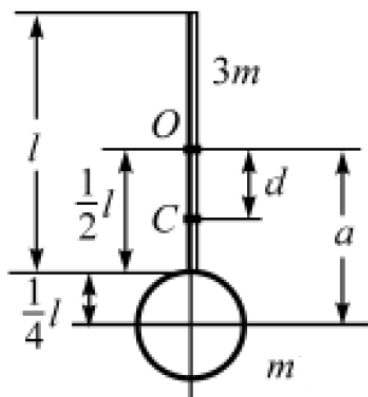


**РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР “ДАРЫН”
РЕШЕНИЕ**

**заданий первого этапа (регионального) Президентской олимпиады по физике-2024
11 класс, 25 баллов**

Задача_1. [5,0 баллов]

Период колебаний физического маятника



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$$

Определим момент инерции системы. Момент инерции маятника равен сумме моментов инерции стержня I_1 и шара I_2 :

$$I = I_1 + I_2 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его центр масс, определяется как

$$I_1 = \frac{1}{12} 3ml^2 = \frac{ml^2}{4} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Момент инерции шара находим по теореме Штейнера

$$I_2 = I_0 + ma^2 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

где I_2 – момент инерции шара относительно произвольной оси; I_0 - момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс шара параллельно заданной оси; a – расстояние между указанными осями.

$$I_2 = \frac{2}{5} mR^2 + m \left(\frac{3}{4}l\right)^2 = \frac{2}{5} m \left(\frac{l}{4}\right)^2 + m \left(\frac{3}{4}l\right)^2 = \frac{47ml^2}{80} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Тогда

$$I = \frac{67ml^2}{80} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Расстояние d от оси колебаний до центра масс маятника

$$d = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{3m \cdot 0 + m \cdot \frac{3}{4}l}{3m + m} = \frac{3}{16}l \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Используя выше найденные величины и принимая ускорение свободного падения 10 м/с^2 , определим период маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{67ml^2}{80}}{4mg \frac{3}{16}l}} \approx 3 \text{ с} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Примечание: За численный ответ баллы не снимаются.

Задача_2. [5,0 баллов]

Количество теплоты, выделяемое при протекании тока по проводнику, определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q_1 = IUt \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Количество теплоты, полученное воздухом при нагревании

$$Q_2 = cm(T_2 - T_1) \quad [1,0 \text{ балл}]$$

КПД нагревателя

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Из вышеприведенных формул выражаем время:

$$t = \frac{cm(T_2 - T_1)}{\eta I U} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Так как сосуд закрыт, то его объем не изменяется. Значит, можно считать процесс нагревания воздуха в сосуде изохорным. Тогда

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Выразим T_2 , массу выразим как $m = \rho V$, подставим в выражение времени и получим

$$t = \frac{c\rho VT_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1\right)}{\eta I U} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Численное значение

$$t = 3150 \text{ c} = 3,15 \cdot 10^3 \text{ c} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Задача_3. [7,0 баллов]

Газ был нагрет сначала изобарно (1-2), далее изохорно (2-3).

Общее количество теплоты, полученное газом в результате двух процессов можно рассчитать как сумму количества теплоты при изобарном (Q_p) и изохорном (Q_V) процессах

$$Q = Q_p + Q_V$$

Здесь

$$Q_p = \Delta U_1 + A \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

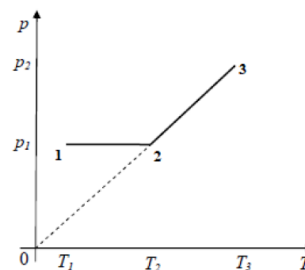
$$Q_V = \Delta U_2 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Изменение внутренней энергии в первом процессе

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad [0,5 \text{ баллов}]$$



[0,5 баллов]

а во втором процессе

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Работа в изобарном процессе равна

$$A = p(V_2 - V_1) \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Для определения температуры T_2 и T_3 запишем уравнения состояния идеального газа. В первоначальном состоянии

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

После изобарного нагревания

$$p_1 V_2 = \nu R T_2 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

а после изохорного

$$p_2 V_2 = \nu R T_3 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Для макропараметров получим следующие соотношения

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

Учитывая, что $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 2V_1$ найдем T_2 и T_3

$$T_2 = 2T_1 \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

$$T_3 = 2T_2 = 4T_1 \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

Количество теплоты

$$Q = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) + p(V_2 - V_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{17}{2} \nu R T_1 \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Численное значение

$$Q = 7063,5 \text{ Дж} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Примечание: Участники могут посчитать количество теплоты за 1 моль и 2 моля газа, в двух случаях считать ответы за правильное и не снимать баллы.

Задача_4. [4,0 балла]

Так как стол гладкий, то не действуют диссипативные силы и можно применить закон сохранения энергии. Данный закон сохранения запишем для случаев максимального сжатия и максимального растяжения пружины.

$$W_1 = \frac{Kx_1^2}{2} + \frac{kq^2}{L} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

$$W_2 = \frac{Kx_2^2}{2} + \frac{kq^2}{4L} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

$$x_1 = 2L - L = L, x_2 = 4L - 2L = 2L \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Согласно закону сохранения приравняем энергии

$$\frac{KL^2}{2} + \frac{kq^2}{L} = \frac{K4L^2}{2} + \frac{kq^2}{4L} \quad [1,0 \text{ балл}]$$

Тогда искомое значение жесткости пружины

$$K = \frac{kq^2}{2L^3} = 90 \text{ Н/м} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Задача_5. [4,0 балла]

Используем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

запишем для двух случаев, согласно условию, это соотношение

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f_1} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

и

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{OB} + \frac{1}{f_2} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

где F – фокусное расстояние.

Увеличение линзы в двух случаях

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{OA} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

$$\Gamma_2 = \frac{f_2}{OB} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

Расположение предмета в третьем случае

$$d = \frac{OA + OB}{2} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Тогда увеличение линзы в данном случае

$$\Gamma = \frac{2f}{OA + OB} \quad [0,25 \text{ баллов}]$$

Получаем систему

$$\begin{cases} OA = \frac{F}{\Gamma_1} (1 + \Gamma_1), \\ OB = \frac{F}{\Gamma_2} (1 + \Gamma_2) \end{cases} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

$$f = \frac{\Gamma}{2} (OA + OB) \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Искомая величина

$$\Gamma = \frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2} \quad [0,5 \text{ баллов}]$$

Численное значение данной величины

$$\Gamma = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3}{2 + 3} = 2,4 \quad [0,25 \text{ баллов}]$$