

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.

$$\frac{8}{9} = \frac{\nu_1 \nu_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

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 .

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

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.

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

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.

$$\frac{8}{9} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

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 $p = 10^5 \text{ Па}$.

$$\rho_{\text{N}_2} \approx \frac{p}{\beta} \frac{1+g}{g} = m$$

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?

$$\rho_{\text{смеси}} = \frac{p}{RT} = \frac{p}{RT} \left(\frac{\mu_{\text{г}}}{\mu_{\text{к}}} \right) = \frac{p}{RT} \left(\frac{\mu_{\text{г}}}{\mu_{\text{к}}} \right) = \rho \left(\frac{\mu_{\text{г}}}{\mu_{\text{к}}} \right) \quad (1)$$

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 $\mu_{\text{г}} = 4 \text{ г/моль}$.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(1+n)z}{1+nz} = \frac{1}{z}$$

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.

$$\frac{z}{z-1} \frac{1+z}{1+z} = \frac{n}{n}$$

ЗАДАЧА 9. («Росатом», 2019, 11) Два двухатомных газа A_2 и B_2 , взятые в равном количестве молей, находятся в сосуде под давлением p . Происходит химическая реакция с образованием газообразного соединения A_2B . Известно, что образовалось максимально возможное количество этого газа. Какое давление будет в сосуде при той же температуре после прохождения реакции?

$$d \frac{p}{p} = 1$$

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, $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ — 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 $\mu_0 = 29 \text{ г/моль}$.

$$\mu_0 \approx m \text{ г/моль} \quad \mu_0 \approx \left(\frac{RH}{H} \right) \text{ дж/моль} = d$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 1997, ОЭ, 11) В цилиндрическом сосуде при одинаковой температуре находятся углекислый газ и гелий, разделённые свободно перемещающимся лёгким поршнем. Гелий занимает объём в 5 раз больше, чем углекислый газ. Из-за нагрева газов до другой одинаковой температуры часть молекул углекислого газа диссоциировала на окись углерода и кислород: $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$. В результате поршень сместился и объём гелия стал в 4 раза больше объёма образовавшейся смеси. Сколько процентов молекул углекислого газа диссоциировало?

□09

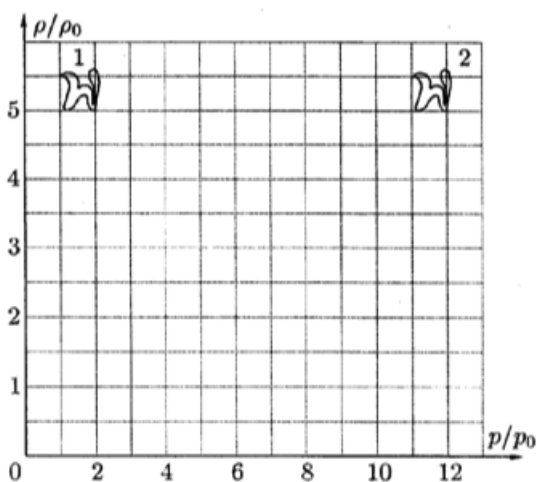
ЗАДАЧА 12. (Всеросс., 2005, ОЭ, 11) В цилиндре под поршнем находятся газы X_2 и Y_2 и соединение X_2Y . В системе протекает химическая реакция $2X_2 + Y_2 \leftrightarrow 2X_2Y$. В равновесном состоянии (когда скорости химической реакции в прямом и обратном направлениях равны) при давлении p система занимала объём V , а количества веществ X_2 , Y_2 и X_2Y были равны ν_1 , ν_2 и ν_3 соответственно. Давление на систему изменили на малую величину Δp . Найдите изменения объёма системы ΔV и количеств веществ $\Delta \nu_1$, $\Delta \nu_2$, $\Delta \nu_3$ после установления нового равновесия. Температура всё время поддерживается постоянной.

Примечание. Известно, что скорость химической реакции пропорциональна произведению концентраций ν_i/V реагирующих веществ. Соответственно, скорости прямой и обратной реакций пропорциональны $(\frac{\nu_1}{V})^2 \frac{\nu_2}{V}$ и $(\frac{\nu_3}{V})^2$. Коэффициенты пропорциональности могут быть разными, но зависят только от температуры. Газы можно считать идеальными.

$$\left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \nu_1}{V} - \frac{\varepsilon_1}{V} + \frac{\varepsilon_2}{V} + \frac{\nu_1}{V} \right) \frac{d}{dV} = x \text{ или } \left(\frac{\varepsilon_1}{V} + \frac{\varepsilon_2}{V} + \frac{\nu_1}{V} \right) \Delta x = \Delta V \cdot x_2 = \varepsilon_1 \Delta V \cdot x_1 - \varepsilon_2 \Delta V \cdot x_2 = \nu_1 \Delta V$$

ЗАДАЧА 13. (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.

$$\frac{9}{55} = \frac{\nu+1}{11} = \text{число} \left(\frac{\varepsilon}{1} = \nu \right) (1$$