

Предлагаемая статья является продолжением предыдущей работы (см. журнал «Магариф», № 3 за 2010 г.) о решении задач базового уровня. Эта же часть посвящена задачам повышенного уровня. Для решения этих задач нужен особый подход, который и описан в статье, но, из-за объемности темы, я ограничилась таким разделом школьного курса, как «Молекулярная физика и термодинамика», который изучается в X классе, тем более и в предыдущей статье упор делался на этот раздел. Опыт убеждает в том, что к середине XI класса эта тема забывается, и приведенный материал может быть использован при повторении.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ

Файруза САБИРОВА, доцент ЕГПУ



В соответствии со спецификой экзаменационных материалов ЕГЭ по физике, контрольно-измерительные материалы разделены на задания базового уровня, повышенного и высокого уровня сложности. Если подготовка к выполнению заданий базового уровня предусматривает повторение программного материала и закрепления каждой пройденной темы соответствующими задачами, то задания повышенного уровня требуют применения знаний из нескольких тем раздела, поэтому требуется систематизировать знания обо всех изученных явлениях того или иного раздела физики. Кроме того, время решения ограничено, а запись решения не влияет на результат. Поэтому экзаменуемым необходимо научиться «свертывать решение», т.е. искать как можно более короткий путь к ответу и приводить только самые необходимые записи. В ходе записи ответа необходимо обратить внимание, **во-первых**, до каких долей (целых, десятых, сотых) необходимо округлить полученный результат, **во-вторых**, в каких единицах. Может оказаться так, что даже если задача решена правильно, но в ответе вместо сантиметров результат приведен в метрах, и не округлен так, как требуется в условии, то она уже не будет положительно оценена.

Рассмотрим для примера задания повышенного уровня по молекулярной физике и термодинамике. Экзаменационная работа по этому разделу физики включает 2 или 3 задания повышенного уровня. Одно из них входит в часть 1 ЕГЭ и представляет собой задание с выбором ответа, второе — задача с дополнением ответа в части 2. Кроме того, задача на воспроизведение теоретического материала может встретиться в задаче 1 или 2 части 2, которая представляет собой тестовое задание на установление соответствия. Здесь предлагаются тренировочные задания с ре-

шениями по каждому типу заданий, а задачи для самостоятельного решения приведены в конце статьи.

С целью систематизации знаний по молекулярной физике и термодинамике целесообразно воспользоваться таблицей «Система знаний по разделу «Молекулярная физика и термодинамика».

Явление	Закон
1. Нагревание (охлаждение) и/или расширение (сжатие) идеального газа при теплопередаче и совершении механической работы в процессах:	$Q = \Delta U + A; pV = \nu RT$ $U = \frac{3}{2} \nu RT; U = NE_K$ $E_K = \frac{3}{2} kT$ (одноатомный газ); $p = \frac{2}{3} nE_K; A_{газа} = -A_{внеш}$
— изотермическом	$Q = A \quad (\Delta U = 0)$
— изобарном	$Q = \Delta U + p\Delta V$
— изохорном	$Q = \Delta U \quad (A = 0)$
— адиабатном	$A = -\Delta U \quad (Q = 0)$
2. Изменение состояния газа по замкнутому циклу	$\eta = \frac{A}{Q_1}; A = Q_1 - Q_2$ $\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ — цикл Карно
3. Изменение агрегатного состояния, нагревание (охлаждение) тел	$Q = C\Delta T = cm(t_1 - t_2) = cm\Delta T$ $Q = \pm Lm$ («+» — плавление, «-» — кристаллизация) $Q = \pm Lm$ («+» — парообразование, «-» — конденсация)
4. Теплообмен в теплоизолированной системе	$Q_1 + Q_2 = 0$

Как видно, эта таблица не содержит нового теоретического материала. Однако в ней материал, который ранее изучался по темам «Основные положения молекулярно-кинетической теории», «Идеальный газ», «Основы термодинамики» и др., представлен в более компактном и удобном виде именно для использования при выполнении заданий повышенного уровня. Как правило, это задания на изменение состояния идеального газа при теплопередаче и совершении механической работы (строка 1), тепловые двигатели (строка 2), агрегатные превращения вещества (строка 3) и теплообмен в теплоизолированной системе (строка 4).

1. В части 1 (и первые две задачи части 2) задания повышенного уровня можно объединить в группы: 1) задачи на воспроизведение теоретического материала; 2) графические задачи; 3) расчетные задачи.

Задачи на воспроизведение теоретического материала по методу решения, как правило, не отличаются от заданий базового уровня. Для их выполнения важно иметь достаточный объем теоретических знаний о тепловых явлениях.

Задача 1.1. Учительница вошла в класс. Ученик, сидящий за последней партой, почувствовал запах ее духов через 10 с. Скорость распространения запаха духов в комнате определяется в основном скоростью:

- 1) испарения;
- 2) диффузии;
- 3) броуновского движения;
- 4) конвекционного переноса воздуха.

Решение. Запах духов появляется в результате испарения эфирных масел с поверхности одежды и тела учительницы, однако ученик находится на последней парте, поэтому это явление не является основным в том, что он почувствовал запах духов. Диффузия — явления проникновения молекул одного вещества, в пространство, занятое другим. Однако процесс этот достаточно медленный из-за значительной концентрации молекул воздуха (в основном азота и кислорода). Броуновское движение здесь не проявляется, так как это явление связывают с беспорядочным движением мелких частиц, взвешенных в жидкости или воздухе. Следовательно, такая существенная скорость распространения запаха духов связана с явлением конвекционного переноса воздуха, в ходе которого перенос молекул эфирных масел происходит вместе с потоками воздуха в классе. **Поэтому правильный ответ 4).**

Задача 1.2. Используя первый закон термодинамики, установите соответствие между описанными в первом столбце особенностями изопроцесса в идеальном газе и его названием.

Особенности изопроцесса	Название изопроцесса
А) Все переданное газу количество теплоты идет на совершение работы, а внутренняя энергия газа остается неизменной.	1) изотермический 2) изобарный
Б) Изменение внутренней энергии газа происходит только за счет совершения работы, так как теплообмен с окружающими телами отсутствует.	3) изохорный 4) адиабатный

Решение. Воспользовавшись таблицей системы знаний, находим ответ:

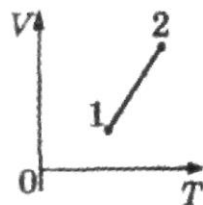
А	Б
1	4

Графические задачи — это задачи, в которых, как правило, требуется либо 1) сравнить параметры газа в разных состояниях по графику, либо 2) построить график по заданному описанию процессов, происходящих с газом. Разберем по одной задаче на каждый тип графических задач.

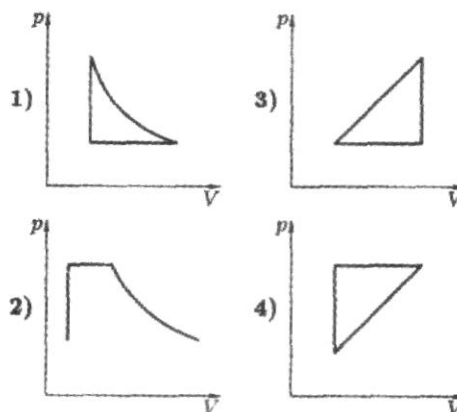
Задача 1.3. Как изменится давление идеального газа при переходе из состояния 1 в состояние 2?

- 1) увеличится;
- 2) уменьшится;
- 3) останется неизменным;
- 4) ответ неоднозначен.

Решение. Если через начало координат и каждую из точек провести изобары, то увидим, что наклон прямой, проходящей через точку 1, будет меньше, чем наклон другой прямой, и она соответствует большему объему. Поэтому можно сделать вывод, что при переходе из состояния 1 в состояние 2 давление уменьшится. **(Правильный ответ 2).**



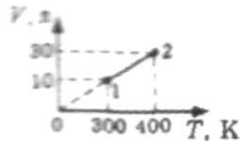
Задача 1.4. Идеальный газ сначала охлаждается при постоянном давлении, потом его давление увеличивается при постоянном объеме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшается до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях p-V соответствует этим изменениям состояния газа?



Решение. Поскольку газ вначале охлаждается при постоянном давлении, то ответ 2) исключаем, так как на нем участок постоянного давления (линия, параллельная оси V) лежит не в начале и не в конце процесса, а в его середине. На втором этапе давление увеличивалось при постоянном объеме. Этому условию удовлетворяет любая из оставшихся кривых. На третьем этапе процесса давление уменьшается при постоянной температуре до первоначального значения. В ответах 3) и 4) нет участков, соответствующих изотермам, следовательно, варианты 3) и 4) не удовлетворяют условию задачи. Для процесса 1) имеем соответствие с законом Бойля-Мариотта, где при изотермическом процессе с ростом объема давление уменьшается. Эта зависимость описывается спадающей ветвью гиперболы. Таким образом, правильным ответом является график 1).

Расчетные задачи — это задачи, при решении которых необходимо максимально сокращать записи. В заданиях такого типа необходимо провести расчет, а затем сравнить полученное значение с предложенными.

Задача 1.5. Какое количество теплоты надо сообщить 2 моль идеального одноатомного газа, чтобы осуществить тепловой процесс, изображенный на рисунке?



1) 300 Дж; 2) 700 Дж; 3) 1450 Дж; 4) 4155 Дж.

Решение. На рисунке изображен график изобарического процесса, для которого первый закон термодинамики можно представить в виде:

$$Q = \Delta U + p\Delta V = \frac{3}{2} \nu R\Delta T + p\Delta V.$$

Если учесть уравнение Менделеева-Клапейрона, которое связывает два состояния изобарного процесса, то $p\Delta V = \nu R\Delta T$, поэтому

$$Q = \frac{3}{2} \nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2} \nu R\Delta T.$$

Вычисления дают результат:

$$Q = \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 8,31 \cdot 100 = 4155 \text{ (Дж)}.$$

(Правильный ответ 4).

II. Задания повышенного уровня части 2 — это, как правило, типовые задачи по молекулярной физике и термодинамике, которые требуют записи ответа в виде числа. Большинство из них может быть решено частными методами, пользоваться которыми учащиеся учились при изучении раздела «Молекулярная физика и термодинамика» в X классе.

В соответствии с системой знаний по молекулярной физике и термодинамике, все тепловые явления можно условно разбить на четыре группы. Первая группа: нагревание (охлаждение), расширение (сжатие) идеального газа при теплопередаче и совершении механической работы в изопроцессах. Вторая группа: изменение состояния идеального газа по замкнутому циклу. Третья группа: изменение агрегатного состояния (плавление-кристаллизация, кипение-конденсация), нагревание (охлаждение) тел при теплопередаче и совершении механической работы. Четвертая группа: теплообмен в теплоизолированной системе. Кроме представленных в четырех группах явлений, в задачах по молекулярной физике и термодинамике могут быть описаны следующие явления: нагревание тел при неупругом ударе; равновесие тел под действием разных сил, включая силу давления газа.

В рамках **первой группы**, как правило, решаются типовые задачи: 1) на уравнение состояния и 2) на первый закон термодинамики. Для решения первого типа задач выделяется газ, состояние которого описано в задаче и его характеристики, затем выделяются начальное и последующее состояния газа с соответствующими характеристиками, и записывается уравнение Менделеева-Клапейрона (или основное уравнение кинетической теории газов). Для решения второго типа задач устанавливается вид процесса перехода газа

из начального состояния в конечное и записывается уравнение первого закона термодинамики для изопроцессов.

К задачам **первого типа** первой группы можно отнести следующие:

Задача 2.1. В колбах одинакового объема находятся аргон и воздух при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре. Каково отношение массы аргона в первой колбе к массе воздуха во второй. Ответ округлите до десятых. (1,4)

Решение. Аргон и воздух различаются, во-первых, молярной массой (из таблицы масса аргона $\mu_1 = 0,04 \text{ кг/моль}$, а воздуха $\mu_2 = 0,029 \text{ кг/моль}$). Во-вторых, по условию задачи, эти газы отличаются массой. Нам как раз необходимо найти отношение масс. Выразим из уравнения Менделеева-Клапейрона массу для каждого газа:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow m_1 = \frac{pV\mu_1}{RT} \text{ и } m_2 = \frac{pV\mu_2}{RT}.$$

Поэтому отношение масс определяется отношением молярных масс газов:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{pV\mu_1 RT}{RT pV\mu_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}.$$

Вычисления дают результат:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{0,04}{0,029} = 1,38 \approx 1,4.$$

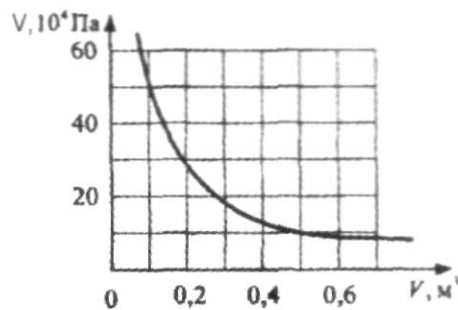
Обращаем внимание на то, что ответ требуется округлить до десятых.

Ответ.

1	,	4				
---	---	---	--	--	--	--

Следующая задача требует не только знания уравнения Менделеева-Клапейрона, но и умения извлечения данных о состоянии идеального газа из графика.

Задача 2.2. На рисунке показан график изотермического расширения водорода. Масса водорода 0,04 кг. Определите его температуру. Ответ округлите до целого числа.



Решение. Температуру газа можно определить из уравнения состояния:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow T = \frac{pV\mu}{mR}.$$

При изотермическом процессе температура во всех состояниях одна и та же, поэтому можем на графике выбрать любую точку, например, объем возьмем $V = 0,1 \text{ м}^3$ и давление $p = 50 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Учтем, что молярная масса водорода $0,002 \text{ кг/моль}$.

$$T = \frac{50 \cdot 10^4 \cdot 0,1 \cdot 0,002}{0,04 \cdot 8,3} = 300,8 \approx 300 \text{ (К)}.$$

Ответ.

3	0	0	К			
---	---	---	---	--	--	--



При решении задач **второго типа** первой группы устанавливается изопроцесс перехода газа из начального состояния в конечное и записывается уравнение первого закона термодинамики для изопроцессов.

Задача 2.3. Давление идеального одноатомного газа уменьшилось на $5 \cdot 10^4$ Па. Газ находится в закрытом сосуде при постоянном объеме $0,3$ м³. Какое количество теплоты было отдано газом? Ответ выразите в килоджоулях (кДж) и округлите до десятых.

Решение. По условию задачи выясняем, что процесс изохорный. В соответствии с первым законом термодинамики при изохорном процессе все тепло идет на изменение внутренней энергии: $Q = \Delta U$. Изменение внутренней энергии одноатомного рассчитываем, воспользовавшись уравнением состояния:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \\ &= \frac{3}{2} (p_2 V - p_1 V) = \frac{3}{2} \Delta p V. \end{aligned}$$

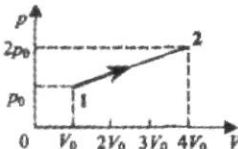
$$\begin{aligned} \text{Поэтому: } Q = \Delta U &= \frac{3}{2} \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0,3 = \\ &= 2,25 \cdot 10^4 (\text{Дж}) = 22,5 (\text{кДж}). \end{aligned}$$

Ответ.

2	2	,	5				
---	---	---	---	--	--	--	--

Рассмотрим задачу, в условиях которой приведен процесс, который нельзя отнести к изопроцессам. Подобные задачи, как правило, вызывают наибольшие затруднения у выпускников, хотя относятся к задачам повышенной, а не высокой трудности.

Задача 2.4. На p - V диаграмме изображен процесс перевода газа, совершенный с одним молем идеального одноатомного газа. Чему равно количество теплоты, переданное при переходе из состояния 1 в состояние 2? $p_0 = 0,1$ МПа, $V_0 = 2$ л.



Решение. На графике определим параметры состояний 1 и 2: $p_1 = p_0$, $V_1 = V_0$; $p_2 = 2p_0$, $V_2 = 4V_0$. Для указанного на графике процесса запишем первый закон термодинамики: $Q = \Delta U + A$.

Изменение внутренней энергии найдем обычным способом, однако учтем, что здесь меняются и давление, и объем:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \\ &= \frac{3}{2} (2p_0 4V_0 - p_0 V_0) = 10,5 p_0 V_0. \end{aligned}$$

Работу определим по площади под графиком процесса. Это площадь трапеции:

$$A = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} 3p_0 3V_0 = 4,5 p_0 V_0.$$

Окончательно получим:

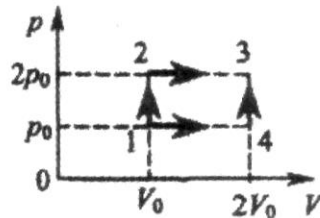
$$\begin{aligned} Q &= 4,5 p_0 V_0 + 10,5 p_0 V_0 = 15 p_0 V_0. \\ Q &= 15 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3000 (\text{Дж}). \end{aligned}$$

Ответ.

3	0	0	0	Д	ж		
---	---	---	---	---	---	--	--

Для решения задач **второй группы** (изменение состояния идеального газа по замкнутому циклу) определяются изопроцессы, составляющие цикл. Для каждого процесса: во-первых, сравнивается начальная и конечная температура и делается вывод об изменении внутренней энергии, во-вторых, сравнивается начальный и конечный объем и делается вывод о знаке совершенной газом работы; в-третьих, устанавливается, знак количества теплоты в результате теплообмена. После этого необходимо составить выражение для работы за цикл, затем составить выражение для полученного за цикл количества теплоты и, при необходимости, записать формулу для расчета КПД теплового двигателя. Заметим, что задачи по определению КПД цикла чаще встречаются в части 3 ЕГЭ по физике, то есть являются задачами высокого уровня. А мы решим типовые задачи повышенного уровня из второй группы.

Задача 2.5. На p - V диаграмме изображен термодинамический цикл, совершенный с одним молем одноатомного газа. Чему равно подведенное количество теплоты для перевода газа из состояния 1 в состояние 3? Температура в точке 1 равна $T_1 = 300$ К. Ответ выразите в килоджоулях и округлите до целых.



Решение. Распишем состояния, приведенные на графике: $p_1 = p_0$, $V_1 = V_0$; $p_2 = 2p_0$, $V_2 = V_0$; $p_3 = 2p_0$, $V_3 = 2V_0$. Видим, что процесс 1 — 2 является изохорным, а 2 — 3 — изобарным, поэтому здесь мы используем первый закон термодинамики для двух процессов, причем $Q = Q_{12} + Q_{23}$, причем:

$$\begin{aligned} Q_{12} &= \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \\ &= \frac{3}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (2p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0. \end{aligned}$$

$$\text{Но } p_1 V_1 = \nu R T_1, \text{ поэтому } Q_{12} = \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2}$$

$$\begin{aligned} Q_{23} &= \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_2) = \\ &= \frac{5}{2} 2p_0 (2V_0 - V_0) = 5 p_0 V_0 = 5 \nu R T_1. \end{aligned}$$

$$\text{Окончательно } Q = \frac{3}{2} \nu R T_1 + 5 \nu R T_1 = 6,5 \nu R T_1.$$

Вычислим:

$$Q = 6,5 \cdot 1 \cdot 8,3 \cdot 300 = 16185 (\text{Дж}) = 16 \text{ кДж}.$$

Ответ.

1	6						
---	---	--	--	--	--	--	--

(Окончание следует.)