

8. Übungsblatt

Besprechung: 12.12.2011

1. Ideales Gasgesetz

100 g CO₂ nehmen bei 1 bar ein Volumen von 55 l ein.

- (a) Wie hoch ist die Temperatur?
- (b) Welcher Druck stellt sich ein, wenn das Volumen bei gleichbleibender Temperatur auf 80 l erhöht wird?
- (c) Was geschieht mit dem Volumen dieser Gasmenge, wenn bei konstantem Druck die Temperatur gesenkt wird?

(Lösungswerte: (a) 17.7°C; (b) 68750 Pa; (c) verringert;)

Lösung:

Lösungsansatz: "physikalisches Phänomen"

- (a) Die molare Masse von CO₂ ist $M_{\text{CO}_2} = (12 + 2 \cdot 16)\text{u} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$. Damit sind in 100 g des Gases $n = \frac{100 \text{ g}}{44 \text{ u}} = \frac{25}{11} \text{ mol}$ CO₂ enthalten.
Mit der idealen Gasgleichung und für 1 bar = 10⁵ Pa, 55 l = 0.055 m³ erhält man

$$pV = nRT \rightarrow T = \frac{pV}{nR} = \frac{10^5 \text{ Pa} \cdot 0.055 \text{ m}^3}{\frac{25}{11} \text{ mol} \cdot 8.32 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \approx 290.9 \text{ K} \approx 17.7^\circ \text{C}$$

- (b) Bei isothermer Volumenänderung ändert sich nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ($pV = \text{const.}$) der Druck wie folgt

$$p_{\text{neu}} = p \cdot \frac{V}{V_{\text{neu}}} = 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{55 \text{ l}}{80 \text{ l}} = 68750 \text{ Pa}$$

- (c) Nach dem Gesetz von Gay-Lussac ($\frac{V}{T} = \text{const.}$) verringert das Volumen sich bei isobarer Abkühlung des Gases.

2. Zustandsänderung

Gegeben sei ein Mol eines idealen Gases bei Zimmertemperatur (20°C) und Normaldruck (1013 hPa). Welches Volumen nimmt das Gas ein?

Sie lassen das Gas auf das doppelte Volumen expandieren. Welche Arbeit leistet das Gas dabei und wie können Sie diese Zustandsänderung erreichen?

(Lösungswerte: 24.1 l, 2441 J, Wärmezufuhr)

Lösung:

Lösungsansatz: "physikalisches Phänomen: ideales Gasgesetz und isobare Ausdehnung"

Das Volumen von einem Mol Gas bei Normaldruck und Zimmertemperatur beträgt nach dem idealen Gasgesetz:

$$V = n \cdot \frac{R \cdot T}{p} = 1 \text{ mol} \cdot \frac{8.32 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293.15 \text{ K}}{101300 \text{ Pa}} \approx 0.0241 \text{ m}^3 = 24.1 \text{ l}$$

(Bemerkung: Meist wird das "molare Volumen" unter "Normalbedingungen" von 0°C und 1013 hPa) angegeben und beträgt dann 22.4 l)

Bei isobarer Ausdehnung beträgt die Arbeit

$$W = p \cdot \Delta V = p \cdot (2V - V) = p \cdot V \approx 101300 \text{ Pa} \cdot 0.0241 \text{ m}^3 \approx 2441 \text{ J}$$

Das positive Vorzeichen von W besagt, dass man Arbeit am thermodynamischen System verrichten muss, um diese Zustandsänderung zu erreichen. Man muss also dem System Wärme zuführen.

3. Gaskinetik

Bestimmen Sie die mittlere kinetische Energie der Moleküle des linear gestreckten drei-atomigen Molekül-gases CO_2 bei 20°C .

Welchen Wert hat die mittlere, das heißt quadratisch gemittelte, Geschwindigkeit $v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}}$?

Hinweis: Verwenden Sie zur Berechnung von v_{rms} die Molmasse und die entsprechende molare Energie! Dann müssen Sie die Masse der Teilchen nicht berechnen.

(Lösungswerte: 6098 J/mol, 408 m/s)

Lösung:

Die molare Masse von CO_2 ist $M_{\text{CO}_2} = (12 + 2 \cdot 16)\text{u} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$. Damit erhält man: $\overline{E_{\text{kin,ges}}} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R \cdot T$ mit Freiheitsgradanzahl $f = 5$, da das Molekül linear gestreckt ist.

$$\overline{E_{\text{kin,ges}}} = \frac{5}{2} \cdot 8.32 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot (273.15 + 20) \text{K} \approx 6098 \text{ J}$$

Die mittlere Geschwindigkeit (für die Translationsbewegung) folgt aus der Formel

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{3}{2} RT = \frac{1}{2} M_{\text{CO}_2} v^2$$

Aufgelöst nach v^2 und nach Wurzelziehen ergibt sich

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{CO}_2}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8.32 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 293 \text{K}}{0.044 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}} \approx 407.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. Akustik, Wärmelehre

Ergänzen Sie folgende Aussagen physikalisch korrekt:

- Gleiche Schallpegel L_p mit verschiedenen Frequenzen f werden von einem Menschen laut wahrgenommen.
- Trifft eine Welle in einem Medium großer Impedanz an der Grenzfläche auf ein Medium kleiner Impedanz dann wird die Welle hauptsächlich
- Das Verhältnis der intensiven Zustandsgrößen Druck und Temperatur ergibt eine Zustandsgröße.
- Bringt man ein Thermometer mit großer Wärmekapazität in ein sehr großes Wärmebad, dann kann man die Temperatur des Wärmebades nach Zeit am Thermometer ablesen.
- Bei einer isobaren, isothermen, isochoren Zustandsänderung bleiben jeweils,, konstant.
- Die Druckschwingung einer Schallwelle ist eine Zustandsänderung.
- Die Temperatur von 37.8°C entspricht K und $^\circ\text{F}$, eine Temperatur von 0°F entspricht $^\circ\text{C}$.

(Lösungswerte: (a) unterschiedlich; (b) reflektiert; (c) intensive; (d) langer; (e) Druck, Temperatur, Volumen; (f) adiabatisch. (g) 310.95 K, 100.0°F , -17.8°C)

Lösung:

- Antwort: unterschiedlich. Die physiologische Lautstärkeempfindung $L(f) = C(f) \cdot L_p$, wobei der Faktor $C(f)$ die mit der Frequenz f variierende Schallempfindung des menschlichen Ohres beschreibt.
- Antwort: reflektiert. Nach Vorlesung ist der Reflexionsfaktor $R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$, sodass große Impedanzunterschiede $Z_1 - Z_2$ zu starker Reflexion führen, egal ob der Übergang von großem zu kleinem Z oder umgekehrt erfolgt.
- Antwort: extensive. Dies folgt durch Umformung des idealen Gasgesetzes $pV = nRT$ zu $\frac{p}{T} = \frac{nR}{V}$, wobei auf der rechten Gleichungsseite ein Verhältnis extensiver Zustandsgrößen steht und nach Vorlesung Verhältnisse von extensiven Zustandsgrößen eine intensive Zustandsgröße darstellen (, die also nicht mehr von der Gesamtmenge der Substanz abhängt).
- Antwort: langer. Die große Wärmekapazität des Thermometers bedeutet, dass viel Wärme zwischen Wärmebad und Thermometer ausgetauscht werden muss, bevor die Temperaturdifferenz zwischen Wärmebad und Thermometer gering ist und die Anzeige des Thermometers der Temperatur des Wärmebades entspricht.
- Antwort: Druck, Temperatur, Volumen.

- (f) Antwort: adiabatisch. Der Schwingungsvorgang einer Druckschwingung bei einer Schallwelle ist ein sehr schnell ablaufender Vorgang, sodass kein (bzw. ein vernachlässigbarer) Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Damit erfüllt der Vorgang die Anforderungen für eine adiabatische Zustandsänderung .
- (g) Antworten: 310.95 K, 100.04.5°F, -17.8°C. Die Umrechnungsformeln lauten: $T_{\text{K}} = T_{\text{°C}} + 273.15\text{K}$, $T_{\text{°F}} = \frac{9}{5}T_{\text{°C}} + 32^{\circ}\text{F}$, $T_{\text{°C}} = \frac{5}{9}(T_{\text{°F}} - 32^{\circ}\text{F})$. Einsetzen der Werte 37.8°C und 0°F ergeben die Lösungswerte.