

## 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 ( $\varphi$ ).

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  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$

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

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

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

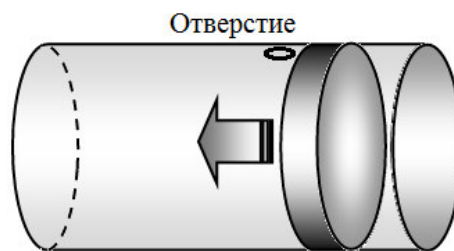
Удельная теплоемкость воды  $c_v = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$

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

Температура кипения воды (при  $p_{\text{атм}}$ )  $T_{\text{кип}} = 100 ^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$

Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$

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  $t_1 = 20 ^\circ\text{C}$ , (давление насыщенного водяного пара при этой температуре равно  $p_{\text{нас}} = 2,35 \text{ кПа}$ ) его относительная влажность  $\varphi = 77\%$ . Начальный объем сосуда с поршнем  $V_1 = 5,0 \text{ л}$ .

Федя медленно уменьшает объем газа, оказывая давление на поршень. При этом успевает 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 ( $\Theta$ ), – 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  $\rho$  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  $\Delta Q$ , переносимое в некоторой среде вдоль оси  $Ox$  через площадку  $S$  за промежуток времени  $\Delta t$  равно*

$$\Delta Q = -\gamma \frac{\Delta T}{\Delta x} S \Delta t, \text{ где } \gamma = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}) - \text{теплопроводность рассматриваемого материала (считайте ее постоянной во всех слоях), } \Delta T - \text{изменение температуры на участке } \Delta x.$$

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  $\alpha = 6,4 \text{ Ом}$  – постоянная размерная величина.



- 1.1. Вычислите сопротивление  $R_1$  такого резистора.