

# **Тема. Газовые законы**



# Изопроцессы в газах

Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров, называют **изопроцессами**.

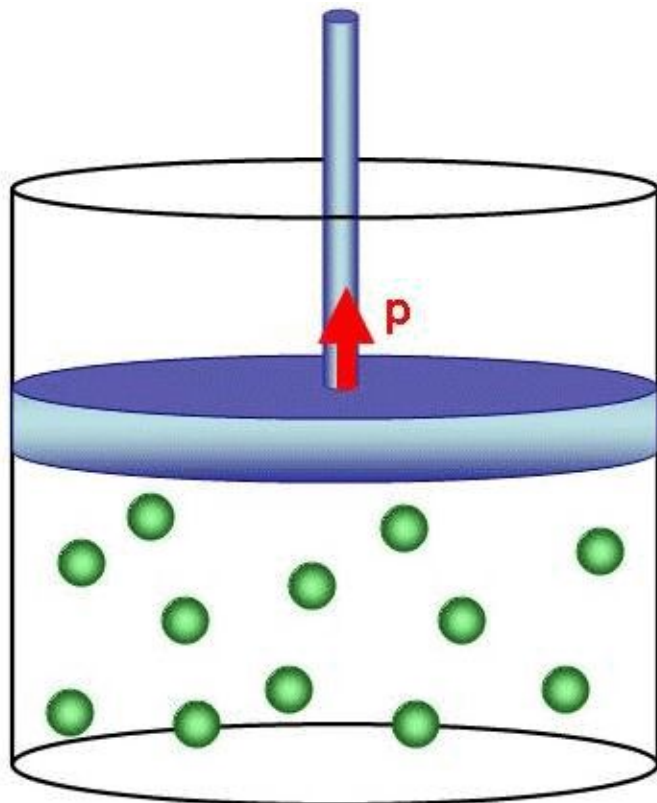
Рассмотрим следующие изопроцессы:

Название процесса	Изотермический процесс	Изобарный процесс	Изохорный процесс
Постоянная величина	$T = \text{const}$	$p = \text{const}$	$V = \text{const}$

# Изотермический процесс

(греч. изос-равный, терм-жар)

(Название процесса)



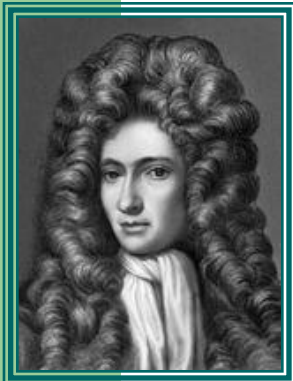
Какие величины сохраняются	Как изменяются остальные величины
<b>const</b>	<b>V</b> <input type="checkbox"/> <b>p</b> <input type="checkbox"/>
<b>T</b>	<b>V</b> <input type="checkbox"/> <b>p</b> <input type="checkbox"/>

# Изотермический процесс -

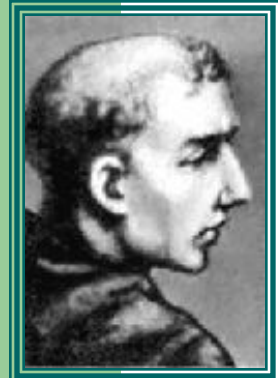
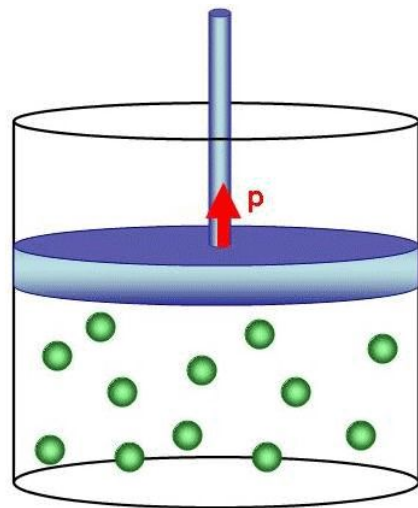
процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре.

Из уравнения состояния  $pV = m/M \cdot RT$  следует:

Для одной и той же массы одного и того же газа при  $T = \text{const}$  произведение  $pV = \text{const}$  (закон Бойля – Мариотта).

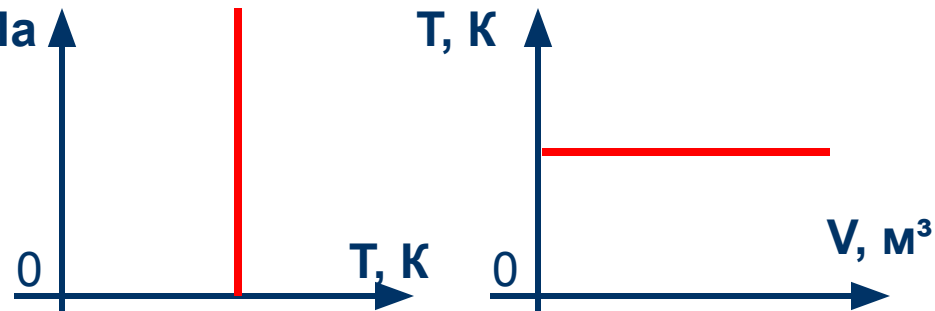
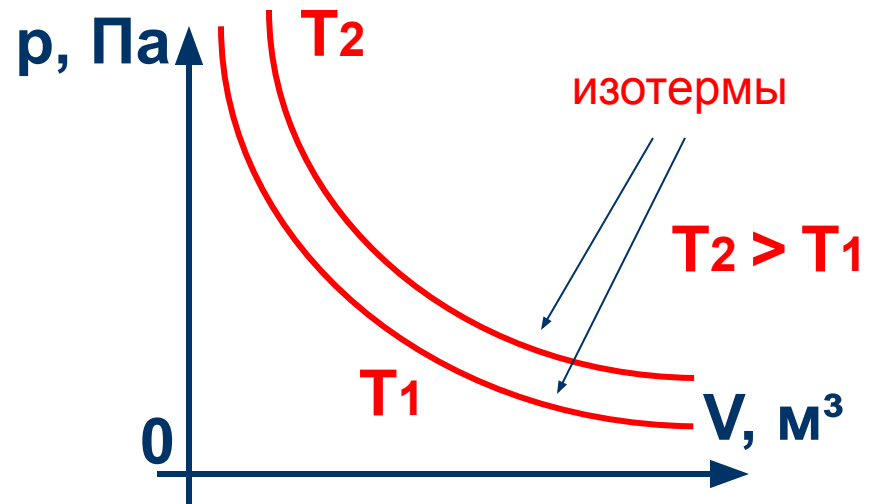


1662г.  
Роберт Бойль (анг.)



Эдм Мариотт (фр) 1676г.

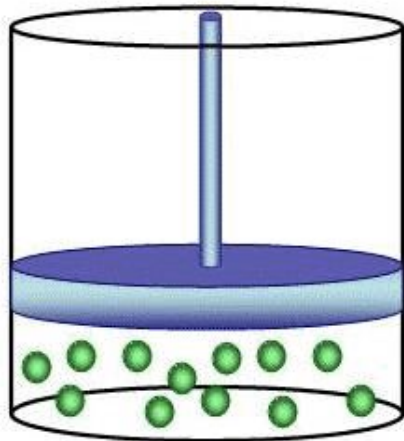
Если  $T = \text{const}$ , то  
при  $V \downarrow p \uparrow$ ,  
и наоборот  $V \uparrow p \downarrow$



# Изобарный процесс

(греч. изос-равный, барос-тяжесть)

(Название процесса)



Какие величины сохраняются	Как изменяются остальные величины
<b>const</b>	
<b>p</b>	<b>T</b> <input type="checkbox"/> <b>V</b> <input type="checkbox"/>
	<b>T</b> <input type="checkbox"/> <b>V</b> <input type="checkbox"/>

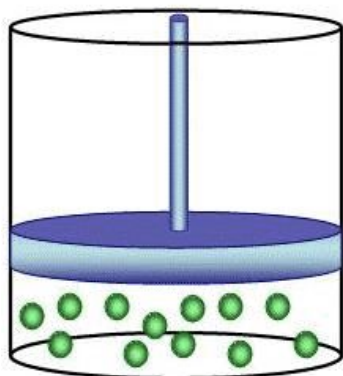
# Изобарный процесс -

процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном давлении.

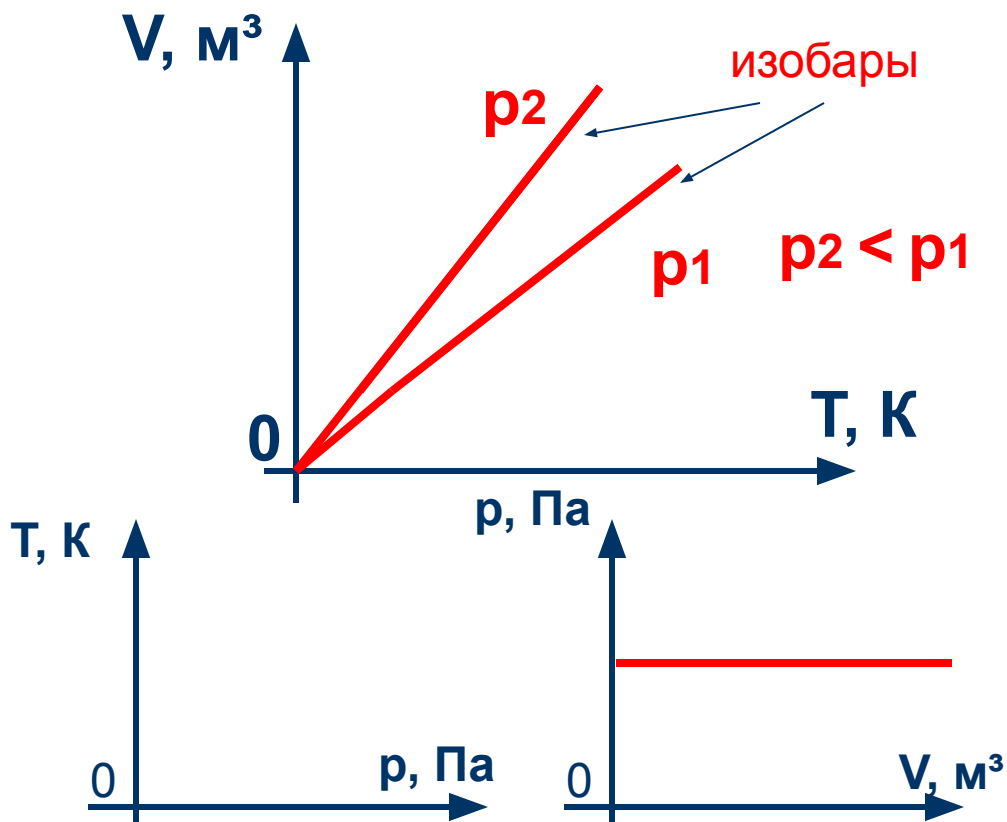
Из уравнения состояния  $pV = m/M \cdot RT$  следует:

Для одной и той же массы одного и того же газа при  $p = \text{const}$  отношение  $V/T = \text{const}$  (закон Гей-Люссака).

Жозеф-Луи Гей-Люссак (фр.) 1802г.



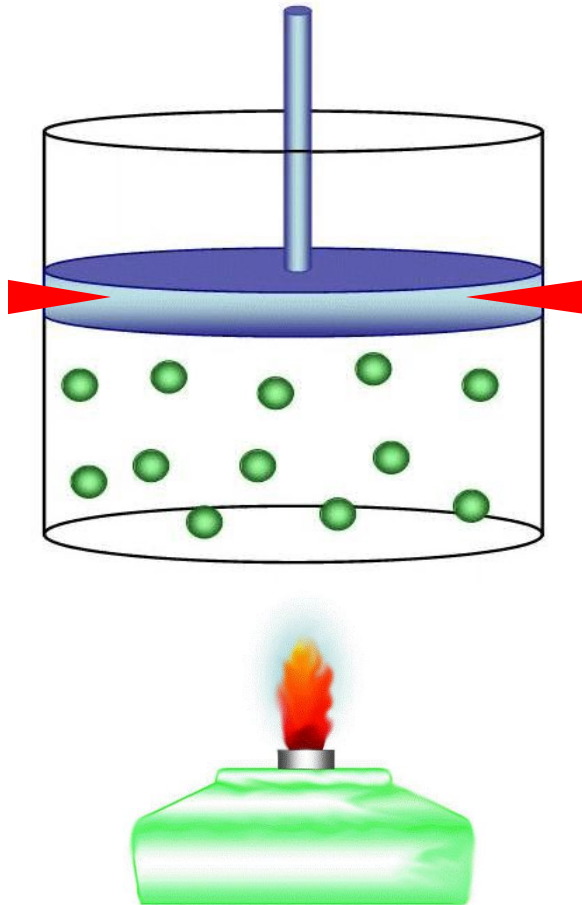
Если  $p = \text{const}$ , то  
при  $T \downarrow V \downarrow$ ,  
и наоборот  $T \uparrow V \uparrow$



# Изохорный процесс

(греч. изос-равный, хорос-место)

(Название процесса)



Какие величины сохраняются	Как изменяются остальные величины
<b>const</b>	
<b>V</b>	<b>T</b> <input type="checkbox"/> <b>p</b> <input type="checkbox"/>
	<b>T</b> <input type="checkbox"/> <b>p</b> <input type="checkbox"/>

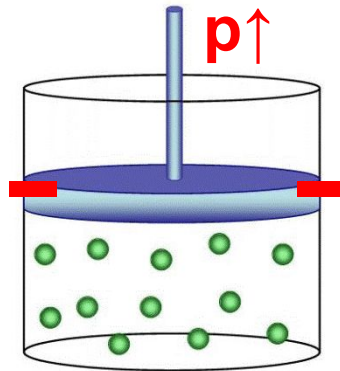
# Изохорный процесс -

процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном объеме.

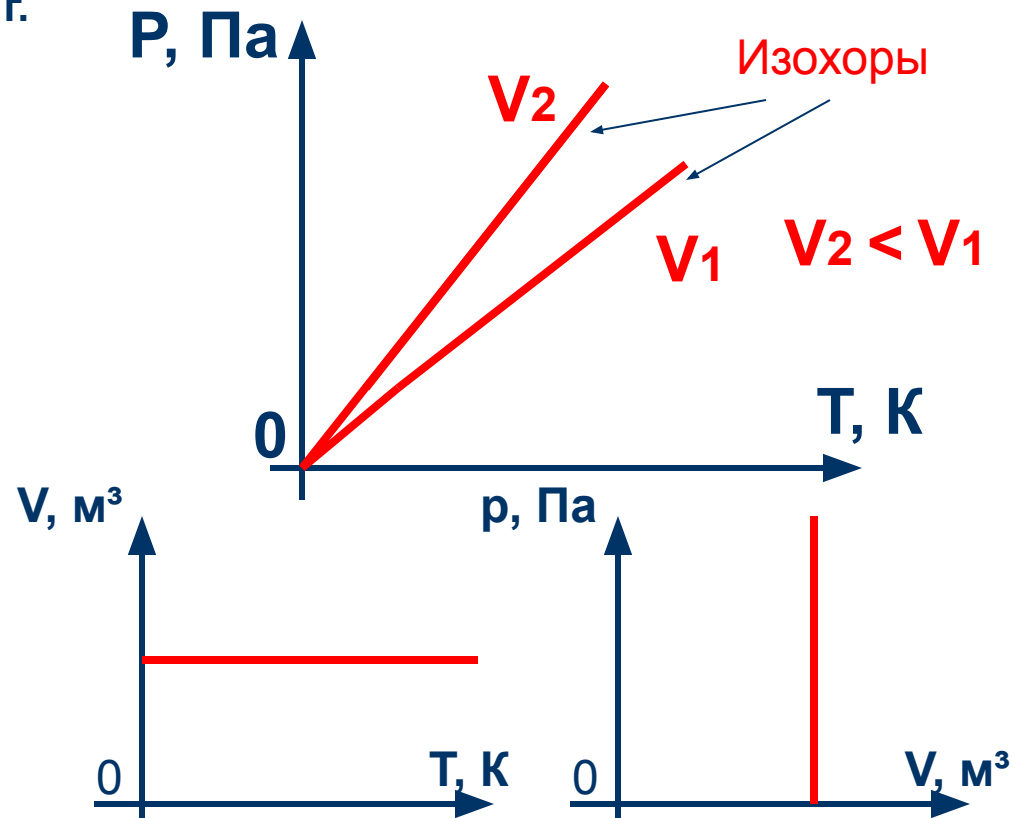
Из уравнения состояния  $pV = m/M \cdot RT$  следует:

Для одной и той же массы одного и того же газа при  $V = \text{const}$  отношение  $p/T = \text{const}$  (закон Шарля).

Жак Александр Сезар Шарль (фр.) 1787г.



Если  $V = \text{const}$ , то  
при  $T \downarrow p \downarrow$ ,  
и наоборот  $T \uparrow p \uparrow$





# Обобщение

$$pV = m/M \cdot RT$$

$$C = m/M \cdot R$$
$$C = \text{const}$$

$T = \text{const}$

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

$V = \text{const}$

$p = \text{const}$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

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

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

# Повторение

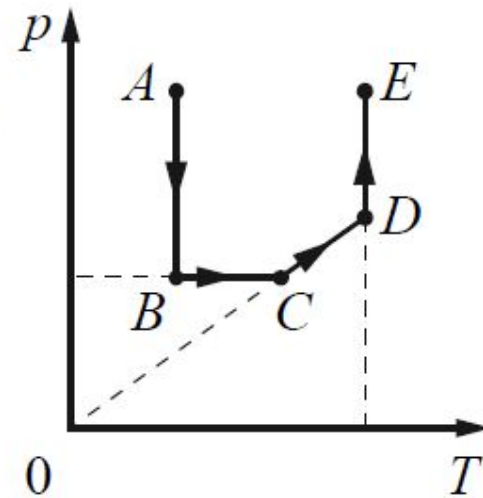
1. Перечислите основные положения МКТ.
2. Дайте определение относительной молекулярной массы.
3. Что такое количество вещества?
4. Что такое молярная масса?
5. Какое движение называют броуновским?
6. Какой газ называют идеальным в МКТ?
7. Дайте определение и приведите примеры макроскопических параметров.
8. Дайте определение и приведите примеры микроскопических параметров.
9. Запишите основное уравнение МКТ. Чем оно замечательно?
10. Что такое температура? В каких единицах она измеряется?
11. Какое состояние системы называют тепловым равновесием?
12. Запишите уравнение состояния идеального газа. Чьи имена носит это уравнение и почему?
13. Какие макроскопические параметры используются в уравнении Менделеева – Клапейрона?

На рисунке приведён график зависимости давления неизменной массы газа от температуры. Изменения происходят в направлении, указанном стрелкой. Какой процесс происходит с газом на участке  $AB$ ?

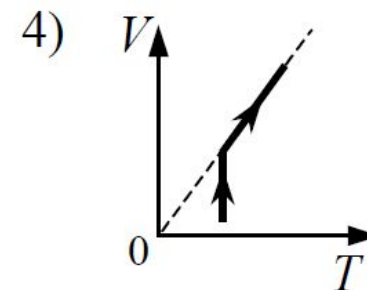
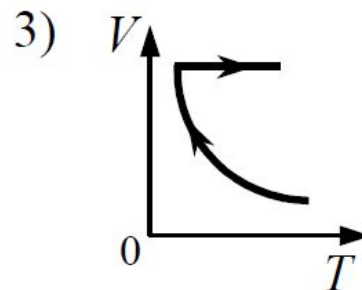
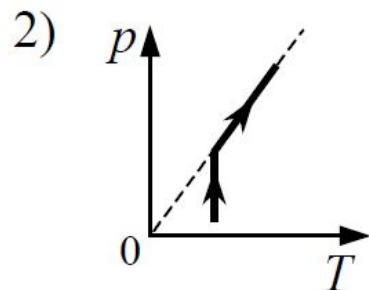
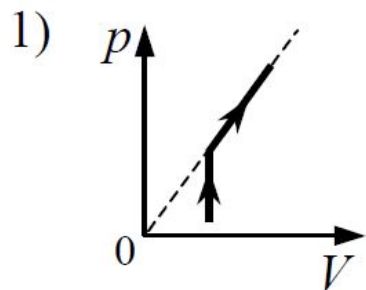
- 1) изотермическое расширение
- 2) изотермическое сжатие
- 3) изохорное нагревание
- 4) изобарное нагревание

Ответ:

1



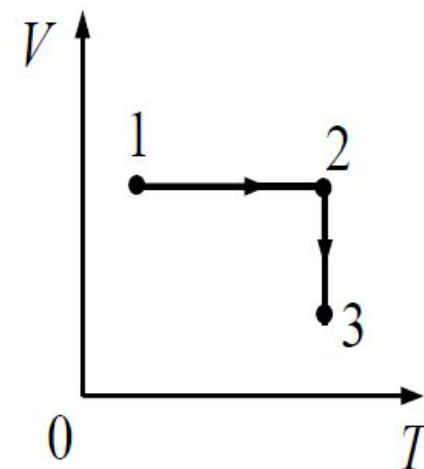
Один моль разреженного газа сначала изотермически расширяли, а затем изобарно нагревали. На каком из рисунков изображена эта последовательность процессов?



Ответ:

4

1 моль идеального газа участвует в процессе, показанном на диаграмме  $V$  $T$ . Где достигается наибольшее давление газа в указанном процессе?

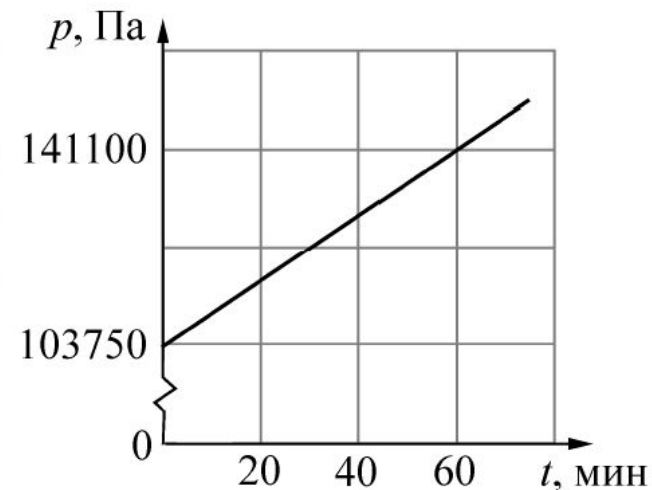


- 1) в точке 1
- 2) в точке 3
- 3) на всем отрезке 1–2
- 4) на всем отрезке 2–3

Ответ:

2

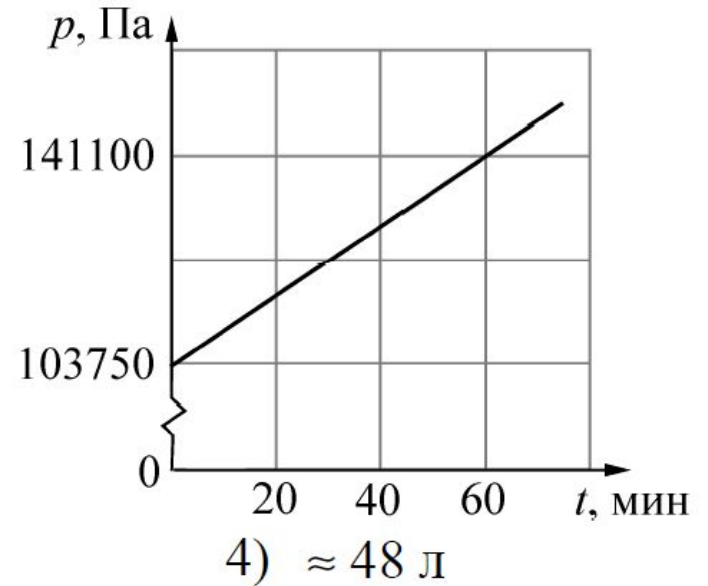
Два моля идеального газа, находящегося в закрытом сосуде при температуре 300 К, начинают нагревать. График зависимости давления  $p$  этого газа от времени  $t$  изображён на рисунке. Объём сосуда, в котором находится газ, равен

1)  $\approx 12$  л2)  $\approx 24$  л3)  $\approx 35$  л4)  $\approx 48$  л

Ответ:

4

1,36 моль идеального газа, находящегося в закрытом сосуде, начинают нагревать. График зависимости давления  $p$  этого газа от времени  $t$  изображён на рисунке. Через 60 минут после начала нагревания температура газа стала равна 300 К. Объём сосуда, в котором находится газ, равен

1)  $\approx 12$  л2)  $\approx 24$  л3)  $\approx 35$  л4)  $\approx 48$  л

Ответ:

2



Установите соответствие между процессами в идеальном газе и формулами, которыми они описываются ( $N$  – число частиц,  $p$  – давление,  $V$  – объём,  $T$  – абсолютная температура,  $Q$  – количество теплоты.)

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

## ПРОЦЕССЫ

- А) Изохорный процесс при  $N = const$   
 Б) Изотермический процесс при  $N = const$

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{p}{T} = const$   
 2)  $\frac{V}{T} = const$   
 3)  $pV = const$   
 4)  $Q = 0$

Ответ:

А	Б
1	3



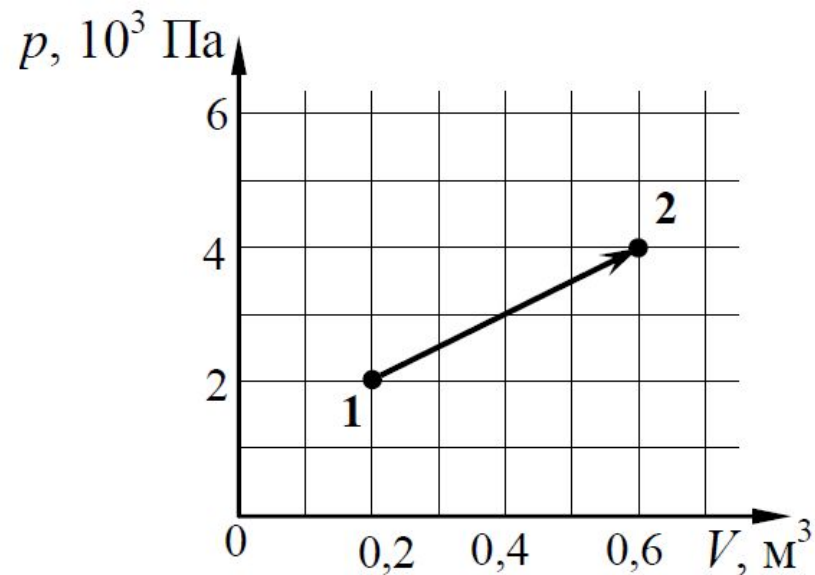
Во время опыта абсолютная температура воздуха в сосуде под поршнем повысилась в 2 раза, и он перешёл из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Поршень прилегал к стенкам сосуда неплотно, и сквозь зазор между ним мог просачиваться

воздух. Рассчитайте отношение  $\frac{N_2}{N_1}$

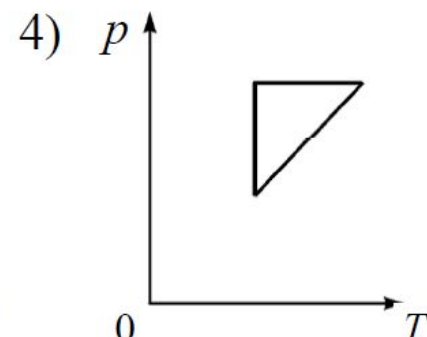
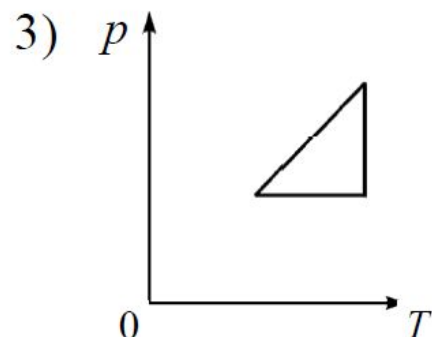
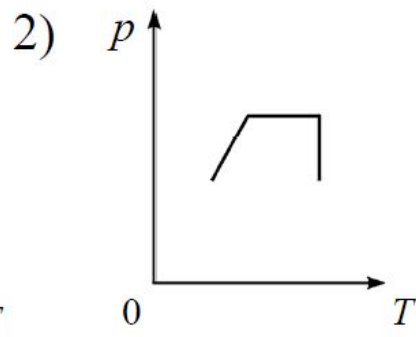
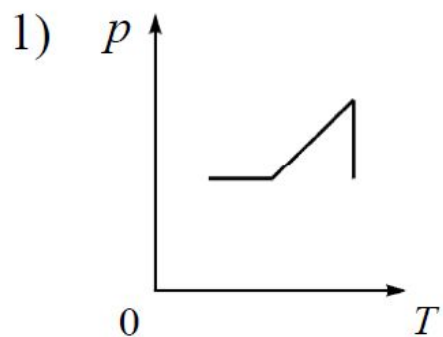
числа молекул газа в сосуде в конце и начале опыта. Воздух считать идеальным газом.

Ответ: \_\_\_\_\_.

**3**



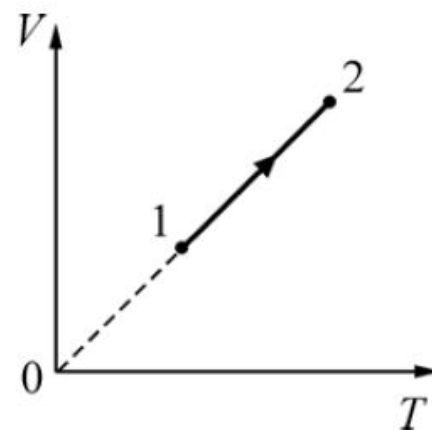
Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях  $p$ – $T$  соответствует этим изменениям состояния газа?



Ответ:

1

На графике зависимости объёма  $V$  от абсолютной температуры  $T$  изображён процесс перехода идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Известно, что масса газа в этом процессе не изменялась. Как изменились при этом переходе плотность и давление газа?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась;
- 2) уменьшилась;
- 3) не изменилась.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

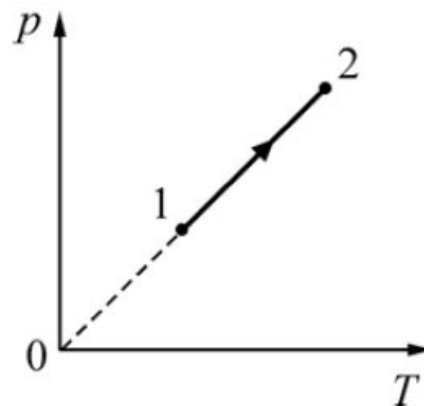
- А) плотность газа
- Б) давление газа

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Ответ:

А	Б
2	3

На графике зависимости давления  $p$  от абсолютной температуры  $T$  изображён процесс перехода идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Известно, что масса газа в этом процессе не изменялась. Как изменились при этом переходе объём газа и его плотность?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась;
- 2) уменьшилась;
- 3) не изменилась.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) объём газа
- Б) плотность газа

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

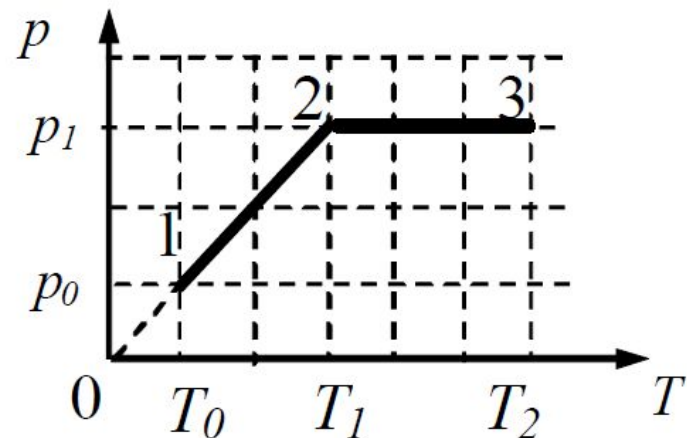
- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Ответ:

А	Б
3	3



В горизонтальном сосуде, закрытом поршнем, находится разреженный газ. Максимальная сила трения между поршнем и стенками сосуда составляет  $F_{\text{тр.макс}}$ , а площадь поршня равна  $S$ . На  $pT$ -диаграмме показано, как изменялись давление и температура разреженного газа в процессе его нагревания. Как изменялся объём газа (увеличивался, уменьшался или же оставался неизменным) на участках 1-2 и 2-3? Объясните причины такого изменения объёма газа в процессе его нагревания, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



### Образец возможного решения

1) На участке 1–2 процесс изохорный, объём газа под поршнем остаётся постоянным. Поршень остаётся в покое, пока сила трения покоя не достигнет максимального значения  $F_{\text{тр. макс}}$ .

2) На участке 2-3 процесс изобарный. Поршень начинает двигаться при условии, что сила давления со стороны газа становится больше, чем сумма силы трения и силы давления на поршень со стороны атмосферы:

$p_1 S \geq F_{\text{тр. макс}} + p_{\text{атм}} S$ . По закону Гей-Люссака при увеличении температуры объём увеличивается.



### 30 СГ 211215В3

Гелий в количестве  $\nu = 1/20$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 280$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $v_1 = 1400$  м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 150$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $v_2 = 1200$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  при этом сдвинулся поршень?

### 30 СГ 211215В4

Гелий в количестве  $\nu = 0,1$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 200$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $v_1 = 1100$  м/с. Затем гелий стали нагревать, а поршень удерживать в равновесии, медленно сдвигая его и постепенно увеличивая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 300$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $v_2 = 1500$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  от исходного положения при этом сдвинулся поршень?

## Возможное решение

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через  $V_1 = S \cdot l_1$ , а давление – через  $p_1 = \frac{F_1}{S}$ , где площадь поршня равна  $S$ , а длина столба газа равна  $l_1$ .

Тогда, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $p_1 V_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$ .

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре  $T_1$  равна  $v_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$ , где  $\mu$  – молярная масса гелия. Отсюда  $T_1 = \frac{\mu v_1^2}{3R}$ .

Из написанных соотношений получаем:  $l_1 = \frac{\nu \mu v_1^2}{3F_1}$ .

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса  $l_2 = \frac{\nu \mu v_2^2}{3F_2}$ .

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,05 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left( \frac{1200^2}{150} - \frac{1400^2}{280} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$$

*Ответ:*  $\Delta l = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$



## Возможное решение

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через  $V_1 = S \cdot l_1$ , а давление – через  $p_1 = \frac{F_1}{S}$ , где площадь поршня равна  $S$ , а длина столба газа равна  $l_1$ .

Тогда, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $p_1 V_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$ .

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре  $T_1$  равна  $v_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$ , где  $\mu$  – молярная масса гелия. Отсюда  $T_1 = \frac{\mu v_1^2}{3R}$ .

Из написанных соотношений получаем:  $l_1 = \frac{\nu \mu v_1^2}{3F_1}$ .

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса  $l_2 = \frac{\nu \mu v_2^2}{3F_2}$ .

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left( \frac{1500^2}{300} - \frac{1100^2}{200} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$$

*Ответ:*  $\Delta l = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$