

Решение графических задач повышенной сложности по термодинамике

Болле Т.В. учитель
физики МАОУ СОШ №18

Екатеринбург, 2024

Задачи по молекулярной физике и термодинамике

1. Связь между давлением и средняя кинетической энергией, абсолютная температура, связь температуры со средней кинетической энергией, уравнение Менделеева-Клапейрона, изопроцессы
2. Работа в термодинамике, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины
3. Относительная влажность воздуха
4. Количество теплоты, МКТ, термодинамика (объяснение явлений, интерпретация результатов опыта, представленных в виде таблицы или графиков)
5. МКТ, термодинамика (изменения физических величин в процессах, установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами)

Типовые ошибки

1. Не вспомнил формулу (масса молекулы, среднеквадратичная скорость и т.д.)
2. Ошибка в коэффициентах ($1/3$, $2/3$, $3/2$)
3. Ошибки в уравнении теплового баланса
4. Сложности при работе с графиками и pVT -диаграммами
5. Сложности с задачами вида «установи соответствие»
6. Сложности с задачами вида «множественный выбор»
7. Сложности с составлением и решением системы из 4-5 уравнений (С-часть)
8. Использование запрещенных формул: молярная теплоемкость c_p и c_v , уравнение Майера, уравнение адиабаты, работа в изотермическом процессе (С-часть)

Рекомендации по решению проблем

Работа с формулами

1. Физический диктант
2. При решении задач чаще спрашивать формулы у класса
3. Учить вывод основного уравнения МКТ
3. В каждой подборке задач давать схожие задания: одно расчётное, второе только в переменных
4. Не спешить при прохождении начальных тем по МФ:
 - Авогадро и моли
 - Основное уравнение МКТ
 - Уравнение состояния ИГ
 - Графики изопроцессов
5. По новым формулам давать пятиминутки

Примеры

I. (маx 4 балла)

В сосуде объемом $V = 10$ л при нормальных условиях находится газ азот ($\mu = 28$ г/моль).

Рассчитайте следующие величины:

- Концентрацию молекул азота в сосуде
- Количество молей азота в сосуде
- Массу молекулы азота
- Среднеквадратичную скорость молекулы азота (в м/с)

II. (маx: 4 балла)

В заданиях ниже ответ на вопрос засчитывается, если указан характер изменения физической величины (увеличится, уменьшится, не изменится), во сколько раз изменится физическая величина (если применимо), а также написаны расчетные формулы.

- 1) Как и во сколько раз изменится абсолютная температура идеального газа при изобарическом увеличении объема в 4 раза?

Ответ:

|

- 2) Как и во сколько раз изменится давление идеального газа при увеличении плотности в два раза и уменьшении абсолютной температуры в пять раз?

Ответ:

- 3) Как и во сколько раз изменится давление идеального двухатомного газа при его полном распаде на атомарный газ? Температура газа в процессе распада оставалась постоянной. Объем вырос в 4 раза.

Ответ:

- 4) Как и во сколько раз изменится среднеквадратичная скорость ($v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{v^2}$) молекул при увеличении массы молекулы в 2 раза (температура газа остается той же)?

Ответ:

Сложности при работе с графиками

- задачи с преобразованием процессов/циклов в семействе pVT -диаграмм (перестроить график процесса из pV -координат в pT -координаты и т.д.). При этом стараться не уходить в область функционального анализа

Ошибки в уравнении теплового баланса

1. Ри-со-вать!!!
2. Напоминать школьникам про фазовые переходы и просить их ри-со-вать!!!

Использование запрещенных формул

Нет в кодификаторе

Выводить!!!

$$A = \nu R \Delta T$$

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

$$Q = \frac{5}{2} p \Delta V$$

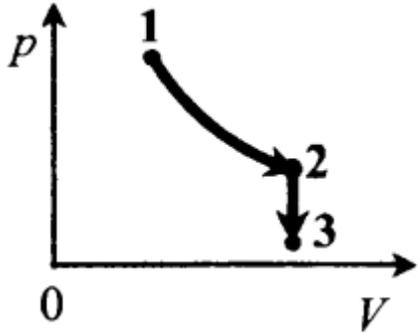
1. При записи на доске обращать внимание, что формула не разрешена на ЕГЭ (С-часть):
 - молярная теплоемкость c_p и c_v
 - уравнение Майера
 - уравнение адиабаты
 - работа в изотермическом процессе
 - термодинамические потенциалы, энтропия
2. В конспектах просить ставить рядом с формулой восклицательный знак

Сложности при работе с системами уравнений

- Воспитательные беседы («Это нормально, что ты сразу не видишь ход решения. Запиши ур-е Менделеева-Клапейрона и пробуй дальше», «В любой непонятной ситуации пиши ур-е Менделеева-Клапейрона»)
- Больше частных бесед с учениками (ученик не научился составлять/решать системы уравнений и стесняется спросить при всем классе)
- Избыточная подборка заданий для дифференциации класса и работы с зоной ближнего развития

Графические задачи на первый закон термодинамики

Задача. Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ($T_1 = 300$ К). Затем газ охладили, понизив давление в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты отдал газ на участке 2–3?



Алгоритм решения :

1. Определить температуры для всех указанных точек, учитывая графики процессов, масштаб и условие задачи.

$$T_1 = T_2 = 300 \text{ К}; T_3 = 100 \text{ К}.$$

2. Определить, к какому изопроцессу относится тот участок графика, о котором спрашивают в задаче.

2–3 изохорный.

3. Записать для него первое начало термодинамики.

В данном процессе:

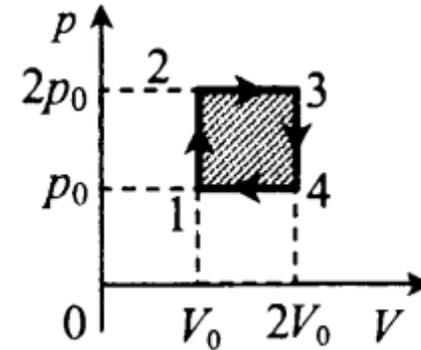
$$\Delta U = Q.$$

4. Учитывая характер изменения величин, правильно расставить знаки: $-\Delta U = -Q$.

5. Подставляя в первое начало термодинамики формулы для расчёта изменения внутренней энергии: $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ и работы газа: $A' = p \Delta V$ ($A' = \nu R \Delta T$), решить задачу.

Алгоритм решения графических задач на КПД цикла

Задача. На $p-V$ диаграмме изображён цикл, проводимый с одноатомным идеальным газом. Определите КПД этого цикла.



1. Определить работу газа.

Если тепловой процесс представлен в осях (p, V) , то можно определить работу, вычислив площадь фигуры, ограниченной замкнутым циклом:

$$A' = p_0 V_0.$$

Учтите: если тепловой процесс представлен в других осях координат, то следует сначала перестроить его в осях (p, V) и только потом определять работу.

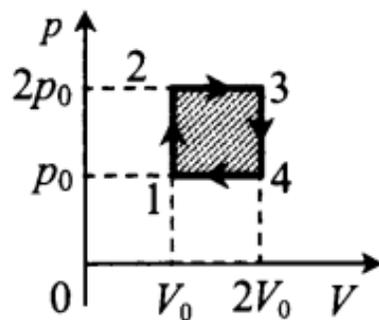
2. Выяснить, на каких этапах повышается температура газа. Именно здесь газ получает энергию:

$$1-2: V = \text{const}, p \uparrow, T \uparrow$$

$$2-3: p = \text{const}, V \uparrow, T \uparrow$$

$$3-4: V = \text{const}, p \downarrow, T \downarrow$$

$$4-1: p = \text{const}, V \downarrow, T \downarrow$$



Вывод: газ получает энергию только на первом и втором этапах.

3. Определить с помощью первого начала термодинамики количество теплоты, полученное газом:

$$1-2: V = \text{const}, A'_{12} = 0,$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \Delta p V = \frac{3}{2} p_0 V_0 = 1,5 p_0 V_0$$

$$2-3: p = \text{const},$$

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - A'_{23}; \Delta U_{23} = \frac{3}{2} p \Delta V = \frac{3}{2} 2 p_0 V_0 = 3 p_0 V_0$$

$$A'_{23} = p \Delta V = 2 p_0 V_0; Q_{23} = 3 p_0 V_0 + 2 p_0 V_0 = 5 p_0 V_0$$

Общее полученное количество теплоты

$$Q_{\text{получ.}} = Q_{12} + Q_{23} = 6,5 p_0 V_0.$$

4. Вычислить КПД, используя основную формулу:

$$\eta = \frac{A'}{Q_{\text{получ.}}} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{p_0 V_0}{6,5 p_0 V_0} 100\% = 15,4\%.$$

Методическое отступление

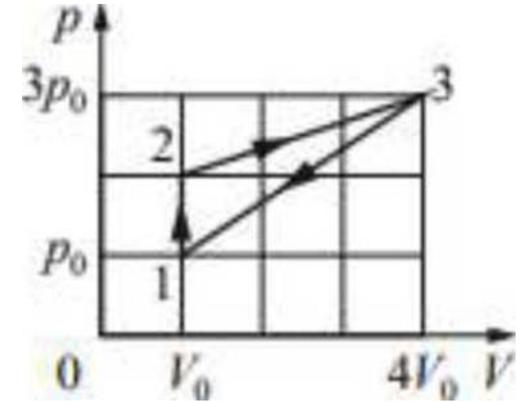
- Не спешить, основательно отработать понимание знаков работы газа и работы внешних сил
- В задачах, в которых речь идет о термодинамике циклических процессов рекомендуют заполнять такую таблицу:

процесс	ΔU	A	Q	Получает или отдает тепло газ
1-2	+	+	+	получает
2-3	-	0	-	отдает
3-1	+	-	0	Не получает и не отдает
Весь цикл	0	+	+	получает

- Таблица может быть для разных процессов, для разных систем координат с различными термодинамическими параметрами
- Обязательно проговаривать причины появления символов в ячейках таблицы, это позволит отработать основные идеи темы.

Задача 24 ЕГЭ

В цикле, показанном на pV -диаграмме, $\nu = 4$ моль разреженного гелия получает от нагревателя количество теплоты $Q = 120$ кДж. Найдите температуру гелия в состоянии 2.



Типичные ошибки:

- Формула работы газа $A = p\Delta V$ может быть использована только для изобарного процесса.
- Определение вида изопроцессов.

Для улучшения результата:

- Работа газа – это площадь!
- Решение задач по МКТ и ТД по темам: изопроцессы, первый закон ТД, КПД цикла.
- Повторить все формулы из кодификатора ФИПИ.