

**Задания с развернутым ответом
по молекулярной физике**

1.

Образец возможного решения

Шар поднимет груз при условии: $(M + m)g + m_{ш}g = \rho Vg$, где M и m — масса оболочки шара и масса груза, $m_{ш}$ — масса воздуха в шаре и $\rho V = m_a$ — масса такого же по объему воздуха вне шара. Сокращая уравнение на g , имеем: $M + m = m_a - m_{ш}$.

При нагревании воздуха в шаре его давление p и объем V не меняются. Следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона,

$pV = \frac{m_{ш}}{\mu} RT_{ш} = \frac{m_a}{\mu} RT_a$, где μ — средняя молярная масса воздуха, $T_{ш}$ и T_a — его температуры внутри и вне шара. Отсюда:

$m_{ш} = m_a \frac{T_a}{T_{ш}} = \rho V \frac{T_a}{T_{ш}}$, где ρ — плотность окружающего воздуха;

$m_a - m_{ш} = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}}\right)$; $M + m = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}}\right)$. Следовательно,

$$\left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}}\right) = \frac{M + m}{\rho V} = \frac{400 + 200}{1,2 \cdot 2500} = 0,2; \quad \frac{T_a}{T_{ш}} = 1 - 0,2 = 0,8;$$

$$T_{ш} = \frac{T_a}{0,8} = \frac{280}{0,8} = 350 \text{ (К)}.$$

Ответ: $T_{ш} = 77^\circ\text{C}$.

2.

Образец возможного решения

Шар поднимет груз при условии: $(M + m)g + m_{ш}g = \rho Vg$, где M и m — масса оболочки шара и масса груза, $m_{ш}$ — масса воздуха в шаре и $\rho V = m_a$ — масса такого же по объему воздуха вне шара. Сокращая уравнение на g , имеем: $M + m = m_a - m_{ш}$.

При нагревании воздуха в шаре его давление p и объем V не меняются. Следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона,

$pV = \frac{m_{ш}}{\mu} RT_{ш} = \frac{m_a}{\mu} RT_a$, где μ — средняя молярная масса воздуха, $T_{ш}$ и T_a — его температуры внутри и вне шара. Отсюда:

$m_{ш} = m_a \frac{T_a}{T_{ш}} = \rho V \frac{T_a}{T_{ш}}$, где ρ — плотность окружающего воздуха;

Образец возможного решения

$$m_a - m_{ш} = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right); \quad M + m = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right). \text{ Следовательно,}$$

$$m = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right) - M = 1,2 \cdot 2500 \left(1 - \frac{280}{350} \right) - 400 = 200 \text{ (кг).}$$

Ответ: $m = 200$ кг.

3.

Образец возможного решения

Шар поднимет груз при условии: $(M + m)g + m_{ш}g = \rho Vg$, где M и m — масса оболочки шара и масса груза, $m_{ш}$ — масса воздуха в шаре и $\rho V = m_a$ — масса такого же по объему воздуха вне шара. Сокращая уравнение на g , имеем: $M + m = m_a - m_{ш}$.

При нагревании воздуха в шаре его давление p и объем не меняются. Следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона,

$$pV = \frac{m_{ш}}{\mu} RT_{ш} = \frac{m_a}{\mu} RT_a, \text{ где } \mu \text{ — средняя молярная масса воздуха, } T_{ш} \text{ и } T_a \text{ — его температуры внутри и вне шара.}$$

$$\text{Отсюда: } m_{ш} = m_a \frac{T_a}{T_{ш}} = \rho V \frac{T_a}{T_{ш}},$$

где ρ — плотность окружающего воздуха;

$$m_a - m_{ш} = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right);$$

$$M + m = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right).$$

Следовательно,

$$M = \rho V \left(1 - \frac{T_a}{T_{ш}} \right) - m = 1,2 \cdot 2500 \left(1 - \frac{280}{350} \right) - 200 = 400 \text{ (кг).}$$

Ответ: $M = 400$ кг.

4.

Образец возможного решения

Шар с грузом удерживается в равновесии при условии, что сумма сил, действующих на него, равна нулю: $(M + m)g + m_r g - m_g g = 0$, где M и m — массы оболочки шара и груза, m_r — масса

Образец возможного решения

гелия, а $F = m_B g$ — сила Архимеда, действующая на шар. Из условия равновесия следует: $M + m = m_B - m_r$.

Давление p гелия и его температура T равны давлению и температуре окружающего воздуха. Следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, $pV = \frac{m_r}{\mu_r} RT = \frac{m_B}{\mu_B} RT$, где μ_r — молярная масса гелия, μ_B — средняя молярная масса воздуха, V — объем шара.

Отсюда: $m_B = m_r \frac{\mu_B}{\mu_r}$;

$$m_B - m_r = m_r \left(\frac{\mu_B}{\mu_r} - 1 \right) = m_r \left(\frac{29}{4} - 1 \right) = 6,25 m_r;$$

$$M + m = 6,25 m_r.$$

Следовательно, $m = 6,25 m_r - M = 6,25 \cdot 100 - 400 = 225$ (кг).

Ответ: $m = 225$ кг.

5.

Образец возможного решения

Шар с грузом удерживается в равновесии при условии, что сумма сил, действующих на него, равна нулю: $(M + m)g + m_r g - m_B g = 0$, где M и m — массы оболочки шара и груза, m_r — масса гелия, а $F = m_B g$ — сила Архимеда, действующая на шар. Из условия равновесия следует:

$$M + m = m_B - m_r.$$

Давление p гелия и его температура T равны давлению и температуре окружающего воздуха. Следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, $pV = \frac{m_r}{\mu_r} RT = \frac{m_B}{\mu_B} RT$,

где μ_r — молярная масса гелия, μ_B — средняя молярная масса воздуха, V — объем шара.

Отсюда: $m_B = m_r \frac{\mu_B}{\mu_r}$;

$$m_B - m_r = m_r \left(\frac{\mu_B}{\mu_r} - 1 \right) = m_r \left(\frac{29}{4} - 1 \right) = 6,25 m_r;$$

$$M + m = 6,25 m_r.$$

Следовательно, $m_r = \frac{M + m}{6,25} = \frac{625}{6,25} = 100$ (кг).

Ответ: $m_r = 100$ кг.

6.

Образец возможного решения

Закон сохранения импульса при неупругом соударении:

$mv_0 = (m + M)v_{\text{п}}$. Отсюда: $v_{\text{п}} = \frac{mv_0}{m + M}$, где m и M — соответственно масса пули и масса поршня, v_0 — скорость пули, $v_{\text{п}}$ — скорость поршня после попадания пули.

Для внутренней энергии одноатомного идеального газа:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT.$$

Механическая энергия поршня с пулей превратится во внутреннюю энергию гелия. Поэтому: $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{(m + M)v_{\text{п}}^2}{2}$.

Решив систему уравнений, получаем: $M = \frac{m^2 v_0^2}{3R\nu \Delta T} - m$.

Ответ: $M \approx 90$ г.

7.

Образец возможного решения

Закон сохранения импульса при неупругом соударении:

$mv_0 = (m + M)v_{\text{п}}$. Отсюда: $v_{\text{п}} = \frac{mv_0}{m + M}$, где m и M — соответственно масса пули и масса поршня, v_0 — скорость пули, $v_{\text{п}}$ — скорость поршня после попадания пули.

Для расчета внутренней энергии одноатомного идеального газа:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT.$$

Поскольку газ сжимается адиабатно, механическая энергия поршня с пулей превратится во внутреннюю энергию гелия. Поэтому:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{(m + M)v_{\text{п}}^2}{2}.$$

Отсюда: $\Delta T = \frac{m^2 v_0^2}{3R\nu(m + M)} \approx 64$ (К).

Ответ: $\Delta T \approx 64$ К

8.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Первый закон термодинамики, формулы расчета изменения внутренней энергии и работы газа в изобарном процессе:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23},$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}, \quad A_{23} = \nu R \Delta T_{23}.$$

Следовательно, формула расчета количества теплоты:

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23}, \quad \text{в которой учтено, что } T_3 = T_1.$$

Применив закон Шарля для состояний 1 и 2: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$, получим соотношение $T_2 = \frac{T_1}{3}$.

Проведя преобразования, получим формулу расчета количества теплоты и числовое значение: $\Delta T_{23} = \frac{2}{3} T_1$. $Q_{23} = \frac{5}{3} \nu R T_1 = 41,6$ (кДж).

Ответ: $Q_{23} = 41,6$ кДж.

9.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Первый закон термодинамики $\Delta U = Q + A_{\text{вн.с.}}$.

Учитывая, что на участке 1 - 2: $A_{12} = 0$, получим $Q_{12} = -\Delta U_{12}$.

Формула расчета изменения внутренней энергии:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1).$$

Применив закон Гей-Люссака для состояний 2 и 3: $\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2}$ и получим соотношение $T_2 = \frac{T_1}{3}$.

Проведя преобразования, получим формулу расчета количества теплоты и числовое значение: $Q_{12} = \nu R T_1 = 2,5$ кДж.

Ответ: $Q_{12} = 2,5$ кДж.

10.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Первый закон термодинамики, формулы расчета изменения внутренней энергии и работы газа в изобарном процессе:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}.$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}, \quad A_{23} = \nu R \Delta T_{23}.$$

Следовательно, формула расчета количества теплоты:

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23}, \quad \text{в которой учтено, что } T_3 = T_1. \quad \text{Применив закон}$$

Шарля для состояний 1 и 2: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$, получим соотношение $T_2 = \frac{T_1}{3}$.

Проведя преобразования, получим формулу расчета количества теплоты и числовое значение: $\Delta T_{23} = \frac{2}{3} T_1$. $Q_{23} = \frac{5}{3} \nu R T_1 = 41,6$ кДж.

Ответ: $Q_{23} = 41,6$ кДж.

11.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Согласно первому закону термодинамики, $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$,

где $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$; $A_{12} = \nu R(T_2 - T_1)$.

Следовательно, $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R(T_2 - T_1)$.

Согласно закону Шарля, $\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$; следовательно, $T_2 = 3T_1$, и $Q_{12} = 5\nu RT_1$.

Ответ: $Q_{12} = 12,5$ кДж.

12.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Согласно первому закону термодинамики, $\Delta U = Q + A$. На участке 2 - 3 имеем: $A_{23} = 0$. Следовательно, $Q_{23} = \Delta U_{23}$.

Но $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2)$. Согласно закону Шарля, $\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$. Следо-

вательно, $T_3 = \frac{T_2}{3} = \frac{T_1}{3}$, $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R\left(\frac{T_1}{3} - T_1\right) = -\nu RT_1$.

$Q_{23} = \nu RT_1 = 2,5$ кДж.

Ответ: $Q_{23} = 2,5$ кДж.

13.

Содержание верного решения задачи (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысл)

Элементы ответа:

1) Записаны формулы расчета работы: $A_{23} = \nu R(T_3 - T_2)$,

$$A_{123} = A_{12} + A_{23}.$$

2) Применен первый закон термодинамики для адиабатного процесса, использована формула расчета изменения внутренней энергии, учтено равенство температур $T_1 = T_3$ и получена формула расчета A_{12} :

$$A_{12} = -\Delta U_{12}, \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1), A_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2).$$

3) Проведены преобразования, получена формула расчета работы газа при изобарном расширении и рассчитано числовое значение:

$$(T_3 - T_2) = \frac{2}{5} \frac{A_{123}}{\nu R}, A_{23} = \frac{2}{5} A_{123}, A_{23} = 2 \text{ кДж.}$$

14.

Содержание верного решения задачи (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысл)

Элементы ответа:

1) Записаны формулы расчета работы:

$$A_{123} = A_{12} + A_{23},$$

$$A_{23} = \nu R(T_3 - T_2).$$

2) Применен первый закон термодинамики для адиабатного процесса и использована формула расчета изменения внутренней энергии: $\Delta U_{12} = -A_{12}$, $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$. Учтено, что $T_3 = T_1$.

3) Получена формула расчета работы газа для адиабатного процесса и выражена разность температур $A_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2)$.

$$T_3 - T_2 = \frac{2}{3} \frac{A_{12}}{\nu R}.$$

4) Получена формула расчета работы при изобарном процессе, работы газа за весь процесс 1-2-3 и рассчитано числовое значение:

$$A_{23} = \frac{2}{3} A_{12} \quad A_{123} = \frac{5}{3} A_{12}.$$

$$A_{123} = 5 \text{ кДж.}$$

15.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна его температуре и количеству вещества газа. Запишем уравнение Менделеева—Клапейрона: $pV = \nu RT$ (p — давление газа, V — объем сосуда, R — газовая постоянная, T — температура газа, ν — количество вещества газа). Из него видно, что произведение νT пропорционально произведению pV . Значит, согласно условиям задачи, внутренняя энергия воздуха (как и произведение pV) увеличилась в 2 раза.

Ответ: $E_{\text{вн}}$ увеличилась в 2 раза.

16.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна его температуре и количеству вещества газа. Запишем уравнение Менделеева—Клапейрона: $pV = \nu RT$ (p — давление газа, V — объем сосуда, R — газовая постоянная, T — температура газа, ν —

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

количество вещества газа). Из него видно, что произведение vT пропорционально произведению pV . Значит, согласно условиям задачи, внутренняя энергия воздуха (как и произведение pV) увеличилась в 2 раза.

Ответ: $E_{\text{вн}}$ увеличилась в 2 раза.

17.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна его температуре и количеству вещества газа. Запишем уравнение Менделеева—Клапейрона: $pV = \nu RT$ (p — давление газа, V — объем сосуда, R — газовая постоянная, T — температура газа, ν — количество вещества газа). Из него видно, что произведение vT пропорционально произведению pV . Значит, согласно условиям задачи, внутренняя энергия газа (как и произведение pV) уменьшилась в 6 раз.

Ответ: $E_{\text{вн}}$ уменьшилась в 6 раз.

18.

Содержание верного решения задачи (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысл)

Элементы ответа:

1) Записано уравнение: $\frac{pV}{T} = \frac{m}{M}R$.

2) Получены выражения для $\frac{p}{T} = \frac{\rho R}{M}$; $\rho = \frac{PM}{RT}$.

3) Записаны показания приборов:

$$P_A = 746 \text{ мм рт. ст. или } P_A = 99,4 \cdot 10^3 \text{ Па;}$$

$$P_M = 40 \text{ мм рт. ст.};$$

$$t^\circ = 45^\circ\text{C}.$$

4) Определено давление газа:

$$P = P_A + P_M = 746 + 40 = 786 \text{ мм рт. ст.}$$

5) Выполнен расчет: $\rho = \frac{786 \cdot 13,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,029}{8,3 \cdot 318} = 1,17 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$

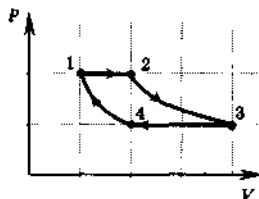
Примечание: решение считать правильным при снятии показаний барометра в интервале (745 + 746) мм рт. столба и манометра в интервале (40 + 42) мм рт. столба. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

19.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

- 1) Сделано утверждение о том, что работу газа на участках цикла удобно сравнивать на pV -диаграмме.
- 2) Данный цикл представлен на pV -диаграмме.
- 3) Сделан вывод о том, что наибольшей по модулю является работа A_{23} .

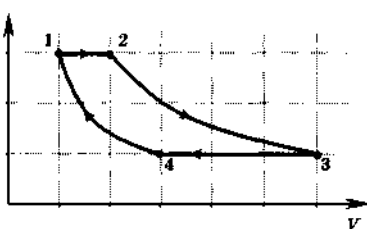


20.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

- 1) Сделано утверждение о том, что работу газа на участках цикла удобно сравнивать на pV -диаграмме.
- 2) Данный цикл представлен на pV -диаграмме.
- 3) Сделан вывод о том, что максимальной по модулю является работа A_{23} .



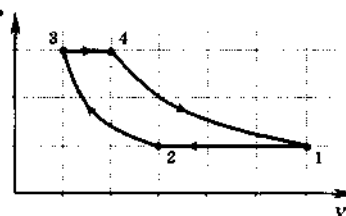
21.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

- 1) Сделано утверждение о том, что работу газа на участках цикла удобно сравнивать на pV -диаграмме.
- 2) Данный цикл представлен на pV -диаграмме.
- 3) Сделан вывод о том, что отношение модулей работ равно, т.е.

$$\frac{\Delta A_{34}}{\Delta A_{12}} = 1.$$

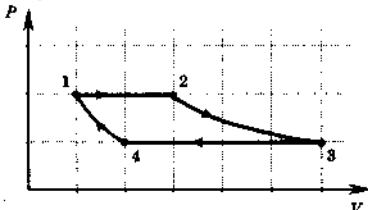


22.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

- 1) Сделано утверждение о том, что работу газа на участках цикла удобно сравнивать на pV -диаграмме.
- 2) Данный цикл представлен на pV -диаграмме.
- 3) Сделан вывод о том, что минимальной по модулю является работа A_{41} .

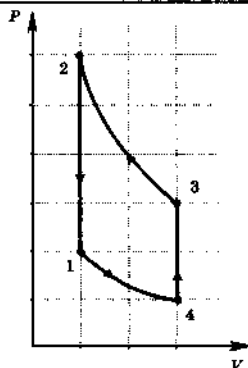


23.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

- 1) Сделано утверждение о том, что работу газа на участках цикла удобно сравнивать на pV -диаграмме.
- 2) Данный цикл представлен на pV -диаграмме.
- 3) Сделан вывод о том, что максимальной по модулю является работа A_{23} .



24.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) После установления равновесия в системе температура обеих частей сосуда станет одинаковой и равной T , а гелий равномерно распределится по всему сосуду.

2) Температура в сосуде определяется из закона сохранения энергии: $\epsilon = \frac{3}{2}R(v_{He}T_{He} + v_{Ar}T_{Ar}) = (v_{He} + v_{Ar})\frac{3}{2}RT$.

3) Отсюда $T = \frac{v_{He}T_{He} + v_{Ar}T_{Ar}}{v_{He} + v_{Ar}} = \frac{2T_{He} + T_{Ar}}{3}$.

4) Получен ответ: $T = 400$ К.

25.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) На временном интервале от 1 до 3 мин. температура вещества остается постоянной, хотя к телу подводится теплота, что свидетельствует о плавлении вещества в течение этого времени. За это время ($\tau_1 = 2$ мин.) вещество в калориметре получит от нагревателя количество теплоты $Q_1 = P\tau_1$ (P — мощность нагревателя), равное теплоте плавления $Q_1 = m\lambda$.

2) В течение минуты после окончания плавления ($\tau_2 = 1$ мин) температура возрастает на $\Delta T = 40^\circ$, поскольку вещество получает $Q_2 = P\tau_2$ теплоты от нагревателя, а изменение температуры пропорционально количеству полученной теплоты $Q_1 = mc \cdot \Delta T$.

3) Уравнения теплового баланса на участке плавления и на участке нагревания образуют систему:
$$\begin{cases} P\tau_1 = m\lambda \\ P\tau_2 = mc \cdot \Delta T \end{cases}$$
 решение которой определяет удельную теплоемкость жидкости:

$$c = \frac{\lambda \tau_2}{\Delta T \tau_1}.$$

4) Получено верное числовое решение $c = 1,25$ кДж/кг К.

26.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) После установления теплового равновесия температура газов станет одинаковой и равной T .

2) Из уравнения Менделеева—Клапейрона: $P_{He}V = \nu_1 RT$, $P_{Ar}V = \nu_2 RT$. Здесь $2V$ — объем сосуда.

3) Из уравнений следует ответ: $\frac{P_{He}}{P_{Ar}} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$.

4) Так как $\nu_1 = \nu_2$, то $\frac{P_{He}}{P_{Ar}} = 1$.

27.

Содержание верного решения задачи

После удаления перегородки температура газов станет одинаковой и равной T . Парциальное давление гелия определяется из

уравнения Менделеева—Клапейрона $P_{He}V = \frac{m}{M_{He}}RT$,

где m — масса гелия.

Содержание верного решения задачи

Температура системы после удаления перегородки определяется из закона сохранения энергии:

$$2 \frac{m u_0^2}{2} = \frac{3}{2} RT \left(\frac{m}{M_{He}} + \frac{m}{M_{Ar}} \right), \text{ где } u_0 = 500 \text{ м/с.}$$

$$\text{Отсюда } RT = \frac{2}{3} \frac{M_{Ar} M_{He}}{M_{Ar} + M_{He}} u_0^2,$$

а следовательно,

$$P_{He} = \frac{mRT}{VM_{He}} = \frac{2mM_{Ar}u_0^2}{3V(M_{He} + M_{Ar})} = 7,6 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

28.

Образец возможного решения

После установления равновесия в системе гелий равномерно распределится по всему сосуду.

В результате в половине сосуда с аргоном окажется $v_1 = \frac{m}{2M_{He}}$ молей гелия, и $v_2 = \frac{m}{M_{Ar}}$ молей аргона.

Здесь m — масса гелия или аргона.

Внутренняя энергия смеси пропорциональна температуре и количеству вещества и не зависит от их химического состава:

$$\epsilon = (v_1 + v_2) \frac{3}{2} RT = \frac{3}{2} mRT \left(\frac{1}{2M_{He}} + \frac{1}{M_{Ar}} \right).$$

$$\text{Ответ: } \epsilon = \frac{3}{2} \cdot 8,3 \cdot 300 \cdot (1 \cdot 0,008 + 1/0,04) = 560 \text{ кДж.}$$

29.

Образец возможного решения

После установления равновесия в системе гелий равномерно распределится по всему сосуду.

В результате количество газа, оставшегося в той части сосуда, где первоначально находился гелий, окажется $v_1 = \frac{m}{2M_{He}}$ молей гелия, где m — масса гелия.

Внутренняя энергия газа пропорциональна температуре и количеству молей вещества: $\epsilon = v_1 \frac{3}{2} RT = \frac{3}{4M_{He}} mRT.$

$$\text{Ответ: } \epsilon = \frac{3}{4 \cdot 0,004} \cdot 8,3 \cdot 300 = 467 \text{ кДж.}$$