

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: $pV = (\nu_X + \nu_Y + \nu_Z + \dots)RT$.

Перед решением задач листка рекомендуется поработать с материалами из приведённого списка. В статьях, помеченных красным кружком, имеются упражнения (ответы — либо в конце документа, либо отдельной ссылкой), которые, разумеется, необходимо делать. Пустой кружок означает факультативный материал; его можно пропустить при первом знакомстве.

- С. Коршунов. Закон Дальтона. «Квант», 1981, №11. [[Ответы](#)]

Задачи МФТИ: полупроницаемая перегородка, диссоциация газа, радиоактивный распад трития. Упражнения.

- А. И. Черноуцан. Задачи на смешение идеальных газов. «Квант», 2008, №4.

Только газовые законы: соединение сосудов, частичная диссоциация, влажный воздух. Термодинамика: соединение теплоизолированных сосудов. Упражнения.

- А. В. Бялко. Что такое атмосфера. «Квант», 1983, №6.

ЗАДАЧА 1. (МОШ, 2018, 11) В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре $2T$. В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до T . Найдите, во сколько раз изменился объём содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{\nu_1 R T_1}{\nu_2 R T_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2}$$

ЗАДАЧА 2. 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 .

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = d : \frac{\nu_1 R T_1}{\nu_2 R T_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2}$$

ЗАДАЧА 3. 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.

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} = \frac{\nu T_1}{\nu T_2}$$

ЗАДАЧА 4. («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.

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} = \frac{\nu T_1}{\nu T_2}$$

ЗАДАЧА 5. (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 $p = 10^5 \text{ Па}$.

$$\rho \approx \frac{\rho_0}{\beta} \frac{1+\beta}{\beta} = \rho_0 \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right)$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2008) Смесь гелия ($\mu_{\text{г}} = 4 \text{ г/моль}$) и кислорода ($\mu_{\text{к}} = 32 \text{ г/моль}$) 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?

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{N_{\text{г}} \mu_{\text{г}} + N_{\text{к}} \mu_{\text{к}}}{V} = \frac{N_{\text{г}} \mu_{\text{г}}}{V} + \frac{N_{\text{к}} \mu_{\text{к}}}{V} = \rho_{\text{г}} + \rho_{\text{к}} \quad \left(\frac{N_{\text{г}}}{N_{\text{к}}} = \frac{\rho_{\text{г}} \mu_{\text{к}}}{\rho_{\text{к}} \mu_{\text{г}}} \right)$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2007, 10) В сосуде постоянного объёма находится смесь гелия и кислорода. Смесь нагревают от температуры $T_1 = 300 \text{ К}$ до температуры $T_2 = 4T_1/3 = 400 \text{ К}$, при этом половина атомов гелия покидает сосуд, а давление газа остается прежним. Во сколько раз при этом изменяется плотность смеси? Молярная масса кислорода $\mu_{\text{к}} = 32 \text{ г/моль}$, гелия $\mu_{\text{г}} = 4 \text{ г/моль}$.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(1/2) \mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}}{\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu_{\text{к}}}{\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}} + 1 \right)$$

ЗАДАЧА 8. («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.

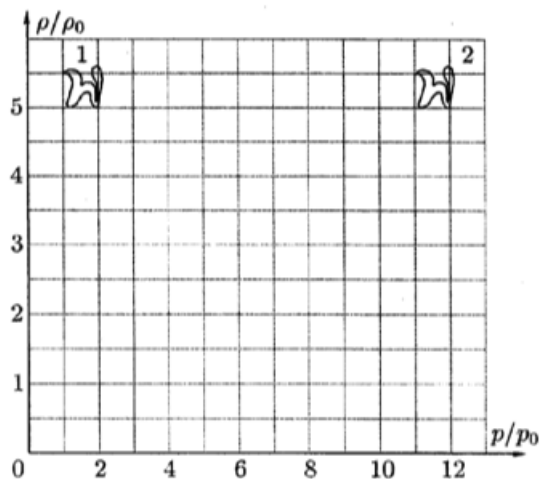
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{1}{2} \mu_{\text{N}} + \frac{1}{3} \mu_{\text{H}}}{\mu_{\text{N}} + \mu_{\text{H}}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\mu_{\text{N}}}{\mu_{\text{N}} + \mu_{\text{H}}} + 2 \right)$$

ЗАДАЧА 9. (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, $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ — газовая постоянная, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — 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 $H = 8,9 \text{ км}$)? Средняя молярная масса воздуха у поверхности Земли $\mu_0 = 29 \text{ г/моль}$.

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\mu gh}{RT} \Rightarrow \frac{p}{p_0} = \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) \Rightarrow \frac{p}{p_0} = \exp\left(-\frac{\mu_0 g H}{R T_0}\right)$$

Задача 10. (Всеросс., 2010, финал, 10) При нормальных условиях кислород состоит из двухатомных молекул O_2 . При повышении температуры часть молекул может диссоциировать, в результате чего из каждой молекулы O_2 образуются два атома O .

На рисунке показаны два идентичных циклических процесса 1 и 2 в координатах (ρ, p) , где ρ — плотность газа, p — давление. По осям отложены безразмерные величины p/p_0 и ρ/ρ_0 , где p_0 и ρ_0 — некоторые масштабные коэффициенты. При проведении первого эксперимента рабочим веществом служил молекулярный кислород O_2 (низкие температуры). Второй эксперимент проводился при значительно более высоких температурах. При этом часть кислорода находилась в молекулярном (O_2), а часть — в атомарном (O) состоянии, и степень диссоциации не изменялась в течение эксперимента. Масса газа в обоих экспериментах была одной и той же. Известно, что отношение максимальных температур в этих экспериментах $k_{\max} = T_{2,\max}/T_{1,\max} = 5,0$.



1) Определите степень диссоциации α (долю диссоциированных молекул) молекул кислорода во втором эксперименте.

2) Определите отношение k_{\min} минимальных температур в этих экспериментах.

$$\frac{9}{55} = \frac{\nu+1}{11} = \text{целый} \quad (\text{т.е. } \frac{9}{1} = \nu \text{ (1)})$$