

Условие

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

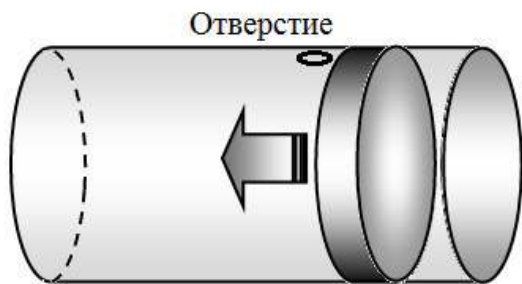
Молярная масса воды $M = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{моль}$

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 $p_{\text{атм}}$) $T_{\text{кип}} = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$

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



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 $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, (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.

А3. 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.