

**Домашнее задание**  
**Задание №21. МКТ-качественная задача**

1. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате  $25^{\circ}\text{C}$  на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до  $14^{\circ}\text{C}$ . По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Изменится ли относительная влажность при повышении температуры воздуха в комнате, если конденсация паров воды из воздуха будет начинаться при той же температуре стакана  $14^{\circ}\text{C}$ ? Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

$t, ^{\circ}\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/м}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

2. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате  $19^{\circ}\text{C}$  на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до  $9^{\circ}\text{C}$ . По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

$t, ^{\circ}\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/м}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

3. В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна  $50\%$ , а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы пара в сосуде в этом процессе от объёма сосуда.

4. Известно, что вечерняя роса на траве - это к хорошей, ясной погоде, а сухая трава - к пасмурной. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, почему это так. Юный физик в летний вечер решил отправиться на прогулку и оценить, какая масса воды содержится в  $1 \text{ м}^3$  влажного атмосферного воздуха. Какие приборы ему необходимо взять с собой для того, чтобы провести необходимые измерения? Какие справочные (табличные) значения понадобятся ему для проведения вычислений?

5. Каким образом установка батарей отопления под окном помогает выравниванию температур в комнате в зимнее время? Ответ поясните, используя физические закономерности.

6. Зимой по краям заснеженных наклонных крыш домов часто образуются сосульки, которые при не слишком морозной погоде быстро растут и могут сорваться и упасть, представляя большую опасность для проходящих внизу людей. На крышах многих современных загородных домов сосульки, однако, не образуются благодаря специальной конструкции этих крыш: они двухслойные, и между верхним и нижним слоями имеется зазор, в котором воздух может свободно циркулировать и выходить наружу. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, причину образования сосуллек в первом случае и их отсутствие во втором случае.

7. Зимой школьник решил поставить опыт: полностью заполнил две тонкие пластиковые бутылки с практически нерастяжимыми стенками горячей водой (почти кипятком), потом из одной вылил воду, сразу же обе плотно закрыл крышками и выставил бутылки на мороз на всю ночь. В результате одна бутылка лопнула, а другая сплюснулась. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, какая из бутылок лопнула и почему.

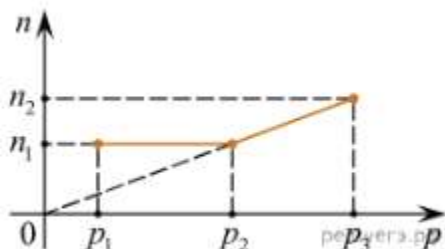
8. На кухне во время приготовления пищи могут случаться разные неприятности. Например, если сильно перегреть растительное масло на сковороде, поставленной на газовую плиту, то его пары могут воспламениться от газовой горелки, масло в сковороде тоже начнёт гореть, и его надо будет потушить. Спрашивается, чем? Оказывается, что при обычной попытке тушения масла, вылитой на него водой возникает столб огня, который может поджечь весь дом. Опишите, основываясь на известных физических законах и закономерностях, процессы, происходящие при такой попытке его «тушения».

9. Опытный турист, как и партизаны в годы войны, разжигая костёр, вначале складывает небольшую кучку сухих листьев, травы и тонких веточек, обкладывает их «пирамидкой» из наклонно стоящих веточек потолще, а затем и толстыми ветками. Неопытный турист просто беспорядочно складывает ветки в кучу и поджигает их. В каком случае костёр будет больше дымить и может вообще потухнуть? Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, почему это происходит.

10. В прочный сосуд объёмом  $V = 1$  л с герметично закрывающейся крышкой налили 800 г воды при температуре  $T = 0$  °С и при нормальном атмосферном давлении  $p = 1$  атм, завинтили крышку и поставили нагреваться на газовую плиту. Когда вода нагрелась до 100 °С, сосуд переместили в морозильник и дождались, когда вода полностью замёрзнет. Какое давление при этом установится в сосуде? Нарисуйте примерный график зависимости давления  $p$  в этом сосуде, выраженного в атмосферах, от времени  $t$ . Давлением паров воды при температуре  $T = 0$  °С по сравнению с 1 атм можно пренебречь, как и тепловым расширением воды при её нагревании. Значения давления в характерных точках, используемых для построения графика, можно округлять до десятых долей атм. Плотность льда равна 0,9 г/см<sup>3</sup>.

11. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают медленно выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

12. На рисунке представлен график процессов, происходящих с идеальным газом неизменной массы в координатах  $(n, p)$ . Постройте график этих процессов в координатах  $(V, T)$ . Опишите используемые при построении закономерности.



13. Имеется два сосуда одинакового объёма, при одинаковом давлении и температуре, в одном из них находится вода и влажный водяной пар, а во втором только сухой воздух. Объём сосудов изотермически увеличили в два раза. Нарисуйте в координатах  $p-V$  графики данного процесса для обоих сосудов, если первоначальное давление в обоих сосудах равно, а вода в первом сосуде в конце процесса испарилась не полностью.

### Ответы к заданиям:

#### 1. Решение:

1. Водяной пар в воздухе становится насыщенным при температуре  $14^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, давление  $p$  водяного пара в воздухе равно давлению насыщенного пара при температуре  $14^{\circ}\text{C}$  из таблицы 16 гПа. Давление  $p_0$  насыщенного водяного пара при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  равно 32 гПа.

2. Относительной влажностью воздуха  $\varphi$  называется отношение:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{16}{32} \cdot 100\% = 50\%$$

3. Относительная влажность при повышении температуры воздуха в комнате уменьшится, так как давление  $p$  водяного пара в воздухе остаётся практически неизменным, а давление  $p_0$  насыщенного водяного пара при повышении температуры воздуха увеличивается.

#### 2. Решение:

1. Водяной пар в воздухе становится насыщенным при температуре  $9^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, давление  $p$  водяного пара в воздухе равно давлению насыщенного пара при температуре  $9^{\circ}\text{C}$  из таблицы 11 гПа.

Абсолютная влажность равна плотности водяных паров. Плотность пара при  $19^{\circ}\text{C}$  можно найти, применив уравнение Клапейрона-Менделеева. Первое состояние: насыщенный пар при  $9^{\circ}\text{C}$ . Второе: пар при  $19^{\circ}\text{C}$ . Пар охлаждается от  $19^{\circ}\text{C}$  до  $9^{\circ}\text{C}$  изобарически, поэтому  $p_2 = p_1 = 11$  гПа

$$p_1 = \frac{\rho_{\text{нп}9^{\circ}\text{C}}}{M} RT_1 \quad p_2 = \frac{\rho_2}{M} RT_2$$

Плотность насыщенного пара при  $9^{\circ}\text{C}$  равна  $\rho_{\text{нп}9^{\circ}\text{C}} = 8,8$  г/м<sup>3</sup>

Объединяя два последних уравнения:  $\rho_2 = \rho_{\text{нп}9^{\circ}\text{C}} \frac{T_1}{T_2} = 8,8 \cdot \frac{282\text{ K}}{292\text{ K}} \approx 8,5$  г/м<sup>3</sup>

2. Давление  $p_0$  насыщенного водяного пара при температуре  $19^{\circ}\text{C}$  равно 22 гПа. Относительной влажностью воздуха  $\varphi$  называется отношение:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{11}{22} \cdot 100\% = 50\%$$

3. Конденсация паров воды происходит при условии равенства давления водяного пара, имеющегося в воздухе, давлению насыщенного водяного пара при данной температуре воздуха. Давление насыщенного водяного пара зависит от температуры. Поэтому при разной плотности водяного пара в воздухе температура начала конденсации пара (точка росы) оказывается различной.

#### 3. Решение:

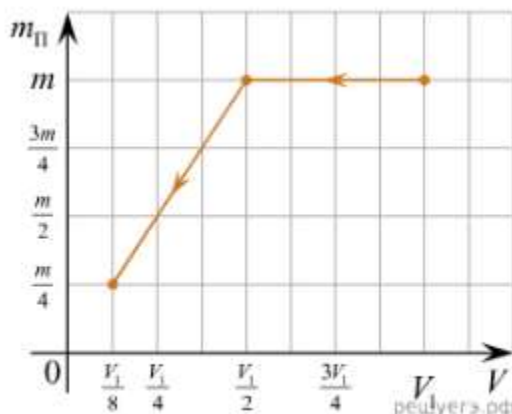
1. Обозначим исходные объём и давление пара через  $V_1$  и  $p_1$ . Конденсация пара, а, следовательно, и изменение массы пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенных водяных паров, т. е. при давлении  $p_2 = 2p_1$ . При достижении газом этого давления начнётся процесс конденсации насыщенного пара, происходящий при постоянном давлении и температуре, при этом вблизи комнатной температуры объёмом сконденсировавшейся воды по сравнению с объёмом пара можно пренебречь.

2. Так как температура неизменна, то согласно закону Бойля - Мариотта в момент начала конденсации объём пара будет равен  $\frac{V_1}{2}$ , а масса пара -  $m$ .

Для того чтобы в итоге объём пара уменьшился в 8 раз, нужно, считая от момента начала конденсации, уменьшить объём сосуда ещё в 4 раза. При этом в сосуде сконденсируется  $\frac{3}{4}$  от находившейся под поршнем массы  $m$  пара, то есть масса  $m_{\text{п}}$  оставшегося пара будет равна  $\frac{m}{4}$ .

3. Зависимость  $m_{\text{п}}(V)$  в области конденсации - линейная.

4. График изображён на рисунке.



4. Решение и ответ: в ясную погоду вечером и ночью приземный слой воздуха быстро остывает, содержащиеся в нём ненасыщенные пары воды превращаются в пересыщенные, и в результате выпадает роса. Для того чтобы оценить, какая масса воды содержится в  $1 \text{ м}^3$  влажного атмосферного воздуха, понадобятся гигрометр, термометр, а также табличные значения давления насыщенных паров воды при измеренной температуре и молярной массы воды.

5. Решение и ответ:

1. Перемешивание воздуха и выравнивание его температуры в комнате при работающих батареях происходит за счет конвекции.

2. В соответствии с уравнением Клапейрона — Менделеева,  $pV = \frac{m}{M}RT$  или  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{Mp}{RT}$  плотность воздуха  $\rho$  при одном и том же значении  $p$  выше у холодного воздуха и ниже у теплого воздуха. Поэтому воздух, нагретый батареей, в соответствии с законом Архимеда поднимается вверх, к окну, а воздух, остывший от соприкосновения с холодным стеклом окна, опускается к батарее для нагрева. Это перемешивание выравнивает температуру в комнате.

6. Решение:

1. Жилые дома зимой отапливаются, тёплый воздух поднимается вверх, и через крышу, покрытую снегом, постоянно идёт поток теплоотдача.

2. Слой снега на крыше имеет малую теплопроводность, так что между внутренней и внешней поверхностями этого слоя возникает большая разность температур, и снег, прилегающий к крыше, нагревается до температуры плавления и начинает таять за счёт получения теплоты плавления при теплоотдаче через крышу дома в окружающую среду.

3. Образовавшаяся при таянии снега вода стекает под слоем снега вниз по наклонной крыше, и, выходя на её краю наружу, на холод, снова замерзает, образуя лёд, то есть быстро растущие сосульки.

4. При двухслойной крыше с воздушным зазором теплота из дома уносится наружу, вверх, в окружающую среду, за счёт возникающих конвекционных потоков воздуха в зазоре, и практически не нагревает снег на верхнем слое крыши. Таким образом, снег не подтаивает, и сосульки у краёв такой крыши не образуются.

7. Решение:

1. В первой бутылке были насыщенные пары воды и малое количество воздуха, а во второй - только горячая вода.

2. Ночью на морозе обе бутылки за счёт всех видов теплоотдачи - конвекции, теплопроводности и теплового излучения - остыли до температуры окружающего холодного воздуха.

3. Пары воды в первой бутылке сконденсировались и замерзли, сильно уменьшив свой объём, а давление в бутылке упало до очень низкого значения. Поэтому бутылка под действием наружного атмосферного давления сплюснулась.

4. Во второй бутылке вода сначала охладилась до  $0^\circ\text{C}$ , а потом при фазовом переходе из жидкого состояния в твёрдое отдала теплоту кристаллизации, замёрзла и охладилась до низкой температуры окружающей среды. При этом объём воды вырос примерно на 10% (это следует из таблицы

плотностей веществ), что привело к сильному росту давления в бутылке с нерастяжимыми стенками, и она лопнула.

#### 8. Решение:

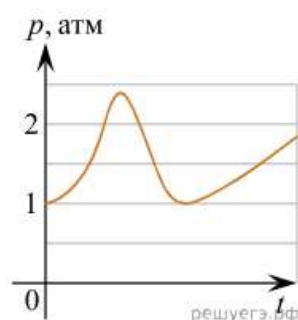
1. Плотность горящего масла, которое находится в сковороде, меньше плотности воды. Поэтому при попытке тушения горящего масла водой она проникает под слой масла, быстро нагревается от сковороды, закипает и испаряется, резко увеличивая свой объём и давление.
2. Пары испарившейся воды, расширяясь, своим давлением выбрасывают и разбрызгивают уже горящее масло, резко увеличивая его поверхность, находящуюся в контакте с кислородом воздуха. В результате реакция горения масла ускоряется, всё это и приводит к образованию столба огня над сковородой.

#### 9. Решение:

1. Костёр будет больше дымить во втором случае.
2. При горении лёгких сухих материалов образуются горячие газы, имеющие плотность более низкую, чем окружающий воздух. На эти газы в соответствии с законом Архимеда действует выталкивающая сила, и они начинают подниматься вверх, образуя восходящий горячий конвективный поток.
3. Если огонь окружает «пирамидка» из веток, то конвективный поток усиливается, поскольку испытывает меньшее сопротивление своему движению вверх, и возникает хорошая «тяга», способствующая притоку кислорода воздуха и усилению горения окружающих веток. «Тяга» в этом случае возникает аналогично тому, как это происходит в печной трубе.
4. При хорошей «тяге» происходит полное сгорание топлива, и дым практически отсутствует. Это в годы войны было очень важно — тогда с самолетов-разведчиков место стоянки партизан было трудно обнаружить по дыму от костров. Если же огонь просто покрыт кучей веток сверху, то «тяги» не возникает, продукты сгорания топлива удаляются плохо, приток кислорода слабый, и это мешает нормальному горению, в результате чего ветки тлеют и сильно дымят.

#### 10. Решение:

1. Начальное давление в сосуде, очевидно, равно 1 атм.
2. После нагревания воды до  $100\text{ }^\circ\text{C}$  давление её паров возросло до 1 атм, а давление воздуха при постоянном объёме увеличилось по закону Шарля в  $T_2/T_1 = 373/273 \approx 1,366$  раза, до примерно 1,4 атм.
3. При этом суммарное давление воздуха и паров воды при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  по закону Дальтона стало равным около 2,4 атм.
4. При охлаждении сосуда в морозильнике до  $0\text{ }^\circ\text{C}$  давление паров воды уменьшилось до пренебрежимо малой (по условию) величины, давление воздуха сначала вернулось к исходному  $p = 1$  атм, а затем по мере замерзания воды объём, занимаемый воздухом, уменьшался, а его давление увеличивалось вплоть до момента, когда вся вода замёрзла.
5. Плотность воды составляет  $1\text{ г/см}^3$ , объём 800 г воды был равен  $800\text{ см}^3$ , а плотность получившегося льда равна  $0,9\text{ г/см}^3$ , и его объём равен  $\approx 889\text{ см}^3$ , то есть объём воздуха уменьшился с  $V_1 = 200\text{ см}^3$  до  $V_2 \approx 111\text{ см}^3$ . По закону Бойля–Мариотта при постоянной температуре  $T = 0\text{ }^\circ\text{C}$  давление воздуха стало равным  $p' = pV_1/V_2 \approx 1,8$  атм, как и суммарное давление в сосуде.
6. По этим численным данным можно построить примерный график зависимости давления  $p$  в этом сосуде от времени  $t$ , имея в виду, что на этапах изменения давления кривые — нелинейные (см. рисунок).

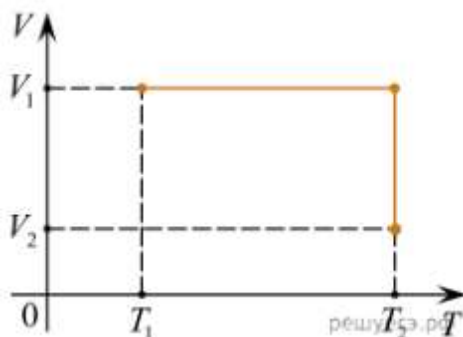


### 11. Решение:

1. Масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
2. Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.
3. При выдвигании поршня пар изотермически расширяется. Давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, для пополнения количества вещества пара будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

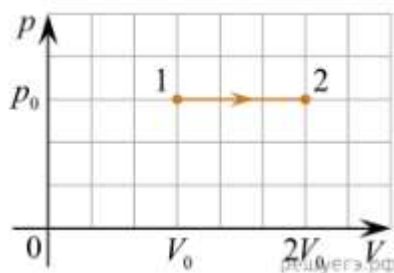
### 12. Решение:

1. На первом участке концентрация газа не менялась. Следовательно, объем данного газа так же оставался неизменным, т. е. процесс изохорный. Из графика видно, что давление газа увеличивалось. По закону Шарля  $\frac{p}{T} = const$  температура газа так же увеличивалась.
2. На втором участке зависимость давления от концентрации прямая пропорциональная. По закону Авогадро  $p = nkT$ , значит, температура газа оставалась неизменной, т. е. процесс перехода газа на этом участке был изотермическим. Так как давление увеличивается, то из закона Бойля-Мариотта  $pV = const$  следует, что объем уменьшался.
3. Построим график происходящих процессов в координатах  $(V, T)$ :

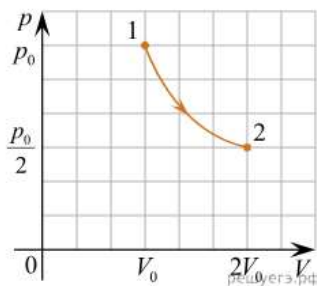


### 13. Решение:

В сосуде, содержащем насыщенный пар и воду, давление при постоянной температуре не изменится. Увеличение объема приведет к дополнительному испарению воды. График будет иметь вид:



В сосуде, содержащем сухой воздух, при изотермическом увеличении объема давление уменьшится в 2 раза. График будет иметь вид:



Ответ: 34.