

Klausur A Herbst 2017

Aufgabe 4.1 (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.
Halb-Parabel

Lösung:

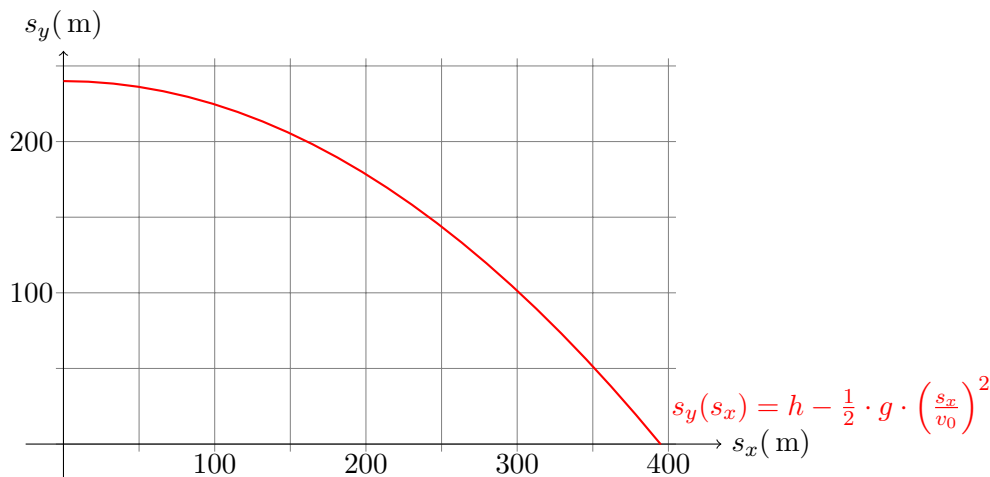
$$v_x = v_0$$

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

$$v_y = -g t$$

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

Die Flugbahn ist eine nach unten geöffnete Halb-Parabel.



- b) Berechnen Sie die Fallzeit bis zum Auftreffen.

7,0 s; 670 kJ

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?

83,4 m/s

Lösung:

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

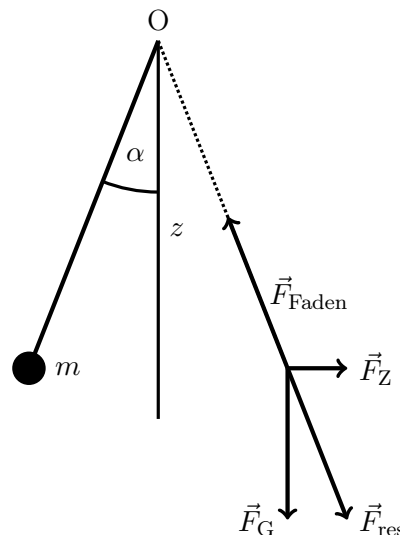
$$E_{\text{kin, k}} = \frac{1}{2} m v_k^2 = 670 \text{ kJ}$$

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 4.2 (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? 66°

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 ? 2,4 N; 2,2 N

Lösung:

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

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

40°

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?

86°

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?

2,2 kg m²/s; 1,5 kg m/s

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

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

$$u(t) = A \cos(\omega t + \phi); u(\vec{r}, t) = A \sin(\omega t - \vec{k} \vec{r})$$

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 $f(\vec{r}, t)$ 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

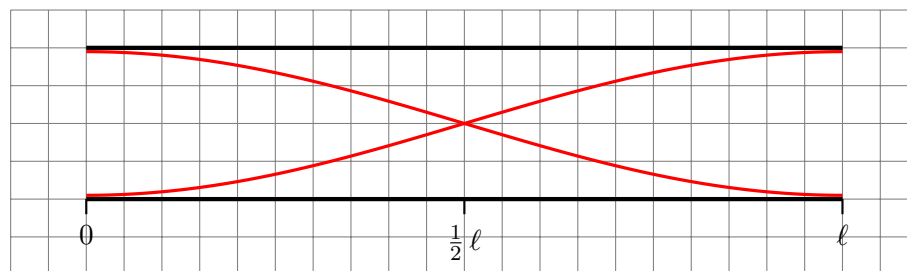
Ebene Welle	$\Rightarrow u(\vec{r}, t) = A \sin(\omega t - \vec{k}\vec{r})$
$u(\vec{r}, t)$	: Auslenkung am Ort $\vec{r}$ zur Zeit t
A	: Amplitude
ω	: Kreisfrequenz
t	: Zeit
$\vec{k}$	: Wellenvektor (k : Wellenzahl)
$\vec{r}$	: Ort
$\omega t - \vec{k}\vec{r}$	: Phase

- 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.

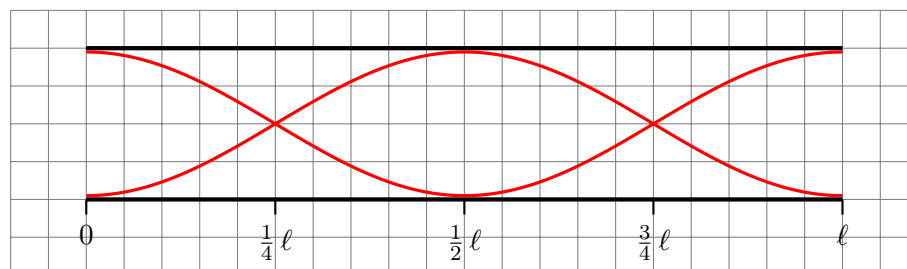
Lösung:

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? 170 Hz; 340 Hz

Lösung:

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

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

Art der Pfeife offen

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

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

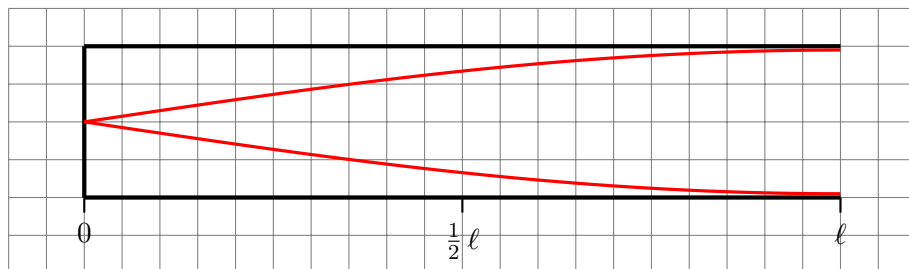
$$1. \text{ Oberschwingung } \lambda = \ell \Rightarrow f = \frac{c}{\ell} = 340 \text{ Hz}$$

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

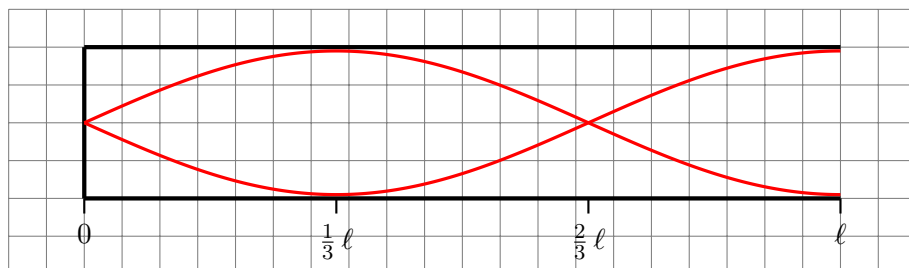
Lösung:

Schwingungsbäuche am offenen Ende, Knoten am geschlossenen

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



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



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

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

Art der Pfeife halboffen

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

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

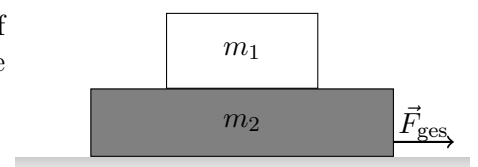
$$1. \text{ Oberschwingung } \lambda = \frac{4}{3} \ell \Rightarrow f = \frac{3c}{4\ell} = 255 \text{ Hz}$$

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

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A

Aufgabe 4.4 (Reibung zwischen Klötzen, Prüfung A H2017A4)

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 .



- a) Welche Beschleunigung $a_{\max}$ kann maximal aufgebracht werden, ohne dass der obere Block auf dem unteren rutscht? $2,94 \text{ m/s}^2$

Lösung:

Die maximale Beschleunigung des oberen Blocks (m_2) erfolgt mit der maximalen Haftkraft:

$$m_2 \cdot a_{\max} = F_H^{\max} = \mu_H \cdot m_2 \cdot g$$

$$a_{\max} = \mu_H \cdot g = 2,94 \text{ m/s}^2$$

- b) Wie groß ist dann die gesamte Zugkraft F_{ges} ? $17,7 \text{ N}$

Lösung:

Die gesamte Zugkraft beschleunigt die Summe der Massen:

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

- c) Die Kraft sei halb so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes Blockes. $1,47 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Lösung:

Die Klötze bleiben vereint, damit beschleunigt die Kraft F die Gesamtmasse $m_1 + m_2$

$$F = \frac{1}{2} \cdot \mu_H \cdot (m_1 + m_2) \cdot g = 8,83 \text{ N}$$

$$a_1 = a_2 = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{\mu_H \cdot g}{2} = 1,47 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Damit mit der obere Klotz nicht rutsch muss eine Haftkraft aufgebracht werden.

$$F_{\text{R, Haft}} = a_2 \cdot m_2 = \frac{\mu_H \cdot g}{2} \cdot m_2 = 2,94 \text{ N}$$

Diese wirkt auch als Gegenkraft auf m_1 .

- d) Die Kraft sei doppelt so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes Blockes. $7,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Lösung:

$$F = 2 \cdot \mu_H \cdot (m_1 + m_2) \cdot g = 35,3 \text{ N}$$

Der Körper 1 wird mit F abzüglich der Gleitreibungskraft F_G beschleunigt:

$$m_1 \cdot a_1 = F - F_G$$

$$a_1 = \frac{F - F_G}{m_1} = \frac{(2 \cdot \mu_H \cdot (m_1 + m_2) - \mu_G \cdot m_2)}{m_1} \cdot g$$

$$= \left[2 \cdot \mu_H + (2 \cdot \mu_H - \mu_G) \cdot \frac{m_2}{m_1} \right] \cdot g = 0,8 \cdot g$$

$$= 7,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Der Körper 2 wird nur mit der Gleitreibungskraft beschleunigt:

$$m_2 \cdot a_2 = F_G = \mu_G \cdot m_2 \cdot g = 0,2 \cdot 2 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 3,92 \text{ N}$$

$$a_2 = \mu_G \cdot g = 0,2 \cdot g = 1,962 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A (Prof. Schimmel)

Aufgabe 4.5 (Ideale und reale Gase; Prüfung A H2017A5)

- a) Was versteht man unter einem idealen Gas? Was sind seine mikroskopischen Merkmale?

Lösung:

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

- Das Gas besteht aus einer großen Zahl von Teilchen, die untereinander und mit den Wänden nur elastische Stöße ausführen.
 - 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.
 - Zwischen den Stößen bewegen sich die Teilchen wechselwirkungsfrei.
- b) 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 und die Luft in guter Näherung als ideales Gas betrachtet werden kann?

92 kg

Lösung:

$$pV = nRT$$

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

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

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

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

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

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

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

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

- c) 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?

Lösung:

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:

- $\frac{an^2}{V^2}$ ist der Binnendruck (a : Binnendruckparameter): Hierbei werden auf das Gas wirkende innere anziehende Kräfte berücksichtigt, welche zusätzlich zum äußern Druck p der Gefäßwände wirken.
- bn ist das van-der-Waals-Kovolumen: Hierbei wird berücksichtigt, dass das für Gasmoleküle verfügbare Volumen durch das Eigenvolumen vermindert wird.

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

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A/B

Aufgabe 4.6 (Wärmetransport; Prüfung A H2017A6)

- a) Nennen Sie ganz allgemein drei Mechanismen für den räumlichen Transport von Wärmeenergie und beschreiben Sie jeden dieser Mechanismen kurz.

Lösung:

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

- 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.
- Konvektion
Der Wärmetransport findet in einem Fluid statt, wobei es zum Transport von Materie kommt, wegen $\varrho = \varrho(T)$ (genauer: wegen der Gravitation und Dichteunterschieden). So steigt beispielsweise warme Luft aufgrund der geringeren Dichte nach oben.
- 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. Beispielsweise ist Glühen von Materie Wärmestrahlung im sichtbaren Bereich.

- b) Wie lautet die Wärmeleitungsgleichung? Benennen Sie alle darin auftretenden Größen.

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

Lösung:

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

- $\frac{dQ}{dT}$: Wärmestrom
- λ : Wärmeleitfähigkeit des Materials
- A : Querschnittsfläche
- $\frac{dT}{dx}$: Temperaturunterschied pro Länge.

- c) 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.

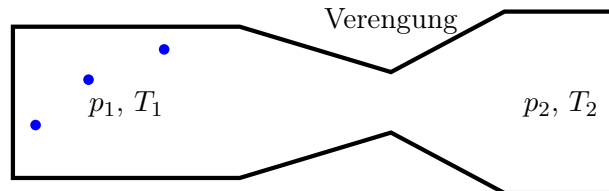
Lösung:

(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 des Gasmoleküls 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).

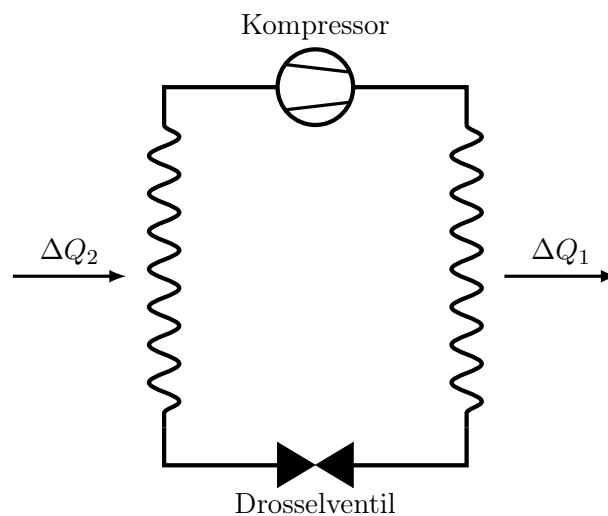


$$p_1 > p_2 \text{ und } T_1 > T_2$$

- d) Beschreiben Sie mit Hilfe einer Skizze die Funktion eines Kältschranks. Welcher physikalische Effekt wird dabei zur Abkühlung des Innenraumes genutzt?

Lösung:

Skizze:

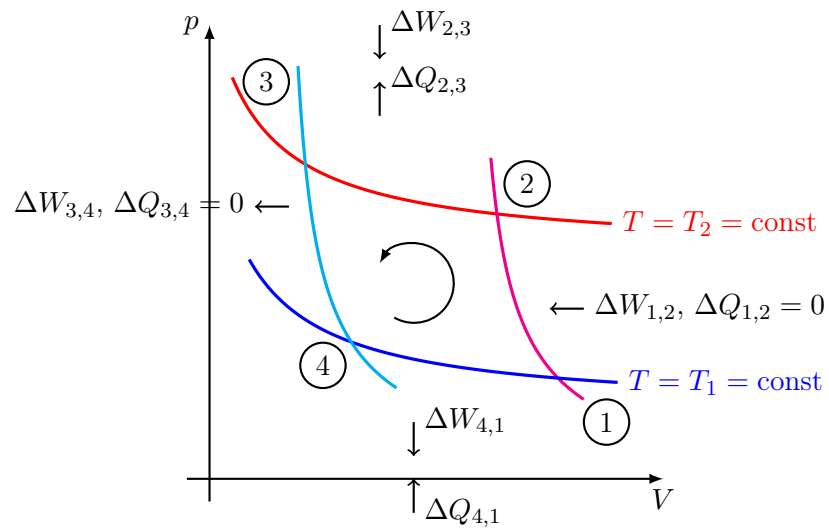


- ΔQ_1 :
Verflüssigung durch Kompression und Abgabe der Kondensationswärme
- ΔQ_2 :
Kühlung durch Aufnahme latenter Wärme beim Verdampfen nach Entspannung beim Drosselventil

- e) 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.

Lösung:

Umlaufsinn entgegen dem Uhrzeigersinn.



- 1: $1 \rightarrow 2$: adiabatische Kompression, Arbeit wird am System verrichtet
- 2: $2 \rightarrow 3$: isotherme Kompression, Arbeit wird am System verrichtet und Wärme abgeführt
- 3: $3 \rightarrow 4$: adiabatische Expansion, System verrichtet Arbeit
- 4: $4 \rightarrow 1$: isotherme Expansion, System verrichtet Arbeit und Wärme wird zugeführt

Quelle: Prüfungsaufgaben zur Experimentalphysik A