

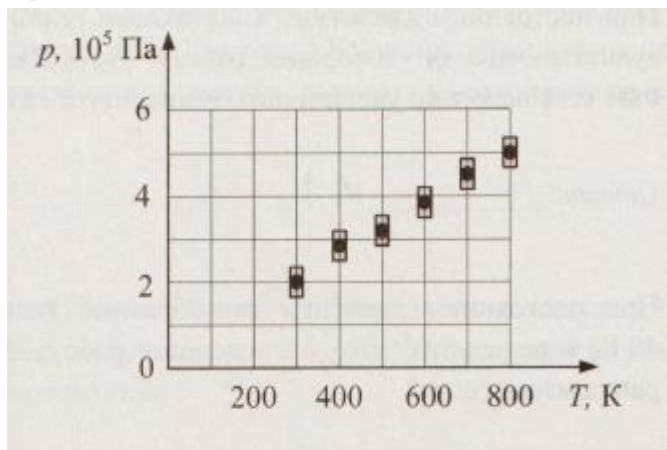
11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Набор задач для самостоятельного решения по занятию 5.

Темы: молекулярная физика и теплота.

Задача 1 (2 балла) [идеальный газ, диаграммы состояния, уравнение Менделеева-Клапейрона]

На рисунке показаны результаты измерения давления 0,3 моль разреженного газа при изохорном нагревании. Погрешность измерения температуры $\Delta T = \pm 10$ К, давления $\Delta p = \pm 2 \cdot 10^4$ Па. Чему равен объем газа? Ответ в литрах округлите до целых.



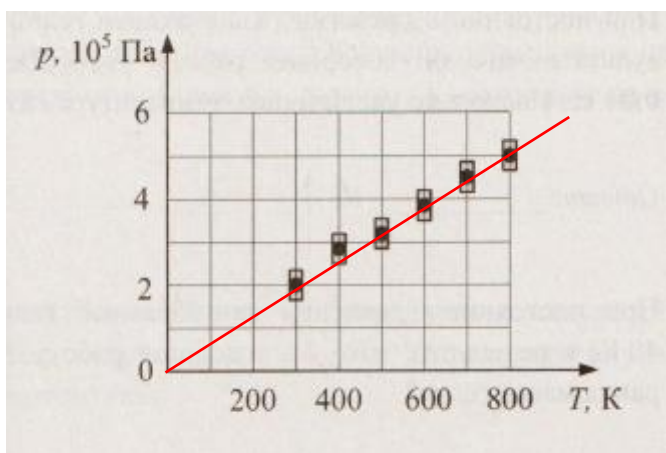
Подсказка 1: Объем газа, согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, $V = \frac{\nu RT}{p}$.

Подсказка 2: Нужно провести наилучшую из всех возможных прямых, отвечающих этому уравнению.

Решение:

Объем газа, согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, $V = \frac{\nu RT}{p}$. Как видно,

зависимость $p(T)$ должна быть линейной, и нужно выбрать наилучшую из всех возможных (то есть проходящую по возможности через все возможные области положения точек диаграммы процесса изохорного нагревания) прямых, отвечающих уравнению Менделеева-Клапейрона, причем эта прямая должна проходить через начало координат.



Проведем такую прямую на диаграмме. Она проходит вблизи точки на координатной сетке, отвечающей значениям $T \approx 800$ К, $p \approx 5 \cdot 10^5$ Па. По этой точке и находим объем

$$V = \frac{\nu RT}{p} \approx 3,99 \text{ л. В рамках точности измерений } V \approx 4 \text{ л.}$$

Ответ: 4.

Задача 2 (2 балла) [идеальный газ, адиабатный процесс, внутренняя энергия]

В ходе адиабатного процесса постоянное количество разреженного гелия совершает положительную работу. Как изменяются при этом внутренняя энергия гелия, его давление, объем и масса? В качестве ответа напишите подряд номера ответов для случаев А, Б, В и Г (не разделяя знаками препинания, например: 1132).

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ИЗМЕНЕНИЕ
А) внутренняя энергия	1) увеличивается
Б) давление	2) уменьшается
В) объем	3) не изменяется
Г) масса	

Таблица для ответа:

А	Б	В	Г

Подсказка 1: идеальный газ совершает положительную работу только при расширении.

Подсказка 2: внутренняя энергия постоянного количества идеального газа пропорциональна температуре.

Решение:

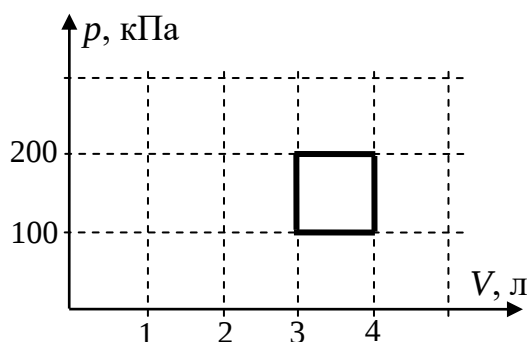
Идеальный газ совершает положительную работу только при расширении, поэтому рассматриваемый процесс есть адиабатное расширение. В принципе должно быть ясно, что в таком процессе температура и давление газа убывают, и вместе с температурой убывает и внутренняя энергия (внутренняя энергия постоянного количества идеального газа пропорциональна температуре). Масса постоянного количества гелия очевидно неизменна. При наличии каких-либо сомнений эти выводы легко проверить. В самом деле: поскольку в адиабатном процессе $Q = A + \Delta U = 0$, то $A > 0 \Rightarrow \Delta U < 0$, то есть внутренняя энергия убывает. Кроме того, $U = \frac{3}{2} \nu RT \Rightarrow \Delta T < 0$. Как было отмечено выше, $A > 0 \Rightarrow \Delta V > 0$. Знак

изменения давления становится ясен, если заметить, что $p = \frac{\nu RT}{V}$, поэтому при росте объема и убывании температуры давление убывает. Ясно также, что $m = \mu_{\text{He}} \nu = \text{const}$.

Ответ: 2213.

Задача 3 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона]

С идеальным газом постоянной массы происходит циклический процесс, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Минимальная температура газа в этом процессе равна 300 К. Определите количество вещества этого газа. Ответ дайте в молях, округлив до сотых.



Подсказка 1: Линии постоянной температуры в координатах «давление-объем» — это гиперболы $pV = \text{const}$.

Подсказка 2: Минимальная температура в данном процессе достигается в точке, в которой $V = 3$ л, $p = 100$ кПа.

Решение:

Линии постоянной температуры в координатах «давление-объем» – это гиперболы $pV = \text{const}$, и минимальная температура в данном процессе достигается в точке, отвечающей «левому нижнему» углу квадрата, где $V = 3\text{ л}$, $p = 100\text{ кПа}$. Из уравнения Менделеева-Клапейрона находим количество вещества: $\nu = \frac{pV}{RT} \approx 0,12\text{ моль}$.

Ответ: 0,12.

Задача 4 (4 балла) [влажный воздух, насыщенный пар, относительная влажность]

Под подвижным поршнем в цилиндрическом сосуде с вертикальными стенками находится воздух с относительной влажностью 50%. Когда поршень находится на высоте $h_0 = 30\text{ см}$ над дном сосуда, давление влажного воздуха равно $p_0 \approx 100\text{ кПа}$. Как изменяется давление воздуха при опускании поршня, если температура воздуха поддерживается постоянной и равной $t = 100^\circ\text{C}$? В качестве ответа напишите подряд номера ответов для случаев А, Б, В и Г (не разделяя знаками препинания, например: 4132).

ВЫСОТА ПОЛОЖЕНИЯ ПОРШНЯ	ДАВЛЕНИЕ
А) 20 см	1) 300 кПа
Б) 15 см	2) 200 кПа
В) 10 см	3) 150 кПа
	4) 250 кПа

Таблица для ответа:

А	Б	В

Подсказка 1: давление насыщенного водяного пара при $t = 100^\circ\text{C}$ $p_H(t) \approx 100\text{ кПа}$.

Подсказка 2: давление влажного воздуха есть сумма парциальных давлений газа (сухого воздуха) и водяного пара; например, в начальном состоянии по относительной влажности можно определить, что давление пара $p_0^{(n)} = 0,5 \cdot p_H(t) \approx 50\text{ кПа}$, и поэтому давление сухого воздуха $p_0^{(c)} \approx 50\text{ кПа}$.

Подсказка 3: при изотермическом уменьшении объема давление газа растет обратно пропорционально объему, а пара – растет только до начала конденсации.

Решение:

При заданной в условии температуре $t = 100^\circ\text{C}$ давление насыщенного водяного пара $p_H(t) \approx 100\text{ кПа}$. Давление влажного воздуха есть сумма парциальных давлений газа (сухого воздуха) и водяного пара; например, в начальном состоянии по относительной влажности можно определить, что давление водяного пара $p_0^{(n)} = 0,5 \cdot p_H(t) \approx 50\text{ кПа}$, и поэтому парциальное давление сухого воздуха $p_0^{(c)} \approx 50\text{ кПа}$. Далее давление сухого воздуха будет расти обратно пропорционально объему (и, соответственно, высоте поршня над дном сосуда): $p^{(c)}(h) = p_0^{(c)} \frac{h_0}{h}$. Значит, при заданных в п.А,Б,В значениях высоты парциальные давления сухого воздуха равны соответственно 75 кПа, 100 кПа и 150 кПа. Парциальные давления водяного пара растут точно так же до начала конденсации, т.е. до $h = 15\text{ см}$, когда давление пара сравнивается с давлением насыщенного пара при данной температуре. При дальнейшем изотермическом сжатии давление пара остается неизменным за счет конденсации (пока весь пар не сконденсируется), поэтому при $h = 10\text{ см}$ это давление равно $p_H(t) \approx 100\text{ кПа}$. Складывая парциальные давления, находим значения давления влажного воздуха: 150 кПа, 200 кПа и 250 кПа.

Примечание: с точки зрения материалов ЕЭ-2017 эта задача отвечает стилю и уровню сложности «качественной задачи», но в данном примере она оформлена как задача с выбором ответа для использования в тесте!

Ответ: 324.

Задача 5 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона]

В гладкой горизонтальной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца и заполненной атмосферным воздухом, помещен столбик ртути длиной $l = 3$ см. Столбик ртути покоится при неизменном давлении внешнего атмосферного воздуха $p_0 = 750$ мм.рт.ст. Трубку повернули вертикально запаянным концом вниз. На сколько градусов (К) надо медленно нагреть воздух в трубке, чтобы столбик ртути вернулся в исходное положение при том же давлении внешнего воздуха? Температура окружающего воздуха $t_0 = 27^\circ\text{C}$, ответ округлить до целого значения.

Подсказка 1: так как изначально столбик ртути покоился, давление воздуха в трубке равнялось давлению внешнего воздуха.

Подсказка 2: при вертикальном положении трубки равновесие столбика ртути достигается в положении, когда разность давлений уравнивает вес ртути: $\rho S l g = (p - p_0) S$.

Подсказка 3: если V - объем воздуха в трубке при исходном положении столбика ртути, то уравнение состояния ν молей воздуха в горизонтальной трубке: $p_0 V = \nu R T_0$, а в вертикальной после нагрева: $p V = \nu R T$.

Решение:

Так как изначально столбик ртути покоился, давление воздуха в трубке равнялось давлению внешнего воздуха. Если обозначить V объем воздуха в трубке при исходном положении столбика ртути, а ν – количество воздуха в трубке, то уравнение состояния этого воздуха имеет вид: $p_0 V = \nu R T_0$. После поворота трубки в вертикальное положение и нагрева столбик ртути должен вернуться в исходное положение (нагрев медленный, поэтому считаем это положение равновесным), и уравнение состояния примет вид $p V = \nu R T$. Таким образом:

$p = p_0 \frac{T}{T_0}$, где $T_0 \approx 300$ К. Кроме того, поскольку при вертикальном положении трубки

равновесие столбика ртути достигается в положении, когда разность давлений уравнивает вес ртути, то: $\rho S l g = (p - p_0) S$. Отсюда находим:

$$\rho l g = p_0 \frac{T - T_0}{T_0} \Rightarrow \Delta T = T - T_0 = \frac{\rho l g}{p_0} T_0 = 12 \text{ К.}$$

Ответ: 12.

Задача 6 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона]

В цилиндрическом сосуде с гладкими вертикальными стенками может скользить без нарушения герметичности горизонтальный легкий поршень площадью $S = 4 \text{ см}^2$. Первоначально он покоился на высоте $h_0 = 30$ см над дном сосуда. После того, как на поршень аккуратно насыпали $m = 2$ кг мелкой свинцовой дроби и медленно закачали под поршень некоторое количество газа, поршень остановился на высоте $h = 25$ см над дном сосуда. На сколько процентов увеличилось количество газа под поршнем при закачивании? Температуру считать неизменной, давление внешнего (атмосферного) воздуха считать равным $p_0 = 100$ кПа, ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Подсказка 1: первоначально давление ν_0 молей газа под поршнем равнялось p_0 , и его уравнение состояния: $p_0 S h_0 = \nu_0 R T$.

Подсказка 2: давление газа после насыпания дроби находится из условия равновесия:

$$mg + p_0 S = p S \Rightarrow p = p_0 + \frac{mg}{S}.$$

Подсказка 3: уравнение состояния газа под поршнем после подкачки: $p S h = \nu R T$.

Решение:

Пренебрегая весом поршня, будем считать, что первоначально давление газа под поршнем равнялось p_0 . Запишем уравнение состояния этого газа: $p_0 S h_0 = \nu_0 R T$, где ν_0 – начальное количество газа под поршнем. После насыпания дроби давление газа возросло. Новое

давление находится из условия равновесия: $mg + p_0 S = pS \Rightarrow p = p_0 + \frac{mg}{S}$. Записав уравнение состояния газа под поршнем после подкачки: $pSh = \nu RT$, получим:

$$\left(p_0 + \frac{mg}{S}\right)Sh = \frac{\nu}{\nu_0} p_0 Sh_0 \Rightarrow \frac{\Delta \nu}{\nu_0} = \frac{h}{h_0} \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) - 1 = 0,25$$

Ответ: 25.

Задача 7 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона, внутренняя энергия]

Теплоизолированный сосуд разделен теплоизолирующей перегородкой на две равные по объему части. В правой находится некоторое количество гелия, а в левой – такое же количество аргона. Температура гелия равна $T_1 = 300$ К, а температура аргона - $T_2 = 450$ К. Во сколько раз изменится давление на правую стенку сосуда после удаления перегородки и установления равновесия? Ответ запишите в виде десятичной дроби.

Подсказка 1: начальное давление на правую стенку – это давление ν молей гелия, который занимает объем $\frac{V}{2}$ при температуре T_1 .

Подсказка 2: так как система теплоизолирована и над ней не производится работа, то сумма внутренних энергий газов остается неизменной после удаления перегородки и перемешивания газов $U' = \frac{3}{2} 2\nu RT = U = \frac{3}{2} \nu R(T_1 + T_2)$.

Подсказка 3: конечное давление на стенки сосуда определяется суммой равных парциальных давлений газов, распределившихся по всему объему сосуда с общей установившейся температурой.

Решение:

Пусть ν – количество и гелия, и аргона, а V - объем сосуда. Начальное давление на правую стенку – это давление гелия, который занимает объем $\frac{V}{2}$. В соответствии с уравнением

Менделеева-Клапейрона $p = \frac{2\nu RT_1}{V}$. Суммарная внутренняя энергия обоих газов до

удаления перегородки $U = \frac{3}{2} \nu RT_1 + \frac{3}{2} \nu RT_2 = \frac{3}{2} \nu R(T_1 + T_2)$. После удаления перегородки и установления равновесия оба газа распределятся по всему объему сосуда, а их температуры выровняются. Следовательно, теперь суммарная внутренняя энергия $U' = \frac{3}{2} 2\nu RT$, и,

поскольку сосуд теплоизолирован и его объем неизменен, то $U' = U \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2}$. Теперь

давление на стенки сосуда определяется суммой равных парциальных давлений газов

$$p' = 2 \frac{\nu RT}{V} = \frac{\nu R(T_1 + T_2)}{V}. \text{ Следовательно, } \frac{p'}{p} = \frac{T_1 + T_2}{2T_1} = 1,25.$$

Ответ: 1,25.

Задача 8 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона, первое Начало термодинамики]

В сосуде под поршнем находится $m = 485,2$ г разреженного азота. При закрепленном поршне для нагрева азота на $\Delta T = 1$ К потребовалось сообщить ему количество теплоты $Q_1 \approx 360$ Дж. Какое минимальное количество теплоты Q_2 потребуется сообщить азоту для нагрева его на ту же $\Delta T = 1$ К при «освобожденном» поршне? В этом случае поршень может скользить в сосуде без трения и без нарушения герметичности. Молярная масса азота $\mu \approx 28$ г/моль. Ответ выразить в Дж, округлив до целого значения.

Подсказка 1: в первом случае процесс нагревания – изохорный, во втором - изобарный.

Подсказка 2: азот можно считать идеальным газом, для которого внутренняя энергия пропорциональна температуре, и поэтому изменение внутренней энергии азота в обоих процессах одинаково, а разность Q_2 и Q_1 обусловлено только работой, совершаемой азотом в изобарном процессе.

Подсказка 3: для изобарного процесса $p \cdot \Delta V = \Delta(pV) = \frac{m}{\mu} R \Delta T$.

Решение:

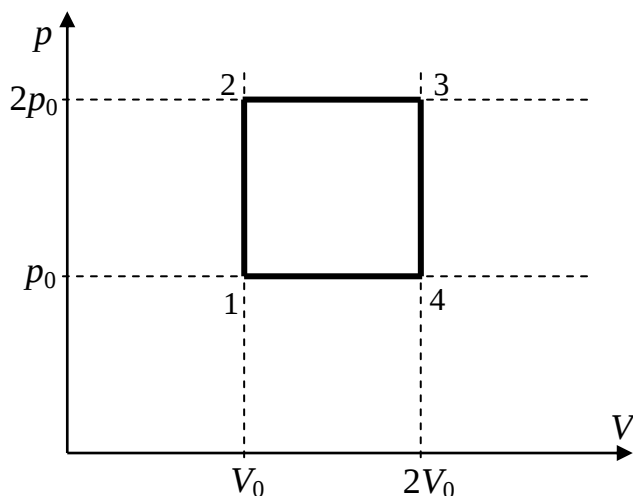
В соответствии с первым началом термодинамики (и с учетом того, что в изохорном процессе работа не совершается): $Q_1 = \Delta U_1$, $Q_2 = \Delta U_2 + A_2$. Разреженный азот можно считать идеальным газом, для которого внутренняя энергия пропорциональна температуре. Поскольку увеличение температуры в обоих процессах одинаково, то $\Delta U_1 = \Delta U_2$. Значит, $Q_2 = Q_1 + A_2$. Количество теплоты будет минимальным, если работа газа идет только на увеличение объема – поршень движется медленно, и тогда второй процесс следует считать квазиравновесным изобарным процессом, и поэтому $A_2 = p \cdot \Delta V$. В соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона $p \cdot \Delta V = \frac{m}{\mu} R \Delta T$. Таким образом,

$$Q_2 = Q_1 + \frac{m}{\mu} R \Delta T \approx 504 \text{ Дж.}$$

Ответ: 504.

Задача 9 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона, первое Начало термодинамики, тепловая машина]

Цикл одноатомного идеального газа, являющегося рабочим телом тепловой машины, состоит из двух изохор и двух изобар (см. рисунок). Найдите КПД этой тепловой машины. Ответ приведите в процентах, округлив до десятых.



Подсказка 1: удобно вычислить работу в цикле: $A = (2p_0 - p_0) \cdot (2V_0 - V_0) = p_0 V_0$.

Подсказка 2: рабочее тело получает тепло в изохорном процессе 12 и в изобарном 23.

Подсказка 3: $Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} p_0 V$, $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = 5 p_0 V$.

Решение:

В данном случае удобно вычислить работу в цикле: $A = (2p_0 - p_0) \cdot (2V_0 - V_0) = p_0 V_0$. Рабочее тело получает тепло в изохорном процессе 12 и в изобарном 23, поэтому теплота нагревателя $Q_H = Q_{12} + Q_{23}$. При этом, в соответствии с 1-ым Началом термодинамики:

$$\left. \begin{aligned} Q_{12} &= \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (2p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0 \\ Q_{23} &= \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} (4p_0 V_0 - 2p_0 V_0) + 2p_0 V_0 = 5p_0 V_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q_H = \frac{13}{2} p_0 V_0.$$

По определению КПД цикла $\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{2}{13} \approx 0,154$.

Ответ: 15,4.

Задача 10 (4 балла) [идеальный газ, уравнение Менделеева-Клапейрона, работа газа]

Один моль неона, занимающий объем $V_1 = 10$ л, изобарически нагревают так, что его объем увеличился до $V_2 = 20$ л, а затем изохорически увеличивают его давление до $p_2 = 0,1$ МПа. При этом газ совершил работу $A = 0,8$ кДж. Определить изменение температуры газа в этом процессе. Ответ выразить в К, округлив до целых.

Подсказка 1: неон совершает работу только в изобарическом процессе.

Подсказка 2: поэтому начальное давление $p_1 = \frac{A}{V_2 - V_1}$.

Подсказка 3: в соответствии с уравнением состояния $T_1 = \frac{p_1 V_1}{R}$, $T_2 = \frac{p_2 V_2}{R}$.

Решение:

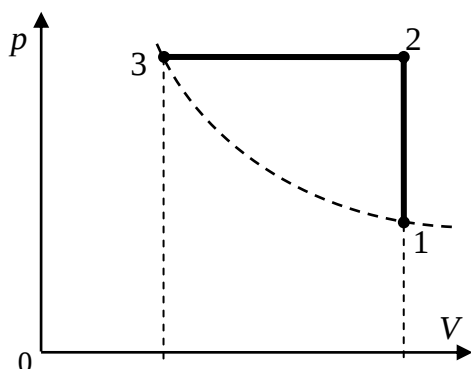
Неон совершает работу только в изобарическом процессе, и $p_1 = \frac{A}{V_2 - V_1}$, и в соответствии с уравнением состояния $T_1 = \frac{p_1 V_1}{R} = \frac{V_1}{V_2 - V_1} \frac{A}{R}$. При этом $T_2 = \frac{p_2 V_2}{R}$, и поэтому

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{R} \left[p_2 V_2 - \frac{V_1}{V_2 - V_1} A \right] \approx 144 \text{ K}.$$

Ответ: 144.

Задача 11 (4 балла) [идеальный газ, внутренняя энергия, количество теплоты]

Один моль одноатомного идеального газа сначала нагрели, а затем охладели до первоначальной температуры $T_1 = 300$ К (см. диаграмму). В процессе охлаждения объем газа уменьшился в 3 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу при нагревании? Ответ укажите в кДж, округлив до сотых.



Подсказка 1: неон совершает работу только в изобарическом процессе.

Подсказка 2: поэтому начальное давление $p_1 = \frac{A}{V_2 - V_1}$.

Подсказка 3: в соответствии с уравнением состояния $T_1 = \frac{p_1 V_1}{R}$, $T_2 = \frac{p_2 V_2}{R}$.

Решение:

Процесс нагревания – изохорный, газ работы не совершает. Поэтому, согласно I Началу термодинамики, сообщенное газу тепло равно изменению его внутренней энергии: $Q_{12} = \Delta U_{12}$. Внутренняя энергия моля одноатомного идеального газа зависит только от его

температуры: $U = \frac{3}{2} RT$, и поэтому $Q_{12} = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1)$. Процесс охлаждения – изобарный, и

температура в нем уменьшается пропорционально объему. Таким образом, $T_2 = 3T_3 = 3T_1$.

Значит, $Q_{12} = 3RT_1 \approx 7480$ Дж.

Ответ: 7,48.

Задача 12 (4 балла) [плавление, конденсация, уравнение теплового баланса]

В теплоизолированный сосуд, содержащий $m = 50$ г водяного пара под давлением $p = 1$ атм, засыпали $M = 200$ г льда с температурой $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Найти температуру содержимого сосуда после установления равновесия. В начальном состоянии на стенках сосуда находились мелкие капельки росы. Удельная теплоемкость воды $c_B = 4200$ Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 2480$ кДж/кг. Ответ записать в градусах шкалы Цельсия, округлив до целых.

Подсказка 1: так как в начальном состоянии на стенках сосуда находились мелкие капельки росы, то пар был насыщенным, и его температура $t_1 = 100^\circ\text{C}$.

Подсказка 2: сумма количеств теплоты процессов, идущих с выделением тепла (конденсация пара и охлаждение образовавшейся из него воды до конечной температуры t): $Q_+ = rm + c_B m(t_1 - t)$.

Подсказка 3: сумма количеств теплоты процессов, идущих с поглощением тепла (таяние льда и нагревание образовавшейся из него воды): $Q_- = \lambda M + c_B M(t - t_0)$.

Решение:

Так как в начальном состоянии на стенках сосуда находились мелкие капельки росы, то пар был насыщенным, и его температура $t_1 = 100^\circ\text{C}$. Предположим, что в процессе установления равновесия весь лед растаял и весь пар сконденсировался. Тогда сумма количеств теплоты процессов, идущих с выделением тепла (конденсация пара и охлаждение образовавшейся из него воды до конечной температуры t): $Q_+ = rm + c_B m(t_1 - t)$. Сумма количеств теплоты процессов, идущих с поглощением тепла (таяние льда и нагревание образовавшейся из него воды): $Q_- = \lambda M + c_B M(t - t_0)$. Из уравнения теплового баланса

$$\begin{aligned} Q_+ = Q_- &\Rightarrow rm + c_B m(t_1 - t) = \lambda M + c_B M(t - t_0) \Rightarrow \\ &\Rightarrow t = \frac{rm - \lambda M + c_B (mt_1 + Mt_0)}{(M + m)c_B} \approx 75^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Отметим, что эта температура оказалась в интервале $t_0 < t < t_1$, что подтверждает сделанное предположение.

Ответ: 75.

Задача 13 (4 балла) [влажный воздух, давление насыщенных паров, относительная влажность]

Плотность влажного воздуха при температуре $t = 50^\circ\text{C}$ и давлении $p = 99.52$ кПа равна $\rho \approx 1.05$ кг/м³. Давление насыщенных паров воды при этой температуре $p_{\text{нас}} \approx 12.31$ кПа.

Найти относительную влажность воздуха. Молярную массу сухого воздуха считать равной $\mu_1 \approx 29$ г/моль, молярная масса воды $\mu_2 = 18$ г/моль. Ответ выразить в процентах.

Подсказка 1: давление влажного воздуха есть сумма давлений паров воды (которое вычисляется через относительную влажность) и сухого воздуха.

Подсказка 2: то же самое можно сказать и о плотности влажного воздуха.

Подсказка 3: плотность каждой из компонент связана с давлением благодаря уравнению состояния.

Решение:

Давление влажного воздуха есть сумма давлений паров воды (p_1) и сухого воздуха (p_2):

$$p = p_1 + p_2 = r \cdot p_{\text{нас}} + p_2$$

(здесь использовано определение относительной влажности). То же самое можно сказать и о плотности влажного воздуха:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 = \frac{\mu_1 p_1 + \mu_2 p_2}{RT} = \frac{\mu_1 r p_{\text{нас}} + \mu_2 p_2}{RT} \Rightarrow \rho RT = \mu_1 r p_{\text{нас}} + \mu_2 p_2.$$

Выражая из первого уравнения $p_2 = p - r p_{\text{нас}}$ и подставляя его во второе, находим относительную влажность

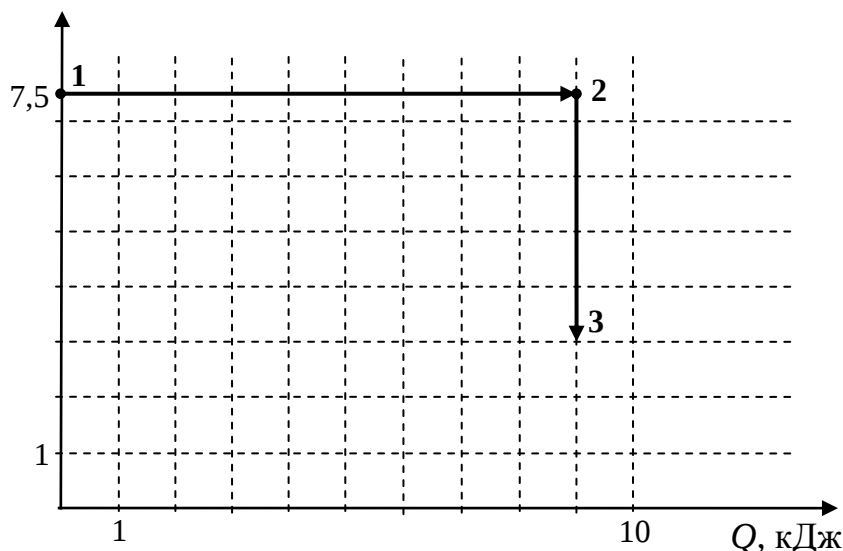
$$r = \frac{\mu_2 p - \rho RT}{(\mu_2 - \mu_1) p_{\text{нас}}} \approx 0,5.$$

Ответ: 50.

Задача 14 (4 балла) [идеальный газ, внутренняя энергия, количество теплоты, работа газа]

В цилиндре с гладкими стенками, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На диаграмме показано изменение внутренней энергии газа U при передаче ему количества теплоты Q в процессе 1-2-3. Найти работу, совершенную газом, в этом процессе. Ответ записать в Джоулях.

U , кДж



Подсказка 1: процесс 1-2 идет при неизменной внутренней энергии, что для идеального газа означает постоянство температуры.

Подсказка 2: процесс 2-3 не сопровождается изменением количества сообщенного газу тепла, то есть это – адиабатный процесс.

Подсказка 3: из диаграммы на основании 1 Начала термодинамики можно найти $A_{12} = Q_{12}$ и $A_{23} = -\Delta U_{23}$.

Решение:

Процесс 1-2 идет при неизменной внутренней энергии, что для идеального газа означает постоянство температуры. При этом газу сообщается положительное количество теплоты. Таким образом, 1-2 – это изотермическое расширение идеального газа. При этом совершается положительная работа, вычисляемая из диаграммы на основании 1 Начала термодинамики: $A_{12} = Q_{12} = 9 \text{ кДж}$. Процесс 2-3 не сопровождается изменением количества сообщенного газу тепла, то есть это – адиабатный процесс. Поскольку внутренняя энергия (и вместе с ней температура) газа убывает, то это – адиабатное расширение, при котором опять совершается положительная работа $A_{23} = -\Delta U_{23} = 4,5 \text{ кДж}$. Таким образом, полная работа $A = A_{12} + A_{23} = 13,5 \text{ кДж}$.

Ответ: 13,5.