

Cvičení z FCH I, 26.09.2025

Materiály: <https://sites.google.com/view/cervinkagroup/people/martin-klajmon/fch-i>



Náplň cvičení:

Ideální plyn: příklady, rozšíření na směs id. plynů, závěrečné poznámky

Pojmy používané ve fyzikální chemii

Základy termodynamiky: nultý a první zákon, teplo a práce

Doporučený domácí úkol z minula:

Ředění kyseliny

Do půllitrové odměrné baňky bylo odpipetováno 10 cm^3 96% kyseliny dusičné (hmotnostní procenta) a doplněno vodou. Vypočítejte látkovou koncentraci kyseliny dusičné v tomto roztoku. Hustota použité 96% kyseliny byla $1,27 \text{ g cm}^{-3}$. Molární hmotnost kyseliny dusičné je 63 g mol^{-1} .

$$c_{\text{HNO}_3} = n_{\text{HNO}_3}/V = 0,1935/0,5 = \underline{0,387 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{HNO}_3} &= m_{\text{HNO}_3}/M_{\text{HNO}_3} = w_{\text{HNO}_3,\text{kys}} \cdot m_{\text{kys}}/M_{\text{HNO}_3} = w_{\text{HNO}_3,\text{kys}} \cdot \rho_{\text{kys}} \cdot V_{\text{kys}}/M_{\text{HNO}_3} = \\ &= 0,96 \cdot 1,27 \cdot 10/63 = 0,1935 \text{ mol} \end{aligned}$$

Během povodní v roce 2002 uniklo ze Spolany Neratovice 500 kg chloru (Cl_2). Vypočtěte objem a průměr mraku plynu (předpokládejte sférický tvar) okamžitě po úniku. $M_{\text{Cl}} = 35,45 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

$$pV = nRT$$

$$m_{\text{Cl}_2} = 500 \text{ kg}$$

$$M_{\text{Cl}} = 35,45 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Cl}_2} = 70,9 \text{ g/mol}$$

$$T = 273,15 + 25 = 298,15 \text{ K}$$

$$P = P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ kPa}$$

$$V_{\text{Cl}_2} = \frac{nRT}{P} = \frac{\frac{m}{M} RT}{P} = \frac{\frac{500000}{70,9} \cdot R \cdot 298,15}{101,3 \cdot 10^3} = 172,6 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3 \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} = 6,9 \text{ m}$$

Ideální plyn: rozšíření na směsi

$$n = \sum_{i=1}^N n_i \rightarrow PV = \left(\sum n_i \right) RT$$

Daltonův zákon:

$$P = \sum_{i=1}^N P_i = \sum \frac{n_i RT}{V} \quad P_i = \frac{n_i RT}{V}$$

Amagatův zákon:

$$V = \sum V_i = \sum \frac{n_i RT}{P} \quad V_i = \frac{n_i RT}{P}$$

Pro parciální tlak (p_i) ideálního plynu platí:

$$X_i = \phi_i$$

$$P_i = X_i P$$

P7

Do plynojemu o konstantním objemu 300 dm^3 obsahujícího vzduch (složení vzduchu 21 obj. % kyslíku a 79 obj. % dusíku) o tlaku 150 kPa vtláčíme kyslík (50 dm^3 o tlaku 500 kPa). Teplota vzduchu i kyslíku je 25°C . Za předpokladu ideálního chování plynů vypočítejte konečný tlak v plynojemu, parciální tlaky a objemové složení v procentech.

Dalson:

$$P = \sum P_i = \sum \frac{n_i RT}{V}$$

"0"

$$V^0 = 300 \text{ dm}^3$$

$$P^0 = 150 \text{ kPa}$$



"IN"

$$V^{\text{IN}} = 50 \text{ dm}^3$$

$$P^{\text{IN}} = 500 \text{ kPa}$$

$$X_{\text{O}_2}^0 = 0,21 = \phi_{\text{O}_2}^0$$

$$X_{\text{N}_2}^0 = 0,79 = \phi_{\text{N}_2}^0$$

$$T^0 = T^{\text{IN}} = 298,15 \text{ K}$$

$$n^0 = \frac{P^0 V^0}{RT} = \frac{150 \cdot 300}{R \cdot 298,15} = 18,15 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2}^0 = X_{\text{O}_2}^0 \cdot n^0 = 0,21 \cdot 18,15 = 3,812 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2}^0 = X_{\text{N}_2}^0 \cdot n^0 = n^0 - n_{\text{O}_2}^0 = 14,342 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2}^{\text{IN}} = \frac{P^{\text{IN}} V^{\text{IN}}}{RT} = 10,085 \text{ mol}$$

P7

Do plynojemu o konstantním objemu 300 dm^3 obsahujícího vzduch (složení vzduchu 21 obj. % kyslíku a 79 obj. % dusíku) o tlaku 150 kPa vtlačíme kyslík (50 dm^3 o tlaku 500 kPa). Teplota vzduchu i kyslíku je 25°C . Za předpokladu ideálního chování plynů vypočítejte konečný tlak v plynojemu, parciální tlaky a objemové složení v procentech.

$$n_{\text{O}_2}^{\text{kon}} = n_{\text{O}_2}^{\text{o}} + n_{\text{O}_2}^{\text{IN}} = 13,897 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2}^{\text{kon}} = n_{\text{N}_2}^{\text{o}} = 14,342 \text{ mol}$$

$$P = \sum P_i = \sum \frac{n_i RT}{V} = \overset{= P_{\text{O}_2}}{\frac{n_{\text{O}_2}^{\text{kon}} RT}{V^{\text{o}}}} + \overset{= P_{\text{N}_2}}{\frac{n_{\text{N}_2}^{\text{kon}} RT}{V^{\text{o}}}} = \overset{\text{O}_2}{114,80} + \overset{\text{N}_2}{118,54} = \underline{233,34 \text{ kPa}}$$

P7

Do plynojemu o konstantním objemu 300 dm^3 obsahujícího vzduch (složení vzduchu 21 obj. % kyslíku a 79 obj. % dusíku) o tlaku 150 kPa vtláčíme kyslík (50 dm^3 o tlaku 500 kPa). Teplota vzduchu i kyslíku je 25°C . Za předpokladu ideálního chování plynů vypočtete konečný tlak v plynojemu, parciální tlaky a objemové složení v procentech.

$$\phi_i = x_i$$

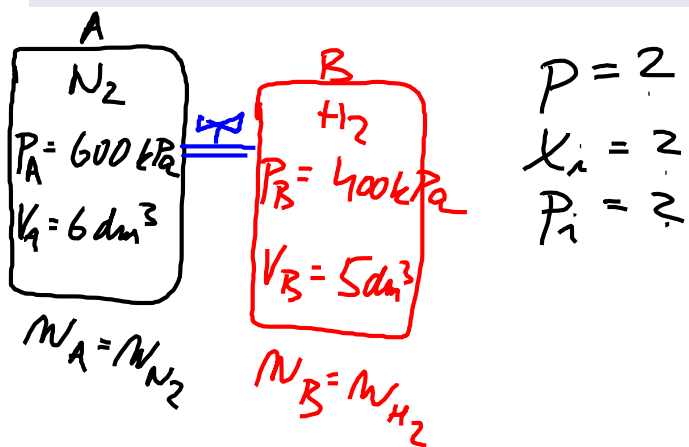
$$P_i = x_i P = \phi_i P$$

$$\phi_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{P} = \frac{114,80}{233,34} = 0,492 \Rightarrow 49,2 \text{ obj. \%}$$

$$\phi_{N_2} = \frac{P_{N_2}}{P} = 1 - \phi_{O_2} = 0,508 \Rightarrow 50,8 \text{ obj. \%}$$

P8

Šestilitrová ocelová láhev obsahující dusík při tlaku 600 kPa byla spojena s pětilitrovou lahví obsahující vodík při tlaku 400 kPa. Vypočtěte výsledný tlak v systému propojených nádob, složení směsi v molárních zlomcích a parciální tlaky jednotlivých složek. Teplota obou plynů i směsi je stejná.



$$V = V_A + V_B = 11 \text{ dm}^3$$

$$n_{\text{celk}} = n_A + n_B$$

$$\frac{PV}{RT} = \frac{P_A V_A}{RT} + \frac{P_B V_B}{RT} \quad \Bigg| \cdot RT$$

$$PV = P_A V_A + P_B V_B$$

$$P = \frac{P_A V_A + P_B V_B}{V} = 509,1 \text{ kPa}$$

Šestilitrová ocelová láhev obsahující dusík při tlaku 600 kPa byla spojena s pětilitrovou lahví obsahující vodík při tlaku 400 kPa. Vypočtěte výsledný tlak v systému propojených nádob, složení směsi v molárních zlomcích a parciální tlaky jednotlivých složek. Teplota obou plynů i směsi je stejná.

$$X_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{\text{celk}}} = \frac{\frac{P_A V_A}{\cancel{RT}}}{\frac{P V}{\cancel{RT}}} = \frac{600 \cdot 6}{509,1 \cdot 11} = 0,643$$

$$X_{H_2} = \frac{n_{H_2}}{n_{\text{celk}}} = \frac{P_B V_B}{P V} = 1 - X_{N_2} = 0,357$$

$$P_{N_2} = X_{N_2} P = 0,643 \cdot 509,1 = 327,35 \text{ kPa}$$

$$P_{H_2} = X_{H_2} P = P - P_{N_2} = 181,75 \text{ kPa}$$

Poznámka na závěr: Ideální vs. reálný plyn

Ideální plyn

Stavová rovnice id. plynu

$$pV_m = RT$$

Reálný plyn

Např. [van der Waalsova stavová rovnice](#)


$$\left(p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT$$

Matematické připomenutí

Funkce více proměnných:

$$\frac{\partial F}{\partial x}(x, y, z)$$

$$\cdot f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} = \frac{df(x)}{dx}$$

$$\cdot (f \cdot g)' = f'g + fg'$$

$$d(fg) = gdf + f dg$$

$$\cdot \int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + C,$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x} dx = \ln \frac{x_2}{x_1} = \ln x_2 - \ln x_1$$

$$\cdot \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C$$

Vybrané pojmy používané ve fyzikální chemii

Děje:

Izotermní $[T]$

Izobarický $[p]$

Izochorický $[V]$

Adiabatický [ad] ($Q = 0$)

↑
teplo

Systém:

Otevřený

Uzavřený

Izolovaný

Veličiny:

Extenzivní ($V, n, m, H, \dots$)

Intenzivní ($T, p, \rho, V_m, H_m, \dots$)

Veličiny:

Molární

$$Y_m = Y/n$$

Specifické

$$Y_{sp} = Y/m$$

$$Y_m = Y_{sp} \cdot M$$

$$Y_{sp} = Y_n / M$$

Uzance:

Energie odebraná ze systému ... záporné znaménko (< 0)

Energie dodaná do systému ... kladné znaménko (> 0)

Základy termodynamiky (TD)

Nultý zákon TD:

$\boxed{A}$
 T_A

$\boxed{B}$
 T_B

$\boxed{C}$
 T_C

$$T_A = T_B$$

$$T_B = T_C$$

$$T_A = T_C$$

První zákon TD:

$$\Delta U = Q + W$$

$$W = W^{obj} = \int_{V_1}^{V_2} -p dV$$

Diferenciální forma:

$$dU = dQ + dW^{obj} = dQ - p dV$$

Základy termodynamiky (TD)

Enthalpie

$$H = U + pV$$

Diferenciální forma: $dH = dU + d(pV) = dU + Vdp + pdV =$

$$= \underbrace{dQ - pdV}_{dU} + Vdp + \cancel{pdV} = dQ + Vdp$$

$$dU = dQ - \cancel{pdV} \quad [V] \quad dV=0 \quad dU = dQ \quad \Delta U = Q [V]$$

$$dH = dQ + \cancel{Vdp} \quad [P] \quad dP=0 \quad dH = dQ \quad \Delta H = Q$$

Základy termodynamiky (TD)

U a H jako funkce T , p , a V :

$$U = U(T)$$

$$H = H(T)$$

platí vždy

$$U \neq U(p)$$

$$U \neq U(v)$$

$$H \neq H(p)$$

$$H \neq H(v)$$

platí jen pro
ideální plyn

$$[T] \quad dU = dH = 0 \quad \Delta U = \Delta H = 0 \quad (\text{jen pro ideální plyn})$$

Základy termodynamiky (TD)

Tepelné kapacity:

izochorická

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v$$

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

$$U_2 - U_1 = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

izobarická

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

Mayerův vztah $C_{pm} - C_{vm} = R$ [id. plyn]

2. Vnitřní energie a entalpie

Vnitřní energii argonu ve stavu ideálního plynu při 25°C a tlaku 101,325 kPa byla přisouzena hodnota 3718 J mol⁻¹. Jaká je odpovídající hodnota molární entalpie argonu? Předpokládejte platnost stavové rovnice ideálního plynu.

$$\textcircled{1} \quad H_m = u_m + pV_m = 3718 + 101325 \cdot 0,0245 = 6197 \text{ J/mol}$$

$$u_m = 3718 \text{ J/mol}$$

$$V_m = \frac{RT}{p} = 0,0245 \text{ m}^3$$

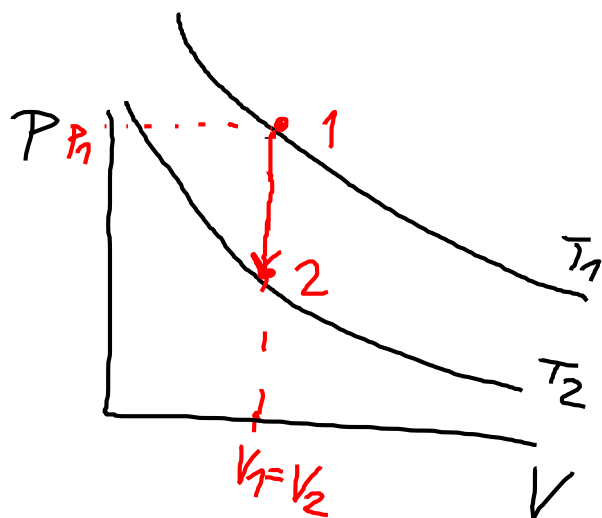
$$\textcircled{2} \quad H_m = u_m + \underline{pV_m} = u_m + RT = 6197 \text{ J/mol}$$

$$\underline{pV_m} = RT$$

$$298,15 \text{ K}$$

P10

5 molů dusíku (předpokládejme chování ideálního plynu) bylo izochoricky převedeno z výchozího stavu o tlaku 320 kPa a objemu 40 dm³ do konečného stavu daného tlakem 302,6 kPa. Molární tepelná kapacita dusíku je $C_{pm} = 29,2 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. Pro tento děj vypočtěte ΔU , ΔH , Q , W .



$$① \quad P_1 = 320 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 40 \text{ dm}^3$$

$$n_1 = 5 \text{ mol}$$

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{n_1 R} = 307,9 \text{ K}$$

[V]

$$② \quad P_2 = 302,6 \text{ kPa}$$

$$V_2 = V_1 = 40 \text{ dm}^3$$

$$n_2 = n_1 = 5 \text{ mol}$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{n_2 R} = 297,16 \text{ K}$$

P10

5 molů dusíku (předpokládejme chování ideálního plynu) bylo izochoricky převedeno z výchozího stavu o tlaku 320 kPa a objemu 40 dm³ do konečného stavu daného tlakem 302,6 kPa. Molární tepelná kapacita dusíku je $C_{pm} = 29,2 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. Pro tento děj vypočtěte ΔU , ΔH , Q , W .

$$[V]$$

$$dV=0$$

$$\Delta U = Q + \underbrace{\int_{V_1}^{V_2} (-p) dV}_{W_{obj.}} \Rightarrow \Delta U = Q$$

$$W = 0$$

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = \int_{T_1}^{T_2} n C_{vm} dT = n C_{vm} \int_{T_1}^{T_2} dT = n C_{vm} (T_2 - T_1) = -1749 \text{ J}$$

Mayer: $C_{pm} - C_{vm} = R \Rightarrow C_{vm} = C_{pm} - R = 29,2 - 8,3145 = 20,9 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

P10

5 molů dusíku (předpokládejme chování ideálního plynu) bylo izochoricky převedeno z výchozího stavu o tlaku 320 kPa a objemu 40 dm³ do konečného stavu daného tlakem 302,6 kPa. Molární tepelná kapacita dusíku je $C_{pm} = 29,2 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. Pro tento děj vypočtěte ΔU , ΔH , Q , W .

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta U + \Delta(pV) = \Delta U + (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \\ &= -1749 + (302,6 \cdot 40 - 320 \cdot 40) = \\ &= -2445 \text{ J} = -2,445 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{v}] \quad dV &= 0 \Rightarrow W_{\text{obj}} = 0 \\ \Delta U &= Q\end{aligned}$$