-Thomson-Effekt

Unterhalb einer sogenannten Inversionstemperatur kühlen Gase beim Expandieren ab, weil sie Arbeit gegen die zwischenmolekularen Anziehungskräfte verrichten müssen. Die erforderliche Energie wird der Wärmebewegung der Gasmoleküle entzogen.

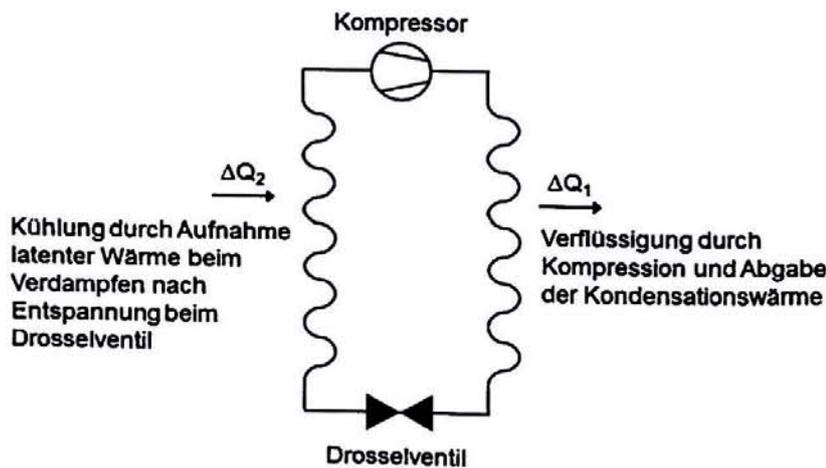
(ii) Linde-Verfahren

Das Linde-Verfahren nutzt den Joule-Thomson-Effekt zur Verflüssigung von Gasen (z.B. Luft). Wesentlicher Bestandteil des ursprünglichen Linde-Verfahrens ist ein Drosselventil, das den Druck des durchfließenden Fluids vermindert und damit eine Expansion bewirkt (siehe Abbildung).

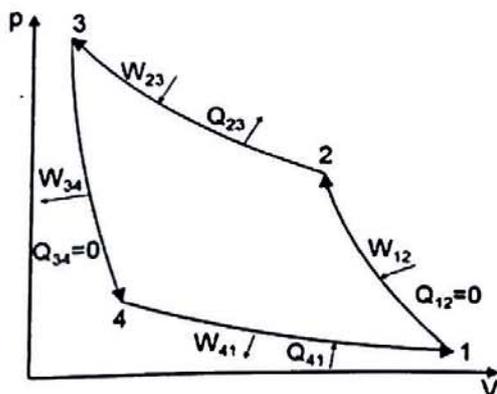
Aufgabe 6: Wärmetransport (Teil2)



d) Funktion eines Kühlschranks



e) Bei einer Carnot-Wärmepumpe wird unter Verrichtung mechanischer Arbeit Wärmeenergie einem kälteren Reservoir entzogen und einem wärmeren Reservoir zugeführt. Dabei wird ein Kreisprozess aus zwei Isothermen und zwei Adiabaten durchlaufen.



- 1 – 2 adiabatische Kompression
- 2 – 3 isotherme Kompression ($T = T_1 = \text{const.}$)
- 3 – 4 adiabatische Expansion
- 4 – 1 isotherme Expansion ($T = T_2 = \text{const.}, T_2 < T_1$)