

Institut für Physikalische Chemie Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Lösungen zum 2. Übungsblatt zur Vorlesung Physikalische Chemie I
SS 2013
Prof. Dr. Bartsch

2.1 L

- a) Berechnen Sie Atomanzahl, Translationsfreiheitsgrade (FG_T), Rotationsfreiheitsgrade (FG_R), Schwingungsfreiheitsgrade (FG_S) für die Moleküle in folgender Tabelle.
b) Berechnen Sie die aus den Freiheitsgraden resultierende kinetische Energie eines Moleküls (in $k_B T$).

	Atom- anzahl, $N =$	FG_T	FG_R	FG_S	E_{kin} / $k_B T$
Neon Ne	1	3	0	0	3/2
Chlor Cl ₂	2	3	2	1	6/2
Kohlendioxid CO ₂	3	3	2	4	9/2
gasf. Wasser H ₂ O	3	3	3	3	9/2
Butan C ₄ H ₁₀	14	3	3	36	42/2
Cyclobutan C ₄ H ₈	12	3	3	30	36/2

Lineare n-atomige Moleküle: 3 Translationsfreiheitsgrade, 2 Rotationsfreiheitsgrade, $3n-5$ Schwingungsfreiheitsgrade (die bei der Berechnung der inneren Energie doppelt zählen).
Nicht lineare n-atomige Moleküle: 3 Translationsfreiheitsgrade, 3 Rotationsfreiheitsgrade, $3n-6$ Schwingungsfreiheitsgrade (die bei der Berechnung der inneren Energie doppelt zählen).

2.2 L

- a) Berechnen Sie die Endtemperatur des Systems, wenn man 1 kg Eisen mit der Temperatur 600 K ($C_{s,Fe} = 452 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$) in 10 kg Wasser mit der Temperatur 27°C bringt ($C_{s,H_2O} = 4188 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$)?
b) Wie gross ist die vom Eisen abgegebene Wärmemenge?

Lösung:

- a) Die Endtemperatur errechnet sich aus der Wärmebilanz (Prof. Gräbers Skript, S.20)

$$T_3 = \frac{m_A C_{s,A} T_1 + m_B C_{s,B} T_2}{m_A C_{s,A} + m_B C_{s,B}} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 452 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1} \cdot 600 \text{ K} + 10 \text{ kg} \cdot 4188 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1} \cdot 300 \text{ K}}{1 \text{ kg} \cdot 452 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1} + 10 \text{ kg} \cdot 4188 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}} =$$

$$= 303.2 \text{ K}$$

Einheiten ausklammern

$$\left[\frac{\cancel{\text{kg}} \cdot \cancel{\text{JK}^{-1}} \cancel{\text{kg}^{-1}} \cdot \text{K}}{\cancel{\text{kg}} \cdot \cancel{\text{JK}^{-1}} \cancel{\text{kg}^{-1}}} = \text{K} \right]$$

b)

$$q_{\text{Fe}} = C_{\text{Fe}} (T_3 - T_1) = m_{\text{Fe}} C_{s,\text{Fe}} (T_3 - T_1) =$$
$$= 1 \text{ kg} \cdot 452 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1} (303.2 - 600) \text{ K} = -134.2 \text{ kJ}$$

2.3 L

Bei 500°C und 93192 Pa ist die Dichte von Schwefeldampf 3.71 g L⁻¹. Wie lautet die chemische Formel des Schwefelmoleküls unter diesen Bedingungen? (Hinweis: Nehmen Sie an, daß sich Schwefeldampf unter diesen Bedingungen ideal verhält und formen Sie die ideale Gasgleichung so um, dass sie eine Beziehung zwischen dem Druck P, der Dichte ρ und der Molmasse M erhalten).

Lösung:

$$PV = nRT, \quad n = \frac{m}{M}, \quad \rho = \frac{m}{V}$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{RT}{\rho}$$

$$M = \frac{8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 773 \text{ K} \cdot 3.71 \text{ g} \cdot 10^{-3} \text{ L}}{93192 \text{ Pa} \cdot \text{L}} \cdot \frac{\text{kg}}{10^{-3} \text{ g}}$$

$$M = 0.256 \text{ kg mol}^{-1} = 256 \text{ g mol}^{-1}$$

Die Molmasse eines Schwefelatoms beträgt 32 g mol⁻¹. Das Schwefelmolekül enthält daher unter den angegebenen Bedingungen 256/32 = 8 Schwefelatome. Die chemische Formel ist daher S₈ (es handelt sich um S₈-Ringe).

2.4 M

Um den exakten Wert der Gaskonstante R zu bestimmen, heizt ein Student einen 20,00 Liter Behälter, der 0,25132 g Heliumgas enthält, auf 500°C auf und misst den Druck mittels eines Manometers bei 25°C (d.h. das Manometer ist auf 25°C temperiert); er erhält 206,402 cm Wassersäule. Berechnen Sie daraus den Wert von R (die Dichte des Wassers bei 25°C beträgt 0,99707 g cm⁻³, die Erdbeschleunigung sei 9,8067 m s⁻²).

Hinweis: Stellen Sie zunächst über die allgemeine Definition des Drucks einen Zusammenhang zwischen dem Druck und der Dichte sowie der Höhe der Wassersäule her.

Lösung:

$$P = \frac{F}{A}, \quad F = m \cdot g, \quad \rho = \frac{m}{V}, \quad V = A \cdot h$$

$$\rightarrow P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$$

$$P = 0.99707 \text{ g cm}^{-3} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \cdot \frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot 206.402 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \cdot 9.8067 \text{ m s}^{-2} = 2.0182 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Ideales Gasgesetz: $PV = nRT$

$$n = \frac{m}{M}$$

Einsetzen liefert: $PV = \frac{m}{M}RT$

$$\begin{aligned} \rightarrow R &= \frac{MPV}{mT} = \frac{4.00260 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2.0182 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 20 \text{ L}}{0.25132 \text{ g} \cdot (500 + 273.15) \text{ K}} \\ &= \frac{4.00260 \cdot 2.0182 \cdot 10^4 \cdot 20 \cancel{\text{ g}} \cancel{\text{ mol}^{-1}} \cancel{\text{ Pa}} \cancel{\text{ L}} 10^{-3} \text{ m}^3 \cancel{\text{ N}} \cancel{\text{ m}^{-2}}}{0.25132 \cdot (500 + 273.15) \cancel{\text{ g}} \text{ K} \cancel{\text{ L}} \cancel{\text{ Pa}}} \\ &= 8.3146 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

2.5 M

Ein Kfz fährt 100 km und verbraucht dabei 10 L Benzin. Nehmen Sie an, Benzin besteht nur aus Oktan und es habe eine Dichte von 0.74 g cm^{-3}

- Geben Sie die stöchiometrische Gleichung des Verbrennungsprozesses im Motor an.
- Welches Volumen Luft wird dabei in den Motor gesaugt? (Volumenanteil des Sauerstoffes in trockener Luft 20 Vol%, 25° C , 1.0132 bar).
- Welches Volumen CO_2 wird dabei abgegeben, wenn CO_2 als ideales Gas behandelt werden kann?
- Welches Volumen Wasser (flüssiges Wasser, $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$) wird abgegeben?
- Welches Volumen Abluft wird insgesamt abgegeben?
- Wie groß ist der Volumenanteil von CO_2 in der Abluft?

Lösung:



b) Masse Oktan:

$$m = \rho V = 0.74 \text{ g cm}^{-3} \cdot 10 \text{ l} = 7400 \text{ g} = 7.4 \text{ kg}$$

$$n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = \frac{m}{M} = \frac{7400 \text{ g}}{114 \text{ g mol}^{-1}} = 64.9 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{v(\text{O}_2)}{v(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{12.5}{1}$$

$$n(\text{O}_2) = 12.5 n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 12.5 \cdot 64.9 \text{ mol} = 811.4 \text{ mol}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)RT}{p} = \frac{811.4 \text{ mol} \cdot 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}} = 19.84 \text{ m}^3$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{Luft})} = 0.2$$

$$V(\text{Luft}) = \frac{V(\text{O}_2)}{\varphi(\text{O}_2)} = \frac{19.84 \text{ m}^3}{0.2} = 99.2 \text{ m}^3$$

c) $n(\text{CO}_2) = 8 n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 8 \cdot 64.9 \text{ mol} = 519.2 \text{ mol}$

$$V(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)RT}{p} = \frac{519.2 \text{ mol} \cdot 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}} = 12.7 \text{ m}^3$$

$$d) \quad \frac{v(\text{H}_2\text{O})}{v(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{C}_8\text{H}_{18})} = 9$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 9 n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 9 \cdot 64.9 \text{ mol} = 584.1 \text{ mol}$$

$$\rho = \frac{m}{V}, n = \frac{m}{M} \rightarrow V = \frac{nM}{\rho} = \frac{584.1 \text{ mol} \cdot 18 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g cm}^{-3}} = 10512 \text{ cm}^3 = 10.5 \text{ l}$$

$$e) \quad V(\text{Abluft}) = V(\text{Zuluft}) - V(\text{O}_2) + V(\text{CO}_2) + V(\text{H}_2\text{O}_g)$$

$$V(\text{Zuluft}) = 99.2 \text{ m}^3, V(\text{O}_2) = 19.84 \text{ m}^3, V(\text{CO}_2) = 12.7 \text{ m}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{O}_g) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})RT}{p} = \frac{584.1 \text{ mol} \cdot 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}} = 14.3 \text{ m}^3$$

$$V(\text{Abluft}) = 99.2 \text{ m}^3 - 19.84 \text{ m}^3 - 12.7 \text{ m}^3 + 14.3 \text{ m}^3 = 106.36 \text{ m}^3$$

$$f) \quad \varphi = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{Abluft})} = \frac{12.7 \text{ m}^3}{106.36 \text{ m}^3} = 0.119$$