

Газовые смеси

Если в сосуде находится смесь газов X, Y, Z, \dots , то *парциальным давлением* p_X газа X называется давление, которое было бы в этом сосуде, если бы он был заполнен только газом X . Оказывается, что давление p газовой смеси равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав этой смеси: $p = p_X + p_Y + p_Z + \dots$ (закон Дальтона). Для смеси идеальных газов работает уравнение Менделеева–Клапейрона: $pV = (\nu_X + \nu_Y + \nu_Z + \dots)RT$.

ЗАДАЧА 1. Найдите среднюю молярную массу и плотность смеси двух идеальных газов. Массы газов равны m_1 и m_2 , их молярные массы — μ_1 и μ_2 . Смесь находится при температуре T , давление смеси равно p .

$$\frac{\mu(\nu_1/\nu_1 + \nu_2/\nu_1)}{d(\nu_1 + \nu_2)} = d \quad ; \quad \frac{\nu_1/\nu_1 + \nu_2/\nu_1}{\nu_1 + \nu_2} = \mu$$

ЗАДАЧА 2. В сосуде объёмом V находится ν молей двухатомного газа. Сосуд нагрели до температуры T , при которой $\alpha = 1/2$ часть молекул газа диссоциировала на атомы. Найдите давление в сосуде.

$$\frac{\mu z}{\mu^\alpha} = \frac{\mu}{\mu^\alpha} (\alpha + 1) = d$$

ЗАДАЧА 3. («Росатом», 2011, 11) В закрытом сосуде при температуре T находился кислород в количестве 2 моль, содержащий некоторое количество озона O_3 . С течением времени озон полностью превратился в молекулярный кислород. Получившийся кислород оказывает то же самое давление, что и первоначальная смесь газов при температуре $8T/9$. Найти количество вещества (число молей) озона в сосуде в начальный момент времени.

$$\frac{z}{z}$$

ЗАДАЧА 4. (МФТИ, 1998) Чему равна масса m азота, который содержится в воздухе комнаты объёмом $V = 75 \text{ м}^3$? Средняя квадратичная скорость молекул азота $v = 500 \text{ м/с}$. Считать, что воздух состоит из азота и кислорода. Концентрация молекул азота в $\beta = 4$ раза больше концентрации молекул кислорода. Атмосферное давление $p = 10^5 \text{ Па}$.

$$\mu z \approx \frac{z}{\mu^\alpha} \frac{1+g}{g} = m$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2008) Смесь гелия ($\mu_r = 4 \text{ г/моль}$) и кислорода ($\mu_k = 32 \text{ г/моль}$) имеет при давлении $p = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $T = 300 \text{ К}$ плотность $\rho = 0,3 \text{ кг/м}^3$.

- 1) Найдите отношение числа молекул гелия к числу молекул кислорода.
- 2) Какой станет при том же объёме плотность смеси, если из неё удалить половину молекул гелия?

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{d}{\mu d} = \mu \quad ; \quad \rho = \frac{(\nu_1 + \nu_2)RT}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2)RT}{V} = \frac{\mu_1 \nu_1 + \mu_2 \nu_2}{V} = \mu$$

Задача 6. (МОШ, 2007, 10) В сосуде постоянного объёма находится смесь гелия и кислорода. Смесь нагревают от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 4T_1/3 = 400$ К, при этом половина атомов гелия покидает сосуд, а давление газа остается прежним. Во сколько раз при этом изменяется плотность смеси? Молярная масса кислорода $\mu_k = 32$ г/моль, гелия $\mu_r = 4$ г/моль.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(n_1 + n_2) \mu}{n_1 + n_2 \mu} = \frac{\mu}{\mu_1}$$

Задача 7. («Росатом», 2012, 11) В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T_1 , когда половина молекул азота диссоциировала на атомы, а диссоциации водорода не происходит, давление в сосуде равно p_1 . При температуре T_2 , когда диссоциировали все молекулы азота и треть молекул водорода, давление в сосуде равно p_2 . Найти отношение числа атомов азота к числу атомов водорода в смеси.

$$\frac{\frac{p_2}{T_2} - \frac{1}{2} \frac{p_1}{T_1}}{\frac{1}{3} \frac{p_2}{T_2} - \frac{1}{3} \frac{p_1}{T_1}} = \frac{n_N}{n_H}$$

Задача 8. (МФТИ, 1993) В модели изотермической атмосферы зависимость давления $p(h)$ каждого газа, входящего в состав воздуха, от высоты h определяется барометрической формулой $p = p_0 \exp(-\mu gh/RT)$, где p_0 — давление у поверхности земли, μ — молярная масса компоненты воздуха, $R = 8,31$ Дж/(моль · К) — газовая постоянная, $g = 9,8$ м/с² — ускорение свободного падения. В литре воздуха, взятого при нормальных условиях у поверхности земли, содержится 23% (по массе) кислорода. Какая масса кислорода содержится в литре воздуха, взятого на вершине Эвереста (высота $H = 8,9$ км)? Средняя молярная масса воздуха у поверхности Земли $\mu_0 = 29$ г/моль.

$$\mu_0 \approx 29 \text{ г/моль, } \mu_{O_2} \approx \left(\frac{16}{29} \right) \mu_0 \approx 9,1 \text{ г/моль}$$