

ЗАДАНИЕ №9,10

ВАЖНО!

Что нужно знать	Что нужно уметь
<p>Основное уравнение МКТ, связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его молекул, уравнение Менделеева — Клапейрона, закон Дальтона, изопроцессы (стр. 174–176)</p>	<p>Анализировать изменение физических величин, характеризующих изопроцессы в идеальном газе, определять изменение физических величин (давление, объём, абсолютная температура, количество вещества, плотность газа и концентрация его молекул, средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения молекул газа) в различных изопроцессах</p>
<p>Насыщенные и ненасыщенные пары. Относительная влажность воздуха (стр. 176)</p>	<p>Анализировать процессы, происходящие с насыщенным и ненасыщенным паром, определять изменение физических величин (концентрация молекул пара, давление пара, относительная влажность воздуха)</p>

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ И ВАРИАНТОВ ИХ РЕШЕНИЯ

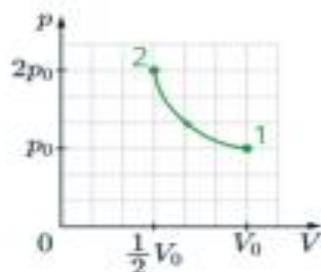
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Задание № 3</p>	<p>В цилиндре под поршнем находятся воздух и ненасыщенный водяной пар. Поршень медленно перемещают вниз при постоянной температуре.</p> <p>Как будут изменяться:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) концентрация молекул пара; 2) давление пара; 3) масса пара; 4) плотность пара; 5) относительная влажность воздуха в цилиндре?
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Возможное решение и ответ к заданию № 3</p>	<p>Водяной пар находится в цилиндре, закрытом поршнем, его температура остаётся неизменной. При сжатии будут наблюдаться два процесса: сжатие ненасыщенного пара и затем сжатие насыщенного пара и выпадение росы.</p> <p>В первом случае масса пара будет оставаться постоянной, концентрация молекул пара будет увеличиваться, плотность будет расти, давление также будет увеличиваться, пока не станет равным давлению насыщенных паров при данной температуре. Относительная влажность воздуха будет увеличиваться, пока не достигнет 100 %.</p> <p>При сжатии насыщенного пара часть пара будет конденсироваться, его масса будет уменьшаться, концентрация молекул пара, его плотность и давление будут оставаться неизменными. Относительная влажность воздуха будет оставаться неизменной и равной 100 %.</p>

Задача 6 #61686 Максимум баллов за задание: 3

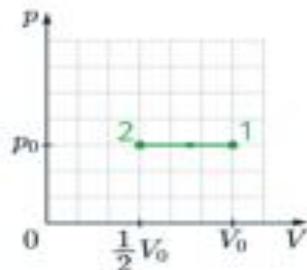
В одном сосуде под поршнем в объёме V_0 при комнатной температуре находится только насыщенный водяной пар и вода, которая занимает малый объём. В другом сосуде под поршнем в объёме V_0 при том же давлении p_0 находится сухой воздух. Воздух и водяной пар изотермически сжимают так, что объём под поршнем уменьшается в 2 раза. Постройте графики этих двух процессов в переменных $p - V$. Опираясь на законы молекулярной физики, объясните построение графиков.

Решение:

При изотермическом сжатии сухого воздуха справедлив закон Бойля-Мариотта: давление обратно пропорционально объёму $pV = const$. Графически такая зависимость представляет собой гиперболу. Из закона Бойля-Мариотта следует, что если объём газа уменьшился в 2 раза, то давление увеличится в два раза. Изобразим график:



Теперь изобразим то же самое для воды и водяного пара. Так как давление насыщенного пара зависит лишь от температуры, относительная влажность равна 100 процентам (максимальное значение), то относительная влажность постоянна. Из этого следует, что и давление водяных паров постоянно, поэтому график будет выглядеть следующим образом:



Ответ: Смотреть решение

Задача 7 #100826 Максимум баллов за задание: 3

В одном сосуде под поршнем находится водяной пар при относительной влажности 75%. Во втором сосуде под поршнем находится только воздух. Объём обоих сосудов изотермически уменьшают в два раза. Начертите график в осях $p - V$ для обоих сосудов и обоснуйте их вид, опираясь на физические законы.

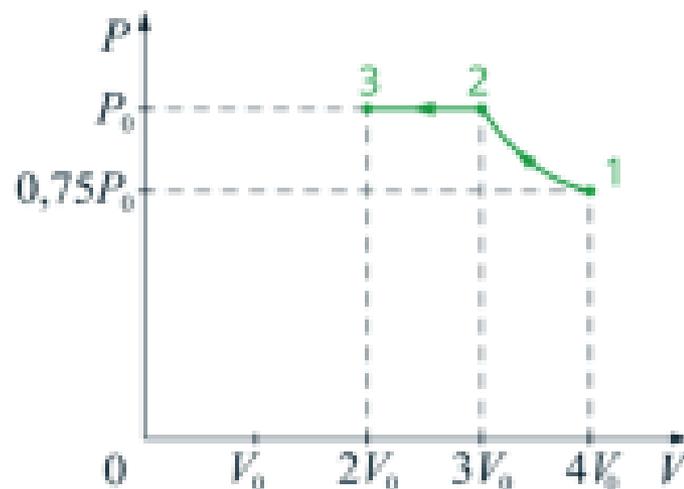
Решение:

В процессе температура постоянна, значит, давление насыщенного пара в ходе процесса будет также постоянно $p_{н.п.} = p_0 = const$.
Относительная влажность равна

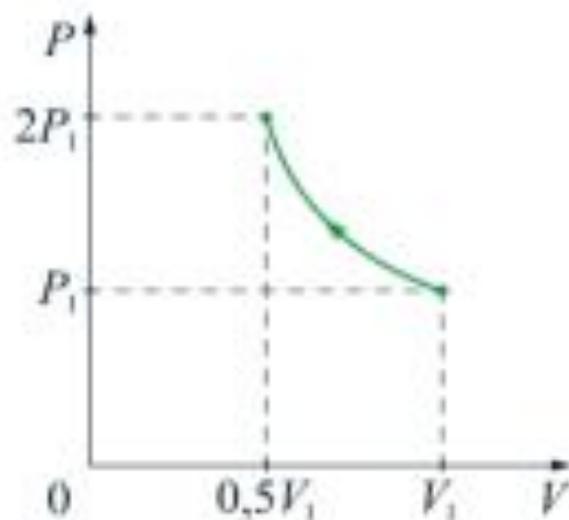
$$\varphi = \frac{p_{в.п.}}{p_{н.п.}},$$

где $p_{в.п.}$ – давление водяного пара.

Пусть начальный объём равен $4V_0$. Так как относительная влажность водяного пара равна 0,75, то чтобы пар стал насыщенным его объём должен уменьшиться до $3V_0$, когда пар станет насыщенным начнется конденсация водяных паров и давление перестанет увеличиваться и будет равным давлению насыщенных паров. График показан ниже.



Воздух будет подчиняться закону Бойля-Мариотта $pV = const$.
При уменьшении объёма в 2 раза давление увеличится в 2 раза по гиперболе. Его график представлен ниже.



Ответ:

48. Влажный воздух с относительной влажностью φ находится в вертикальном гладком цилиндрическом сосуде под невесомым поршнем с площадью S . На поршень медленно насыпают песок. Какую массу песка m нужно насыпать, чтобы на стенках сосуда начала появляться роса? Температура влажного воздуха в сосуде поддерживается постоянной. Снаружи сосуда давление воздуха равно нормальному атмосферному давлению p_0 .

48. *Возможное решение.*

1. Относительная влажность воздуха определяется отношением парциального давления водяного пара $p_{\text{п}}$ к давлению насыщенных паров воды $p_{\text{нас}}$ при той же температуре: $\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нас}}}$.

2. В начальном состоянии давление в сосуде под невесомым поршнем равно атмосферному давлению p_0 .

3. Если масса поршня вместе с песком становится равна m , то давление в цилиндре под поршнем равно $p_0 + \frac{mg}{S}$, а относительная влажность воздуха — 100%.

4. Температура влажного воздуха в процессе не меняется, следовательно, в соответствии с законом Бойля—Мариотта:

$p_0 V_1 = \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) V_2$ — для влажного воздуха; $p_{\text{п}} V_1 = p_{\text{нас}} V_2$ — для водяного пара. Здесь V_1 и V_2 — соответственно начальный и конечный объемы сосуда.

5. Из двух версий записи закона Бойля—Мариотта с учетом того, что $p_{\text{п}} = \varphi p_{\text{нас}}$, получаем: $\frac{V_1}{V_2} = 1 + \frac{mg}{p_0 S} = \frac{1}{\varphi}$, откуда следует

выражение для искомой массы: $m = \frac{Sp_0(1-\varphi)}{\varphi g}$.

Ответ: $m = \frac{Sp_0(1-\varphi)}{\varphi g}$.

51. Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части, отношение объемов которых $\frac{V_2}{V_1} = 3$. В первой части сосуда находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 80\%$, а во второй части с относительной влажностью $\varphi_2 = 60\%$. Какой станет относительная влажность воздуха в сосуде после того, как убрали перегородку? Считать, что температура воздуха в частях сосуда одинакова и не изменилась после снятия перегородки.

51. *Возможное решение.*

После снятия перегородки суммарная масса паров воды сохраняется прежней:

$$\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 = \rho(V_1 + V_2), \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 — плотности паров воды в объемах V_1 и V_2 соответственно, ρ — плотность паров после устранения перегородки. Поделим все части уравнения (1) на плотность насыщенных паров

воды ρ_H при той же температуре: $\frac{\rho_1}{\rho_H} V_1 + \frac{\rho_2}{\rho_H} V_2 = \frac{\rho}{\rho_H} (V_1 + V_2)$. (2)

Согласно определению относительной влажности $\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_H}$,

$\varphi_2 = \frac{\rho_2}{\rho_H}$, $\varphi = \frac{\rho}{\rho_H}$, так что вместо (2) имеем: $\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2 = \varphi(V_1 + V_2)$.

Отсюда: $\varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 \frac{V_2}{V_1}}{1 + \frac{V_2}{V_1}} = \frac{0,8 + 0,6 \cdot 3}{1 + 3} = 0,65 = 65\%$.

Ответ: $\varphi = 65\%$.

55. В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной $l = 120$ мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха в ней φ_1 . Когда трубку поставили вертикально, открытым концом вверх, относительная влажность φ_2 этого воздуха стала равной 50%. Определите первоначальную относительную влажность φ_1 . Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

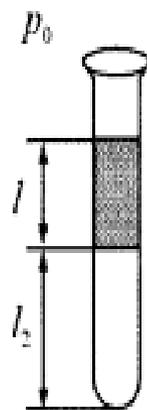
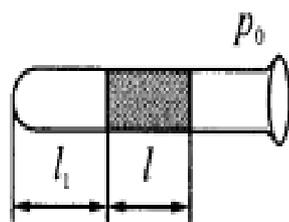
55. *Возможное решение.*

1. Относительная влажность воздуха в трубке в первом случае:

$\varphi_1 = \frac{p_1}{p_n}$, где p_1 — давление водяных паров в трубке, p_n — давле-

ние насыщенных водяных паров при той же температуре. Для второго случая относительная влажность воздуха в трубке:

$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_n}$, где p_2 — парциальное давление водяных паров в трубке.



2. Давление влажного воздуха в первом случае равно атмосферному давлению: $p_{1\text{вл}} = p_0$, а во втором случае — $p_{2\text{вл}} = p_0 + \rho gl$, где ρ — плотность ртути, а l — длина столбика ртути. Заметим, что $p_0 = \rho gH$, где $H = 760$ мм.

3. Объем влажного воздуха при изменении положения трубки изменился так, как изменились длины столбиков воздуха, запертых ртутью. Считаем влажный воздух идеальным газом. Поэтому по закону Бойля—Мариотта можем записать $\frac{V_2}{V_1} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{p_0}{p_0 + \rho gl}$.

4. Из уравнения Клапейрона—Менделеева следует, что $p = \frac{\nu RT}{V}$, $p_{\text{вл}} = \frac{(\nu + \nu_{\text{св}})RT}{V}$, где p — парциальное давление водяного пара, $p_{\text{вл}}$ — давление влажного воздуха, ν — количество моль водяного пара в трубке, $\nu_{\text{св}}$ — количество моль сухого воздуха в трубке. Отсюда следует, что $\frac{p}{p_{\text{вл}}} = \frac{\nu}{\nu + \nu_{\text{св}}} = \text{const.}$

Поэтому $\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_{1\text{вл}}}{p_{2\text{вл}}}$, и в случае изотермического процесса для парциальных давлений водяного пара имеем: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0}{p_0 + \rho gl}$.

5. После объединения записанных выше уравнений получим выражение для относительной влажности воздуха в первом случае: $\varphi_1 = \varphi_2 \cdot \frac{p_0}{p_0 + \rho gl} = \varphi_2 \cdot \frac{\rho gH}{\rho gH + \rho gl} = \varphi_2 \cdot \frac{H}{H + l} = 50 \cdot \frac{760}{760 + 120} \approx 43\%$.

Ответ: $\varphi_1 \approx 43\%$.

1. Тип 10 № 9312 i

Тепловая машина работает по циклу Карно. Температуру холодильника тепловой машины повысили, оставив температуру нагревателя прежней. Количество теплоты, полученное газом от нагревателя за цикл, не изменилось. Как изменились при этом КПД тепловой машины и работа газа за цикл?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

1. Увеличилась.
2. Уменьшилась.
3. Не изменилась.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

КПД тепловой машины	Работа газа за цикл

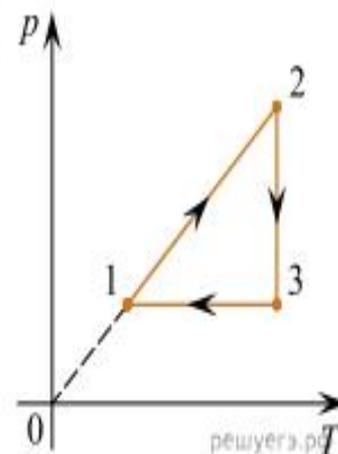
Решение. КПД машины Карно $\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H}$ при увеличении температуры холодильника уменьшается (2).

Работа газа за цикл $A = \eta Q_H$ тоже уменьшается (2).

Ответ: 22.

2. Тип 10 № 9504 i

На рисунке изображен график циклического процесса, совершаемого одним молем идеального одноатомного газа. Определите, как в процессе перехода газа из состояния 3 в состояние 1 изменяются следующие физические величины: объем газа, внутренняя энергия газа.



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

1. Увеличится.
2. Уменьшится.
3. Не изменится.

Запишите в ответ цифры, расположив их в порядке, соответствующем таблице:

Объем газа	Внутренняя энергия газа

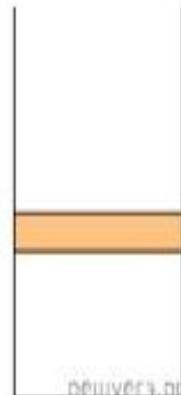
Решение. Процесс 3–1 является изобарным охлаждением, а значит, объем газа в этом процессе уменьшается.

Внутренняя энергия газа является функцией температуры $U = \frac{i}{2}\nu RT$, а значит, уменьшение температуры приведет к уменьшению внутренней энергии.

Ответ: 22.

6. Тип 10 № 10470 i

В цилиндрическом сосуде под поршнем находится газ. Поршень не закреплен и может перемещаться в сосуде без трения (см. рис.). Газ медленно охлаждают. Как изменятся в результате этого давление газа и концентрация его молекул?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

1. Увеличится.
2. Уменьшится.
3. Не изменится.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление газа	Концентрация молекул газа

Решение. Поскольку поршень не закреплен и может перемещаться в сосуде без трения, давление газа не изменится. При охлаждении объем газа уменьшится, значит, его концентрация увеличится.

Ответ: 31.

40. Тип 9 № 33022 *i*

С идеальным газом происходит циклический процесс 1–2–3–4–1, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Максимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 400 К. На основании анализа этого циклического процесса выберите все верные утверждения.

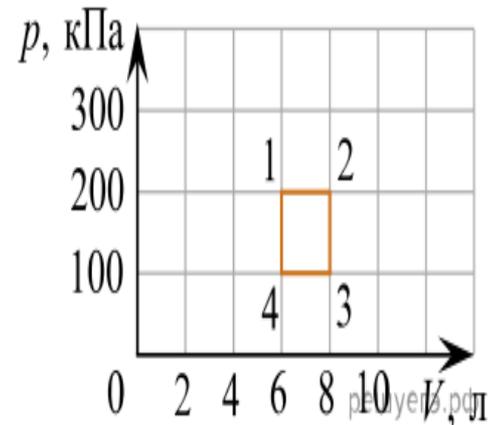
1. Количество вещества газа, участвующего в циклическом процессе, превышает 0,5 моля.

2. Работа газа при его изобарном расширении равна 400 Дж.

3. Работа, совершенная над газом при его изобарном сжатии, равна 100 Дж.

4. На участке 2–3 газ отдает положительное количество теплоты.

5. Минимальная температура газа в циклическом процессе равна 100 К.



Решение. Выясним, в какой точке газ имеет максимальную температуру. Из уравнения Клапейрона — Менделеева

$pV = \nu RT$ температура газа равна $T = \frac{pV}{\nu R}$. Температура максимальная в точке 2, где давление и объем газа максимальны.

1. Неверно. Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для точки 2: $p_2V_2 = \nu RT_2$, откуда:

$$\nu = \frac{p_2V_2}{RT_2} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 400} \approx 0,48 \text{ моль.}$$

2. Верно. Изобарное расширения газа происходит на участке 1–2. Работу газа найдем как площадь фигуры под данным участком:

$$A_{1-2} = 200 \cdot 10^3 \cdot (8 - 6) \cdot 10^{-3} = 400 \text{ Дж.}$$

3. Неверно. Изобарное сжатие происходит на участке 3–4. Работу, совершенную над газом, найдем как площадь фигуры под данным участком графика:

$$A_{3-4} = 100 \cdot 10^3 \cdot (8 - 6) \cdot 10^{-3} = 200 \text{ Дж.}$$

4. Верно. Участок 2–3 соответствует изохорному процессу, при котором при уменьшении давления по закону Шарля температура уменьшается. Тогда газ работу не совершает, внутренняя энергия газа уменьшается. Из первого закона термодинамики следует, что $Q = A + \Delta U = \Delta U$. Газ теплоту отдает.

5. Неверно. Минимальная температура будет в состоянии 4. Из закона Клапейрона — Менделеева для состояний 2 и 4:

$$T_4 = \frac{p_4V_4}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2V_2}{\nu R};$$

откуда:

$$T_4 = \frac{p_4V_4T_2}{p_2V_2} = \frac{100 \cdot 6 \cdot 400}{200 \cdot 8} = 150 \text{ К.}$$

Ответ: 24.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

