



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 3. Разделение углеводов

1. На конденсат, находящийся в порах мембраны, помимо силы тяжести действует сила поверхностного натяжения. Масса жидкого бутана, содержащегося в одной поре, равна

$$m = \rho V$$
$$m = \rho \pi r^2 h$$

Значит, сила тяжести составляет

$$F_T = mg$$
$$F_T = \rho \pi r^2 h g$$
$$F_T = 601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 5,9 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$$

Сила поверхностного натяжения:

$$F_H = \sigma L$$
$$F_H = 2\pi r \sigma$$

где L – длина окружности, ограничивающей мениск жидкости.

$$F_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 11,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 2,8 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$$

Поскольку сила поверхностного натяжения значительно превышает силу тяжести, жидкий бутан не будет вытекать из поры.

2. В начальный момент времени поры мембраны заполнены конденсатом, который будет препятствовать проникновению метана. Напротив, жидкий бутан, заполняющий поры, будет испаряться в верхней части сосуда, где его давление ниже давления насыщенных паров. Следовательно, в начальный момент времени преимущественно будет проникать бутан, конденсируясь в порах мембраны со стороны нижней части сосуда и испаряясь из пор в верхней части сосуда. Диффузия метана будет сильно ограничена его растворимостью в жидком бутане.
3. Объем мембраны равен

$$V = Sh$$

Так как поры занимают лишь 20% от объема мембраны, то их суммарный объем равен

$$V_{\Pi} = Sh\omega$$

Поскольку жидкий бутан целиком заполняет поры, объем конденсата равен объему пор, а масса жидкого бутана равна

$$m = \rho V_{\Pi}$$

$$m = \rho Sh\omega$$

$$m = 601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 0,2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг} = 24 \text{ мг.}$$

4. Определим количество бутана в сосуде. Оно складывается из газообразного бутана в верхней части сосуда (v_1), газообразного бутана в нижней части сосуда (насыщенных паров, v_2), конденсата на дне сосуда (v_3) и конденсата в порах мембраны (v_4). По уравнению Клапейрона-Менделеева

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{pV}{RT}$$

$$\nu_1 = \frac{p_1 V_1}{RT} = \frac{0,1 \cdot 101325 \text{ Па} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (27 + 273) \text{ К}} = 0,0081 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = \frac{p_0 (V_2 - V_L)}{RT} = \frac{2,53 \cdot 101325 \text{ Па} \cdot (1 - 0,012) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (27 + 273) \text{ К}} = 0,1016 \text{ моль}$$

При расчёте ν_2 учтено, что давление газообразного бутана равно давлению насыщенных паров (2,53 атм), а объём, занимаемый газом, равен объёму нижней части сосуда за вычетом объёма, занимаемого жидкостью.

Количество жидкого бутана на дне сосуда определим, рассчитав его массу.

$$\nu_3 = \frac{m}{M} = \frac{\rho V_L}{M}$$

$$\nu_3 = \frac{601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{5,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,1244 \text{ моль}$$

Аналогично найдём количество жидкого бутана, содержащегося в порах мембраны.

$$\nu_4 = \frac{2,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг}}{5,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,0004 \text{ моль}$$

Следовательно, суммарное количество бутана равно

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \nu_4$$

$$\nu = 0,0081 + 0,1016 + 0,1244 + 0,0004 = 0,2345 \text{ моль}$$

Суммарный объём сосуда равен

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 2 \text{ л} + 1 \text{ л} = 3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

По уравнению Клапейрона-Менделеева

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$p = \frac{0,2345 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300\text{К}}{3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 194870 \text{ Па} = 1,92 \text{ атм}$$

Рассчитанное давление меньше давления насыщенных паров бутана, значит, эта величина и есть искомое давление после установления равновесия.