

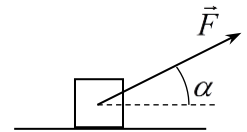
Задания очного отборочного тура
Отраслевой физико-математической олимпиады школьников «Росатом»
Физика, 10 класс, комплект 2
2017 г.

Задания

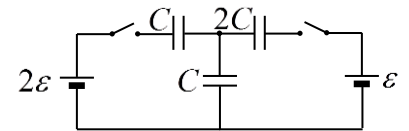
1. Сосуд разделен на две части закрепленной перегородкой. В одну часть сосуда помещают ν молей кислорода, в другую 2ν молей гелия. В некоторый момент времени перегородка становится проницаемой для гелия (но непроницаемой для кислорода). Найти отношение объемов частей сосуда, если давление газа в той части, где первоначально был кислород, увеличилось в $n = 1,5$ раза. Температуры газов одинаковы и не меняются в течение процесса.

2. На часах 16:00. Через какое время после этого часовая минутная стрелки часов встретятся во второй раз?

3. Тело массой $m = 2$ кг аккуратно положили на горизонтальную поверхность и подействовали на него силой $F = 6$ Н, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен $k = 0,4$. Найти силу трения, действующую на тело. $g = 10$ м/с², $\cos 30^\circ = 0,87$, $\sin 30^\circ = 0,5$.



4. В цепи, схема которой изображена на рисунке, проводят следующий процесс: замыкают правый ключ, а после установления равновесия его размыкают и замыкают левый ключ. Найти напряжение на «среднем» конденсаторе после этого. Чему будет равно напряжение на среднем конденсаторе через очень большое число переключений ключей? Изначально конденсаторы не заряжены. ЭДС источников и емкости конденсаторов приведены на рисунке.



5. В вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем находится одноатомный идеальный газ при температуре T_0 , при этом поршень находится в равновесии. Температуру газа в сосуде мгновенно увеличивают в два раза. Какая температура установится в сосуде после того, как поршень перестанет двигаться? Теплоемкостью поршня и сосуда пренебречь, теплотери отсутствуют.

Решения

1. Закон Клапейрона-Менделеева для той части сосуда, где находился кислород, и закон Дальтона для смеси газов в этой части сосуда дают

$$p_1 V_1 = \nu RT, \quad p_1' V_1 = (\nu + \Delta \nu) RT,$$

где p_1 и p_1' - давление кислорода и давление смеси газов в этой части сосуда, V_1 - ее объем, $\Delta \nu$ - количество вещества гелия, перешедшее в эту часть сосуда после того как перегородка стала прозрачной для него, T - температура газов. Деля эти два равенства друг на друга и учитывая, что гелий распределится по сосуду равномерно и, следовательно,

$$\Delta \nu = \frac{2\nu V_1}{V_1 + V_2}$$

(V_2 - объем той части сосуда, где гелий), получим уравнение для отношения объемов $x = V_1 / V_2$

$$1 + \frac{2x}{x+1} = n$$

Отсюда находим

$$x = \frac{n-1}{3-n} = \frac{1}{3}$$

Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать законы Клапейрона-Менделеева и Дальтона для той части сосуда, где первоначально был один кислород – 0,5 балла
2. Правильное уравнение для отношения объемов – 0,5 балла
5. Получена правильная окончательная формула – 0,5 балла
4. Правильные вычисления – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

2. Поскольку минутная стрелка делает полный оборот за 60 минут, а часовая – за 12 часов, угловые скорости минутной и часовой стрелок часов равны

$$\omega_q = \frac{2\pi}{12 \cdot 60} (\text{м}^{-1}) \quad \omega_m = \frac{2\pi}{60} (\text{м}^{-1})$$

Очевидно, к моменту второй «встречи» часовой и минутной стрелок минутная стрелка повернется на угол, больший угла поворота часовой стрелки на величину первоначального угла между стрелками плюс угол полного оборота

$$120^\circ + 360^\circ = \frac{8\pi}{3}$$

Поэтому уравнение для времени второй встречи стрелок имеет вид

$$(\omega_m - \omega_q)t = \frac{8\pi}{3}$$

Отсюда с использованием угловых скоростей стрелок, находим

$$t = 87,3 \text{ м}$$

Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать законы движения стрелок с известными их угловыми скоростями (причем может быть даже без введения понятия угловой скорости, а через пропорциональные соотношения для времени полного оборота) – 0,5 балла
2. Правильно понято, что к моменту второй встречи стрелок, часовая повернется на угол, на 480° меньший, чем угол поворота минутной – 0,5 балла
3. Правильно уравнение для времени – 0,5 балла
4. Получена правильная окончательная формула и проведены вычисления – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

3. Проверим, движется ли тело в данных условиях, или нет. Для этого сравним проекцию внешней силы на горизонтальное направление и максимальную силу трения покоя

$$F \cos \alpha \quad \vee \quad kN = k(mg - F \sin \alpha)$$

Если левая часть больше правой части, тело движется, если нет – покоится. Подставляя в это сравнение данные в условии значения, получим

$$5,2(H) < 6,8(H)$$

Поэтому тело в данных условиях покоится, а сила трения равна проекции внешней силы на горизонтальное направление

$$F_{mp} = F \cos \alpha = 5,2(H)$$

Критерии оценки задачи

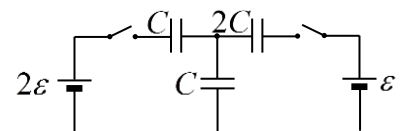
1. Правильная идея решения – понять, движется тело или покоится в данных условиях – 0,5 балла
2. Правильные формулы для максимальной силы трения покоя и сравнения – 0,5 балла
3. Правильный вывод относительно покоя тела – 0,5 балла
4. Правильный ответ и вычисления – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

4. После установления равновесия в правой части цепи заряды на конденсаторах C и $2C$ будут одинаковы, а сумма напряжений равна ЭДС правого источника. Поэтому заряд «среднего» конденсатора будет равен

$$q = \frac{\varepsilon C}{3}$$

Пусть заряды, которые приобретут левый и средний конденсатор при размыкании правого ключа и замыкании левого, равны q_1 и q_2 соответственно. Тогда для q_1 и q_2 справедливы следующие соотношения



$$q_2 - q_1 = q$$

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q_2}{C} = 2\varepsilon$$

Отсюда находим заряд среднего конденсатора, а затем и напряжение на нем

$$q_2 = \frac{7}{6} \varepsilon C \quad U = \frac{7}{6} \varepsilon$$

После большого числа переключений на конденсаторах установятся такие заряды, которые не будут меняться при переключении (ясно, что такие заряды найдутся, поскольку на заряды трех конденсаторов накладываются три условия – сумма напряжений в одном контуре равна ε , в другом – 2ε , и сумма зарядов соединенных друг с другом пластин конденсаторов равна нулю). Пусть заряды положительно заряженных пластин конденсаторов равны: левого – q_1 , среднего – q_2 , правого – q_3 .

Для них выполнены следующие условия

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q_2}{C} = 2\varepsilon$$

$$\frac{q_3}{2C} + \frac{q_2}{C} = \varepsilon$$

$$q_2 = q_1 + q_3$$

Решая эту систему уравнений, получим для заряда среднего конденсатора

$$q_1 = \varepsilon C$$

а напряжение после большого числа переключений – $U_\infty = \varepsilon$. Обратим внимание, что конденсатор $2C$ через много переключений ключа окажется незаряженным.

Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать условия равновесия зарядов в цепи и правила последовательного соединения конденсаторов (заряды одинаковы, напряжения складываются) – 0,5 балла
2. Правильно найден заряд среднего конденсатора после первого включения – 0,5 балла
3. Правильно найден заряд среднего конденсатора после размыкания правого и замыкания левого ключа – 0,5 балла
4. Правильно найден заряд среднего конденсатора после многих переключений ключей – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

5. Условие равновесия поршня и закон Клапейрона-Менделеева до нагревания газа дают

$$\begin{aligned} mg = pS \\ pV = \nu RT_0 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad mgh = \nu RT_0 \quad (*)$$

где p – давление газа, S и V – площадь сечения и объем сосуда (до нагревания газа), ν – количество вещества газа, h – высота поршня над дном сосуда до нагревания.

При нагревании мы сообщаем газу такую же энергию, какая у него была (так его температура увеличится вдвое), но газ теряет энергию, израсходованную на увеличение потенциальной энергии поршня. Поэтому если поршень поднимется на высоту h_1 (по сравнению со своим первоначальным уровнем), то закон сохранения энергии даст

$$\frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}\nu RT_0 + \frac{3}{2}\nu RT_0 - mgh_1 \quad (**)$$

С другой стороны, условие равновесия поршня в конечном состоянии позволяет связать температуру газа и высоту расположения поршня над дном сосуда (аналогично второй формуле (*))

$$mg(h + h_1) = \nu RT_1 \quad \Rightarrow \quad mgh_1 = \nu RT_1 - \nu RT_0$$

(при переходе ко второй формуле здесь использовано соотношение (*)). Подставляя это соотношение в формулу (**), решая полученное уравнение, получим

$$T_1 = \frac{8}{5}T_0$$

Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использование закона сохранения энергии, в котором учтен «приход» энергии за счет нагревания, и потеря за счет увеличения потенциальной энергии поршня – 0,5 балла
2. Правильно написано условие равновесия поршня до нагревания - 0,5 балла
3. Написано правильное уравнение закона сохранения энергии для системы газ-поршень – 0,5 балла
4. Правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла