



ИНСТИТУТ СОДЕРЖАНИЯ И МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

федеральное государственное
бюджетное научное учреждение

МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС (ФИЗИКА. 10-11 КЛАССЫ)

Решение задач по теме «Влажность»

АВТОРЫ:

ДУБРОВИНА ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА
старший координатор разработки материалов
для обучения педагогов, Фонд «Талант и успех»,
учитель физики ГБОУ г. Москвы «Школа № 1589»

ШИТИКОВА КСЕНИЯ МИХАЙЛОВНА
учитель физики ГБОУ г. Москвы «Школа № 1547»,
главный специалист Службы методического
сопровождения углубленного изучения предметов
Образовательного центра «Сириус»

ЯКУТА АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
к. ф-м. н., старший научный сотрудник лаборатории
естественно-научного образования ФГБНУ «ИСМО»

РЕЦЕНЗЕНТ:

АСАНОВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА
к. п. н., старший научный сотрудник лаборатории
естественно-научного образования ФГБНУ «ИСМО»

Москва
2024

Аннотация

Методический кейс направлен на развитие методических компетенций педагогических работников.

Выбор темы кейса обусловлен наличием статистически выявляемых трудностей (см. [1, с. 16–17]), которые возникают у обучающихся при решении задач по теме «Влажность» (задания, № 9, 10, 21, 23, 24 КИМ ЕГЭ по физике – базового уровня, повышенной трудности, с развернутым ответом). Данные трудности обусловлены тем, что для решения указанных задач обучающимся необходимо одновременно применять знания, относящиеся к различным темам раздела «Молекулярная физика и термодинамика» федеральной рабочей программы по физике, а также демонстрировать владение достаточно широким спектром умений. При этом, согласно федеральной рабочей программе по физике как на базовом, так и на углублённом уровне, необходимость формирования умения решать соответствующие задачи подразумевается единственной короткой фразой «Влажность воздуха. Абсолютная и относительная влажность». Это не даёт учителю возможности задать обучающимся, изучающим физику на углублённом уровне, верные ориентиры в процессе их обучения решению физических задач по данной теме. При этом, как в вариантах КИМ ЕГЭ по физике, так и в заданиях различных олимпиад школьников соответствующие задачи регулярно встречаются, поскольку их рассмотрение не требует привлечения каких-либо знаний, выходящих за рамки федеральной рабочей программы.

Необходимые знания и умения

Для успешного решения задач по теме «Влажность» обучающиеся должны *освоить элементы содержания*, относящиеся к различным темам раздела «Молекулярная физика и термодинамика».

По теме «Основы молекулярно-кинетической теории»:

- Газовые законы. Уравнение Менделеева – Клапейрона.
- Закон Дальтона.

- Абсолютная температура (шкала температур Кельвина).
- Изопрцессы в идеальном газе с постоянным количеством вещества.
- Графическое представление изопрцессов: изотерма, изохора, изобара.

По теме «Агрегатные состояния вещества. Фазовые переходы»:

- Парообразование и конденсация. Испарение и кипение.
- Насыщенные и ненасыщенные пары.
- Влажность воздуха. Абсолютная и относительная влажность.

Обучающиеся должны обладать следующими умениями:

- Применять законы и формулы в типовых учебных ситуациях.
- Понимать графики зависимостей физических величин.
- Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики. Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы.
- Решать расчётные задачи с явно заданной и неявно заданной физической моделью, в том числе на основании анализа условия обосновывать выбор физической модели, отвечающей требованиям задачи, применять формулы, законы, закономерности и постулаты физических теорий при использовании математических методов решения задач, проводить расчёты на основании имеющихся данных, анализировать результаты и корректировать методы решения с учётом полученных результатов.

Методические рекомендации

1. Прежде чем переходить к объяснению способов решения задач по теме «Влажность», необходимо актуализировать знания следующих понятий, соотношений и формул:

- уравнение Менделеева – Клапейрона ($pV = \nu RT$, $p = \frac{\rho RT}{M}$);

- газовые законы ($pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$; $p/T = \text{const}$ при $V = \text{const}$; $V/T = \text{const}$ при $p = \text{const}$);
- графическое представление изопроцессов на pV -диаграмме;
- закон Дальтона ($p_{\text{общ}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$);
- определения насыщенного и ненасыщенного пара, абсолютной и относительной влажности воздуха, точки росы;
- вид графической зависимости давления $p_{\text{нп}}$ (плотности $\rho_{\text{нп}}$) насыщенного пара от температуры;
- величину давления насыщенного водяного пара (10^5 Па) при температуре 100°C и нормальном атмосферном давлении;
- формулы для вычисления относительной влажности ($\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}} \cdot 100\%$,
 $\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\%$);
- способы измерения влажности воздуха, устройство психрометра.

2. Затем рекомендуется акцентировать внимание обучающихся на следующих положениях, которые необходимо иметь в виду при решении задач по теме «Влажность».

1) Влажный воздух – это смесь сухого воздуха и водяного пара, поэтому при решении задач он должен рассматриваться как **смесь идеальных газов**.

2) Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ г/моль. Не следует путать водяной пар (воду в газообразном агрегатном состоянии) с воздухом.

3) Относительная влажность всегда лежит в пределах $0 \leq \varphi \leq 100\%$, однако при формальном решении задач может получиться результат $\varphi > 100\%$. Это всего лишь означает, что пар стал насыщенным ($\varphi = 100\%$) и какая-то его часть сконденсировалась.

4) Относительная влажность воздуха может изменяться из-за трёх факторов.

4.1. Непосредственное изменение массы водяного пара. Так как $\varphi \sim \rho \sim m$, увеличение или уменьшение массы пара (при неизменном объёме

влажного воздуха) прямо пропорционально изменению его относительной влажности.

4.2. Изменение объёма влажного воздуха. Подобная ситуация может реализовываться в сосудах переменного объёма (например, цилиндр с поршнем). Так как $\varphi \sim \rho \sim \frac{1}{V}$, увеличение или уменьшение объёма (при постоянной массе пара) обратно пропорционально изменению относительной влажности.

4.3. Изменение температуры влажного воздуха. Так как $\varphi \sim \rho_n(T)$, то ключевую роль в этом случае играет зависимость плотности (давления) насыщенных водяных паров от температуры T .

5) Точка росы t_p – это температура, при которой при охлаждении влажного воздуха находящийся в нём водяной пар становится насыщенным. Давление насыщенного водяного пара в точке росы $p_{\text{нп}}(t_p)$ совпадает с парциальным давлением p водяного пара во влажном воздухе при данной температуре.

6) Для ненасыщенного пара применимы уравнение Менделеева – Клапейрона, газовые законы Бойля–Мариотта, Гей-Люссака, Шарля (при условии, что пар является ненасыщенным в начальном и в конечном состоянии).

7) Для насыщенного пара газовые законы Бойля–Мариотта, Гей-Люссака, Шарля использовать нельзя.

3. Далее следует приступить к решению задач, следуя при этом принципу «от простого к сложному». Важно обратить внимание на то, что при решении задач по рассматриваемой теме, как правило, требуется проведение численных расчётов непосредственно в процессе решения самой задачи. Поэтому проведение решения задачи «в общем виде» зачастую оказывается нецелесообразным. Предлагается решать в следующем порядке задачи различных типов.

1. Решение качественных задач, в том числе, задач на построение графиков.

2. Решение задач базового уровня трудности и невысокой сложности – рассмотрение ситуаций с изменением влажности воздуха без конденсации пара (влажность менее 100 %), в том числе комбинированных задач, при решении которых требуется применение газовых законов.

3. Рассмотрение ситуаций, в которых влажность воздуха повышается до 100%, определение массы сконденсировавшейся при этом жидкости, в том числе, комбинированных задач, при решении которых требуется применение газовых законов.

4. Рассмотрение комбинированных задач, при решении которых требуется применение закона Дальтона и изучение характера изменения влажности воздуха.

5*. Решение задач повышенной сложности, при решении которых требуется применение знаний из области термодинамики.

Примеры решения задач

Рассмотрим примеры решения типовых задач, которые можно отнести к обозначенным выше типам 1–5.

1. Решение качественных задач, в том числе, задач на построение графиков

Сначала нужно еще раз рассмотреть различные ситуации, при которых возможно изменение давления водяных паров. Важно обсудить следующие варианты:

Пусть в сосуде находятся *вода и её насыщенный пар*. Тогда при изотермическом сжатии пар начинает конденсироваться, часть водяного пара переходит в жидкое состояние, поэтому его давление не изменяется. Массу пара в каждый момент можно найти из уравнения Менделеева – Клапейрона, а массу сконденсировавшейся жидкости вычислить как разность массы пара

в начале и в конце процесса.

Пусть в сосуде находятся *вода и ее насыщенный пар*. Тогда при изотермическом расширении насыщенного пара его объём увеличивается, жидкость испаряется, и пока в сосуде есть жидкость, давление пара не меняется. После того, как вся жидкость испаряется, пар становится ненасыщенным и далее при изотермическом расширении подчиняется закону Бойля-Мариотта.

Пусть в сосуде находятся *вода и ее насыщенный пар*. При изохорном нагревании дополнительное испарение воды может в течение некоторого времени (при определенных условиях) позволять пару быть насыщенным. При этом давление в сосуде будет меняться нелинейно. После испарения всей воды пар станет ненасыщенным и начнет подчиняться закону Шарля.

Пусть в сосуде находится *ненасыщенный пар*. При его изохорном охлаждении конденсация начнется только при достижении точки росы. При дальнейшем изохорном охлаждении насыщенного пара он конденсируется (так как при уменьшении температуры плотность насыщенного пара уменьшается).

Важно научить обучающихся изображать на графиках процессы, соответствующие этим ситуациям, а также рассчитывать характерные значения, соответствующие «критическим» точкам графиков. Решение качественных задач направлено на развитие понимания у обучающихся особенностей данной темы. Поэтому следует уделить решению таких задач особое внимание.

Пример 1

В сосуде под подвижным поршнем находятся вода и ее насыщенный пар, которые занимают начальный объём $V_0 = 1 \text{ м}^3$. Плотность насыщенного пара $\rho = 22,5 \text{ г/м}^3$. Масса воды $m = 90 \text{ г}$. Поршень медленно поднимают, изотермически увеличивая объём сосуда в $k = 10$ раз. Определите конечную

плотность пара. Изобразите график зависимости плотности пара от занимаемого им объема.

Решение

Сначала обратим внимание на то, что объём воды пренебрежимо мал, по сравнению с объёмом сосуда. Действительно:

$$V_{\text{в}} = \frac{m}{\rho_{\text{в}}} = \frac{90 \text{ г}}{1 \text{ г/см}^3} = 90 \text{ см}^3 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \ll 1 \text{ м}^3.$$

Поэтому будем считать, что пар занимает весь объём сосуда. Пока в сосуде присутствует жидкость, пар будет оставаться насыщенным, и его давление изменяться не будет, поскольку оно зависит только от температуры, которая поддерживается постоянной. Так будет происходить до момента, пока вся вода, находящаяся в сосуде, не испарится. Тогда масса пара будет равна сумме массы m_0 пара, который был в сосуде в начальный момент времени, и массе m жидкости. При дальнейшем расширении пар станет ненасыщенным и будет подчиняться закону Бойля–Мариотта.

Определим объём сосуда, при котором начнется изотермическое расширение ненасыщенного пара, понимая, что до этого момента плотность ρ пара меняться не будет: $\rho = \frac{m_0}{V_0}$, где m_0 – первоначальная масса пара.

$$\rho = \frac{m_0 + m}{V_{\text{кр}}} = \frac{\rho V_0 + m}{V_{\text{кр}}},$$

$V_{\text{кр}}$ – объём сосуда, при дальнейшем увеличении которого пар уже не насыщен.

$$V_{\text{кр}} = \frac{\rho V_0 + m}{\rho} = V_0 + \frac{m}{\rho} = 1 + \frac{90 \text{ г}}{22,5 \text{ г/м}^3} = 5 \text{ м}^3.$$

Отметим, что $V_{\text{кр}} = 5V_0$.

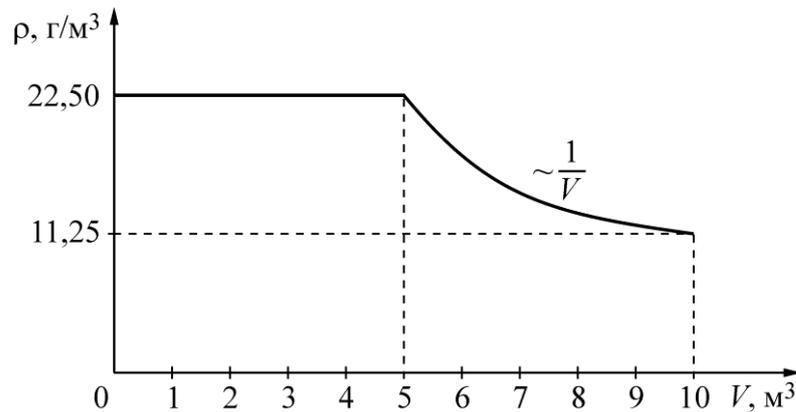
Дальнейшее увеличение объёма будет сопровождаться уменьшением плотности:

$$\rho_1 = \frac{m_0 + m}{kV_0}.$$

Отсюда

$$\rho_1 = \frac{\rho}{2} = 11,25 \text{ г/м}^3.$$

При построении графика следует обсудить, как будет меняться плотность с увеличением объёма.



На этом этапе важно решить обратную задачу – как будут изменяться плотность и давление ненасыщенного водяного пара при его изотермическом сжатии, и сравнить полученные результаты с тем, как будут меняться эти же параметры для сухого воздуха. Полезно построить соответствующие графики и обсудить их.

2. Решение базовых задач на изменение влажности воздуха в отсутствие конденсации (влажность менее 100 %)

Пример 2

Относительная влажность воздуха в комнате объёмом $V = 40 \text{ м}^3$ равна $\varphi_1 = 30 \%$. Какую массу m воды нужно испарить, чтобы влажность в комнате стала равна $\varphi_2 = 50 \%$? Температура в комнате составляет $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

По определению, относительная влажность равна

$$\varphi_1 = \frac{m}{\rho_0 V} \cdot 100 \% \Rightarrow m = \rho_0 V \frac{\varphi_1}{100 \%},$$

где m – масса водяных паров, изначально находившихся в комнате. После дополнительного испарения воды массой Δm относительная влажность равна

$$\varphi_2 = \frac{m + \Delta m}{\rho_0 \cdot V} \cdot 100 \%$$

Отсюда

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{m + \Delta m}{m} = 1 + \frac{\Delta m}{m} \Rightarrow \Delta m = m \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} - 1 \right).$$

$$\Delta m = \rho_0 V \frac{\varphi_1}{100 \%} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} - 1 \right) = \rho_0 V \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{100 \%}.$$

По таблице зависимости давления и плотности насыщенного водяного пара от температуры находим, что при $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ величина $\rho_0 = 19,4 \text{ г/м}^3$.

Поэтому

$$\Delta m = 19,4 \text{ г/м}^3 \cdot 40 \text{ м}^3 \cdot \frac{50\% - 30\%}{100\%} \approx 155 \text{ г}.$$

На этом этапе важно также обратить внимание на задачи, объединяющие темы «влажность воздуха» и «газовые законы».

3. Решение задач на изменение влажности воздуха до 100 % и определение массы сконденсировавшейся жидкости

При решении задач этого раздела следует обратить внимание обучающихся на то, что решение задач данного типа требует расчёта числовых значений плотности (или давления) пара, чтобы, сравнивая эти значения с табличными, контролировать процесс перехода насыщенного пара в ненасыщенный или обратно.

При этом возможны два варианта формулировки условия задачи: первый вариант – четко указано, что произошла конденсация, второй вариант – необходим анализ ситуации чтобы понять, стал ли пар насыщенным.

Пример 4

В запаянной стеклянной трубке объемом $V = 0,4 \text{ л}$ находится водяной пар под давлением $p = 6,5 \text{ кПа}$ при температуре $T = 423 \text{ К}$. Какая масса росы выпадет на стенках трубки при охлаждении её содержимого до температуры

$T_1 = 298 \text{ K}$? Давление насыщенного пара при конечной температуре равно $p_{\text{нп}298} = 3,17 \text{ кПа}$.

Решение

В условии задачи сразу говорится о конденсации пара. Следовательно, при изохорном охлаждении ненасыщенный пар достигнет насыщения, максимальное давление пара составит $p_{\text{нп}298} = 3,17 \text{ кПа}$, часть пара сконденсируется. Обозначим m_1 и m_2 массу водяного пара в исходном и конечном состоянии и запишем для этих состояний уравнение Менделеева – Клапейрона, считая пар идеальным газом.

$$p_1 V = \frac{m_1 R T_1}{\mu}, \quad p_{\text{нп}298} V = \frac{m_2 R T_2}{\mu}.$$

Отсюда

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{\mu V}{R} \left(\frac{p_{\text{нп}298}}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right),$$
$$\Delta m = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{8,31} \left(\frac{3170}{298} - \frac{6500}{423} \right) \approx -4,1 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = -4,1 \text{ мг}.$$

Знак «минус» говорит об уменьшении массы паров в сосуде, то есть на его стенках действительно выпадет роса.

Полезно решить сравнительные задачи, то есть две задачи, на первый взгляд, с одинаковыми условиями, но имеющие, как показывает анализ, разные решения (пример 5 и пример 6).

Пример 5

Сосуд объёмом $V = 20 \text{ дм}^3$ разделён тонкой подвижной перегородкой на две части. В левую часть помещён азот в количестве $\nu_a = 0,5$ моль, а в правую – вода в количестве $\nu_b = 1$ моль. Температура в обеих частях сосуда поддерживается одинаковой и равной $T = 373 \text{ К}$. Определите объём левой части сосуда V_a .

Решение

Перегородка подвижна – следовательно давления в левой и в правой частях сосуда равны. Попробуем определить, в каком состоянии находится вода в правой части сосуда. Если бы вода присутствовала в сосуде только в виде водяного пара и занимала весь его объём, то её давление было бы равным

$$p = \frac{\nu_B RT}{V_B} = \frac{1 \cdot 8,31 \cdot 373}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 86,1 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Как известно, давление насыщенного пара при температуре $T = 373 \text{ К}$ равно 1 атмосфере: $p = 10^5 \text{ Па}$. Таким образом, очевидно, что в данных условиях часть воды находится в жидком состоянии, а водяной пар насыщен и его давление равно $p = 10^5 \text{ Па}$. Давления азота и водяного пара равны. Тогда

$$V_a = \frac{\nu_a RT}{p} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 373}{10^5} \approx 15,5 \text{ дм}^3.$$

Пример 6

Сосуд объёмом $V = 120 \text{ дм}^3$ разделён тонкой подвижной перегородкой на две части. В левую часть сосуда помещён азот в количестве $\nu_a = 1$ моль, а в правую помещена вода в количестве $\nu_B = 2$ моль. Температура в обеих частях сосуда поддерживается одинаковой и равной $T = 373 \text{ К}$. Определите объём левой части сосуда V_a .

Решение

Предположим, что водяной пар занимает весь объём сосуда. Тогда давление в сосуде должно быть равно

$$p = \frac{\nu_B RT}{V} = \frac{2 \cdot 8,31 \cdot 373}{120 \cdot 10^{-3}} \approx 0,5166 \cdot 10^5 \text{ Па} < 10^5 \text{ Па.}$$

Следовательно, такой пар ненасыщенный.

Поместим в левую часть сосуда объёмом V_a азот и предположим, что пар в правой части сосуда объёмом V_B при этом остался ненасыщенным. При равновесии поршня давления водяного пара и азота одинаковы:

$$p_B = p_a \Rightarrow \frac{v_B RT}{V_B} = \frac{v_a RT}{V_a}$$

Поскольку $V_a + V_B = V$, то $\frac{v_B}{V - v_a} = \frac{v_a}{v_a}$, отсюда

$$V_a = V \frac{v_a}{v_B + v_a} = 120 \cdot \frac{1}{2 + 1} = 40 \text{ дм}^3.$$

Проверим, что водяной пар при этом остался ненасыщенным. Для этого вычислим его давление, которое равно давлению азота:

$$p_a = \frac{v_a RT}{V_a} \approx 0,775 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Эта величина меньше 10^5 Па. Следовательно, сделанное нами предположение правильное.

4. Решение комбинированных задач с использованием закона Дальтона

Отдельно необходимо рассмотреть задачи о процессах в системе, которая представляет собой смесь водяного пара и другого идеального газа. Как правило, это задачи о смеси паров воды и воздуха. Особенность такой системы состоит в том, что при её охлаждении или сжатии уравнение Менделеева – Клапейрона применимо для водяного пара только до тех пор, пока пар не начнет конденсироваться. При этом для входящего в смесь воздуха уравнение Менделеева – Клапейрона по-прежнему применимо. По этой причине при решении таких задач следует рассматривать пар и второй газ отдельно, оперируя понятиями парциальных давлений и плотностей пара и газа. Давление смеси пара с газом при этом определяется с помощью закона Дальтона. Рассмотрим пример решения такой задачи.

Пример 7

В сосуде под поршнем находится влажный воздух при давлении $p_1 = 120$ кПа и температуре $t = 80$ °С с относительной влажностью $\varphi = 70$ %. Объём под поршнем уменьшают в три раза при постоянной температуре. Каким станет давление влажного воздуха под поршнем? При

температуре $t = 80\text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенных паров воды равно $p_{\text{нп}} = 47,3\text{ кПа}$.

Решение

Влажный воздух представляет собой смесь водяных паров и сухого воздуха. По закону Дальтона, давление влажного воздуха равно сумме давлений водяных паров и сухого воздуха.

Первоначальное давление водяных паров находим из формулы для относительной влажности воздуха: $p_{\text{п1}} = \varphi \cdot p_{\text{нп}}$, где $p_{\text{нп}}$ – давление насыщенного пара при начальной температуре. Температура в сосуде постоянна, поэтому давление насыщенного пара в сосуде остается неизменным.

При изотермическом уменьшении объема давление водяного пара должно увеличиваться. Это будет происходить до тех пор, пока пар не станет насыщенным. При уменьшении объёма в 3 раза водяной пар уже будет насыщенным (можно предложить учащимся убедиться в этом). После достижения насыщения дальнейшее изменение объёма сосуда на давление водяных паров не повлияет.

Изменение давления сухого воздуха подчиняется закону Бойля–Мариотта: $p_{\text{с1}}V_1 = p_{\text{с2}}V_2$. Поскольку $V_1 = 3V_2$, то $3p_{\text{с1}} = p_{\text{с2}}$.

Запишем закон Дальтона для обоих случаев:

$$p_1 = \varphi p_{\text{нп}} + p_{\text{с1}};$$

$$p_2 = p_{\text{нп}} + p_{\text{с2}}.$$

Объединяя уравнения, получаем, что конечное давление влажного воздуха в сосуде:

$$p_2 = 3p_1 - p_{\text{нп}}(3\varphi - 1) = 3 \cdot 120 - 47,3 \cdot (3 \cdot 0,7 - 1) \approx 308\text{ кПа}.$$

Дополнительное предметное содержание

При изучении физики на углубленном уровне рекомендуется рассмотреть комбинированные задачи по теме «Влажность воздуха и термодинамика». Подобные задачи разбираются достаточно редко, в связи с чем у обучающихся могут возникать трудности при их решении.

Перед ознакомлением с задачами данного типа следует дополнительно повторить с обучающимися первый закон термодинамики ($\delta Q = \Delta U + \delta A$), а также способы нахождения работы в различных термодинамических процессах. Здесь же нужно обратить внимание на то, что при кипении воды температура водяного пара не изменяется.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий задачу на данную тему.

Пример 8

Жидкая вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем при температуре 110°C , при этом жидкость занимает $0,1\%$ объема цилиндра. При медленном изотермическом увеличении объема вода испаряется. К моменту, когда она вся испарилась, пар совершил работу $A = 177$ Дж, а объем, который он занимал, увеличился на $\Delta V = 1,25$ л. Найдите давление в цилиндре, при котором проходил опыт. Определите (по отдельности) массу воды и массу пара в цилиндре в начальном состоянии.

Решение

При постоянном давлении p и температуре жидкая вода массой m испарилась, и пар совершил работу:

$$A = p\Delta V = \frac{mRT}{\mu}, \text{ откуда } p = \frac{A}{\Delta V} = \frac{177}{1,25 \cdot 10^{-3}} \approx 1,42 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$m = \frac{A\mu}{RT} = \frac{177 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 383} \approx 1 \text{ г.}$$

Пусть V – начальный объем цилиндра. Объем жидкой воды в нем $V_B = \frac{m}{\rho_B} = 0,001V$, поэтому $V = \frac{m}{\rho_B \cdot 0,001}$, а начальный объем водяного пара

$$V_{\text{п}} = 0,999V = 0,999 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{в}} \cdot 0,001} = 999 \frac{m}{\rho_{\text{в}}}.$$

Массу пара в начальном состоянии найдем из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$pV_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}}RT}{\mu},$$

$$m_{\text{п}} = \frac{pV_{\text{п}}\mu}{RT} = \frac{999pt\mu}{RT\rho_{\text{в}}} = \frac{999 \cdot 1,42 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 383 \cdot 10^3} \approx 0,8 \text{ г.}$$

Дополнительные интернет-источники

1. Демидова М.Ю., Грибов В.А. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2024 года по физике. – М.: ФИПИ, 2024. – 35 с. URL: https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2024/fi_mr_2024.pdf
2. Константинов И. Насыщенный пар // Квант. – 1977. – № 6. – С. 67–70. – URL: http://kvant.mccme.ru/1977/06/nasyshchennyj_par.htm
3. Асламазов Л. Свойства паров, испарение и кипение жидкостей // Квант. – 1974. – № 1. – С. 60–66. – URL: http://kvant.mccme.ru/1974/01/svoystva_parov_isparenije_i_kip.htm
4. Соловьянюк В. Ах, уж эта влажность // Квант. – 1992. – № 11. – С. 35–37. – URL: http://kvant.mccme.ru/1992/11/ah_uzh_eta_vlazhnost.htm