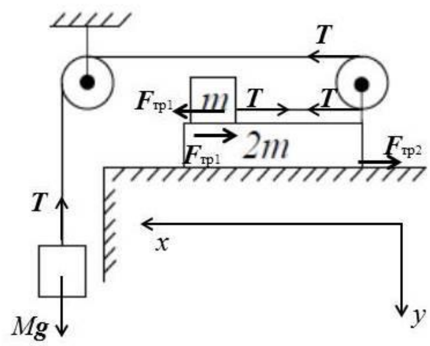
Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
11 класс
Возможные решения задач

Задача 1. Бруски на столе



Максимально возможная сила трения $F_{тр1}$, действующая на брусок со стороны доски, равна $4\mu mg$ Максимально возможная сила трения $F_{тр2}$, 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: $M = \dfrac{15\mu}{4-\mu}m.$

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*:

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

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, α – степень диссоциации, тогда αm – 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 μ – молярная масса одноатомного газа.

Удельная теплоёмкость смеси равна:

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

По условию c = 1,1 $c_2 = \frac{11}{8}\cdot\frac{R}{\mu}$. Откуда получаем: α = 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 - $p_1 = \frac{\alpha\cdot m}{\mu}\cdot\frac{R}{V}nT_0$, двухатомного - $p_2 = \frac{(1-\alpha)\cdot m}{2\mu}\cdot\frac{R}{V}nT_0$. По закону Дальтона найдём давление смеси газов:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{\alpha\cdot m}{\mu}\cdot\frac{R}{V}nT_0 + \frac{(1-\alpha)\cdot m}{2\mu}\cdot\frac{R}{V}nT_0 = \frac{(\alpha+1)\cdot m}{2\mu}\cdot\frac{R}{V}nT_0 = (\alpha+1)\cdot n\cdot p_0.$$

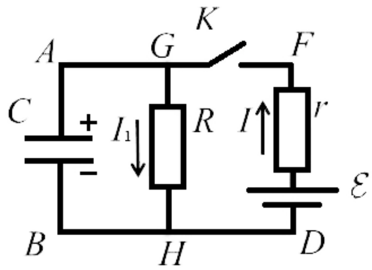
Значит, давление возросло в $(\alpha+1)\cdot n$ раз.

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

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):

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

Применим второе правило Кирхгофа для контура $ABHG$:

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

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

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

Исследуем на максимум произведение $U_C \cdot I_C$

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

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

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

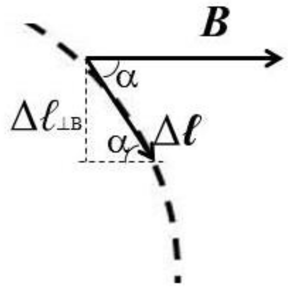
Такое же напряжение будет на конденсаторе в момент размыкания ключа. Тогда количество теплоты, выделившееся в цепи после размыкания ключа, равно:

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

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 $\Delta\ell$. На каждый элемент тока действует сила Ампера равная $\Delta F = I\Delta\ell \sin\alpha$, где α - угол между вектором элемента тока и вектором индукции магнитного поля. Из рисунка видно, что произведение $\Delta\ell\sin\alpha$ есть проекция элемента тока на направление перпендикулярное индукции магнитного поля $\Delta\ell \sin\alpha = \Delta\ell_{\perp B}$. 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:

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

Критерии оценивания решения:

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