

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. 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 .

$$\frac{\mu_1(\nu_1/\nu_1 + \nu_2/\nu_1)}{d(\nu_1 + \nu_2)} = d : \frac{\nu_1/\nu_1 + \nu_2/\nu_1}{\nu_1 + \nu_2} = \nu_1$$

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.

$$\frac{\Delta \nu}{\Delta \nu \Delta \xi} = \frac{\Delta \nu}{\Delta \nu \alpha} (\nu + 1) = d$$

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.

$$\text{члом } \frac{\xi}{2}$$

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 $p = 10^5 \text{ Па}$.

$$\text{ля } \nu L \approx \frac{\nu \alpha}{\Delta \xi} \frac{1+g}{g} = m$$

Задача 5. (МФТИ, 2008) Смесь гелия ($\mu_{\text{г}} = 4$ г/моль) и кислорода ($\mu_{\text{к}} = 32$ г/моль) имеет при давлении $p = 10^5$ Па и температуре $T = 300$ К плотность $\rho = 0,3$ кг/м³.

- 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?

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{(\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}) \rho}{\mu_{\text{г}} \rho_{\text{г}} + \mu_{\text{к}} \rho_{\text{к}}} = \frac{(\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}) \rho}{\mu_{\text{г}} \rho_{\text{г}} + \mu_{\text{к}} \rho_{\text{к}}} = \rho' / \rho \quad (\rho' : \rho = \frac{\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}}{\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}})$$

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 $\mu_{\text{к}} = 32$ г/моль, гелия $\mu_{\text{г}} = 4$ г/моль.

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{(\mu_{\text{г}} + \mu_{\text{к}}) \rho_1}{\mu_{\text{г}} \rho_{\text{г}1} + \mu_{\text{к}} \rho_{\text{к}1}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

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.

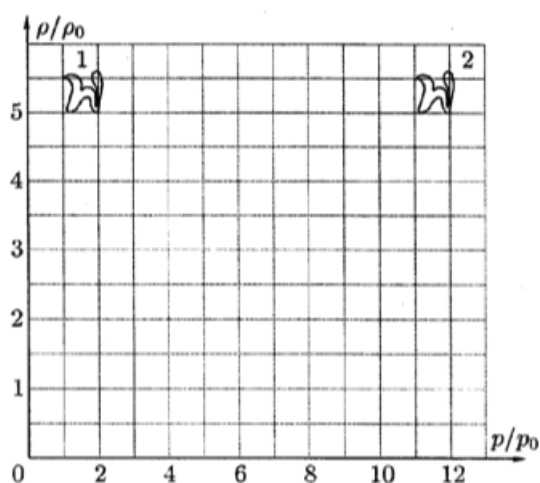
$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_{\text{N}} \rho_{\text{N}1} + \mu_{\text{H}} \rho_{\text{H}1}}{\mu_{\text{N}} \rho_{\text{N}2} + \mu_{\text{H}} \rho_{\text{H}2}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Задача 8. (Всеросс., 2006, ОЭ, 10) На поверхность планеты, атмосфера которой имеет среднюю молярную массу $\mu = 43$ г/моль и состоит только из аргона и углекислого газа (молярные массы $\mu_1 = 40$ г/моль и $\mu_2 = 44$ г/моль соответственно), опустился космический аппарат с вакуумированной полостью. От удара о поверхность планеты в стенке полости образовалась микротрещина, размеры которой меньше длины свободного пробега молекулы. Через неё в полость начал поступать газ из атмосферы планеты. Определите отношение α концентраций аргона и углекислого газа в полости космического аппарата через малый промежуток времени после образования микротрещины. Для простоты вычислений считайте, что все молекулы газа имеют одинаковую кинетическую энергию.

$$\alpha \approx \frac{\mu_1}{\mu_2} \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} = \alpha$$

Задача 9. (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 зна-



чительно 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.

$$\frac{p}{p_0} = \frac{p_0 + 1}{1} = \text{число} \left(\frac{p}{p_0} = 0 \right)$$

Задача 10. (*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.

$$p_0 \approx \text{число} \text{ кг/м}^3, \text{ так } p_0 \approx \left(\frac{1H}{H} \right) \exp \frac{1H}{0} \text{ кг/м}^3 = d$$