Задания для подготовки к контрольной работе по теме
«Основы молекулярно-кинетической теории»

1. Атмосферное давление на пике Ленина (высота 7134 м) $p_1 = 3{,}8 \cdot 10^4$ Па. Определить плотность воздуха ρ_1 на вершине при температуре $t_1 = -10$ °C, если при нормальных условиях ($t_0 = 0$ °C, $p_0 = 10^5$ Па), плотность воздуха $\rho_0 = 1{,}29$ кг/м^3.

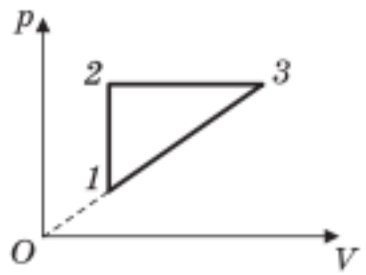
2. Баллон, содержащий $m_1 = 1$ кг азота, при испытании на прочность взорвался при температуре $t_1 = 327$ °C. Какую массу водорода m_2 можно было бы хранить в таком баллоне при температуре $t_2 = 27$ °C, имея пятикратный запас прочности? Молярная масса азота $M_1 = 28$ г/моль, водорода $M_2 = 2$ г/моль.

3. Закрытый с обоих концов горизонтальный цилиндр заполнен идеальным газом при температуре $t = 27$ °C и разделен подвижным теплонепроницаемым поршнем на две равные части длиной $L = 50$ см каждая. На какую величину Δt нужно повысить температуру газа в одной половине цилиндра, чтобы поршень сместился на расстояние $l = 20$ см при неизменной температуре газа во второй половине цилиндра?

4. Вертикально расположенный цилиндрический сосуд, закрытый подвижным поршнем массой $M = 2$ кг, содержит идеальный газ при температуре $T_1 = 300$ К. На поршень помещают тело массой $m = 100$ г и нагревают газ так, чтобы поршень занял первоначальное положение. Найти температуру T_2 нагретого газа. Атмосферное давление не учитывать.

5. В комнате объёмом $V = 60$ м^3 температура поднялась с $t_1 = 17$ °C до $t_2 = 27$ °C. На какую величину Δm изменилась масса воздуха в комнате, если атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па? Молярная масса воздуха $M = 29$ г/моль.

6. На рисунке показан циклический процесс, совершаемый над идеальным газом, причём *1 – 2* – изохорный, *2 – 3* – изобарный процессы. Температуры газа в точках *1* и *3* равны соответственно $T_1 = 300$ К и $T_3 = 400$ К. Найти температуру T_2 газа в точке *2*.



7. Закрытый сосуд заполнен газом при температуре $T_0 = 300$ К и давлении $p_0 = 150$ кПа. Сосуд снабжен предохранительным клапаном, открывающимся при давлении, превышающем $p_м = 200$ кПа. Сосуд нагрели до температуры $T_1 = 600$ К. При этом из него вышло $m = 10$ г газа. Определить массу m_0 газа в сосуде до его нагрева.

8. В лифте, движущемся с ускорением $a = 5$ м/с^2, направленным вверх, находится цилиндрический сосуд, закрытый поршнем массой $M = 20$ кг и площадью $S = 100$ см^2. Под поршнем находится идеальный газ. Поршень расположен на расстоянии $h = 22$ см от дна сосуда. Определить, на какую величину Δh переместится поршень, если лифт будет двигаться с тем же по модулю ускорением, направленным вниз. Температура газа не изменяется. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Трением поршня о стенки сосуда пренебречь.

Ответы:

1. 0,51 кг/м^3.

2. ≈ 28 г.

3. 400 К.

4. 315 К.

5. – 2,4 кг.

6. 346 К.

7. 30 г.

8. 4 см.

Решения:

1.

Решение: Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона–Менделеева) можно записать в следующей форме:

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

где $\rho = m/V$ — плотность газа, p — давление, M — молярная масса, T — абсолютная температура газа. Учитывая, что

$$\rho_0 = \frac{p_0 M}{RT_0}, \quad \rho_1 = \frac{p_1 M}{RT_1},$$

где $T_0 = t_0 + 273°C$, $T_1 = t_1 + 273$ °C, получаем ответ:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{p_1 T_0}{p_0 T_1} = 0,51 \text{ кг/м}^3.$$

2.

Решение: Из уравнения состояния азота следует, что давление, при котором взорвался баллон, $p_1 = \dfrac{m_1}{M_1}\dfrac{RT_1}{V}$, где V — объем баллона. По условию водород можно хранить при давлении $p_2 = p_1/5$. Учитывая, что $p_2 = \dfrac{m_2}{M_2}\dfrac{RT_2}{V}$,получаем ответ: $m_2 = \dfrac{m_1}{5}\dfrac{M_2}{M_1}\dfrac{t_1 + 273\text{ °C}}{t_2 + 273\text{ °C}} \approx 28$г.

3.

Решение: Для части газа, имеющей постоянную температуру, справедлив закон Бойля-Мариотта, согласно которому

$$pLS = p_1(L - l)S,$$

где p — первоначальное давление газа в цилиндре, p_1 — давление в цилиндре после нагревания половины газа, S — площадь поршня. Уравнение состояния, записанное для газа в другой части цилиндра, дает нам соотношение

$$\frac{pLS}{T} = \frac{p_1(L + l)S}{T + \Delta T}.$$

Исключая из этих равенств p и p_1, получаем ответ: $\Delta T = \dfrac{2lT}{L - l} = 400$К.

4.

Решение: Обозначив через p_1 и p_2 давления газа в начальном и конечном состояниях, имеем:

$$p_1V = \nu RT_1, \quad p_2V = \nu RT_2$$

где ν — количество газа, V — его объем. Отсюда $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{T_1}{T_2}$. Учитывая, что

$$p_1 = \frac{Mg}{S}, \quad p_2 = \frac{(M+m)g}{S},$$

после несложных преобразований получаем ответ:

$$T_2 = T_1\left(1 + \frac{m}{M}\right) = 315 \text{ K}.$$

5.

Решение. Пусть m_1 и m_2 — массы воздуха в комнате при температурах $T_1 = t_1 + 273$ °C и $T_2 = t_2 + 273$ °C соответственно. Уравнения состояния воздуха в комнате имеют вид: $p_0V = \dfrac{m_1}{M}RT_1$, $p_0V = \dfrac{m_2}{M}RT_2$. Отсюда $m_{1,2} = \dfrac{p_0VM}{RT_{1,2}}$ и $\Delta m = m_2 - m_1$.

Ответ. $\Delta m = \dfrac{p_0VM(t_1 - t_2)}{R(t_1 + 273\,°\text{C})(t_2 + 273\,°\text{C})} = -2{,}4$ кг.

6.

Решение. Пусть p_1, V_1 — давление и объем газа в точке *1*, p_2 — давление газа в точке *2*, V_3 — объем газа в точке *3*. Для участка *1—2* по закону Шарля: $\dfrac{p_1}{T_1} = \dfrac{p_2}{T_2}$, для участка *2—3* по закону Гей-Люссака: $\dfrac{V_1}{T_2} = \dfrac{V_3}{T_3}$. Поскольку продолжение прямой *1—3* проходит через начало координат, $\dfrac{p_1}{V_1} = \dfrac{p_2}{V_3}$. Объединяя записанные выражения, получаем: $T_2 = \sqrt{T_1T_3} \approx 346$ K.

Ответ. $T_2 \approx 346$ K.

7.

Решение. Уравнение начального состояния газа в сосуде имеет вид: $p_0V = \frac{m_0}{M}RT_0$, где V — объем сосуда, M — молярная масса газа. При нагревании сосуда до некоторой температуры, при которой давление газа становится равным $p_м$, клапан открывается, после чего давление газа в сосуде остается постоянным, а излишек газа выходит наружу. Конечное состояние газа описывается уравнением: $p_мV = \frac{m_0 - m}{M}RT_1$. Исключая V и M, получаем: $m_0 = \frac{mp_0T_1}{p_0T_1 - p_мT_0} = 30$ г.

Ответ. $m_0 = 30$ г.

8.

Решение. Поршень, покоящийся в движущемся лифте, имеет относительно неподвижной системы отсчета ускорение a, совпадающее с ускорением лифта. Запишем уравнения движения поршня в проекциях на направление его ускорения: $Ma = p_1S - p_0S - Mg$ (при ускорении a, направленном вверх), $Ma = Mg + p_0S - p_2S$ (при ускорении a, направленном вниз). Здесь p_1 и p_2 — давления газа под поршнем в этих случаях. Из уравнения состояния газа под поршнем следует, что $p_1hS = p_2(h + \Delta h)S$. Решая эту систему уравнений, находим: $\Delta h = \frac{2Mah}{Sp_0 + M(g - a)} = 4$ см.

Ответ. $\Delta h = 4$ см.