

W zbiorniku o objętości $V = 2,5 \text{ m}^3$ znajdowało się $n_H = 0,8 \text{ kmol}$ helu He (4) o ciśnieniu $p_1 = 7,5 \text{ bar}$. Do zbiornika doprowadzono rurociągiem $n_N = 0,4 \text{ kmol}$ azotu N_2 (28) o temperaturze $t_2 = 47^\circ\text{C}$. Obliczyć ciśnienie roztworu po wymieszaniu się gazów i wyrównaniu temperatury. Ile wynosi ciśnienie cząstkowe azotu w roztworze?

ROZWIĄZANIE

$$n = n_H + n_N = 0,8 + 0,4 = 1,2 \text{ [kmol]}$$

$$z_H = \frac{n_H}{n} = \frac{0,8}{1,2} = 0,667$$

$$z_N = \frac{n_N}{n} = \frac{0,4}{1,2} = 0,333$$

$$(Mc_v)_H = \frac{1}{2} f_H (MR) = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 8314 = 12470 \left[\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$$

$$(Mc_v)_N = \frac{1}{2} f_N (MR) = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 8314 = 20780 \left[\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$$

$$(Mc_p)_N = (Mc_v)_N + (MR) = 2079 + 8314 = 29100 \left[\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$$

Zastępcze ciepło właściwe roztworu przy stałej objętości

$$(Mc_v) = z_H (Mc_v)_H + z_N (Mc_v)_N = 0,667 \cdot 12470 + 0,333 \cdot 20780 = 15240 \left[\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$$

Początkowa temperatura azotu

$$T_N = t_N + 273,15 = 47 + 273,15 = 320,15 \text{ [K]}$$

Początkowa temperatura helu

$$T_H = \frac{p_1 V}{n_H (MR)} = \frac{7,5 \cdot 10^5 \cdot 2,5}{0,8 \cdot 8314} = 281,9 \text{ [K]}$$

Ciśnienie roztworu po wymieszaniu się gazów i wyrównaniu temperatury wyznaczmy z termicznego równania stanu

$$p_2 = \frac{n(MR)T_k}{V} \tag{1}$$

Końcową temperaturę roztworu gazów T_k wyznaczmy z równania bilansu energetycznego układu przy założeniu, że układem termodynamicznym jest gaz w zbiornikach. Ogólne równanie bilansu energetycznego ma postać

$$E_d = \Delta E_u + E_w \quad (1)$$

Energia gazu doprowadzonego rurociągiem jest równa jego entalpii

$$E_d = I_r = n_N (Mc_p)_N T_N \quad (2)$$

$$\Delta E_u = E_2 - E_1 = U_2 - U_1 \quad (3)$$

$$U_1 = n_H (Mc_v)_H T_H \quad (4)$$

$$U_2 = n_H (Mc_v)_H T_k + n_N (Mc_v)_N T_k = n (Mc_v) T_k \quad (5)$$

$$E_w = 0 \quad (6)$$

Po podstawieniu równań (2) – (6) do równania (1) dostajemy

$$n_N (Mc_p)_N T_N = n (Mc_v) T_k - n_H (Mc_v)_H T_H$$

$$T_k = \frac{n_N (Mc_p)_N T_N + n_H (Mc_v)_H T_H}{n (Mc_v)} = \frac{0,4 \cdot 29100 \cdot 281,9 + 0,8 \cdot 12470 \cdot 281,9}{1,2 \cdot 15240} = 357,5 [K]$$

Końcowe ciśnienie roztworu

$$p = \frac{1,2 \cdot 8314 \cdot 357,5}{2,5} = 14,27 \cdot 10^5 \left[\frac{N}{m^2} \right] = 14,27 \text{ bar}$$

Ciśnienie cząstkowe helu w roztworze jest równe

$$p_{H_2} = z_H p_2 = 0,667 \cdot 14,27 = 9,518 [bar]$$