

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

_____ П.С. Сидоренко
«__» марта 2015 г.



Республиканская физическая олимпиада 2015 год (Заключительный этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий.
2. При оформлении работы каждую задачу начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!
3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Задача 10-1. Вода из воздуха

В воздухе, окружающем нас, всегда содержится некоторое количество водяного пара. При некоторых условиях этот пар конденсируется, то есть превращается в воду. В природе такой эффект мы можем наблюдать в виде капель на листьях растений (росы) при том, что дождя перед этим не было. Отношение количества водяного пара в воздухе к предельному, когда он начнет конденсироваться, называют относительной влажностью воздуха, или просто влажностью (φ).

В данной задаче на примере работы юного экспериментатора Федя вам предлагается рассмотреть возможность получения некоторого количества воды из воздуха при помощи различных физических процессов. Водяной пар и воздух в решении можете считать идеальными газами.

Наконец, напомним вам некоторые физические постоянные (никто не гарантирует, что все из них вам понадобятся):

Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(К·моль)

Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Постоянная Больцмана $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Молярная масса воды $M = 1,8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль

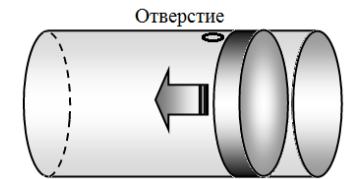
Удельная теплоемкость воды $c_w = 4200$ Дж/(кг·°С)

Нормальное атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 1,01 \cdot 10^5$ Па

Температура кипения воды (при $p_{\text{атм}}$) $T_{\text{кип}} = 100$ °С = 373 К

Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с²

Молодой, но талантливый экспериментатор Федя, захотев получить воду прямо из воздуха, провел физический опыт. Федина установка представляет собой цилиндрический герметичный сосуд (рис. 1) с поршнем малой массы, способным двигаться практически без трения. Стенки сосуда и поршень хорошо проводят тепло. В начальном положении в сосуд через отверстие поступает воздух из комнаты. Температура воздуха в комнате $t_1 = 20$ °С, (давление насыщенного водяного пара при этой температуре равно $p_{\text{нас}} = 2,35$ кПа) его относительная влажность $\varphi = 77\%$. Начальный объем сосуда с поршнем $V_1 = 5,0$ л.



Федя медленно уменьшает объем газа, оказывая давление на поршень. При этом успевае полностью проходить процесс теплообмена через стенки с окружающей средой. Максимальное избыточное давление, которое Федя может оказать на поршень при помощи своего оборудования, составляет $0,5p_{\text{атм}}$. Федя рассчитал, что в процессе сжатия после некоторого положения поршня на стенках сосуда и на поршне начнут появляться мелкие капли влаги.

1.1 Определите, при каком объеме воздуха водяной пар в сосуде начнет конденсироваться.

Для получения максимально возможного количества воды Федя сжимал газ в сосуде до наименьшего объема, которого он мог достичь.

1.2 Определите, до какого минимального объема Федя может сжать воздух в сосуде.

В расчетах объем воды, образующейся в процессе конденсации, можете считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом сосуда.

A3. Рассчитайте массу воды, образовавшейся в результате такого сжатия.

Предположим, что Федя разработал некоторый механизм, позволяющий собирать влагу из сосуда, не открывая его и не влияя на давление, объем или температуру газов.

1.4 Определите, за сколько таких «сжатий» можно будет собрать один стакан воды ($m_c = 200$ г).

1.5 Оцените количество работы, которую совершил Федя при сжатии.

Для повторения всего процесса Федя организовал работу по следующему циклу. После описанного сжатия и сбора образовавшейся влаги Федя медленно увеличивает размер сосуда до первоначального объема. При достижении объема V_1 открывается отверстие для доступа воздуха, окружающего сосуд. Выждав достаточное время, Федя снова начинает сжатие.

1.6 Схематически (без точных числовых значений) изобразите p - V диаграмму для водяного пара в описанном циклическом процессе. Укажите направление процесса на диаграмме.

1.7 Оцените полное количество работы, совершаемое Федей за один цикл.

Для определения «трудоемкости» процесса получения воды из воздуха Федя придумал следующую характеристику – удельную работу конденсации (Θ), – равную работе, затраченной на образование 1 килограмма воды.

1.8 Оцените удельную работу конденсации для описанного цикла.

Задача 10- 2. Слоистые резисторы

Современные нанотехнологии позволяют создавать синтетические материалы с заданными физическими свойствами. Рассмотрим слоистый резистор в форме цилиндра длиной $l = 20$ см и радиусом $a = 2,0$ см, удельное сопротивление ρ материала которого изменяется от слоя к слою. Электрический ток пропускается между торцами цилиндра при помощи хорошо проводящих контактов, подключенных к источнику постоянного напряжения $U = 1,5$ В. Будем считать, что при нагревании проводника его удельное сопротивление остается постоянным. Порядок напыления слоёв может быть различным.

Примечание: согласно уравнению Фурье количество теплоты ΔQ , переносимое в некоторой среде вдоль оси Ox через площадку S за промежуток времени Δt равно $\Delta Q = -\gamma \frac{\Delta T}{\Delta x} S \Delta t$, где $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-3}$ Вт/(°С·м) – теплопроводность рассматриваемого материала (считайте ее постоянной во всех слоях), ΔT – изменение температуры на участке Δx .

1. «Трубчатая структура» В этом варианте напыления слои следуют друг за другом от оси цилиндра, подобно системе тонкостенных трубок, вложенных одна в одну (см. рис). Радиусы слоев при этом постепенно



увеличиваются. Напыляемый материал подбирается так, что удельное сопротивление $\rho(r)$ резистора увеличивается прямо пропорционально расстоянию r от данного слоя до оси цилиндра $\rho(r) = \alpha \cdot r$, где $\alpha = 6,4$ Ом – постоянная размерная величина.

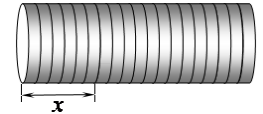


1.1. Вычислите сопротивление R_1 такого резистора.

1.2. Найдите также силу тока I_1 и мощность выделяющейся теплоты P_1 при подключении этого резистора к источнику напряжения $U = 1,5$ В. Какая часть цилиндра больше нагреется при прохождении тока?

1.3. Найдите максимальную температуру $T_{\max 1}$ внутри резистора, если температура на его поверхности поддерживается постоянной и равной $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Считайте, что торцы цилиндра теплоизолированы.

2. «Блинная структура» При таком напылении тонкие слои одинакового поперечного сечения чередуются подобно «блинам», положенным друг на друга (см. рис). Рассмотрим слоистый резистор такой структуры, что его удельное сопротивление ρ линейно увеличивается с расстоянием x от правого края так, что $\rho(x) = \alpha \cdot x$, где $\alpha = 6,4$ Ом – постоянная размерная величина.



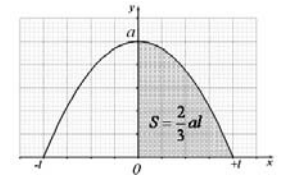
2.1. Вычислите сопротивление R_2 такого резистора.

2.2. Найдите также силу тока I_2 и мощность теплоты P_2 , выделяющейся на данном резисторе, при его подключении к источнику напряжения $U = 1,5$ В. Какая часть цилиндра нагреется больше при прохождении тока?

2.3. Найдите максимальную температуру $T_{\max 2}$ внутри резистора, если температура его левого торца поддерживается постоянной $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Считайте, что боковая поверхность цилиндра и его правый торец теплоизолированы.

2.4. Вычислите электрический заряд q^* , накопившийся внутри резистора в установившемся режиме протекания тока.

Подсказка (может понадобиться!). Площадь криволинейной трапеции, ограниченной графиком параболической зависимости $y(x) = a(1 - \frac{x^2}{l^2})$ и осью абсцисс (см. рис) на участке $(0; +l)$ вычисляется по формуле $S = \frac{2}{3} al$.



Задача 10-3. Просто цепь

В электрической цепи, изображенной на рис. 1, характеристики элементов следующие:

$R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 15 \text{ Ом}$; $\varepsilon = 2,0 \text{ В}$, $r = 5,0 \text{ Ом}$. Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента НЛ представлена на отдельном бланке - можете выполнять на нем все необходимые построения, после чего вложите бланк в тетрадь с решениями.

Электрические свойства диодов упрощенно можно описать следующим образом: при напряжениях меньших $U^* = +0,70 \text{ В}$ сила тока через них пренебрежимо мала, при больших напряжениях сопротивлением диодов можно пренебречь.

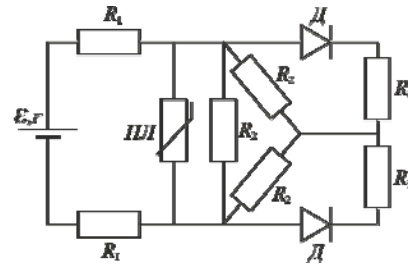


Рисунок 1 – Схема электрической цепи

Задание: Найдите напряжения и силы токов на резисторах R_3 и R_4 .

