

**Всероссийская олимпиада школьников по физике**

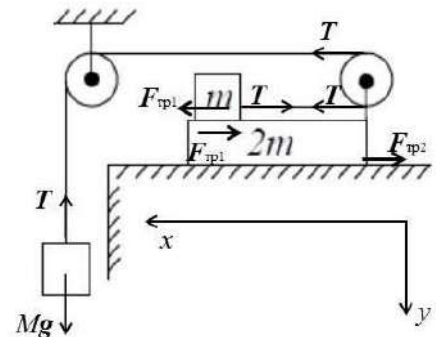
**Муниципальный этап**

**11 класс**

**Возможные решения задач**

**Задача 1. Бруски на столе**

Максимально возможная сила трения  $F_{\text{тр}1}$ , действующая на брусок со стороны доски, равна  $4\mu mg$ . Максимально возможная сила трения  $F_{\text{тр}2}$ , действующая на доску со стороны стола, равна  $3\mu mg$ . Значит, при увеличении массы груза  $M$  сначала начнёт проскальзывать доска, а на брусок ещё какое-то время будет действовать сила трения покоя. В случае искомого значения массы  $M$  груза возникает пограничная ситуация: на брусок действует максимально возможная сила трения, но ускорения доски и бруска ещё одинаковы. Для этого случая сила трения, действующая на брусок, направлена в ту же сторону, куда и ускорение системы «брусок – доска». Запишем проекции второго закона Ньютона для бруска, доски и груза соответственно:



$$\begin{cases} 4\mu mg - T = ma \\ 2T - 4\mu mg - 3\mu mg = 2ma, \\ Mg - T = Ma, \end{cases}$$

где  $T$  – сила натяжения нити – одинаковая по всей длине, вследствие невесомости нити.

Отсюда получаем:  $M = \frac{15\mu}{4-\mu} m.$

**Критерии оценивания решения:**

Верно описаны силы, действующие на тела системы.....	2
Система уравнений движения.....	5
Решение системы и получение ответа.....	3

**Задача 2. КПД циклического процесса**

Площадь прямоугольника, в который вписан данный цикл, соответствует работе  $p_0V_0$  (при данном выборе масштабов этот прямоугольник выглядит как квадрат). Работа, которую совершил газ за цикл  $11'231$  равна площади четверти круга:

$$A = \frac{\pi}{4} p_0V_0.$$

Газ получает тепло от нагревателя только на участке  $11'2$ :

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \left(\frac{\pi}{4} p_0V_0 + p_0V_0\right) + \frac{3}{2}(4p_0V_0 - p_0V_0) = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2}\right) p_0V_0.$$

Тогда КПД цикла:

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{\pi}{\pi + 22} \approx 0,1249 \approx 0,125 = 12,5\%.$$

**Критерии оценивания решения:**

Расчёт работы газа за цикл.....	5
Расчёт полученного количества теплоты.....	3
Расчёт КПД.....	2

### Задача 3. Диссоциация в газе

Пусть  $m$  – масса всей смеси,  $T_0$  – начальная температура,  $\alpha$  – степень диссоциации, тогда  $\alpha m$  – масса диссоциированных молекул. Удельная теплоёмкость одноатомного газа:  $c_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{\mu}$ , двухатомного:  $c_2 = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{2\mu}$ , где  $\mu$  – молярная масса одноатомного газа.

Удельная теплоёмкость смеси равна:

$$c = \alpha c_1 + (1 - \alpha) c_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{\mu} \alpha + \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{2\mu} (1 - \alpha) = \left(\frac{1}{4} \alpha + \frac{5}{4}\right) \cdot \frac{R}{\mu}.$$

По условию  $c = 1,1$   $c_2 = \frac{11}{8} \cdot \frac{R}{\mu}$ . Откуда получаем:  $\alpha = 0,5$ . Первоначальное давление газа в

сосуде:  $p_0 = \frac{m}{2\mu} \cdot \frac{R}{V} T_0$ . После нагрева и диссоциации – парциальное давление одноатомного

газа -  $p_1 = \frac{\alpha \cdot m}{\mu} \cdot \frac{R}{V} n T_0$ , двухатомного -  $p_2 = \frac{(1 - \alpha) \cdot m}{2\mu} \cdot \frac{R}{V} n T_0$ . По закону Дальтона найдём

давление смеси газов:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{\alpha \cdot m}{\mu} \cdot \frac{R}{V} n T_0 + \frac{(1 - \alpha) \cdot m}{2\mu} \cdot \frac{R}{V} n T_0 = \frac{(\alpha + 1) \cdot m}{2\mu} \cdot \frac{R}{V} n T_0 = (\alpha + 1) \cdot n \cdot p_0.$$

Значит, давление возросло в  $(\alpha + 1) \cdot n$  раз.

(Ответ можно получить без использования закона Дальтона из уравнения Менделеева – Клапейрона, подсчитав молярную массу смеси равную  $\mu_{\text{смеси}} = \frac{2\mu}{\alpha + 1}$ .)

#### Критерии оценивания решения:

Записаны удельные теплоёмкости одно- и двухатомного газов.....	2
Найдена удельная теплоёмкость смеси.....	3
Вычислена степень диссоциации.....	1
Записаны парциальные давления одно- и двухатомного газов .....	2
Найдены давление в смеси газов и ответ на второй вопрос.....	2

### Задача 4. Цепь с конденсатором

Энергия, запасённая в конденсаторе,  $W = \frac{q^2}{2C}$ , где  $q$  – заряд

на обкладках конденсатора, а  $C$  – ёмкость конденсатора.

Дифференцируя выражение для энергии по времени, получим:  $W' = \frac{dW}{dt} = P = \frac{q}{C} \cdot \frac{dq}{dt} = U_C \cdot I_C$ .

Запишем второе правило Кирхгофа для контура  $ABDF$ ,

обозначив через  $I$  силу тока, текущего через источник (или через резистор  $r$ ):

$$Ir + U_C = E, \text{ откуда } I = (E - U_C) / r. \quad (1)$$

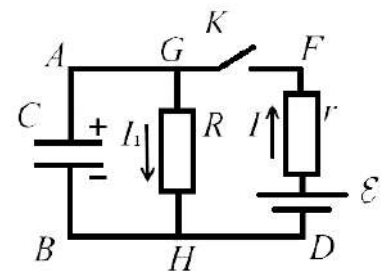
Применим второе правило Кирхгофа для контура  $ABHG$ :

$$U_C = I_1 R = (I - I_C) \cdot R, \quad (2)$$

в нём учтено соотношение токов  $I_1 = I - I_C$ . Подставляя в (2) выражение из (1), находим:

$$I_C = \frac{ER - U_C(R + r)}{Rr}.$$

Исследуем на максимум произведение  $U_C \cdot I_C$



$$U_C \cdot I_C = \frac{U_C E}{r} - \frac{U_C^2 (R+r)}{Rr}.$$

Это квадратный многочлен, представляющий собой уравнение параболы, ветви которой направлены вниз. Его значение достигает максимума в вершине параболы, то есть при

$$U_C = \frac{R}{2(R+r)} E.$$

Такое же напряжение будет на конденсаторе в момент размыкания ключа. Тогда количество теплоты, выделившееся в цепи после размыкания ключа, равно:

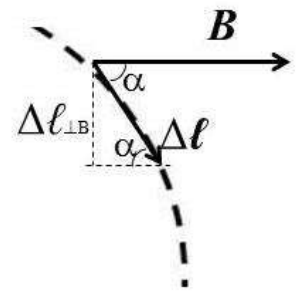
$$Q = W = \frac{CU_C^2}{2} = \frac{CE^2}{8} \cdot \left( \frac{R}{R+r} \right)^2.$$

**Критерии оценивания решения:**

Найдено выражение для $dW/dt$ через $U_C$ и $I_C$ .....	1
Определение значение $I$ .....	2
Записано второе правило Кирхгофа для контура $ABDF$ .....	1
Получен квадратный многочлен для $U_C I_C$ .....	2
Квадратный многочлен исследован на максимум.....	2
Найдено выделившееся количество теплоты.....	2

**Задача 5. Сила Ампера.**

На участки проводника, параллельные вектору индукции магнитного поля  $B$ , сила Ампера не действует. Разобьем проволочную полуокружность на элементы тока  $\Delta l$ . На каждый элемент тока действует сила Ампера равная  $\Delta F = I \Delta l \sin \alpha$ , где  $\alpha$  - угол между вектором элемента тока и вектором индукции магнитного поля. Из рисунка видно, что произведение  $\Delta l \sin \alpha$  есть проекция элемента тока на направление перпендикулярное индукции магнитного поля  $\Delta l \sin \alpha = \Delta l_{\perp B}$ . С помощью правила



левой руки можно убедиться в том, что все элементарные силы Ампера направлены одинаково (на рисунке «к наблюдателю»). Тогда величина суммарной силы Ампера:

$$F_A = \sum_k IB(\Delta l_{\perp B})_k = IB \sum_k (\Delta l_{\perp B})_k = 2IBR$$

**Критерии оценивания решения:**

Отсутствие действия магнитного поля на участки параллельные вектору индукции.....	2
Идея разбиения полуокружности на малые участки.....	3
Преобразование произведения $\Delta l \sin \alpha$ .....	2
Определение направления сил, действующих на участки полукольца.....	1
Суммирование сил.....	2