

Задание №23

Термодинамика и молекулярная физика

1. При температуре 250 К и давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па плотность газа равна 2 кг/м^3 . Какова молярная масса этого газа? Ответ приведите в килограммах на моль с точностью до десятитысячных.

Уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M}RT$$
$$m = \rho V$$

$$\text{Отсюда: } M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2 \cdot 8,31 \cdot 250}{1,5 \cdot 10^5} = 27,7 \cdot 10^{-3} = 0,0277 \text{ кг/моль}$$

Ответ: 0,0277 кг/моль.

2. В термос с большим количеством льда при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ заливают 0,5 кг воды с температурой $t_2 = 66^\circ\text{C}$. При установлении теплового равновесия в сосуде расплавится лед массой m . Найдите m , ответ укажите в килограммах с точностью до сотых.

При контакте тел с разной температурой между ними начинается теплообмен. Он продолжается до тех пор, пока температуры тел не выровняются.

Льда в термосе много, значит, весь лёд не растает и конечная температура системы будет 0°C .

Так как система находится в термосе, теплотерями можно пренебречь.

Всё тепло, выделяющееся при остывании воды, идёт на плавление льда:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{л}}$$
$$c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t = \lambda m$$

Отсюда: $m = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t}{\lambda} = 0,42 \text{ кг}$

Ответ: 0,42 кг.

3. КПД тепловой машины 30%. За 10 с рабочему телу машины поступает от нагревателя 3 кДж теплоты. Чему равна средняя полезная мощность машины? Ответ приведите в ваттах.

КПД тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q} * 100\%$$

Средняя полезная мощность машины: $P = \frac{A}{t} = \frac{Q\eta}{t100\%} = 90 \text{ Вт}$

Ответ: 90 Вт.

4. Для приготовления домашнего мороженого мама школьника использовала следующий способ. Она заморозила в морозильнике до температуры $t_1 = -12^\circ\text{C}$ фруктовый сок, и далее при помощи блендера превращала кубики льда в «кашицу», состоящую на $n_l = 85\%$ из мелких ледяных частиц и на $n_c = 15\%$ жидкого сока, находящуюся при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Какой объем m такого «мороженого» она могла получить за время 3 мин работы блендера мощностью $P = 120\text{ Вт}$, если $\eta = 0,75$ этой мощности расходовалась на обработку смеси и доведение её до конечного состояния? Средняя плотность полученного мороженого $0,85\text{ г/см}^3$ свойства жидкого сока считайте близкими к свойствам воды, теплообменом смеси с окружающими телами можно пренебречь.

Внутренняя энергия: $\Delta U = \eta Pt$

Нагревание льда: $Q_l = mc_l(t_2 - t_1)$

Плавление льда: $Q_{пл\ л} = m\lambda n_c$

Отсюда, уравнение теплового баланса: $\Delta U = Q_l + Q_{пл\ л}$

$$\eta Pt = mc_l(t_2 - t_1) + m\lambda n_c$$

Масса пучившегося мороженого: $m = \frac{\eta Pt}{c_l(t_2 - t_1) + \lambda n_c} \approx 0,217\text{ кг} = 217\text{ г}$

Объем мороженого: $V = \frac{m}{\rho} = \frac{217}{0,85} \approx 255\text{ см}^3$

Ответ: 255 см^3 .

5. В атмосферном воздухе содержатся кислород и азот. Среднеквадратичная скорость молекул кислорода равна 468 м/с. Чему равна среднеквадратичная скорость молекул азота? Ответ укажите в метрах в секунду с точностью до целых.

$$\text{Среднеквадратичная скорость молекул газа: } v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\text{Отсюда, температура: } T = \frac{mv^2}{3k}$$

$$\text{Для кислорода: } T_1 = \frac{m_1 v_1^2}{3k} \quad \text{Для азота: } T_2 = \frac{m_2 v_2^2}{3k}$$

Так как газы находятся в тепловом равновесии, то их температуры равны:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_2 \\ \frac{m_1 v_1^2}{3k} &= \frac{m_2 v_2^2}{3k} \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда: } v_2 = v_1 \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} = 468 \sqrt{\frac{32}{28}} \approx 500 \text{ м/с}$$

Ответ: 500 м/с.

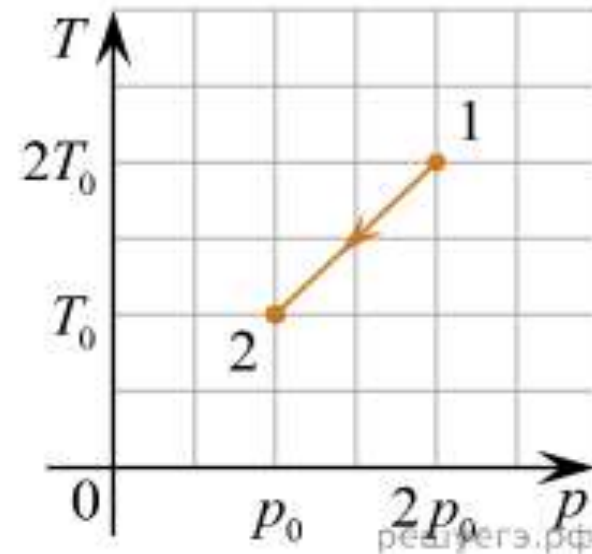
6. На $T-p$ диаграмме показан процесс изменения состояния некоторой массы идеального одноатомного газа. Внутренняя энергия газа уменьшилась на 30 кДж. Чему равно количество теплоты, отданное газом? Ответ приведите в килоджоулях.

Из графика: процесс изохорический, согласно закону Шарля

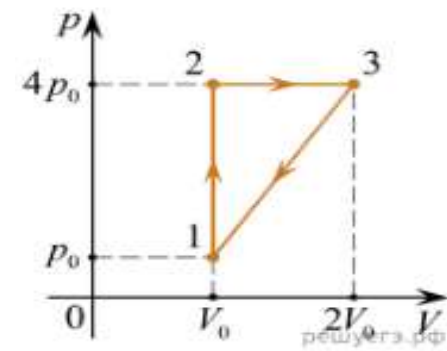
Так как объем газа не изменялся, газ не совершал работы.

Значит, по первому началу термодинамики, количество теплоты, отданное газом равно уменьшению внутренней энергии.

Ответ: 30 кДж.



7. Чему равен КПД цикла, проводимого с идеальным одноатомным газом? Ответ приведите в процентах, округлить до целых.



КПД тепловой машины: $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q} \cdot 100\%$

По графику полезная работа: $A = \frac{1}{2} \cdot (4p_0 - p_0) \cdot (2V_0 - V_0) = \frac{3p_0V_0}{2}$

Передаваемое газу тепло по первому началу термодинамики: $Q = \Delta U + A$

На участке 1-2 газ не совершает работы, и изменение его внутренней энергии:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (4p_0 - p_0)V_0 = \frac{9}{2} p_0V_0$$

На участке 2-3 газ совершает работу:

$$A_{23} = 4p_0(2V_0 - V_0) = 4p_0V_0$$

Изменение внутренней энергии: $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2} 4p_0(2V_0 - V_0) = 6p_0V_0$

Отсюда, на этом участке газ получает тепло: $A_{23} + \Delta U_{23} = 10p_0V_0$

На участке 3-1 газ совершает работу, он остывает, значит, внутренняя энергия уменьшается, он отдает тепло, а не получает.

Все полученное газом тепло за цикл: $Q_1 = \frac{9}{2} p_0V_0 + 10p_0V_0 = \frac{29}{2} p_0V_0$

Отсюда: КПД цикла $\eta = \frac{3p_0V_0/2}{29p_0V_0/2} * 100\% \approx 10\%$

Ответ: 10%.

8. Идеальный одноатомный газ медленно переводят из состояния 1 в состояние 2. Известно, что в процессе $1 \rightarrow 2$ давление газа изменялось прямо пропорционально его объему, а внутренняя энергия газа в этом процессе увеличилась на 6 Дж. Какую работу совершил газ в этом процессе?

По условию: $p = const * V$

На диаграмме pV такой процесс изображается отрезком прямой, проходящей через начало координат.

Работа равна площади фигуры под этим отрезком:

$$A = \frac{(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)}{2} = \frac{(p_2V_2 - p_2V_1 + p_1V_2 - p_1V_1)}{2}$$
$$p_2V_2 - p_1V_1 = \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \Delta U$$
$$p_1V_2 = p_2V_1$$

Отсюда: $A = \frac{1}{3} \Delta U = 2 \text{ Дж}$

Ответ: 2 Дж.

9. Препарат с активностью $1,7 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещён в металлический контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на $5,2^\circ\text{C}$. Известно, что данный препарат испускает α -частицы с энергией 5,3 МэВ, причём практически вся энергия α -частиц переходит во внутреннюю энергию контейнера. Найдите удельную теплоёмкость металла контейнера. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Ответ округлите до целого числа (в единицах СИ).

За время в препарате выделяется количество теплоты:

$$Q = A\varepsilon\Delta t$$

где A — активность препарата, ε — энергия α -частицы, Δt -время.

Изменение температуры контейнера: $Q = cm\Delta T$

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера.

Отсюда:

$$A\varepsilon\Delta t = cm\Delta T$$

$$c = \frac{A\varepsilon\Delta t}{m\Delta T} = \frac{1,7 \cdot 10^{11} \cdot 5,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 7200}{0,5 \cdot 5,2} \approx 399 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

Ответ: 399 Дж/(кг·°C).