

Рекомендации по решению задания № 27 второй части КИМа на основе анализа ошибок, допущенных выпускниками 2022 года на едином государственном экзамене.

Ермакова Татьяна Васильевна, учитель физики,
МАОУ «Лицей № 14 имени Заслуженного учителя Российской Федерации А. М. Кузьмина»,
г. Тамбова

Средний результат решения расчетных задач высокого уровня сложности по молекулярной физике (линия 27) в 2022 году по Тамбовской области составил 17%.

При подготовке к решению задач №27 учащемуся прежде всего следует тщательно изучить требования к развёрнутому ответу, и они содержат следующие позиции: приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: перечисляются законы и формулы); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.

Задачи по теме «Ненасыщенные и насыщенные пары. Влажность»

Задачи по теме «Ненасыщенные и насыщенные пары. Влажность» считаются сложными, об этом говорит статистика результатов ЕГЭ за последних три года.

Для успешного решения задач по данной теме, надо иметь в виду, что задачи на пары и влажность по решению почти не отличаются от задач на идеальный газ.

С достаточно хорошим приближением можно считать, что ненасыщенный пар подчиняется всем основным законам идеального газа. Параметры каждого состояния насыщенного пара связаны между собой уравнением Менделеева-Клапейрона. Масса насыщенного пара, входящая в это уравнение, не может иметь одинакового значения для двух различных состояний. Из этого следует, что параметры этих состояний не подчиняются законам идеального газа.

Согласно закону Дальтона давление воздуха, содержащего водяной пар, складывается из давления сухого воздуха p_c и давления паров воды p_p , т.е. давление влажного воздуха равно $p = p_c + p_p$. О влажности воздуха можно судить или по давлению, производимому паром или по его плотности.

Относительная влажность воздуха $\varphi = \frac{p_p}{p_{пп}} 100\% = \frac{P_p}{P_{пп}} 100\%$. m_p

В общем случае при решении задач на влажность следует придерживаться следующих правил:

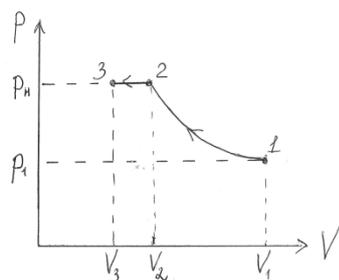
1. Установить число состояний газа, рассматриваемых в условии задачи, обратив внимание на то, имеется ли чистый пар жидкости или его смесь с сухим воздухом.
2. Для каждого состояния пара записать уравнение Менделеева-Клапейрона и формулу относительной влажности. Если при переходе из одного состояния в другое масса пара не изменяется, то вместо уравнения Менделеева-Клапейрона можно использовать объединенный газовый закон. С учетом формулы влажности уравнение Менделеева-Клапейрона можно записать в виде $\varphi r_{пп} V = \frac{m_p}{M} RT$ или $\varphi r_{пп} = \frac{\rho_p}{M} RT$.
3. Для давления влажного воздуха следует использовать закон Дальтона.
4. Записать все дополнительные условия, связывающие величины, входящие в составленные уравнения. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.

Рассмотрим некоторые методы и приемы при решении задач.

Задача. В сосуде объемом $V = 1,5 \text{ дм}^3$ находится воздух при температуре $T = 290 \text{ К}$ и относительной влажности $\varphi = 50\%$. Какое количество росы выпадает при изотермическом уменьшении объема в $n = 3$ раза? Плотность насыщенных паров воды при данной температуре равна $\rho_{пп} = 14,5 \text{ г/м}^3$.

Решение. При изотермическом сжатии ненасыщенного пара его давление и плотность растут до тех пор, пока водяной пар не станет насыщенным. Это происходит при уменьшении объема в 2

раза. При дальнейшем уменьшении объема пар конденсируется, его масса уменьшается. Рассмотрим следующие переходы пара из одного состояния в другое: 1-2 изотермическое сжатие ненасыщенного пара, $m_{п} = \text{const}$ 2-3 изотермическое сжатие насыщенного пара, $m_{п}$ уменьшается. Представим эти переходы в координатах p - V



$$p_2 = p_3 = p_n \quad V_1 = nV_3$$

Для 1-го и 3-го состояний пара запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{M} R T \quad \frac{p_1 V_1}{p_3 V_3} = \frac{m_1 \varphi_{пн} V_3 n}{m_3 p_n V_3} = \frac{m_1 m_1}{m_3 m_3} = \varphi n = 3\varphi$$

$$p_3 V_3 = \frac{m_3}{M} R T m_3 = \frac{m_1}{3\varphi}$$

С учетом формулы относительной влажности:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} = \frac{m_1}{V \rho_n}$$

Массу сконденсированного пара найдем как разницу масс m_1 и m_3 :

$$\Delta m = m_1 - m_3 = m_1 \left(1 - \frac{1}{3\varphi}\right) = \frac{m_1 (3\varphi - 1)}{3\varphi} = \frac{\varphi V \rho_n (3\varphi - 1)}{3\varphi}$$

$$= \frac{V \rho_n}{3} (3\varphi - 1) = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 14,5 (3 \cdot 0,5 - 1)}{3} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 0,0036 \text{ г}$$

Ответ: 0,0036 г

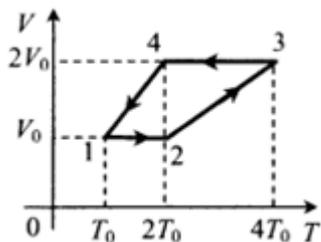
Задачи на определение КПД теплового двигателя

При решении задач на КПД теплового двигателя следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Определить работу газа за цикл. Если тепловой процесс представлен в других осях координат, то следует сначала перестроить его в осях p - V и только потом определять работу
2. Выяснить, на каких участках газ получает тепловую энергию
3. Определить с помощью первого закона термодинамики количество теплоты, полученное газом за цикл от нагревателя Q_1

3. Вычислить КПД, используя основную формулу

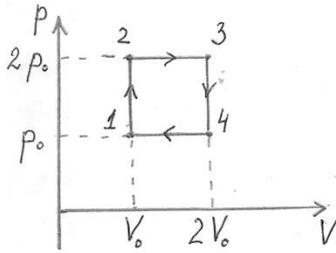
В качестве примера рассмотрим следующую задачу: На V - T диаграмме изображен цикл, проводимый с одноатомным идеальным газом. Определите КПД этого цикла.



Решение.

1. Коэффициент полезного действия теплового двигателя определяется по формуле $\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$, где A - работа, совершаемая газом за цикл, Q_1 - количество теплоты, полученное газом за цикл от нагревателя.

2. Так как цикл представлен в координатах V - T , следует его перестроить в координатных осях p - V и определить работу как площадь фигуры, ограниченную замкнутым циклом.



Цикл состоит из двух изохор, 1-2 и 3-4, и двух изобар, 2-3 и 4-1.

Согласно закону Шарля $\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_2}{2T_0}$ $P_2 = P_3 = 2P_0$

Работа, совершаемая газом за цикл равна площади прямоугольника со сторонами P_0 и V_0
 $A = P_0 \cdot V_0$

3. Газ получает теплоту от нагревателя на изохоре 1-2 и изобаре 2-3. Таким образом, $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$. Для идеального одноатомного газа используем уравнение Менделеева-Клапейрона и формулу для внутренней энергии:

$$pV = \nu RT$$

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

Учетом уравнения Менделеева-Клапейрона $U = \frac{3}{2} pV$

4. Согласно первому закону термодинамики для изохорного процесса 1-2 ($V = \text{const}$, $A = 0$)

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = U_2 - U_1$$

Для изобарного процесса 2-3 ($P_2 = P_3 = 2P_0$, $A_{23} = 2p_0 V_0$):

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = U_3 - U_2 + A_{23}$$

$$\text{Тогда } Q_1 = U_3 - U_1 + A_{23} = \frac{3}{2} 2p_0 2V_0 - \frac{3}{2} p_0 V_0 + 2p_0 V_0 = \frac{13}{2} p_0 V_0$$

5. Определяем КПД теплового процесса:

$$\eta = \frac{p_0 V_0}{6,5 p_0 V_0} \cdot 100\% = 15,38\%$$

Задачи на МКТ+ механика

Основным уравнением, характеризующим состояние идеального газа, является уравнение Менделеева-Клапейрона. Составив это уравнение для каждого из рассматриваемых состояний газа и записав дополнительные условия в виде формул, можно достаточно легко решить почти любую задачу. Если по условию задачи даны два состояния газа и при переходе из одного состояния в другое масса не меняется, то можно рекомендовать такую последовательность решения:

а) Прочитав условие задачи, нужно ясно представить, какой газ участвует в том или ином процессе, и убедиться, что при изменении параметров состояния газа его масса остается постоянной.

б) Сделать схематический чертеж и, отметив каждое состояние газа, указать параметры p , V , T , характеризующие эти состояния. Определить из условия задачи, какой из этих параметров не меняется и какому газовому закону подчиняются переменные параметры. В общем случае могут изменяться все три параметра.

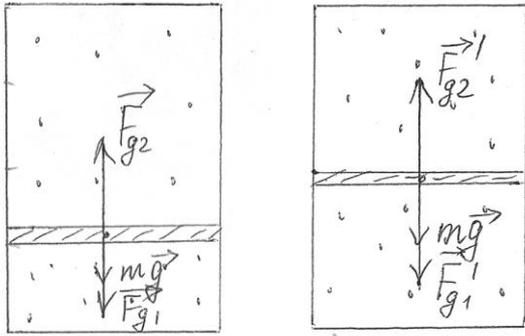
в) Записать уравнение Менделеева-Клапейрона или уравнение объединенного газового закона Клапейрона для данных состояний.

г) Представить в развернутом виде параметры p_1 , V_1 , p_2 , V_2 , выразив их через заданные величины. Особое внимание следует обратить на определение давления. Если газ производит давление на жидкость, нередко приходится использовать закон Паскаля. Если газ заключен в цилиндрический сосуд с поршнем, следует рассмотреть равновесие поршня и записать для него второй закон Ньютона.

д) Записать математически все вспомогательные условия и решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины

Задача. В вертикальном закрытом сосуде покоится тяжелый подвижный поршень, по обе стороны которого находится одинаковое количество воздуха. При некоторой температуре T объем воздуха в верхней части в 4 раза больше, чем в нижней. При нагревании до $T_1 = 450\text{K}$ отношение объемов стало 3:1. Найти T .

Решение.



Параметры воздуха в 1-ом состоянии:

- в верхней части сосуда ν, T, V_1, p_1 ;

- в нижней части сосуда ν, T, V_2, p_2

Параметры воздуха в 2-ом состоянии:

- в верхней части сосуда ν, T_1, V_{11}, p_{11} ;

- в нижней части сосуда ν, T_1, V_{22}, p_{22}

По условию $V_1 = 4V_2$ $V_{11} = 3V_{22}$, причем $V_1 + V_2 = V_{11} + V_{22}$

Тогда $4V_2 + V_2 = 3V_{22} + V_{22}$, т.е. $5V_2 = 4V_{22}$

Запишем условие равновесия тяжелого поршня для двух равновесных состояний газа. На поршень действует сила тяжести и силы давления воздуха в верхней и нижней частях сосуда.

$$p_2 S = mg + p_1 S$$

$$p_{22} S = mg + p_{11} S$$

$$\text{Тогда } \frac{mg}{S} = p_2 - p_1 \quad \frac{mg}{S} = p_{22} - p_{11}. \quad \text{Откуда следует } p_2 - p_1 = p_{22} - p_{11}$$

Для воздуха в верхней и нижних частях сосуда запишем уравнение Менделеева-Клапейрона в первом и втором состояниях.

$$p_1 V_1 = \nu RT$$

$$p_2 V_2 = \nu RT$$

$$\text{Откуда следует } p_2 - p_1 = \frac{\nu RT}{V_2} - \frac{\nu RT}{V_1} = \nu RT \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{4V_2} \right) = \frac{3\nu RT}{4V_2}$$

Далее для второго состояния:

$$p_{11} V_{11} = \nu RT_1$$

$$p_{22} V_{22} = \nu RT_1$$

$$\text{Откуда следует } p_{22} - p_{11} = \frac{\nu RT_1}{V_{22}} - \frac{\nu RT_1}{V_{11}} = \nu R T_1 \left(\frac{1}{V_{22}} - \frac{1}{3V_{22}} \right) = \frac{2\nu RT_1}{3V_{22}}$$

$$\text{Тогда } \frac{3\nu RT}{4V_2} = \frac{2\nu RT_1}{3V_{22}}$$

$$\frac{15T}{16V_{22}} = \frac{2T_1}{3V_{22}}$$

$$T = \frac{32}{45} T_1 = \frac{32}{45} 450 \text{ K} = 320 \text{ K}$$

Информационные источники.

1. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный институт педагогических измерений». Документы, определяющие структуру и содержание контрольных измерительных материалов единого государственного экзамена 2023 года.

<https://fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory>

2. Методические рекомендации для учителей по преподаванию учебных предметов в образовательных организациях с высокой долей обучающихся с рисками учебной неуспешности.

<https://fipi.ru/metodicheskaya-kopilka/metod-rekomendatsii-dlya-slabyx-shkol>

3. Совершенствование образовательного процесса на основе анализа результатов государственной итоговой аттестации по образовательным программам основного и среднего общего образования в Тамбовской области в 2022 году, ФИЗИКА. Методические рекомендации. Авт.-сост.: Исаева О.В., Ишков А.И., Бавыкина М.А. ТОГОАУ ДПО ИПКРО, 2022. 3,5 п.л.