

**Муниципальный этап
всероссийской олимпиады школьников
по физике
2020/21 учебный год
11 класс**

Возможные решения и критерии оценивания

Задача 1

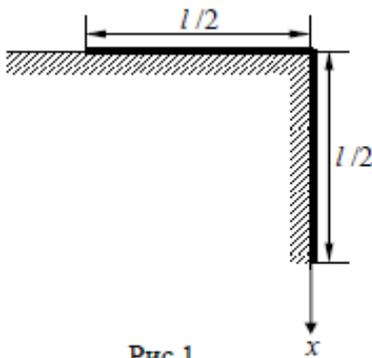


Рис.1

Канат, длина которого $l = 1$ м, наполовину свешивается со стола, высота которого больше l . Коэффициент трения между канатом и столом $\mu = 0,4$. Канат начинает соскальзывать без начальной скорости. Определите скорость каната в момент времени, когда его конец соскользнет со стола.

Возможное решение

Направим ось x вертикально вниз (рис.1) с началом в угле стола. Ускорение движения каната будет проходить под влиянием силы тяжести, свешивающейся части $F_T = \lambda \cdot x \cdot g$ и силы трения $F_{TP} = \mu \lambda (l - x) g$, где λ – линейная плотность каната, x – координата нижнего конца. Обе силы линейно зависят от пройденного пути, поэтому для определения их работы можно взять их среднее значение

$$\langle F_T \rangle = \frac{1}{2} \left[\lambda \cdot \frac{l}{2} \cdot g + \lambda \cdot l \cdot g \right] = \frac{3}{4} \lambda l g, \quad (1)$$

$$\langle F_{TP} \rangle = \frac{1}{2} \left[\mu \lambda \cdot \frac{l}{2} \cdot g + 0 \right] = \frac{1}{4} \mu \lambda l g. \quad (2)$$

Канат перемещается вниз на $l/2$, разность работ этих сил определяет кинетическую энергию каната в момент соскальзывания со стола

$$E_K = \langle F_T \rangle \cdot \frac{l}{2} - \langle F_{TP} \rangle \cdot \frac{l}{2} = \frac{l}{2} \left[\frac{3}{4} \lambda l g - \frac{1}{4} \mu \lambda l g \right] = \frac{l^2}{8} \lambda \cdot g (3 - \mu) = \frac{mv^2}{2}$$

$$\text{Откуда } v = \frac{\sqrt{(3 - \mu) \cdot l \cdot g}}{2} \quad (3)$$

Ответ: $v = \frac{\sqrt{(3 - \mu) \cdot l \cdot g}}{2}$.

Критерии оценивания

- Получено выражение для $\langle F_T \rangle$ 2 балла
 Получено выражение для $\langle F_{TP} \rangle$ 2 балла
 Сделано предположение о равенстве E_K и разности работ F_T и F_{TP} 3 балла
 Получено выражение для скорости3 балла
Всего за задачу 10 баллов

Задача 2

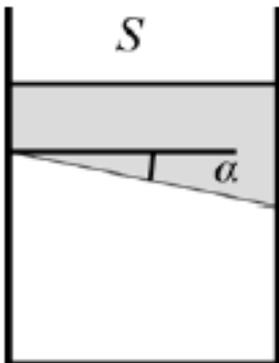


Рис. 2

В сосуде под покоящимся поршнем, нижняя плоская поверхность которого составляет с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$, находится воздух. Во сколько раз изменится объём воздуха под поршнем, если на него медленно насыпать песок массой $m=20$ кг? Масса поршня равна $M=5$ кг, площадь поперечного сечения сосуда $S=20$ см², атмосферное давление $p_0=10^5$ Па. Считайте, что $g=10$ м/с² и трения нет.

Возможное решение

Пусть давление газа под поршнем p . Тогда проекция на вертикальную ось силы, действующей со стороны газа на поршень, равна

$$F_{\perp} = p \frac{S}{\cos \alpha} \cos \alpha = pS, \quad (1)$$

то есть она зависит лишь от площади поперечного сечения сосуда. Запишем условие равновесия поршня в исходном состоянии и после насыпания песка:

$$\begin{cases} p_1 S = Mg + p_0 S \\ p_2 S = mg + Mg + p_0 S \end{cases}, \quad (2)$$

где p_1, p_2 – давление газа под поршнем до и после насыпания песка на поршень соответственно.

Считая газ под поршнем идеальным, а процесс, в силу медленности насыпания песка, изотермическим, запишем уравнение Бойля-Мариотта для газа под поршнем:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{mg + Mg + p_0 S}{Mg + p_0 S} = \frac{20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 100\,000 \text{ Па} \cdot 0,002 \text{ м}^2}{5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 100\,000 \text{ Па} \cdot 0,002 \text{ м}^2} = 1,8$$

Критерии оценивания

- Показано, что вертикальная проекция силы, действующей со стороны газа на поршень, зависит лишь от площади поперечного сечения сосуда (1)... 2 балла
 Записаны условия равновесия поршня (по 1 баллу за каждое условие) (2)..... 2 балла
 Записан закон Бойля-Мариотта..... 2 балла
 Получено выражение для V_1/V_2 2 балла
 Найдено численное значение V_1/V_2 2 балла
Всего за задачу 10 баллов

Задача 3

Стеклянная, запаянная с одного конца трубка открытым концом опущена в сосуд со ртутью (плотность ртути $13\,600 \text{ кг/м}^3$). После опускания трубки уровни ртути в сосуде и трубке совпадают. При этом длина части трубки, занятой воздухом, $l = 100 \text{ см}$. Затем трубку поднимают на 10 см . Какой будет после этого высота уровня ртути в трубке? (Капиллярными явлениями пренебречь.)

Возможное решение

Так как первоначально уровень ртути в сосуде и трубке совпадают, давление в трубке равно атмосферному. Когда трубку поднимают, давление в трубке уменьшается и компенсируется подъёмом ртути.

Тогда мы можем записать равенство давлений на уровне ртути в сосуде:

$$\rho g x + P = P_0$$

Здесь P_0 – атмосферное давление, P – давление в трубке, $\rho g x$ – давление ртути высотой x .

Запишем уравнение закона Бойля-Мариотта для газа внутри трубки:

$$P_0 l S = P(l + \Delta l - x) S$$

S – площадь трубки.

Решая совместно эти два уравнения, получаем результат:

$$x = \frac{P_0 + \rho g(l + \Delta l) - \sqrt{(P_0 + \rho g(l + \Delta l))^2 - 4\rho g \Delta l P_0}}{2\rho g}$$

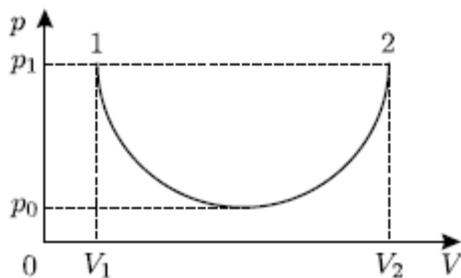
Один корень больше 100 см, отбрасываем. Ответ ≈ 4 см.

Критерии оценивания

Сделан вывод об изменении давления в трубке при её подъёме.....1 балл
 Записано равенство давлений на уровне ртути в сосуде.....3 балла
 Записано уравнение Бойля-Мариотта для газа внутри трубки.....3 балла
 Решены совместно уравнения.....2 балла
 Получен верный результат.....1 балл
 Решение в целом верное, однако содержит существенные ошибки (не физические, а математические).....6 баллов

Всего за задачу 10 баллов

Задача 4



Идеальный одноатомный газ совершает работу в квазистатическом процессе 1–2, который изображается на pV –диаграмме полуокружностью (см. рисунок). Найдите суммарное количество теплоты, полученное и отданное газом в ходе этого процесса.

Значения V_1 , V_2 , p_0 , p_1 считайте известными.

Возможное решение

Суммарное количество тепла, полученное и отданное газом, может быть найдено из первого начала термодинамики: $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$. Обозначим через ν число молей газа, изменение его температуры за время процесса ΔT через ΔT , и найдём изменение внутренней энергии газа ΔU и совершённую им работу ΔA , которая равна площади под графиком на pV –диаграмме:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}p_1(V_2 - V_1),$$

$$\Delta A = p_1(V_2 - V_1) - \frac{1}{2}\pi(p_1 - p_0)\frac{V_2 - V_1}{2}.$$

Подставляя эти выражения в первое начало термодинамики, получим ответ:

$$\Delta Q = \left(\left(\frac{5}{2} - \frac{\pi}{4} \right) p_1 + \frac{\pi}{4} p_0 \right) (V_2 - V_1).$$

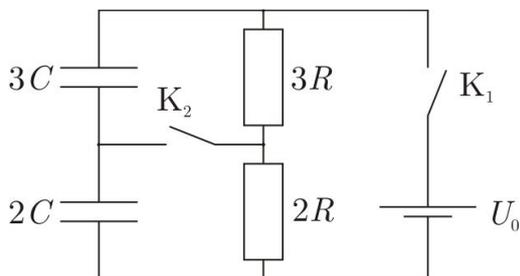
Отметим, что при вычислении работы площадь полуокружности следует искать, перемножая величины, имеющие соответствующие размерности. Это

можно понять, представив, что мы изменили на pV –диаграмме масштаб одной из осей. Тогда график, изображающий процесс, превратится из полуокружности в участок эллипса, и при вычислении площади нужно будет вместо формулы $S = \pi r^2$, где r — радиус окружности, использовать формулу $S = \pi ab$, где a и b — размеры полуосей эллипса. В этом случае размерность будет учтена автоматически.

Критерии оценивания

Записано первое начало термодинамики.....	1 балл
Правильно записано изменение внутренней энергии газа.....	2 балла
Правильно записано уравнение работы, совершённой газом.....	2 балла
Учтена площадь полуэллипса при вычислении работы газа.....	2 балла
Получен правильный ответ.....	3 балла
Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические).....	8 баллов
Всего за задачу 10 баллов	

Задача 5



В цепи, схема которой показана на рисунке в начальный момент времени конденсаторы не заряжены, а ключи разомкнуты. Сначала замыкают ключ K_1 , а затем, спустя некоторое время, замыкают ключ K_2 , после чего ждут достаточно

долго. Определите, какой заряд в результате протёк через ключ K_2 . Все параметры, указанные на схеме, известны. Источник напряжения идеальный.

Возможное решение

После замыкания ключа K_1 суммарный заряд нижней пластины конденсатора $3C$ и верхней пластины конденсатора $2C$ равен $q_0 = 0$, так как это изолированный и никуда не подключённый участок цепи.

После того как замкнули ключ K_2 и прошло достаточно большое время, ток через ключ K_2 течь перестал. Сила тока, текущего через резистор $3R$, равна силе тока, текущего через резистор $2R$:

$$I = \frac{U_0}{5R}.$$

Значит, напряжение на резисторе $3R$ равно

$$U_1 = \frac{3}{5}U_0,$$

а напряжение на резисторе $2R$ равно

$$U_2 = \frac{2}{5}U_0.$$

Суммарный заряд нижней пластины конденсатора $3C$ и верхней пластины конденсатора $2C$ стал равен

$$q_1 = -3C \cdot U_1 + 2C \cdot U_2 = -CU_0.$$

Значит, через ключ слева направо протёк заряд

$$q_0 - q_1 = CU_0.$$

Критерии оценивания

Указано и обосновано, что $q_0 = 0$	3 балла
Найдено напряжение на резисторе $2R$	1 балл
Найдено напряжение на резисторе $3R$	1 балл
Используется факт, что напряжение на конденсаторах после замыкания ключа $K2$ такое же, как на соответствующих резисторах	2 балла
Найден заряд q_1	2 балла
Получен ответ.....	1 балл

Всего за задачу 10 баллов

Всего за работу 50 баллов