

Примеры заданий с выбором ответа

1. В баллоне объёмом $1,66 \text{ м}^3$ находится 2 кг азота при давлении 10^5 Па . Чему равна температура этого газа?

- 1) $280 \text{ }^\circ\text{C}$ 2) $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 3) $7 \text{ }^\circ\text{C}$ 4) $-13 \text{ }^\circ\text{C}$

Проверь себя: В задаче рассматривается одно состояние азота (молярная масса $M_{\text{N}_2} = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$).

Вспользуемся уравнением Менделеева — Клапейрона в форме $pV = \frac{m}{M} RT$, откуда выразим температуру $T = \frac{pVM}{mR}$. Проводя вычисления, получаем: $T = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 1,66 \text{ м}^3 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{2 \text{ кг} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}} = 280 \text{ К}$.

Переведём абсолютную температуру в градусы Цельсия.

Ответ: 3.

2. При температуре T_0 и давлении p_0 1 моль идеального газа занимает объём V_0 . Каков объём этого же газа, взятого в количестве 2 молей, при давлении $2p_0$ и температуре $2T_0$?

- 1) $4V_0$ 2) $2V_0$ 3) V_0 4) $8V_0$

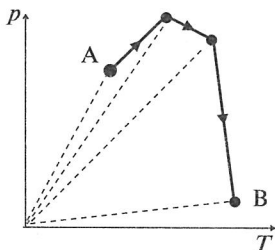
Проверь себя: Состояние идеального газа определяется уравнением Менделеева — Клапейрона: $pV = \nu RT$. Объём газа во втором состоянии:

$$V_2 = \frac{\nu_2 RT_2}{p_2} = \frac{2\nu_0 R 2T_0}{2p_0} = \frac{2\nu_0 RT_0}{p_0} = 2V_0.$$

Ответ: 2.

3. В сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный газ. Процесс изменения состояния показан на диаграмме (см. рисунок). Как менялся объём газа при его переходе из состояния А в состояние В?

- 1) всё время увеличивался
2) всё время уменьшался
3) сначала увеличивался, затем уменьшался
4) сначала уменьшался, затем увеличивался



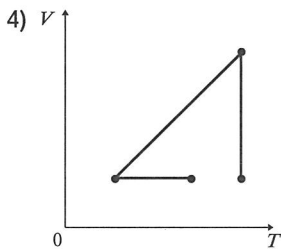
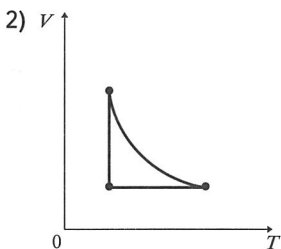
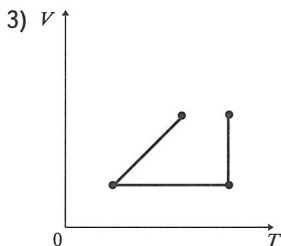
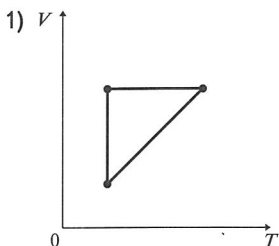
Проверь себя: На рисунке представлена зависимость давления идеального газа от температуры, штриховыми линиями показаны изоchoры, проходящие через точки в течение процесса.

Определим, от чего зависит угол наклона изоchoры в осях $p-T$. Для этого выразим давление как функцию температуры: $p = \frac{\nu R}{V} T$.

Угол наклона прямой в осях $p-T$ определяется коэффициентом пропорциональности $\frac{vR}{V}$, т. е. обратно пропорционален объёму. Значит, чем меньше объём, тем больше угол наклона изохоры к оси T . При переходе из состояния А в состояние В угол наклона всегда уменьшается, следовательно, объём всё время увеличивается.

Ответ: 1.

4. Идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём газа увеличился до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях $V-T$ соответствует этим изменениям состояния газа?



Проверь себя: С газом, рассмотренным в задаче, проходят последовательно три процесса:

1) изобарное охлаждение, которое в осях $V-T$ изображается прямой, проходящей через начало координат (варианты ответа 2 и 4 не подходят), в последнем состоянии температура газа наименьшая;

2) последнее состояние изобарного охлаждения является первым состоянием процесса изохорного увеличения давления, т.е. изохорного нагревания. В осях $V-T$ изохора — прямая, параллельная оси V и последнее состояние этого процесса соответствует наибольшей температуре. Этому условию удовлетворяет только процесс, изображённый на графике 3;

3) чтобы убедиться в справедливости сделанного вывода, рассмотрим и третий процесс: изохорное увеличение объёма до первоначального значения, что и изображено на третьем участке графика 3.

Ответ: 3.

Примеры заданий с развёрнутым ответом

5. Атмосфера Венеры состоит в основном из двуокси углерода с молярной массой $M_B = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, имеет температуру (у поверхности) ≈ 700 К и давление 90 земных атмосфер. Для атмосферы Земли температура у поверхности близка к 300 К. Каково отношение плотностей атмосфер у поверхностей Венеры и Земли? Ответ округлите до целых.

Проверь себя: Будем считать смеси газов, образующих атмосферы Венеры и Земли вблизи поверхностей планет, идеальными газами.

Вспользуемся уравнением состояния идеального газа: $p = \frac{\rho}{M} RT$.

Плотность газа равна $\rho = \frac{pM}{RT}$.

Молярная масса воздуха земной атмосферы: $M_3 = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Отношение плотностей атмосфер Венеры и Земли у их поверхностей:

$$\frac{\rho_B}{\rho_3} = \frac{p_B M_B R T_3}{R T_B p_3 M_3} = \frac{90 \cdot 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 300 \text{ К}}{700 \text{ К} \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 59.$$

Ответ: 59.

6. Идеальный газ изохорно нагревают так, что его температура изменяется на $\Delta T = 240$ К, а давление в 1,8 раза. Масса газа постоянна. Найдите начальную температуру газа по шкале Кельвина.

Проверь себя: В задаче рассматривается процесс изохорного нагревания ($T_2 = T_1 + \Delta T$). Согласно закону Шарля $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, следовательно,

давление газа в рассматриваемом процессе увеличивается: $p_2 = 1,8 p_1$.

Закон Шарля примет вид: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{1,8 p_1}{T_1 + \Delta T}$, откуда $\Delta T = 0,8 T_1$.

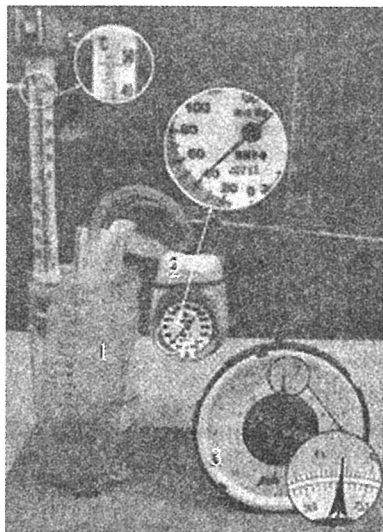
Окончательно: $T_1 = \frac{\Delta T}{0,8} = 300$ К.

Ответ: 300 К.

7. При исследовании уравнения состояния газа ученик соединил сосуд (1) объёмом 150 мл с манометром (2) тонкой трубкой и опустил сосуд в горячую воду (см. рисунок). Чему равна плотность воздуха в сосуде? Начальные показания манометра равны 0 мм рт. ст. Шкала манометра и нижняя шкала барометра (3) проградуированы в мм рт. ст. Верхняя шкала барометра проградуирована в кПа. Объём измерительного механизма манометра и соединительной трубки значительно меньше 150 мл.

Проверь себя: По показаниям приборов определим данные для решения задачи.

Температура воздуха в сосуде $t = 45$ °С, по шкале Кельвина 318 К. Разность давления воздуха в сосуде и атмосферного давления, измеряемая



манометром: $\Delta p = 40 \text{ мм рт. ст.} = 40 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 5,44 \cdot 10^3 \text{ Па}$. По показаниям верхней шкалы барометра атмосферное давление равно $p_{\text{атм}} = 99,4 \text{ кПа} = 99,4 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Давление газа в сосуде: $p = p_{\text{атм}} + \Delta p$.

Так как объём измерительного механизма манометра и соединительной трубки значительно меньше объёма сосуда, считаем, что объём газа равен объёму сосуда. Плотность газа равна отношению массы к занимаемому газом объёму: $\rho = \frac{m}{V}$.

Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона $pV = \frac{m}{M}RT$, следовательно, плотность газа можно вычислить по формуле: $\rho = \frac{pM}{RT}$.

В сосуде находится воздух, молярная масса которого $M_r = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Получаем расчётную формулу: $\rho = \frac{(p_{\text{атм}} + \Delta p)M}{RT}$.

Подставим числовые значения:

$$\rho = \frac{(99,4 \cdot 10^3 \text{ Па} + 5,44 \cdot 10^3 \text{ Па}) \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 318 \text{ К}} = 1,15 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $1,15 \text{ кг/м}^3$.

Внимание! Числовое значение может отличаться от приведённого. Оно будет правильным, если показания приборов сняты с точностью до цены деления. В этой задаче: показания барометра в интервале $(99,4 \div 99,5) \text{ кПа}$, показания манометра в интервале $(40 \div 42) \text{ мм рт. ст.}$, показания термометра $-(44 \div 46) \text{ }^\circ\text{C}$.

8. Воздушный шар объёмом 2500 м^3 с массой оболочки 400 кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. До какой минимальной температуры нужно нагреть воздух в шаре, чтобы шар взлетел вместе с грузом (корзиной и воздухоплателем) массой 200 кг ? Температура окружающего воздуха $7 \text{ }^\circ\text{C}$, его плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$. Оболочку шара считать нерастяжимой.

Проверь себя: На систему «воздушный шар — груз» действуют две силы: сила тяжести $F_{\text{тяж}} = (M + m + m_{\text{в}})g$, где M — масса груза, m — масса оболочки, $m_{\text{в}}$ — масса воздуха внутри шара, и выталкивающая сила $F_{\text{А}} = \rho_{\text{а}} gV$, где $\rho_{\text{а}}$ — плотность атмосферного воздуха вне шара, V — объём шара.

Шар будет подниматься при условии $F_{\text{А}} \geq F_{\text{тяж}}$.

До нагревания сила тяжести больше выталкивающей силы. Так как оболочка шара нерастяжима, его объём не меняется, масса воздуха внутри шара при нагревании уменьшается, а вместе с ней уменьшается и сила тяжести. При достижении некоторой температуры $T_{\text{в}}$ внутри шара $F_{\text{А}} = F_{\text{тяж}}$. Эта температура и является искомой минимальной температурой, до которой нужно нагреть воздух в шаре, чтобы он взлетел вместе с грузом. При этой температуре $(M + m + m_{\text{в}})g = \rho_{\text{а}} gV$ (1).

Выразим неизвестную массу воздуха в шаре из уравнения Менделеева — Клапейрона $pV = \frac{m}{M} RT_{\text{в}}$: $m_{\text{в}} = \frac{pVM}{RT_{\text{в}}}$ (2).

В шаре имеется отверстие, следовательно, давление внутри шара равно атмосферному давлению вне шара, которое из уравнения Менделеева — Клапейрона определяется как $p = \frac{\rho_{\text{а}}}{M} RT_{\text{а}}$ (3),

где $\rho_{\text{а}}$ — плотность атмосферного воздуха.

Подставляя выражение (3) в (2), для массы воздуха получим:

$$m_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{а}} T_{\text{а}} M}{T_{\text{в}}} \quad (4).$$

После сокращения на g с учётом выражения (4) уравнение (1) принимает вид:

$$M + m = \rho_{\text{а}} V \left(1 - \frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{в}}} \right).$$

$$1 - \frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{в}}} = \frac{M + m}{\rho_{\text{а}} V} = \frac{400 \text{ кг} + 200 \text{ кг}}{1,2 \text{ кг/м}^3 \cdot 2500 \text{ м}^3} = 0,2;$$

$$\frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{в}}} = 1 - 0,2 = 0,8;$$

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{а}}}{0,8} = \frac{280 \text{ К}}{0,8} = 350 \text{ К}.$$

Ответ: 350 К.