

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Основы молекулярной физики и законы идеального газа

1-я часть

Основные формулы

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

$$p = (1/3) m_0 n \overline{v^2}, \quad (1.1)$$

или

$$p = (2/3) n \overline{W}, \quad (1.1')$$

p — давление идеального газа на стенки сосуда, m_0 — масса одной молекулы, n — концентрация молекул, $\overline{v^2}$ — среднее значение квадрата скорости молекул, \overline{W} — средняя кинетическая энергия теплового движения молекул.

Связь между средней кинетической энергией теплового движения молекул и температурой газа

$$\overline{W} = \frac{3kT}{2}, \quad (1.2)$$

k — постоянная Больцмана; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Зависимость давления газа от температуры

$$p = nkT. \quad (1.3)$$

Методика решения задач

1. В задачах, связанных с вычислением количества молекул N в некоторой массе газа m , надо воспользоваться числом Авогадро — $N = N_A \nu = N_A m / \mu$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹;

$\nu = m / \mu$ — число молей в данной массе газа; μ — молярная масса газа.

2. Иногда в задаче требуется «привести данную массу газа к нормальным условиям». Это значит, надо найти объем данной массы газа при давлении $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па и при температуре $T_0 = 273$ К (0 °С).

Примеры решения задач

1. Найдите массу молекулы кислорода.

$$\begin{array}{l} \mu = 0,032 \text{ кг/моль} \\ N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль} \\ \hline m_0 = ? \end{array}$$

Массу одного моля кислорода найдем по таблице Менделеева: относительная масса атома кислорода 16, масса молекулы кислорода O_2 — 32.

$$\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

В моле любого вещества содержится число молекул, определяемое числом Авогадро. Поэтому масса одной молекулы кислорода равна

$$m_0 = \mu / N_A; \quad [m_0] = \text{кг} / (\text{моль} \cdot (1/\text{моль})) = \text{кг};$$

$$m_0 = 5,32 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

2. Какова средняя скорость свободного электрона при температуре $-23\text{ }^\circ\text{C}$?

$$\frac{t = -23\text{ }^\circ\text{C}; T = 250\text{ K}}{\bar{v} - ?} \quad \left| \quad \frac{m\overline{v^2}}{2} = \frac{3kT}{2}, \right.$$

$$\bar{v} = (3kT/m)^{1/2};$$

$$[\bar{v}] = (\text{Дж} \cdot \text{К} / (\text{К} \cdot \text{кг}))^{1/2} = (\text{Дж} / \text{кг})^{1/2} = (\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{с}^2 \cdot \text{кг}))^{1/2} = \text{м} / \text{с};$$

$$\bar{v} \approx 10,7 \cdot 10^4 \text{ м} / \text{с};$$

3. Плотность газа в баллоне электрической лампочки $0,9 \text{ кг} / \text{м}^3$. При горении лампочки средняя квадратичная скорость молекул газа в ней возросла с $547 \text{ м} / \text{с}$ до $632 \text{ м} / \text{с}$. На сколько изменилось при этом давление в лампочке?

$$\left. \begin{array}{l} \rho = 0,9 \text{ кг} / \text{м}^3 \\ \bar{v}_1 = 547 \text{ м} / \text{с} \\ \bar{v}_2 = 632 \text{ м} / \text{с} \\ \Delta p - ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{При нагревании газа увеличится скорость движения} \\ \text{молекул, поэтому увеличится число ударов за 1 с о} \\ \text{стенки баллона и возрастет величина импульса силы,} \\ \text{действующего на стенку при ударе молекулы. Поэтому} \\ \text{давление увеличивается на} \end{array}$$

$$\Delta p = p_2 - p_1.$$

Давление газа на стенку определяется формулой (1.1)

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2},$$

Произведение (ρ) есть плотность газа. Поэтому

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}.$$

$$p_1 = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}_1; \quad p_2 = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}_2;$$

$$\Delta p = \frac{1}{3} \rho (\overline{v^2}_2 - \overline{v^2}_1);$$

$$[\Delta p] = (\text{кг} / \text{м}^3)(\text{м}^2 / \text{с}^2) = (\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2)(1 / \text{м}^2) = \text{Н} / \text{м}^2;$$

$$\Delta p = 3 \cdot 10^4 \text{ Па} = 30 \text{ кПа}.$$

1. Сколько молекул воздуха находится в комнате объемом 240 м^3 при температуре $15 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 750 мм рт. ст. ?
2. Сколько молекул воздуха находится в 2 см^3 воды?
3. Какое количество вещества в молях составляют $5,418 \cdot 10^{26}$ молекул?
4. По молярной массе определите массу молекулы водорода.
5. Сколько молекул содержится в 1 г кислорода?
6. Сколько молекул содержится в капле воды диаметром $0,1 \text{ мм}$?
7. Какую массу имеют $2 \cdot 10^{23}$ молекул азота?
8. Определите температуру газа, если средняя кинетическая энергия поступательного движения его молекул $4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.
9. Масса атома некоторого химического элемента равна $3,32 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$. Какой это элемент?
10. В сосуде находится 2 моля гелия. Сколько примерно атомов гелия в сосуде?
11. Какое количество молекул и количество вещества содержится в 6 кг водорода?
12. Какое количество вещества содержится в теле, состоящем из $1,204 \cdot 10^{24}$ молекул?
13. В сосуде находится газ при давлении $0,15 \text{ МПа}$ и температуре $273 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите концентрацию молекул этого газа.
14. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы кислорода, если его плотность 2 кг/м^3 и давление $3,01 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.
15. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул углекислого газа равна 400 м/с ?
16. Определите среднюю квадратичную скорость молекул аргона при нормальных условиях.
17. Определите плотность кислорода при давлении $0,13 \text{ МПа}$, если средняя квадратичная скорость его молекул равна $1,4 \text{ км/с}$.
18. Определите массу одной молекулы аммиака NH_3 и их количество в баллоне емкостью 2 л при нормальных условиях.
19. Вычислите среднюю скорость молекул гелия при $27 \text{ }^\circ\text{C}$, если известно, что масса молекулы гелия равна $6,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.
20. Сравните средние энергии хаотического поступательного движения молекул при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и $327 \text{ }^\circ\text{C}$.
21. Определите среднюю кинетическую энергию и скорость одной молекулы водорода, масса которой равна $3,4 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, при температуре 500 К .
22. Средняя квадратичная скорость молекулы углекислого газа при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ равна 360 м/с . Какова средняя квадратичная скорость молекул при $127 \text{ }^\circ\text{C}$?
23. Подсчитайте средние значения квадратичной скорости при нормальных условиях для молекул кислорода, водорода, гелия, азота.
24. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа, имеющего плотность $1,8 \text{ кг/м}^3$ при давлении $1,5 \text{ атм}$.
25. Найдите число молекул водорода в 15 см^3 , если его давление равно $26,6 \text{ кПа}$, а средняя квадратичная скорость молекул при данных условиях равна $2,4 \text{ км/с}$.
26. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна 450 м/с , давление газа 50 кПа . Найдите плотность газа.

27. В баллоне объемом 1 л находится азот под давлением 200 кПа, причем в каждом 1 см³ газа содержится $4,3 \cdot 10^{19}$ молекул. Вычислите энергию поступательного движения одной молекулы и суммарную энергию всех молекул. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул.

28. Подсчитайте значения средней квадратичной скорости при нормальных условиях для молекул кислорода, водорода.

29. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа, имеющего плотность 1,8 кг/м³ при давлении 1,5 атм.

30. При повышении температуры идеального газа на 150 К средняя квадратичная скорость его молекул увеличилась с 400 м/с до 500 м/с. На сколько надо нагреть этот газ, чтобы увеличить среднюю квадратичную скорость его молекул с 500 м/с до 600 м/с?

31. Два одинаковых сосуда, содержащих одинаковое число молекул азота, соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул равна 400 м/с, а во втором 500 м/с. Какая установится скорость, если открыть кран, соединяющий сосуды? Потерями теплоты пренебречь.

32. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Как изменится его давление, если средняя квадратичная скорость его молекул увеличится на 20 %?

33. Какое давление на стенки сосуда производят молекулы газа, если масса газа равна 3 г, объем – 0,15 л, а средняя квадратичная скорость молекул – 500 м/с?

34. Воздух состоит из молекул кислорода и азота. Одинакова ли средняя энергия поступательного движения молекул для этих газов?

35. В закрытый сосуд с воздухом ввели эфир, после испарения которого концентрация молекул газообразного эфира оказалась равной $1 \cdot 10^{23}$ м⁻³, а давление повысилось на 414 Па. Температура газовой смеси в сосуде равна 27 °С. Определите постоянную Больцмана.

36. В одном сосуде находится азот, во втором – водород. Чему равно отношение давления азота к давлению водорода при одинаковых значениях концентрации молекул и температур?

37. При нагревании идеального газа средняя квадратичная скорость теплового движения молекул увеличилась в 4 раза. Как при этом изменилась абсолютная температура?

38*. Концентрация молекул неизвестного газа при нормальных условиях равна $2,7 \cdot 10^{25}$ м⁻³. Этот же газ при температуре 91 °С и давлении 800 кПа имеет плотность 5,4 кг/м³. Найдите массу одной молекулы этого газа.

39. Средняя квадратичная скорость хаотического движения молекул кислорода, находящегося при нормальных условиях равна 460 м/с. Масса молекулы равна $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг. Какова средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул? Найдите кинетическую энергию поступательного движения всех молекул, содержащихся в 1 м³ кислорода при нормальных условиях.