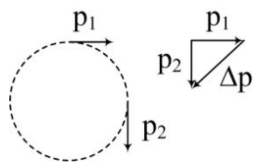
Решения заданий отборочного тура Физической викторины ИНЭП ЮФУ для 10 класса

1. За время t = 1 с, что согласно условию составляет одну четвертую периода обращения, тело совершит перемещение, показанное на рисунке. В этом случае модуль изменения импульса тела равен



$$|\Delta\vec{p}| = \sqrt{(m\upsilon)^2 + (m\upsilon)^2} = m\upsilon\sqrt{2} = \sqrt{2}m\frac{2\pi R}{T}$$

Направление вектора показано на рисунке.

2. Массу углекислого газа в баллончике найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT\ , \quad m = \frac{\mu PV}{RT} = \frac{44\cdot 10^{-3}\cdot 5\cdot 10^{5}\cdot 5\cdot 10^{-6}}{8{,}31\cdot 293} \approx\ ,$$

3. Среднекувадратичную скорость движения молекул идеального газа можно найти, как

$$\upsilon^2 = \frac{3RT}{\mu},$$

где T – температура, μ - молярная масса газа. При повышении температуры газа на ΔT_1 изменение квадрата скорости

$$\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2 = \frac{3R}{\mu}\Delta T_1.$$

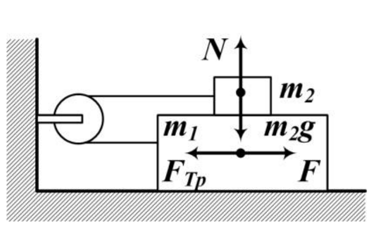
При повышении температуры газа на ΔT_2 изменение квадрата скорости

$$\upsilon_3^2 - \upsilon_2^2 = \frac{3R}{\mu}\Delta T_2.$$

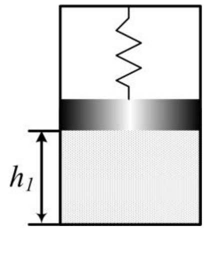
Из последних двух уравнений следует, что

$$\frac{\upsilon_3^2 - \upsilon_2^2}{\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}, \qquad \Delta T_2 = \frac{\upsilon_3^2 - \upsilon_2^2}{\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2}\Delta T_1 = \frac{1500^2 - 1300^2}{1300^2 - 1100^2}77 \approx 90K.$$

4. Векторы сил, действующие на тела, указаны на рисунке. Верхний груз не движется по вертикали, поэтому, $N - m_2g = 0$. Нижний брусок движется по горизонтали с постоянным ускорением, поэтому для проекций сил на горизонтальную ось $m_1a = F - F_{тр}$, $F_{тр} = \mu N = \mu m_2g$. Следовательно, $F = m_1a + \mu m_2g$ = 7 Н.



5. Без газа пружина не деформирована и поршень находится у дна сосуда. Пусть h_1 и h_2 – высота поршня над дном сосуда при различных температурах. Эта высота рана абсолютной деформации пружины. Условия равновесия поршня при двух



разных температурах:

$$kh_1 = p_1 S, \qquad (1)$$

$$kh_2 = p_2 S. \qquad (2)$$

Процесс нагревания газа под поршнем можно описать уравнением

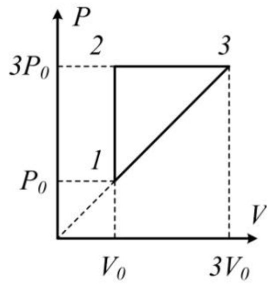
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \qquad (3)$$

Учитывая, что объем $V = Sh$, из (3) получаем $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2 h_1}{T_1 h_2}$. Разделив уравнение (2) на уравнение (1), получим: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{h_2}{h_1}$. Теперь $\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2 = \frac{T_2}{T_1}$. Потенциальная энергия деформированной пружины $W = \frac{kx^2}{2}$, следовательно,

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2 = \frac{T_2}{T_1} = 5,$$

$$\Delta W = W_2 - W_1 = 4W_1 = 4\frac{kh_1^2}{2} = 2 \text{ Дж}.$$

6. Коэффициент полезного действия термодинамического цикла равен отношению работы, совершенной газом за этот цикл A к количеству теплоты, подведенной к газу за цикл $Q^{(+)}$.



$$\eta = \frac{A}{Q^{(+)}}.$$

Полезная работа, совершаемая газом, численно равна площади фигуры, образованной графиками процессов данного цикла на PV – диаграмме.

$$A = \frac{1}{2}(3p_0 - p_0)(3V_0 - V_0) = 2p_0 V_0.$$

Тепло подводится к рабочему телу (газу) в процессах 1 - 2 и 2 - 3. Поэтому

$$Q^{(+)} = Q_{12} + Q_{23} = A_{12} + \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23},$$

где A – работа, совершаемая газом в некотором процессе, ΔU – изменение внутренней энергии в этом процессе. В изохорическом процессе 1 – 2 работа не совершается, $A_{12} = 0$.

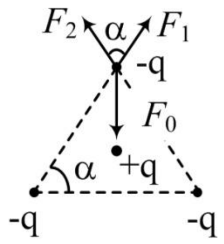
$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1) = \frac{3}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2}(3P_0 V_0 - P_0 V_0) = 3P_0 V_0.$$

$$A_{23} = P_2(V_3 - V_2) = 3P_0(3V_0 - V_0) = 6P_0 V_0.$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{3}{2}(3P_0 \cdot 3V_0 - 3P_0 V_0) = 9P_0 V_0.$$

$$Q^{(+)} = 3P_0 V_0 + 6P_0 V_0 + 9P_0 V_0 = 18P_0 V_0.$$

$$\eta = \frac{A}{Q^{(+)}} = \frac{2P_0 V_0}{18P_0 V_0} = \frac{1}{9}.$$



7. На рисунке показаны векторы сил, действующих на электрон в вершине равностороннего треугольника. Согласно второму закону Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_0 + \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

Электрон движется по окружности, поэтому величина центростремительного ускорения

$$a = \frac{\upsilon^2}{r}, \qquad r = \frac{2}{3}a\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{a}{\sqrt{3}},$$

где a – сторона треугольника. Для проекций сил на вертикальную ось можно записать:

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = F_0 - 2F_1\cos\frac{\alpha}{2},$$

$$\frac{m\upsilon^2}{a}\sqrt{3} = 3k\frac{q^2}{a^2} - \sqrt{3}k\frac{q^2}{a^2},$$

Отсюда

$$m\upsilon^2 = k\frac{q^2}{a}\left(3 - \sqrt{3}\right).$$

Кинетическая энергия системы

$$E_k = 3\frac{m\upsilon^2}{2} = k\frac{q^2}{a}\frac{3}{2}\left(3 - \sqrt{3}\right) \approx 25{,}3\cdot 10^{-19}\,Дж \approx 15{,}8\,эВ\,.$$