

14. Übungsblatt

Es empfiehlt sich, zuerst allgemein zu rechnen und erst in die Endformeln Zahlenwerte einzusetzen.

Kinetische Gastheorie, Dampfdruck, spez. Molwärme

1. In einer Druckflasche mit dem Volumen V ist bei der Temperatur T molekularer Wasserstoff H_2 der Masse m eingeschlossen.
 - a) Welche mittlere Geschwindigkeit v_{rms} haben die Moleküle?
 - b) Wie viele H_2 -Moleküle sind in der Flasche und wie groß ist die im Gas gespeicherte Wärmeenergie?
 - c) Welcher Druck p wirkt auf die Flaschenwand?

Zahlenbeispiel: $V = 3,0 \text{ l}$; $T = 290 \text{ K}$; $m = 3,0 \text{ g}$; Molmasse von H_2 : $M_{H_2} = 2,0 \text{ g/mol}$.

Ergebnisse: a) $v_{rms} = 6,8 \cdot 10^3 \text{ km/h}$; b) $N = 9,0 \cdot 10^{23}$; $U = 9,0 \text{ kJ}$; c) $p = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$.

2. Ein Metallstück der Masse m_M , das auf die Temperatur T_M erwärmt wurde, wird in ein Kalorimeter getaucht, das Wasser der Masse m_W und der Temperatur T_A enthält. Es stellt sich eine Mischungstemperatur T_E ein.
 - a) Wie groß ist die spezifische Wärme des Metalls?
 - b) Welche Molmasse hat das Metall? Berücksichtigen Sie dabei, dass jedes Metallatom drei Schwingungsfreiheitsgrade besitzt.

Die Wärmekapazität des Kalorimeters werde vernachlässigt.

Zahlenbeispiel: $T_M = 100^\circ\text{C}$; $T_A = 19^\circ\text{C}$; $T_E = 27^\circ\text{C}$; $m_M = 300 \text{ g}$; $m_W = 250 \text{ g}$; $c_W = 4,2 \text{ Ws/gK}$.

Ergebnisse: a) $c_M = 0,38 \text{ J/gK}$; b) $M_M = 65 \text{ g/mol}$.

3. Zimmerluft (ideales Gas) vom Volumen V und der Temperatur T werde durch eine elektrische Heizung der Leistung P um ΔT erwärmt. Dabei entweiche durch Ritzen Luft aus dem Zimmer, so dass der Druck p konstant bleibt. Der Wärmeübergang auf die Zimmerwände bleibe unberücksichtigt.
 - a) Welche Aufheizzeit wird zum Erreichen der Temperaturdifferenz ΔT gebraucht?
 - b) Man zeige, dass die Energie der im Zimmer verbleibenden Luft beim Aufheizprozess konstant bleibt, man also tatsächlich „zum Fenster hinaus“ heizt.

Zahlenwerte: $p = 1,00 \text{ bar}$; $V = 100 \text{ m}^3$; $P = 5,00 \text{ kW}$; $T = 25,0^\circ\text{C}$; $\Delta T = 1,00^\circ\text{C}$.

Ergebnis: a) $\Delta t = 23,5 \text{ s}$.

4. Zwei Mol Stickstoff (ideales, zweiatomiges Gas) werde unter verschiedenen Randbedingungen 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.
 - b) Berechnen Sie dieselben Größen, wenn die Erwärmung bei konstantem Druck stattfindet.
 - c) Begründen Sie, warum die isobare Wärmekapazität c_p größer ist als die isochore Wärmekapazität c_v .

Ergebnisse: a) $\Delta U = 12,5 \text{ kJ}$; $\Delta W = 0$; $\Delta Q = 12,5 \text{ kJ}$; b) $\Delta U = 12,5 \text{ kJ}$; $\Delta W = -5,0 \text{ kJ}$; $\Delta Q = 17,5 \text{ kJ}$.

Thermodynamische Zustandsänderungen, Kreisprozesse, Entropie

5. Die Luft einer am Ausgang verschlossenen Fahrradpumpe wird ausgehend von den Bedingungen T_0 , p_0 , V_0 auf $1/3$ des Ausgangsvolumens komprimiert. Man nehme an, die Pumpe arbeite ohne Reibungsverluste und das zweiatomige Gas Luft verhalte sich wie ein ideales Gas.
- Unter welcher Voraussetzung kann man die genannte Kompression als adiabatisch betrachten?
 - Berechnen Sie die Temperaturänderung und die bei der Kompression aufgewandte Arbeit.
 - In einem Experiment wurde tatsächlich ein Temperaturanstieg von $70,0^\circ\text{C}$ gemessen. Berechnen Sie für dieses Experiment den Polytropenexponenten α (in $pV^\alpha = \text{const}$).

Zahlenwerte: $T_0 = 20,0^\circ\text{C}$; $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$; $V_0 = 0,200 \text{ dm}^3$.

Ergebnisse: b) $\Delta T = 162 \text{ K}$; $\Delta W = 27,6 \text{ J}$; c) $\alpha = 1,20$.

6. Eine feste Menge eines idealen Gases durchlaufe einen dreistufigen reversiblen Kreisprozess.
- Schritt 1: isotherme Expansion von (p_1, V_1, T_1) nach (p_2, V_2, T_2) ;
Schritt 2: isobare Kompression von (p_2, V_2, T_2) nach (p_3, V_3, T_3) ;
Schritt 3: isochor zurück von (p_3, V_3, T_3) nach (p_1, V_1, T_1) . Es sei $p_2 = 0,1 p_1$.
- Skizzieren Sie den Prozess in einem pV -Diagramm.
 - Berechnen Sie T_2 , V_2 und T_3 aus den Anfangswerten (p_1, V_1, T_1) .
 - Berechnen Sie für die Schritte 1 bis 3 jeweils die am Gas bzw. vom Gas verrichtete Arbeit.
 - Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Kreisprozesses, wenn dieser mit einem idealen zweiatomigen Gas geführt wird.

7. Carnotscher Kreisprozess:

- Skizzieren Sie den Carnot-Prozess im pV -Diagramm. Benennen Sie die vier Teilprozesse und zeichnen Sie mit Pfeilen den Umlaufsinn ein für den Fall, dass die Carnot-Maschine als Wärmekraftmaschine arbeitet.
- Wie ist der Wirkungsgrad η einer Wärmekraftmaschine allgemein definiert?
- Drücken Sie den (idealen) Wirkungsgrad η_{Carnot} der reversibel arbeitenden Carnot-Maschine durch die Temperaturen T_1 und T_2 des wärmeren bzw. des kälteren Reservoirs aus.
- Bei der Umkehrung des Umlaufsinn der Carnot-Wärmemaschine erhält man eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine. Wie ist η in diesen Fällen jeweils definiert und wie groß ist η für jeden dieser beiden Fälle, ausgedrückt durch die Temperaturen T_1 und T_2 ?

8. Eine Wärmepumpe durchlaufe zwischen den Temperaturen T_1 und T_2 einen Carnot-Prozess und gebe isotherm bei T_1 die Heizleistung $P(T_1)$ ab.

- Skizzieren Sie schematisch die Energieströme einer Wärmepumpe, diskutieren Sie die Definition des Wirkungsgrades und geben Sie dessen Temperaturabhängigkeit an.
- Der reale Wirkungsgrad η_R einer Wärmepumpe sei $1/10$ des idealen. Vergleichen Sie diesen mit dem Wirkungsgrad η_H eines elektrischen Heizofens. Skizzieren Sie die Funktionen $\eta_R(\Delta T)$ und $\eta_H(\Delta T)$. Für welche Temperaturdifferenz ist die Wärmepumpe wirtschaftlicher als die elektrische Heizung?
- Um die Temperatur T_1 gegenüber der Außentemperatur T_2 aufrechtzuerhalten, benötige der Heizofen die Leistung P_H . Wieviel Energie wird pro Monat eingespart, wenn man den Heizofen durch eine Wärmepumpe ersetzt?

Zahlenwerte: $P_H = 2,00 \text{ kW}$; $T_1 = 25,0^\circ\text{C}$; $T_2 = 15,0^\circ\text{C}$.

Ergebnisse: b) $\Delta T = 29,8 \text{ K}$; c) $\Delta W = 957 \text{ kWh}$.

9. Ausgehend von der Temperatur T_0 , dem Druck p_0 und dem Volumen V_0 wird Stickstoff reversibel
- isochor auf die Temperatur T_1 erwärmt bzw.
 - isobar auf die Temperatur T_1 erwärmt und anschl. isotherm auf das Volumen V_0 komprimiert.
- Wie groß ist in beiden Fällen die Änderung der Entropie?

Zahlenbeispiel: $T_0 = 20^\circ\text{C}$; $p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$; $V_0 = 1,0 \text{ l}$; $T_1 = 500^\circ\text{C}$. Ergebnis: $\Delta S = 0,83 \text{ J/K}$.