



ЕГЭ-2025 по физике
Графики в МКТ и
термодинамике

Преподаватель: Бегунов Михаил Игоревич



Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT$$

- уравнение Менделеева-Клапейрона
(уравнение состояния идеального газа)

Если $m = const$ ($\nu = const$), то $\nu R = \frac{pV}{T} = const$

$$\frac{pV}{T} = const$$

- уравнение Клапейрона
(объединенный газовый закон)

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Изопроцессы

Изопроцесс – это процесс, протекающий при постоянном значении одного из макропараметров газа.

изотермический ($T = const$)

изобарный ($p = const$)

изохорный ($V = const$)

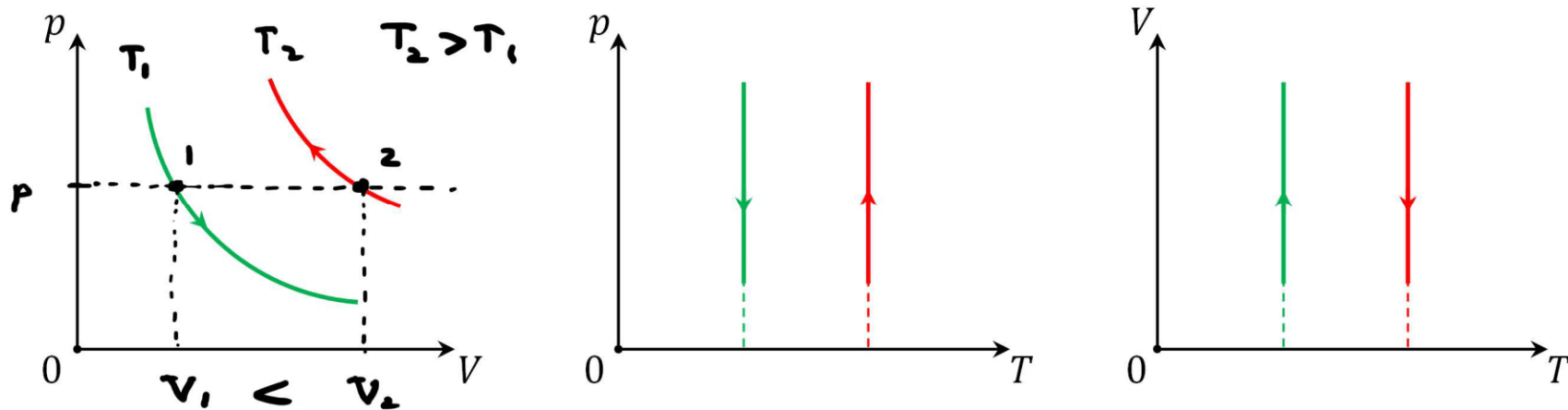
Изотермический процесс

Изотермический процесс – это процесс, протекающий при постоянной температуре.

Закон Бойля-Мариотта: для газа данной массы при постоянной температуре произведение давления и объема есть величина постоянная.

Если $m = \text{const}$ и $T = \text{const}$, то $pV = \text{const}$.

$$p \downarrow = \frac{\text{const}}{V \uparrow}$$



$$p \cdot V = \nu \cdot R T \Rightarrow T_2 > T_1$$

График изотермического процесса в любой системе координат называется **изотермой**.

Изобарный процесс

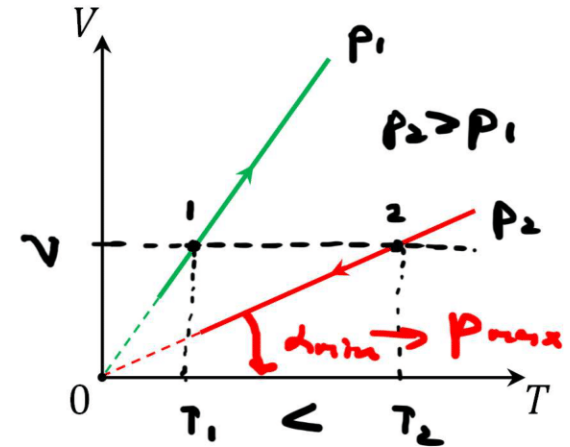
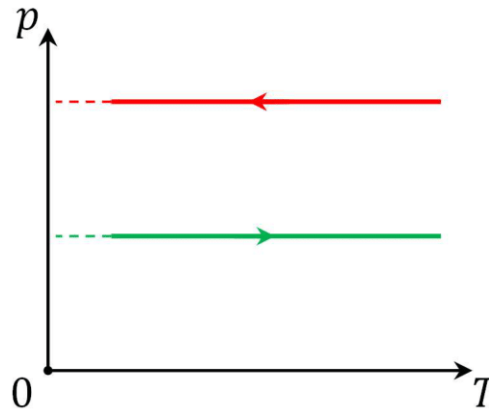
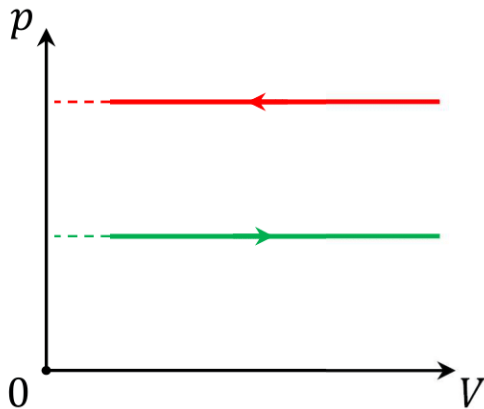
Изобарный процесс – это процесс, протекающий при постоянном давлении.

Закон Гей-Люссака: для газа данной массы при постоянном давлении отношение объема и температуры есть величина постоянная.

Если $m = const$ и $p = const$, то $\frac{V}{T} = const$.

$$y = k \cdot x \quad \uparrow$$

$$V = const \cdot T \quad \uparrow$$



$$\uparrow p \cdot \underline{V} = \underline{\nu} \cdot \underline{R} \cdot T \quad \uparrow \Rightarrow p_2 > p_1$$

График изобарного процесса в любой системе координат называется **изобарой**.

Изохорный процесс

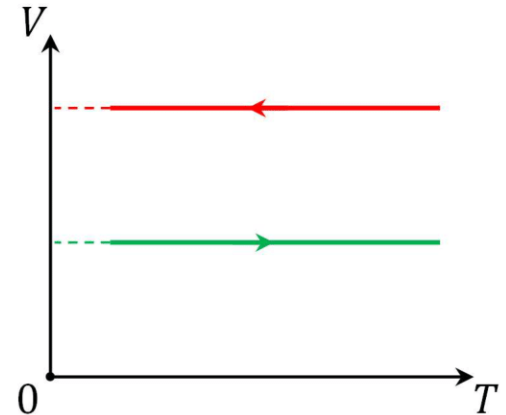
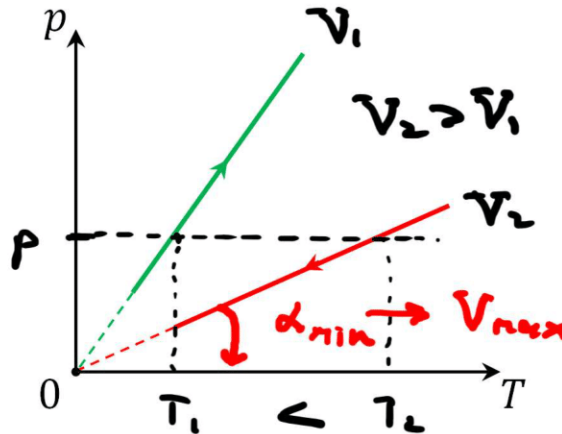
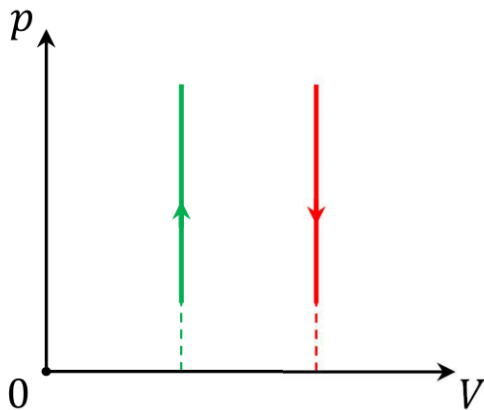
Изохорный процесс – это процесс, протекающий при постоянном объеме.

Закон Шарля: для газа данной массы при постоянном объеме отношение давления и температуры есть величина постоянная.

Если $m = const$ и $V = const$, то $\frac{p}{T} = const$.

$$\uparrow \quad y = k \cdot x \quad \uparrow$$

$$p = const \cdot T$$

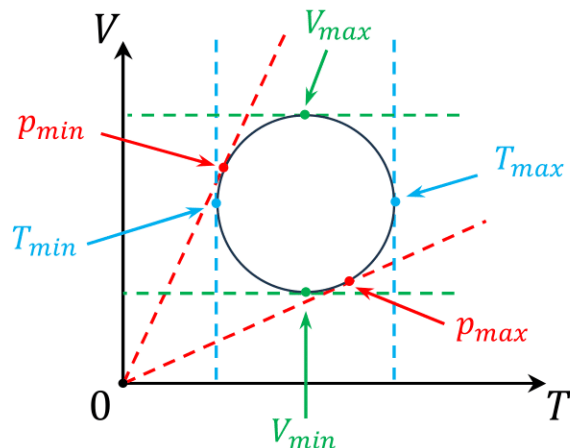


$$\underline{p} \cdot \underline{V} = \underline{\rho} \cdot \underline{A} \underline{T} \Rightarrow V_2 > V_1$$

График изохорного процесса в любой системе координат называется **изохорой**.

1

Тепловой процесс, который совершается на идеальном газом в замкнутом сосуде, на VT -диаграмме имеет вид окружности. В каких точках максимальны и минимальны температура газа, его объем и давление?



Для того чтобы сравнить давление в различных точках графика на VT -диаграмме, нужно построить «мнимые» изобары: та точка, через которую проходит изобара, которая ближе всего к оси температур, имеет самое большое давление.

Для того чтобы сравнить объем в различных точках графика на pT -диаграмме, нужно построить «мнимые» изохоры: та точка, через которую проходит изохора, которая ближе всего к оси температур, имеет самый большой объем.

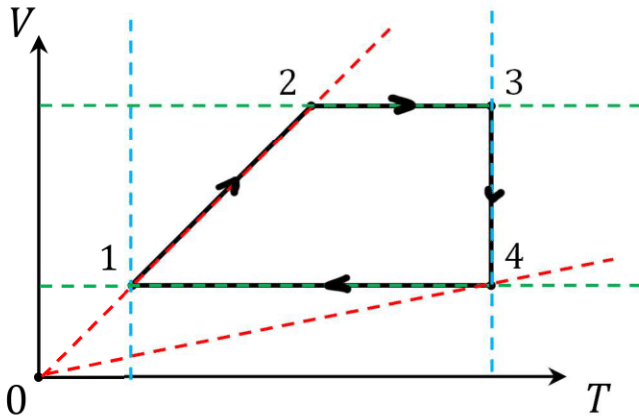
Для того чтобы сравнить температуру в различных точках графика на pV -диаграмме, нужно построить «мнимые» изотермы: та точка, через которую проходит изотерма, которая дальше всего расположена от начала координат, имеет самую большую температуру.

2

На рисунке изображена VT -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:

- а) как меняются $p, V, T, \bar{v}_{KB}, n, \rho$;
- б) в какой точке или процессе эти величины максимальны и минимальны.

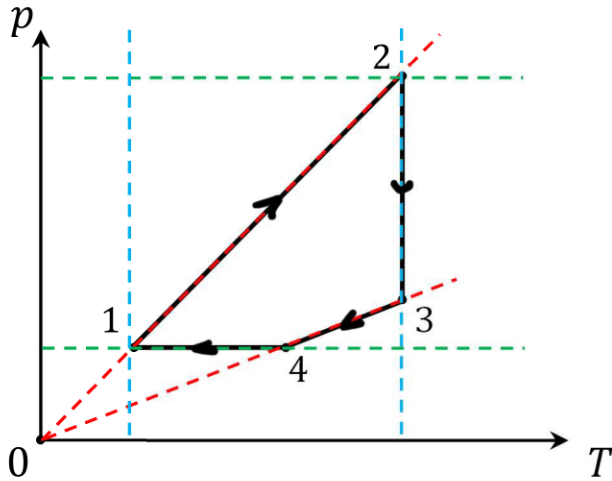
$$n = \frac{N}{V \uparrow}, \quad \rho = \frac{m}{V \uparrow}, \quad \bar{v}_{KB} = \sqrt{\frac{3AT}{m}}$$



	1-2	2-3	3-4	4-1
p	—	↑	↑	↓
V	↑	—	↓	—
T	↑	↑	—	↓
\bar{v}_{KB}				
n	↓	—	↑	—
ρ				

p		V		T		$n (\rho)$	
max	min	max	min	max	min	max	min
4	1-2	2-3	4-1	3-4	1	4-1	2-3

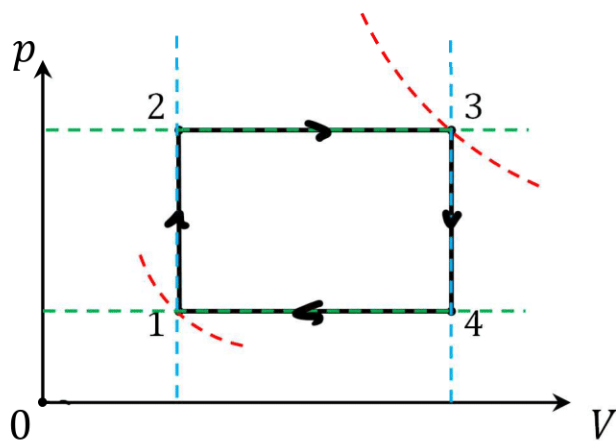
- 3 На рисунке изображена pT -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:
- как меняются p , V , T , \bar{v}_{KB} , n , ρ ;
 - в какой точке или процессе эти величины максимальны и минимальны.



	1-2	2-3	3-4	4-1
p	↑	↓	↓	—
V	—	↑	—	↓
T	↑	—	↓	↓
\bar{v}_{KB}	↑	—	↓	↓
n	—	↓	—	↑
ρ	—	↓	—	↑

p		V		T		n (ρ)	
max	min	max	min	max	min	max	min
2	4-1	3-4	1-2	2-3	1	1-2	3-4

- 4 На рисунке изображена pV -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:
- как меняются p , V , T , \bar{v}_{KB} , n , ρ ;
 - в какой точке или процессе эти величины максимальны и минимальны.



	1-2	2-3	3-4	4-1
p	↑	—	↓	—
V	—	↑	—	↓
T	↑	↑	↓	↓
\bar{v}_{KB}	↑	↑	↓	↓
n	—	↓	—	↑
ρ	—	↓	—	↑

p		V		T		n (ρ)	
max	min	max	min	max	min	max	min
2-3	4-1	3-4	1-2	3	1	1-2	3-4

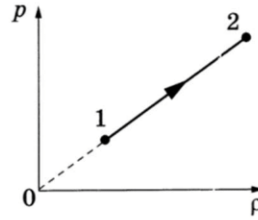
5

При переводе идеального газа из состояния 1 в состояние 2 давление p газа пропорционально его плотности ρ (см. рисунок). Масса газа в процессе остаётся постоянной.

Из приведённого ниже списка выберите *все* верные утверждения, характеризующие процесс 1–2.

- 1) Абсолютная температура газа остаётся неизменной.
 2) Концентрация молекул газа уменьшается.
 3) Среднеквадратичная скорость теплового движения молекул газа увеличивается.
 4) Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа уменьшается.
 5) Происходит изотермическое сжатие газа.

Ответ: 15.



$$p = \frac{\rho}{M} R \cdot T$$

$$p = \frac{RT}{M} \cdot \rho$$

$$p \sim \rho$$

$$(y = k \cdot x, \quad y \sim x)$$

$$\frac{RT}{M} = \text{const}$$

$$\underline{T = \text{const}}$$

$$\uparrow \rho = \frac{m}{V} \downarrow$$

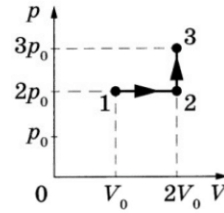
$$2) \rho \sim n \uparrow$$

$$3) \underline{\underline{v_{\text{ср}}}} \sim \sqrt{T}$$

$$4) \underline{\underline{E_k}} = \frac{3}{2} \nu T$$

6

Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления газа p от объёма V . Масса газа в процессе не изменяется. Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, характеризующие отражённые на графике процессы.



- 1) Концентрация молекул газа в процессе 2–3 оставалась постоянной.
 2) В ходе процесса 1–2–3 средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа увеличивается в 3 раза.
 3) В процессе 2–3 абсолютная температура газа изохорно увеличилась в 1,5 раза.
 4) В процессе 1–2 абсолютная температура газа изобарно увеличилась в 4 раза.
 5) Абсолютная температура газа минимальна в состоянии 3.

Ответ: 1 2 3.

$$1) \quad \underline{n} = \frac{N}{V} \quad 2) \quad \bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

$$\underline{1 \rightarrow 2} : \quad p = \text{const} \Rightarrow \frac{V \uparrow^2}{T \uparrow^2} = \text{const}$$

$$\underline{2 \rightarrow 3} : \quad V = \text{const} \Rightarrow \frac{p \uparrow^{1.5}}{T \uparrow^{1.5}} = \text{const}$$

$$T \rightarrow 2T \rightarrow 3T$$

7

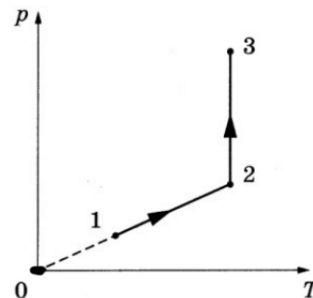
Один моль одноатомного идеального газа участвует в процессе 1–2–3, график которого изображён на рисунке в координатах p – T , где p — давление газа, T — абсолютная температура газа. Как изменяются плотность газа в ходе процесса 1–2 и объём газа V в ходе процесса 2–3?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

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

Плотность газа в ходе процесса 1–2	Объём газа в ходе процесса 2–3
3	2



$$\underline{1 \rightarrow 2} : p \sim T \Rightarrow V = \text{const} \Rightarrow \rho = \text{const}$$

$$\underline{2 \rightarrow 3} : T = \text{const} \Rightarrow \begin{matrix} \uparrow \\ p \cdot V = \text{const} \\ \downarrow \end{matrix}$$

8

Один моль одноатомного идеального газа участвует в процессе 1–2–3, график которого изображён на рисунке в координатах p – V , где p — давление газа, V — объём газа. Как изменяются плотность газа в ходе процесса 1–2 и абсолютная температура газа T в ходе процесса 2–3? Масса газа остаётся постоянной.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

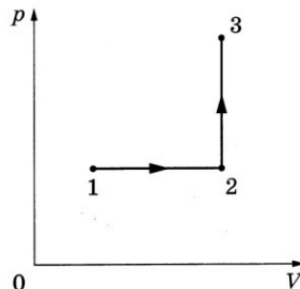
- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

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

Плотность газа в ходе процесса 1–2	Абсолютная температура в ходе процесса 2–3
2	1

$$\underline{1 \rightarrow 2} : \rho = \frac{m}{V \uparrow}$$

$$\underline{2 \rightarrow 3} : \frac{p \uparrow}{T \uparrow} = \text{const}$$



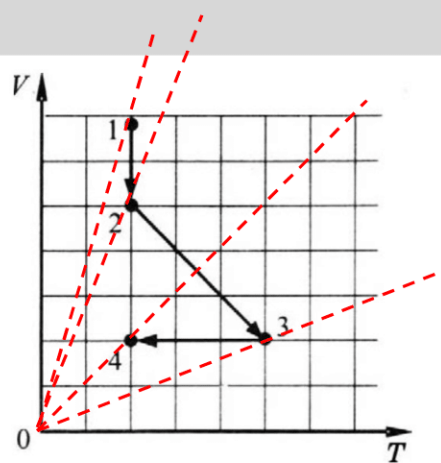
9

На VT -диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков 1-2, 2-3, 3-4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным?

$$\underline{1 \rightarrow 2} : T = \text{const} \Rightarrow \begin{matrix} \uparrow \\ p \cdot V = \text{const} \\ \downarrow \end{matrix}$$

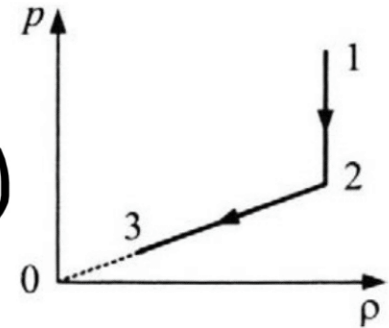
$$\underline{2 \rightarrow 3} : p \cdot V = \Delta RT \Rightarrow \begin{matrix} \uparrow \uparrow \\ p = \frac{\Delta RT \uparrow}{V \downarrow} \\ \downarrow \end{matrix}$$

$$\underline{3 \rightarrow 4} : V = \text{const} \Rightarrow \frac{p \downarrow}{T \downarrow} = \text{const}$$



10

На графике представлена зависимость давления неизменной массы идеального газа от его плотности. Определите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1-2 и 2-3.



$$\underline{1 \rightarrow 2} : \quad p = \text{const} \Rightarrow V = \text{const} \quad \left(p = \frac{m}{V} \right)$$

$$\frac{p \downarrow}{T \downarrow} = \text{const}$$

$$\underline{2 \rightarrow 3} : \quad p \downarrow \Rightarrow V \uparrow$$

$$p \sim \rho \Rightarrow T = \text{const} \quad \left(p = \frac{\rho}{M} R T \right)$$

Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики: количество теплоты, переданное телу, идет на изменение его внутренней энергии и на совершение работы против внешних сил.

$$Q = \Delta U + A \quad Q > 0 - \text{газ получает тепло, } Q < 0 - \text{газ отдает тепло}$$

Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

«Знак» ΔU определяется «знаком» изменения температуры.

T	Знак ΔU
\uparrow	+
\downarrow	-
<i>const</i>	0

Работа газа

$$A = p \Delta V \quad (p = \text{const})$$

«Знак» A определяется «знаком» изменения объема газа.

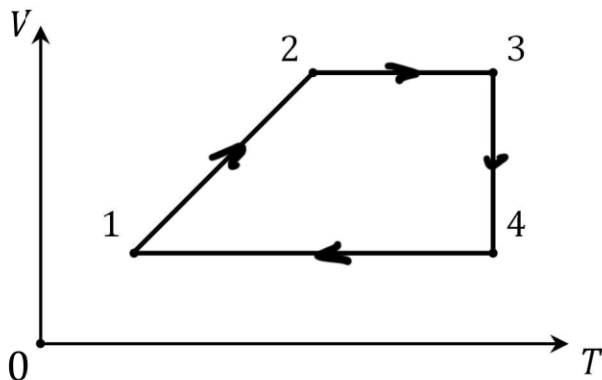
V	Знак A
\uparrow	+
\downarrow	-
<i>const</i>	0

11

На рисунке изображена VT -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:

- «знаки» изменения внутренней энергии и работы газа;
- получает газ тепло или отдает.

$$Q = \Delta U + A$$

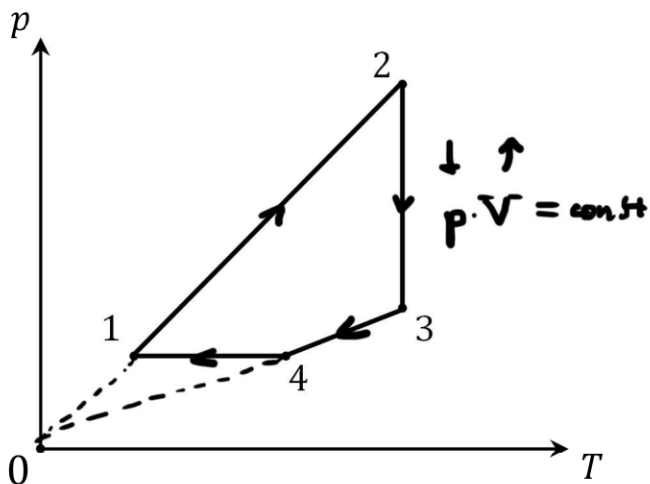


	1-2	2-3	3-4	4-1
ΔU	+	+	0	-
A	+	0	-	0
Q	+	+	-	-

12

На рисунке изображена pT -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:

- «знаки» изменения внутренней энергии и работы газа;
- получает газ тепло или отдает.

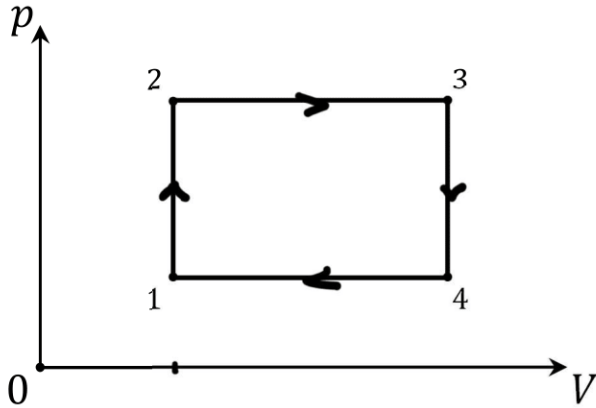


	1-2	2-3	3-4	4-1
ΔU	+	0	-	-
A	0	+	0	-
Q	+	+	-	-

13

На рисунке изображена VT -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:

- а) «знаки» изменения внутренней энергии и работы газа;
б) получает газ тепло или отдает.

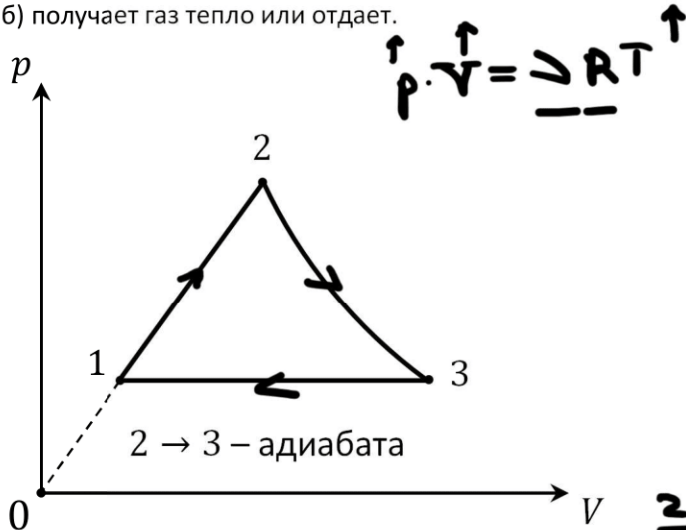


	1-2	2-3	3-4	4-1
ΔU	+	+	-	-
A	0	+	0	-
Q	+	+	-	-

14

На рисунке изображена pV -диаграмма. Проанализируйте графики каждого процесса и определите:

- а) «знаки» изменения внутренней энергии и работы газа;
б) получает газ тепло или отдает.



	1-2	2-3	3-1
ΔU	+	-	-
A	+	+	-
Q	+	0	-

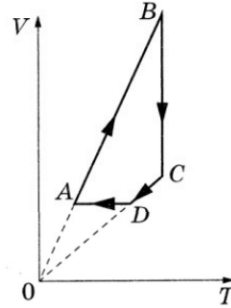
$2 \rightarrow 3 : \Delta U + A = 0 \Rightarrow \Delta U = -A$

15

На рисунке показан график циклического процесса, проведённого с одноатомным идеальным газом, в координатах $V-T$, где V — объём газа, T — абсолютная температура газа. Количество вещества газа постоянно.

Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, характеризующие отражённые на графике процессы.

- 1) Давление газа в процессе CD постоянно, при этом над газом внешние силы совершают положительную работу.
- 2) В процессе DA давление газа изохорно увеличивается.
- 3) В процессе AB газ получает положительное количество теплоты.
- 4) В состоянии B концентрация атомов газа минимальна.
- 5) В процессе BC внутренняя энергия газа уменьшается.



$$\rightarrow n = \frac{N}{V \cdot T}$$

Ответ: 134.

$$1) A_{\text{изг}} = -A_{\text{изп}}, \quad A_{\text{изп}} < 0 \Rightarrow A_{\text{изг}} > 0$$

$$2) V = \text{const}: \quad \frac{p \downarrow}{T \downarrow} = \text{const}$$

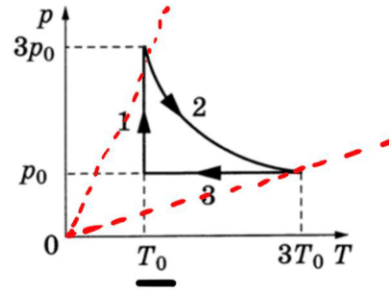
$$3) \left. \begin{array}{l} V \uparrow \Rightarrow A > 0 \\ T \uparrow \Rightarrow \Delta U > 0 \end{array} \right\} Q > 0$$

16

На pT -диаграмме отображена последовательность трёх процессов (1 → 2 → 3) изменения состояния 2 моль одноатомного идеального газа.

Из предложенного перечня утверждений выберите **все**, которые не противоречат диаграмме.

- 1) В процессе 1 газ отдаёт положительное количество теплоты.
 2) Процесс 2 является изотермическим.
 3) В процессе 3 газ совершает положительную работу.
 4) В процессе 2 происходит расширение газа при постоянной температуре.
 5) В процессе 1 происходит сжатие газа при постоянной температуре.



Ответ: 15.

$$1) \quad \textcircled{1} \quad T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0$$

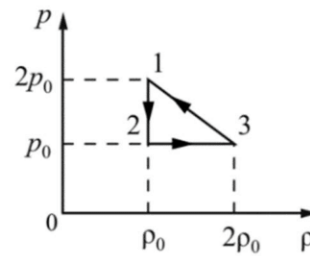
$$\begin{array}{c} \uparrow \\ p \cdot V = \text{const} \end{array} \Rightarrow A < 0 \quad \underline{Q < 0}$$

$$3) \quad p = \text{const} \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const} \Rightarrow A < 0$$

$$4) \quad \frac{\uparrow\uparrow V}{\downarrow p} = \frac{\uparrow\uparrow RT}{\downarrow p}$$

17

1 моль одноатомного идеального газа совершает цикл $1 - 2 - 3 - 1$, при котором давление p газа изменяется с изменением плотности ρ газа так, как показано на рисунке. Значения плотности и давления в вершинах цикла представлены на графике. Выберите из предложенного перечня **все** верные утверждения.



$$\uparrow p = \frac{p}{V} \downarrow$$

- 1) Работа газа в процессе $1 - 2$ равна нулю.
 2) Внутренняя энергия газа в процессе $2 - 3$ увеличивается.
 3) При переходе газа из 3 в 1 внутренняя энергия не меняется.
 4) В процессе $3 - 1$ газ отдаёт положительное количество теплоты.
 5) Температура газа в состоянии 3 минимальна.

Ответ: 15.

$$1) \underline{1 \rightarrow 2}: p = \text{const}, V = \text{const} \Rightarrow A = 0$$

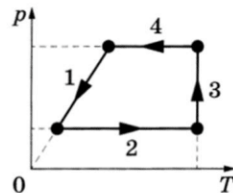
$$2) \underline{2 \rightarrow 3}: p \uparrow \Rightarrow V \downarrow \Rightarrow T \downarrow (p = \text{const})$$

$$3) p = \frac{\rho}{M} R T \Rightarrow \begin{matrix} \uparrow \uparrow \\ T = \frac{\uparrow p \cdot M}{\downarrow \rho \cdot R} \end{matrix}$$

18

На рисунке показан график изменения состояния постоянного количества одноатомного идеального газа.

Установите соответствие между участками графика и значениями физических величин, характеризующих процессы на этих участках (ΔU — изменение внутренней энергии газа; A — работа газа).



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

УЧАСТКИ ГРАФИКА

- А) 2
Б) 3

ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН

- 1) $\Delta U = 0$; $A > 0$
2) $\Delta U < 0$; $A = 0$
3) $\Delta U = 0$; $A < 0$
4) $\Delta U > 0$; $A > 0$

Ответ:

А	Б
4	3

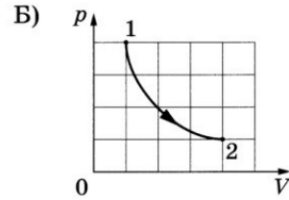
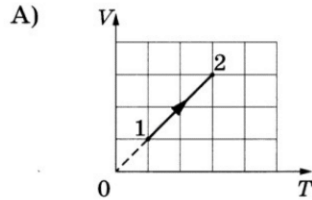
А) ② $p = \text{const}$: $\frac{V \uparrow}{T \uparrow} = \text{const} \Rightarrow A > 0$
 $\Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow \Delta U > 0$

Б) ③ $T = \text{const}$: $p \cdot V = \text{const}$
 $\Rightarrow A < 0$

19 Установите соответствие между графиками процессов, в которых участвует 1 моль одноатомного идеального газа, и физическими величинами (ΔU — изменение внутренней энергии; A — работа газа), которые их характеризуют.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ

ФИЗИЧЕСКИЕ
ВЕЛИЧИНЫ

- 1) $\Delta U = 0$; $A > 0$
- 2) $\Delta U > 0$; $A > 0$
- 3) $\Delta U > 0$; $A = 0$
- 4) $\Delta U = 0$; $A < 0$

Ответ:

А	Б
2	1

$$A) V \uparrow \Rightarrow A > 0, \quad T \uparrow \Rightarrow \Delta U > 0$$

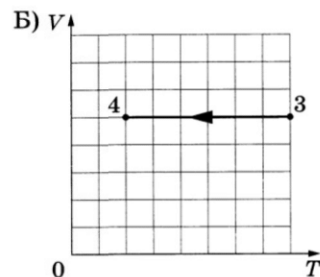
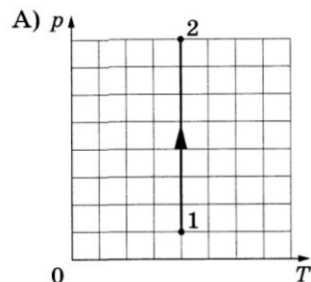
$$B) T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0; \quad V \uparrow \Rightarrow A > 0$$

20 На рисунках А и Б приведены графики двух процессов — 1-2 и 3-4, в каждом из которых участвует 1 моль гелия. Графики построены в координатах p - T и V - T , где p — давление, V — объём и T — абсолютная температура газа.

Установите соответствие между графиками и утверждениями, характеризующими изображённые на графиках процессы.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ



УТВЕРЖДЕНИЯ

- 1) Внутренняя энергия газа уменьшается, при этом он не совершает работу.
- 2) Газ получает положительное количество теплоты, при этом его внутренняя энергия не изменяется.
- 3) Газ отдаёт положительное количество теплоты, при этом внешние силы совершают над ним положительную работу.
- 4) Газ получает положительное количество теплоты, при этом его внутренняя энергия увеличивается.

Ответ:

А	Б
3	1

$$A) \quad T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \downarrow \\ p \cdot V = \text{const} \end{matrix}$$

$$\underline{A < 0} - \text{га}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$Q < 0$$

$$A_{\text{вн}} = -A$$

$$B) \quad V = \text{const} \Rightarrow A = 0$$

$$T \downarrow \Rightarrow \Delta U < 0$$

$$Q < 0$$