

уравнение  
состояния  
идеального  
газа

**ИЗОПРОЦЕССЫ**

Газовые законы

**Вопросы:**  
**Как называется модель на которой рассматривают состояние газообразных тел**

**(идеальный газ)**

**Какими параметрами характеризуется состояние идеального газа**

**(давление, объём, температура)**

- Как называются эти параметры  
(макроскопические)
- Как термодинамический параметр давление связан с микроскопическими параметрами?  
(основное уравнение МКТ)
- Как объём связан с микроскопическими параметрами?  
(объём обратно пропорционален концентрации)

# Проверьте знание формул!

$$U = \frac{3}{2} NkT$$

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$

$$\overline{E_k} = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$$

$$v_T = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

1. Число частиц в любом теле

2. Зависимость внутренней энергии идеального газа от температуры

3. Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной частицы

4. Тепловая скорость движения молекулы

5. Средняя кинетическая энергия молекулы с массой  $m_0$

- **Температуру, объем, давление и некоторые другие параметры принято называть параметрами состояния газа . Выведем уравнение, устанавливающее зависимость между этими параметрами.**

$$p = nkT \quad n = \frac{N}{V}$$

$$p = \frac{N}{V} kT$$

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

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

Уравнение состояния идеального газа –  
уравнение Клапейрона.

# *Уравнение состояния вещества*

Уравнение, выражающее связь между макроскопическими параметрами состояния вещества ( $p$ ,  $V$  и  $T$ ), называется уравнением состояния этого вещества.



## Клапейрон Бенуа Поль Эмиль



- (26.I.1799–28.I.1864)
- Французский физик, член Парижской АН (1858). Окончил Политехническую школу в Париже (1818). В 1820–30 работал в Петербурге в институте инженеров путей сообщения.



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

$$N = \frac{m N_A}{M}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{m}{m_0} \\ m_0 = \frac{M}{N_A} \end{array} \right.$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

$$R = N_A \cdot k = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$R$  – универсальная газовая постоянная

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

Уравнение состояния идеального газа –  
уравнение Менделеева-Клапейрона.

# Менделеев Дмитрий Иванович



- (8.II.1834–2.II.1907)
- Русский ученый-энциклопедист.. В 1874 вывел общее уравнение состояния идеального газа, обобщив уравнение Клапейрона(уравнение Клапейрона-Менделеева).

**Уравнение состояния** - первое из замечательных обобщений в физике, с помощью которых свойства разных веществ выражаются через одни и те же основные величины. Именно к этому стремиться физика - к нахождению общих законов, не зависящих от тех или иных веществ. Газы, существенно простые по своей природе, дали первый пример такого обобщения.

# Уравнение состояния идеального газа



$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

# Универсальная газовая постоянная - R

$$\blacktriangleright N_A k = R$$

$$R = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$$


# Уравнение Менделеева-Клапейрона 1874



$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

# Закон Авогадро 1811



 При одинаковых температурах и давлениях в равных объемах любых идеальных газов содержится одинаковое число молекул.

$$p = \frac{N}{V} kT$$
$$N = \frac{pV}{kT}$$

# Закон Дальтона

## 1801



Давление смеси химически не взаимодействующих идеальных газов равно сумме парциальных давлений этих газов.

$$\rightarrow p = p_1 + \dots + p_n$$

Парциальным называют давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре.



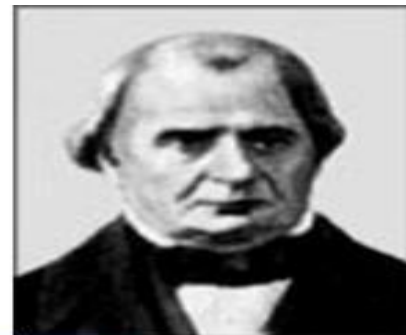
# Объединенный газовый закон 1824



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

Отношение произведения давления и объема идеального газа к его абсолютной температуре есть величина постоянная для данной массы данного газа.

## Уравнение Клапейрона 1834



$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}$$

$p_0, V_0, T_0$  – параметры начального состояния газа,  
 $p, V, T$  - параметры конечного состояния газа

## Обратите внимание:

- Уравнение Менделеева - Клапейрона связывает между собой 5 физических величин, характеризующих состояние газа, -  $p$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $m$ ,  $M$  - и позволяет по заданным четырем найти пятую величину.
- Уравнение Менделеева - Клапейрона и все его следствия с большой точностью можно применить к газам, находящимся в условиях, близких к нормальным ( $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$ ), а также к разреженным газам.
- Если плотность газа велика, а следовательно, взаимодействием молекул пренебречь нельзя, то модель идеального газа оказывается непригодной.
- Проверьте, все ли величины выражены в СИ:  
( $1\text{ л} = 10^{-3}\text{ м}^3$ ;  $1\text{ мм рт. ст.} = 133\text{ Па}$ ;  
 $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ К}$ ; нормальное атмосферное давление:  
 $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$ ).



**Процесс изменения состояния  
идеального газа при неизменном  
значении одного из  
макроскопических параметров -  
изопроцесс**

# Изо – (постоянный)

Изохорный

изопроеессы

Изобарный

Изотермический

С помощью уравнения состояния можно исследовать процессы, в которых масса газа постоянна:  $m = \text{const}$

Количественные зависимости между двумя параметрами газа при неизменном значении третьего параметра называют газовыми законами.

Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров:  $p, V, T$  - называют изопроцессами.



# ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

$$T = \text{const}$$

Процесс изменения состояния идеального газа при постоянной температуре

$$m = \text{const}$$

$$T = \text{const}$$

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



$$pV = \text{const}$$

закон

**Бойля -  
Мариотта**

**К этому выводу пришёл английский учёный Роберт Бойль в 1662 г. и французский физик Э.Мариотт в 1676г.**





## **Закон Бойля -Мариотта**

**Для газа данной массы  
произведение давления газа на  
его объём постоянно, если  
температура газа не меняется**

# ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Процесс изменения состояния газа при постоянной температуре называют **ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ**

$$\left. \frac{pV}{T} = \text{const} \right\} \text{ при } T = \text{const} \quad pV = \text{const}$$

Закон Бойля – Мариотта: для газа данной массы произведение давления на объем постоянно, если температура не меняется

Пример: медленное расширение (сжатие) воздуха под поршнем в сосуде



$$p_1 V_1$$



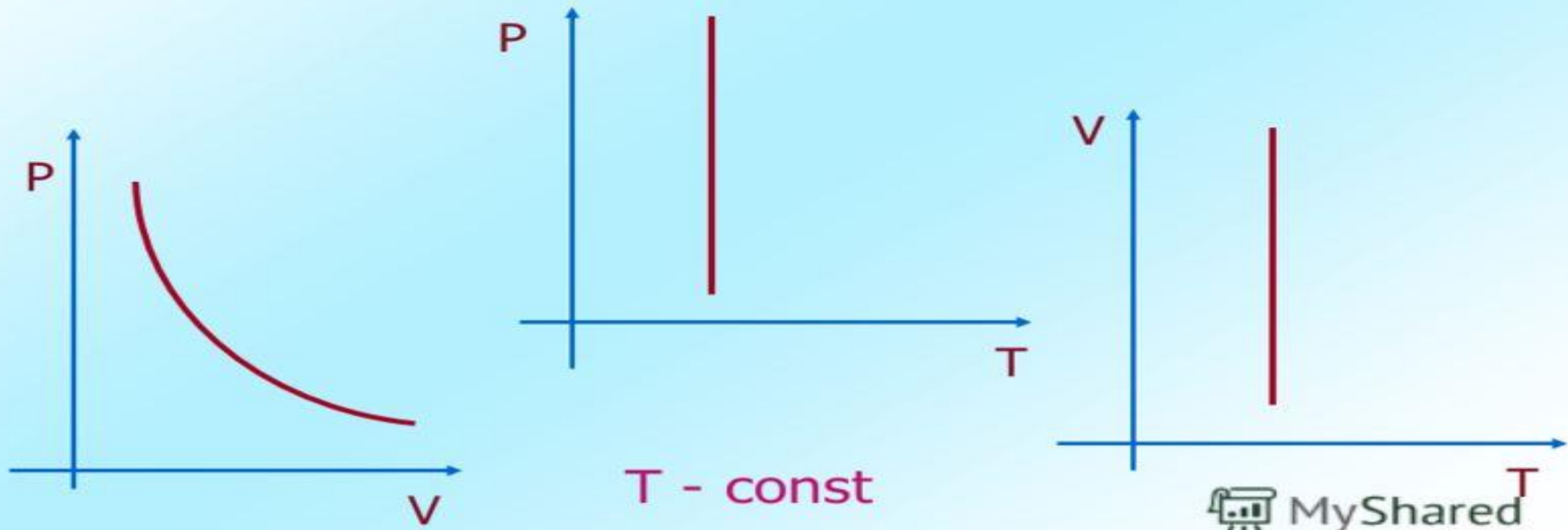
# График изотермического процесса

$$T = \text{const}, \quad pV = \text{const}$$

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

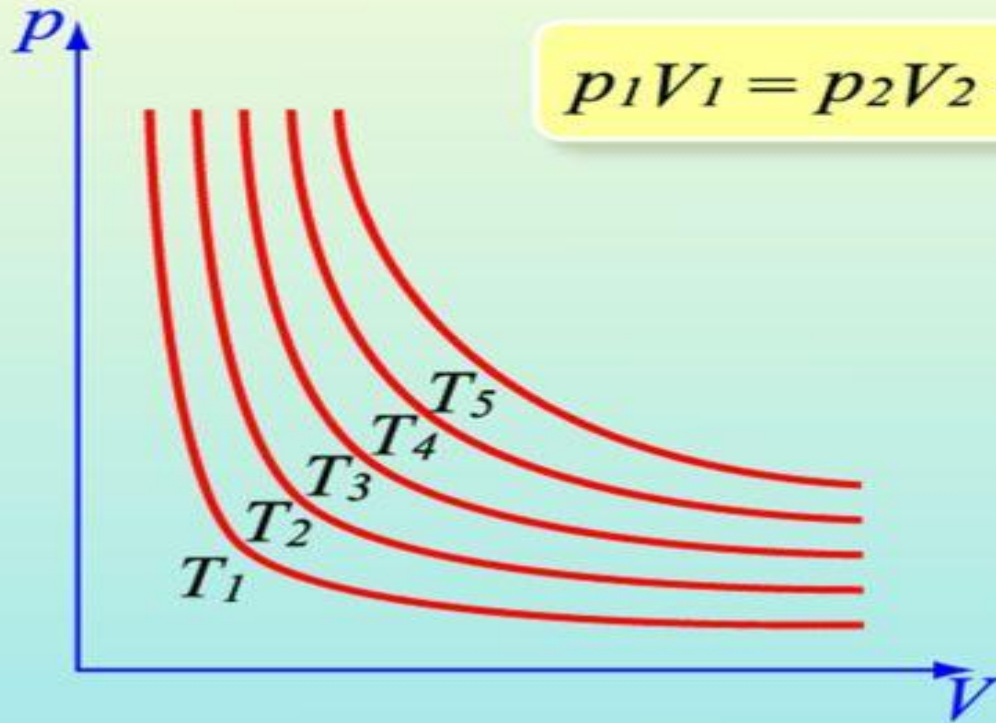


# Графики изотермического процесса в разных координатных осях



## Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс)

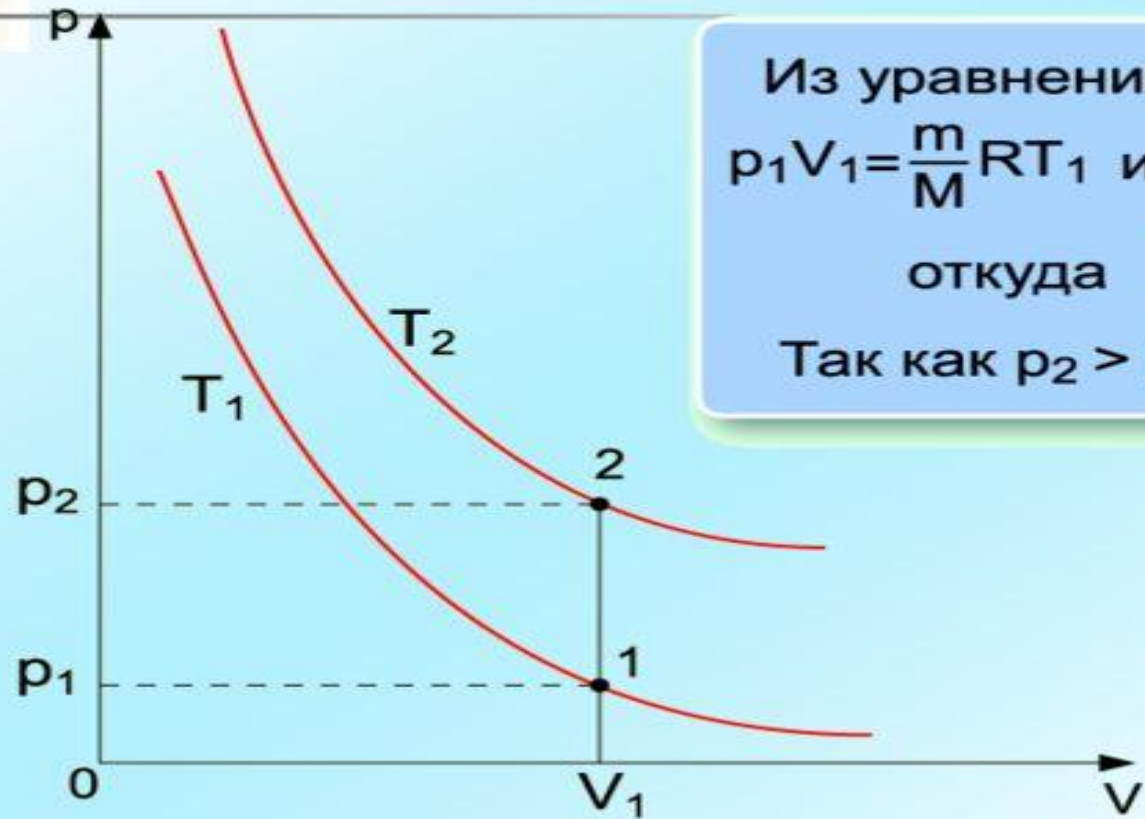
$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3$$



$$pV = \text{const},$$
$$npu T = \text{const},$$
$$m = \text{const}$$

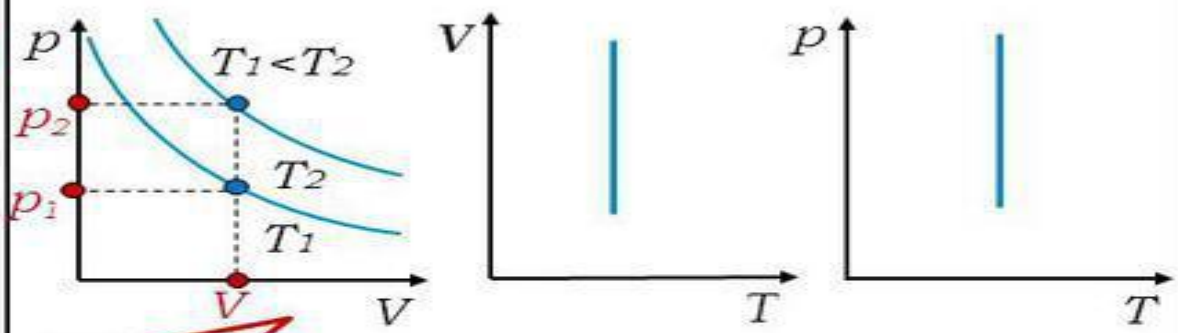
$$T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

# Изотермический процесс на графике при разных температурах



Из уравнения состояния  
 $p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1$  и  $p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2$ ,  
откуда  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$   
Так как  $p_2 > p_1$ , то  $T_2 > T_1$

## ИЗОПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ

процесс <i>m = const</i>	закон	графики	термо- динамика
изотерми- ческий  <b><i>T = const</i></b>	Бойля - Мариотта  <b><i>p<sub>1</sub>V<sub>1</sub> = p<sub>2</sub>V<sub>2</sub></i></b>	<b>изотермы</b>  	

**ВАЖНО:** из двух изотерм в координатах  $pV$  выше расположена та, на которой температура больше. Из графиков видно, что при фиксированном значении  $V$   $p_1 < p_2$ , что возможно лишь при  $T_1 < T_2$

# ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

$$p = \text{const}$$

Процесс изменения состояния идеального газа при постоянном давлении

$$m = \text{const}$$

$$p = \text{const}$$

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



$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

закон

**Гей - Люссака**



## Изобарный процесс

Из уравнения  
Клапейрона – Менделеева следует:

$$\frac{V}{T} = \text{const} = \frac{mR}{Mp}$$

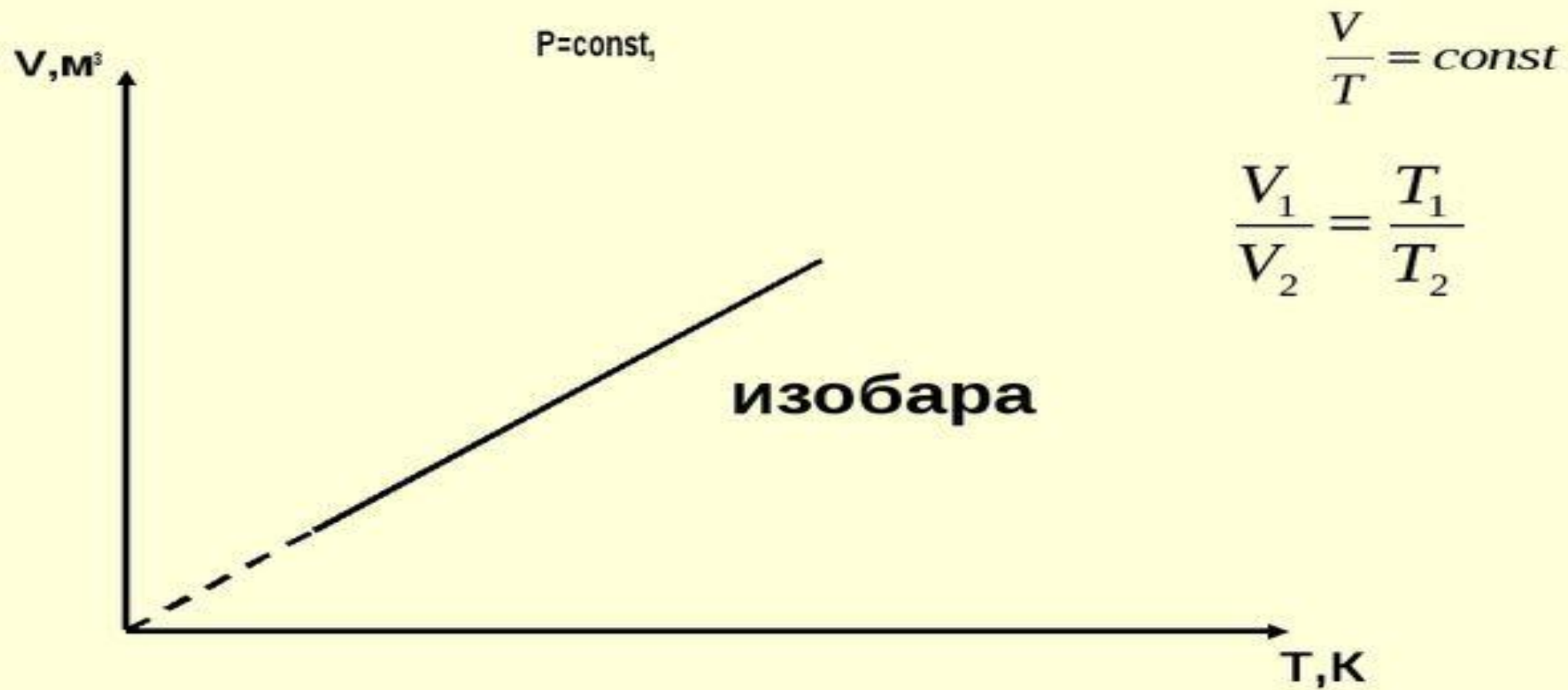
**Этот закон экспериментально был  
открыт в 1802г. Французским  
учёным  
Гей-Люссаком**



## **Закон Гей-Люссака**

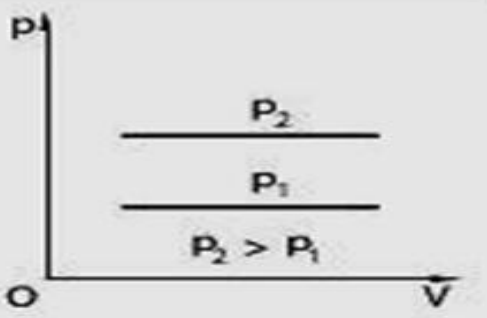
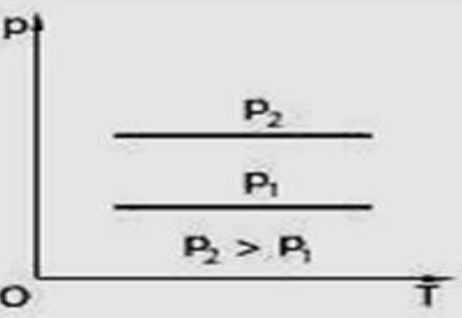
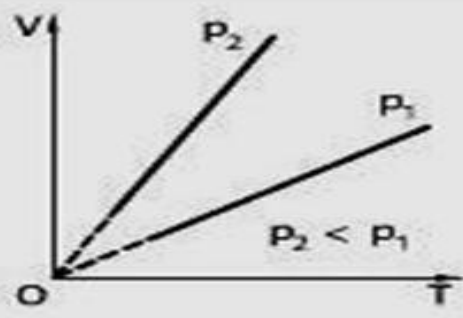
**Для газа данной массы отношение объёма к температуре постоянно, если давление не меняется.**

# График изобарного процесса



# Изобара –

график изменения макроскопических параметров газа при изобарном процессе.

Процессы	Система координат		
	$p - V$	$p - T$	$V - T$
Изобарный $p = \text{const}$			

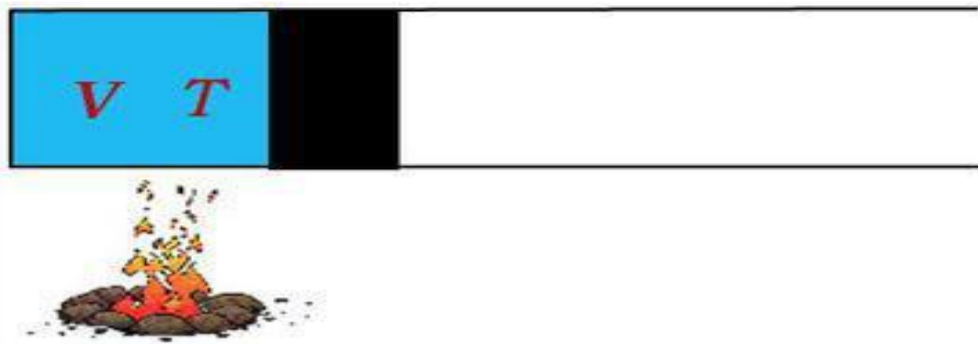
# ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

Процесс изменения состояния газа при постоянном давлении называют **ИЗОБАРНЫМ**

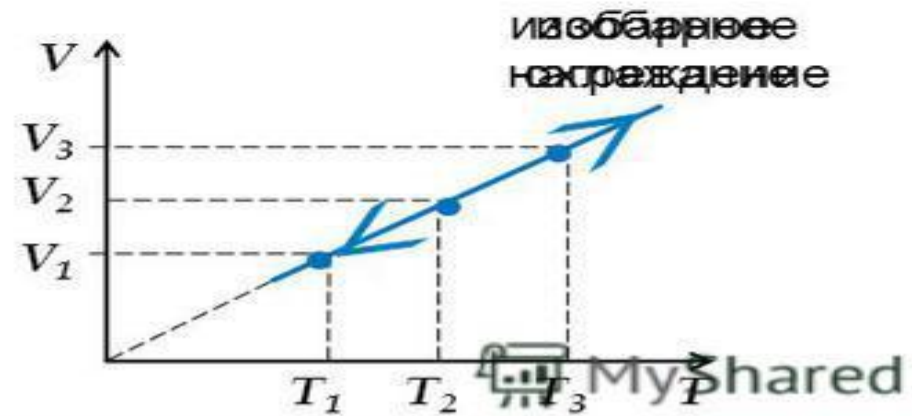
$$\left. \frac{pV}{T} = \text{const} \right\} \text{ при } p = \text{const} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

Закон Гей-Люссака: для газа данной массы отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется

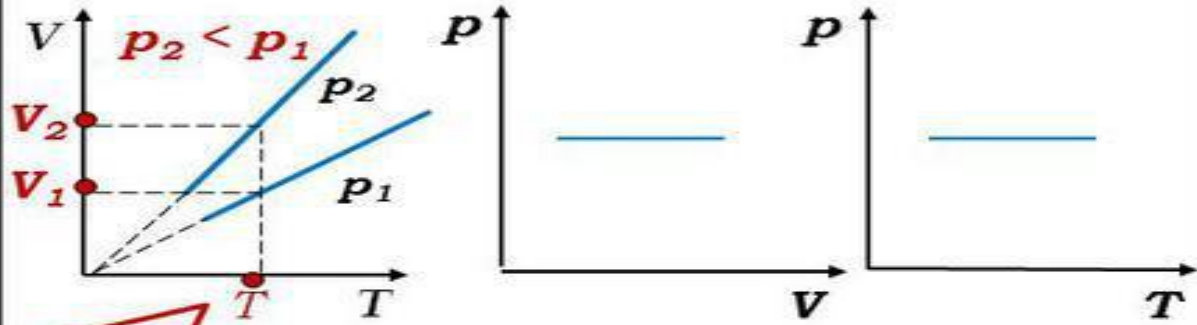
Пример: расширение газа при нагревании в сосуде с подвижным поршнем при  $p_{\text{атм}} = \text{const}$



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



# ИЗОПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ

процесс $m = const$	закон	графики	термо- динамика
изобарный $p = const$	Гей - Люссака  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	<b>изобары</b>  	

**ВАЖНО:** из двух изобар в координатах  $VT$  выше расположена та, на которой давление меньше.

Из графиков видно, что при фиксированном значении  $T$   $V_1 < V_2$ , что возможно лишь при  $p_1 > p_2$

# ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

$$V = \text{const}$$

Процесс изменения состояния идеального газа при постоянном объёме

$$m = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$

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



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

**закон**

**Шарля**



## Изохорный процесс

Из уравнения  
Клапейрона – Менделеева следует:

$$\frac{p}{T} = \text{const} = \frac{mR}{MV}$$

**Эту зависимость  
экспериментально установил в  
1787г.**

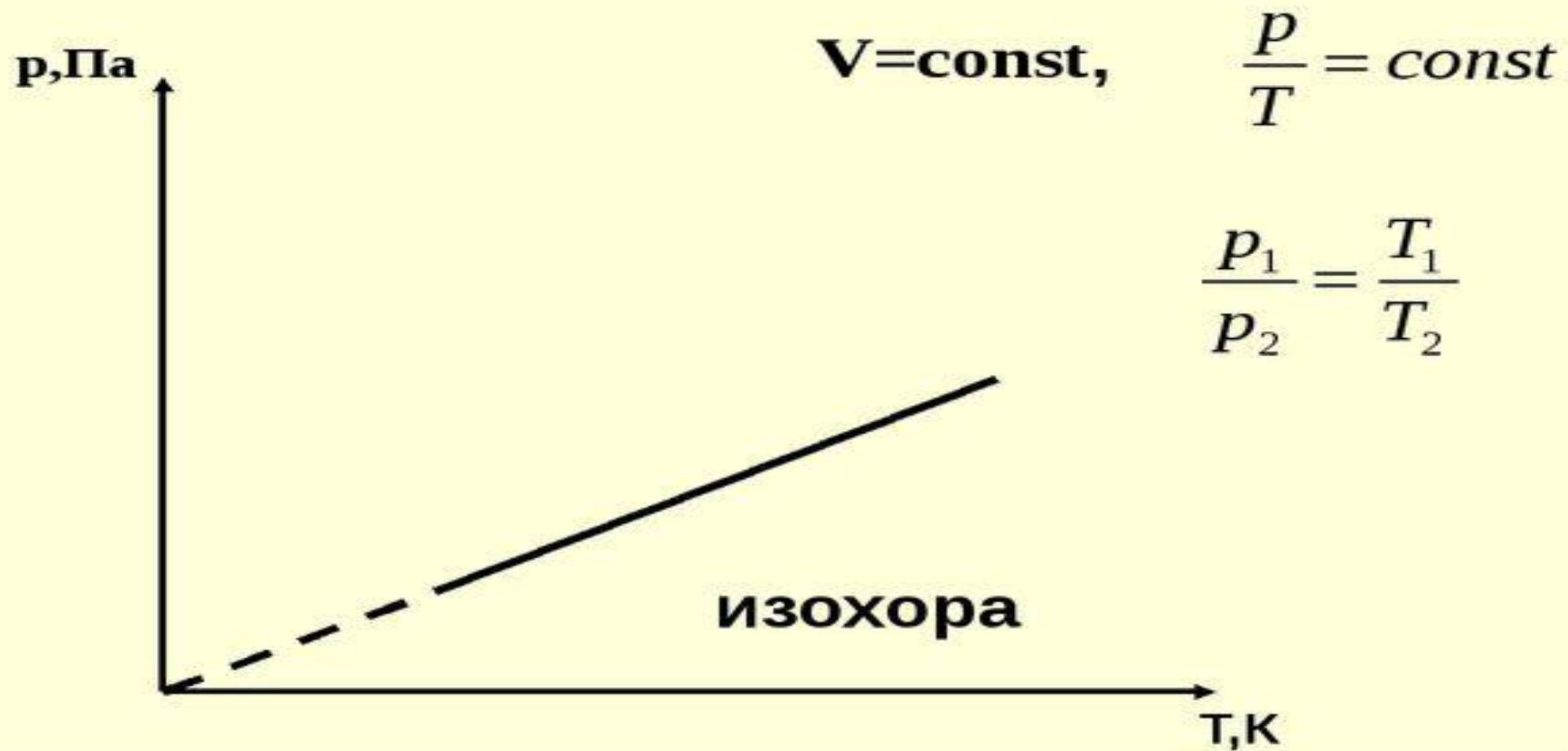
**французский физик Шарль**



## **Закон Шарля**

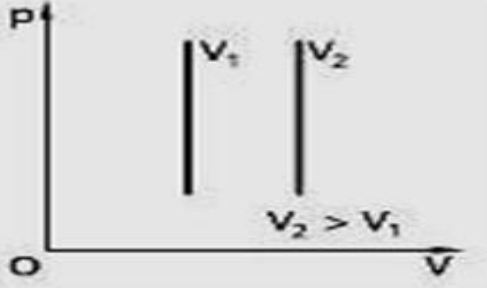
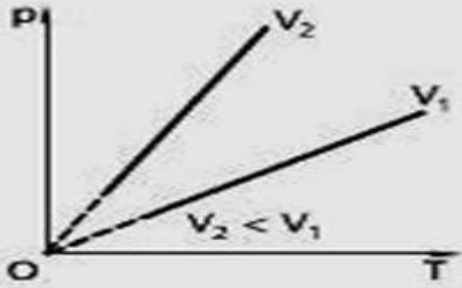
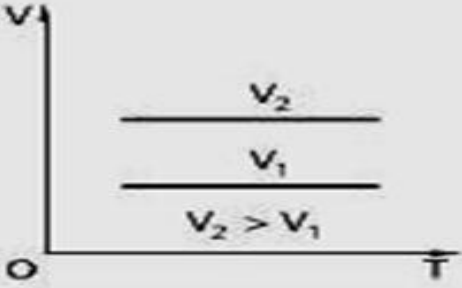
**Для данной массы газа  
отношение давления к  
температуре постоянно, если  
объём не меняется**

# График изохорного процесса



# Изохора –

график изменения макроскопических параметров газа при изохорном процессе.

Процессы	Система координат		
	$p - V$	$p - T$	$V - T$
Изохорный $V = \text{const}$			

# ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

Процесс изменения состояния газа при постоянном объеме называют **ИЗОХОРНЫМ**

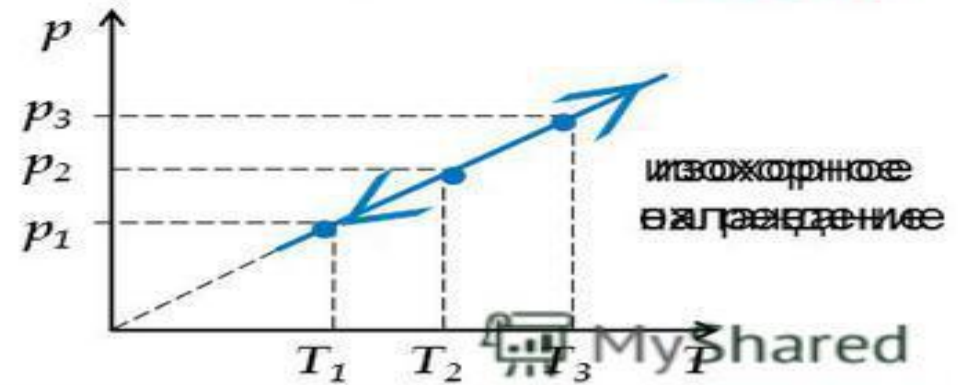
$$\left. \frac{pV}{T} = const \right\} \text{ при } V = const \quad \frac{p}{T} = const$$

Закон Шарля: для газа данной массы отношение давления к температуре постоянно, если объем газа не меняется



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

Пример: нагревание газа в лампочке накаливания при ее включении  $V = const$



## ИЗОПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ

процесс $m = const$	закон	графики	термо- динамика
изохорный $V = const$	Шарля $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	<p style="text-align: center;"><b>Изохоры</b></p>	

**ВАЖНО:** из двух изохор в координатах  $pT$  выше расположена та, на которой объем меньше.

Из графиков видно, что при фиксированном значении  $T$   $p_1 < p_2$ , что возможно лишь при  $V_2 < V_1$ .

**Эти законы справедливы для  
любых газов, а так же для смесей  
газов(например воздуха)**



## Задачи:

1. Почему баллон с любым сжатым газом представляет большую опасность при пожаре?
2. В двух сосудах одинакового объема при одинаковых температуре и давлении находится водород и азот. Масса какого из газов больше и во сколько раз?
3. Иногда из бутылки, наполненной газированной водой, вылетает пробка, если бутылка поставлена в теплое место. Почему?

## **Задачи:**

- 4. Какой объём будет занимать газ при температуре  $77^{\circ}\text{C}$ , если при  $27^{\circ}\text{C}$  его объём равен  $0,006\text{ м}^3$ , при постоянном давлении.**

$V_1$ -?

«СИ»

$t_1 = 77^\circ \text{C}$

$T_1 = 77 + 273 = 350 \text{K}$

$t_2 = 27^\circ \text{C}$

$T_2 = 300 \text{K}$

$V_2 = 0,006 \text{m}^3$

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

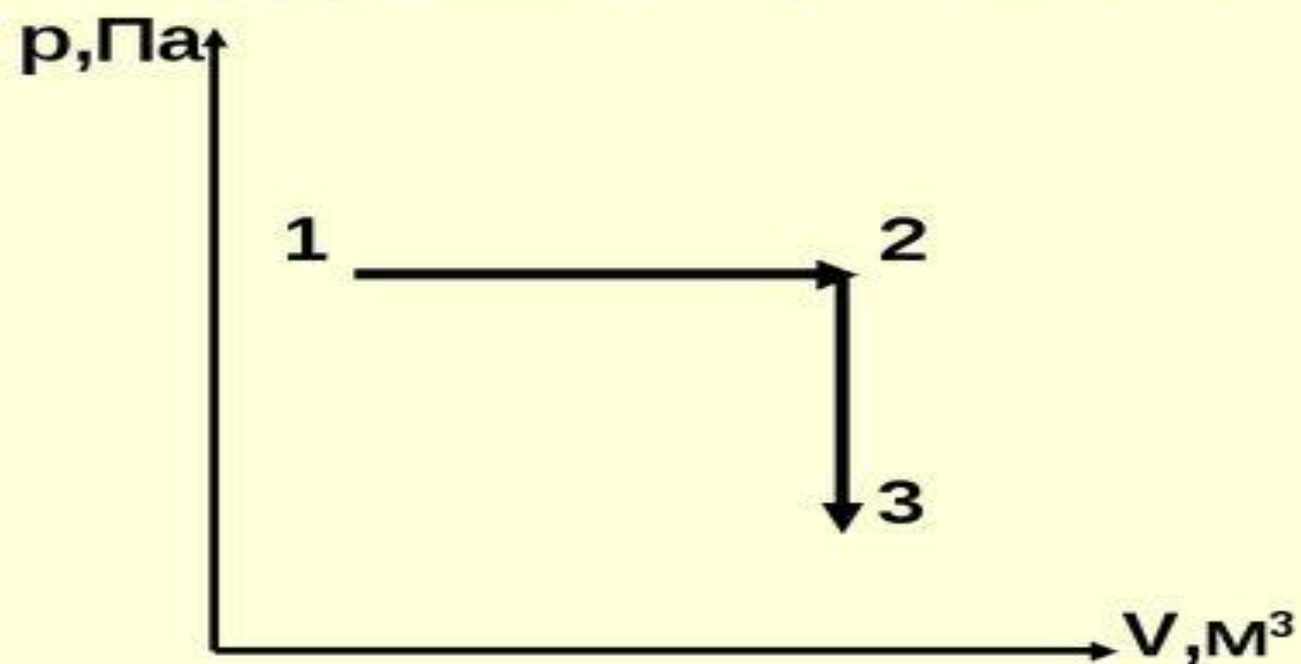
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

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

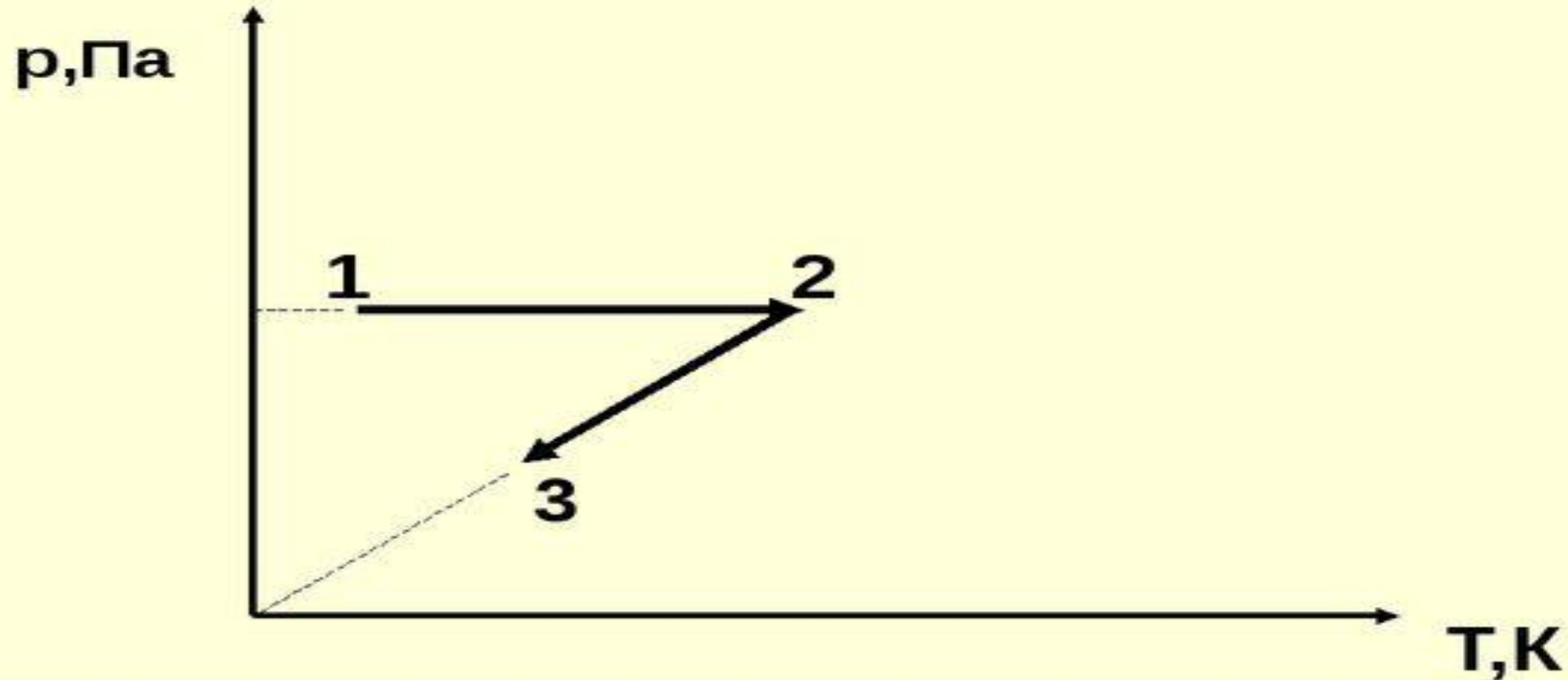
$$V_1 = \frac{0,006 \cdot 350}{300} = 0,007 (\text{m}^3)$$

Ответ: 0,007 м<sup>3</sup>.

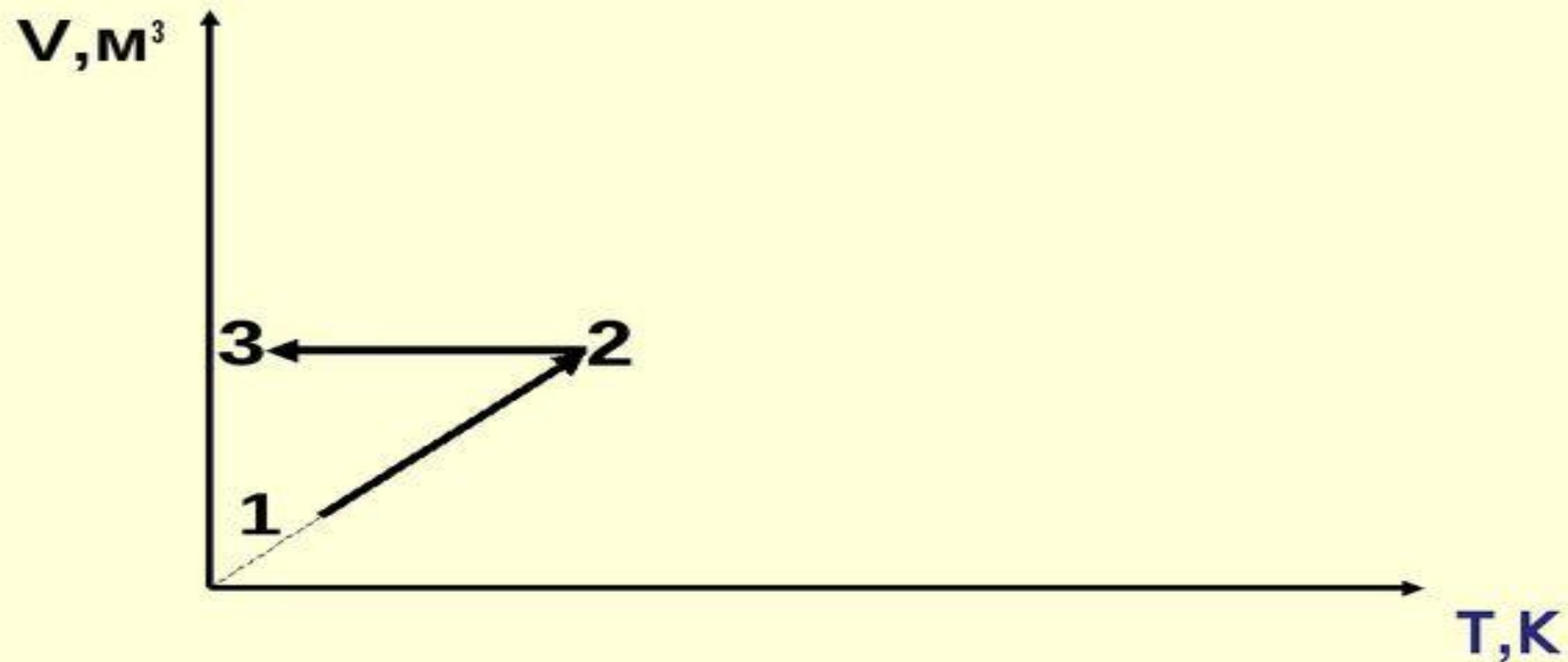
**6. Какие процессы изображены на графике. Представьте эти процессы в координатах  $p$ - $T$  и  $V$ - $T$**



На участке 1-2 график изобарного процесса ( $p=\text{const}$ ), на 2-3 график изохорного процесса ( $V=\text{const}$ )



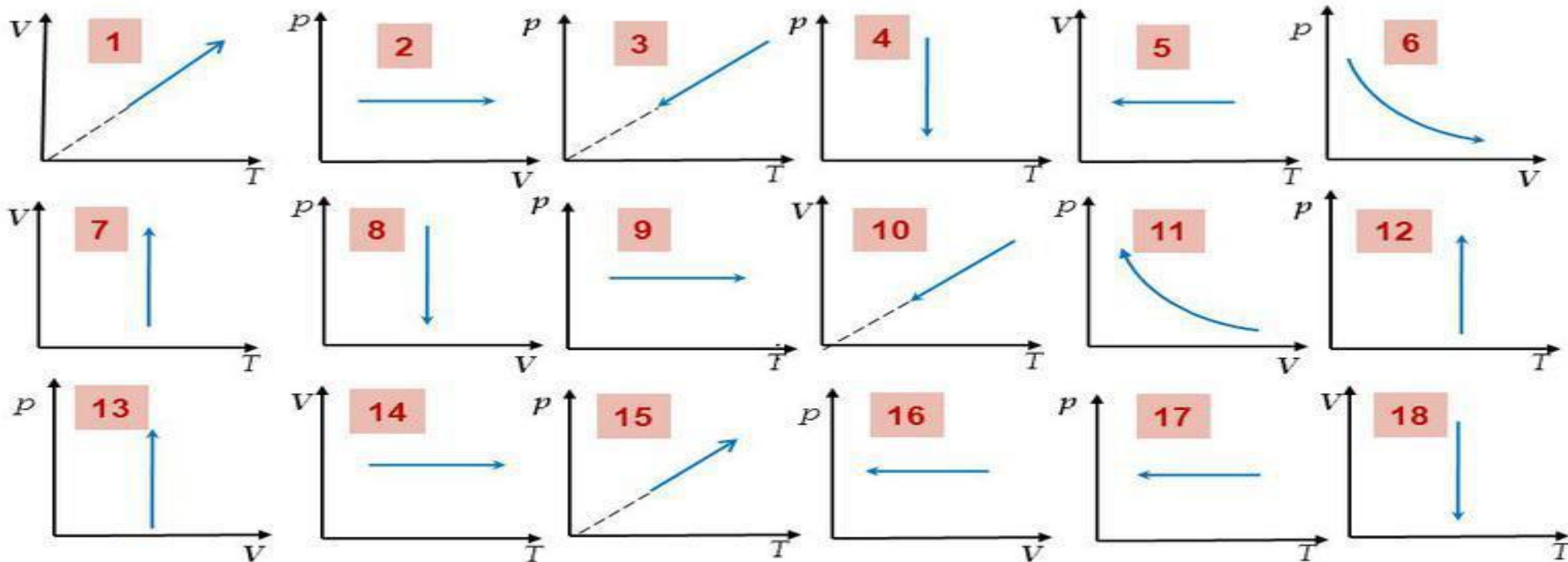
(Т.К. 1-2 –  $p=\text{const}$ , а  
2-3 –  $V=\text{const}$ )



# Изопроцессы

- $T - \text{const}$  - изотермический
- $P - \text{const}$  - изобарный
- $V - \text{const}$  - изохорный

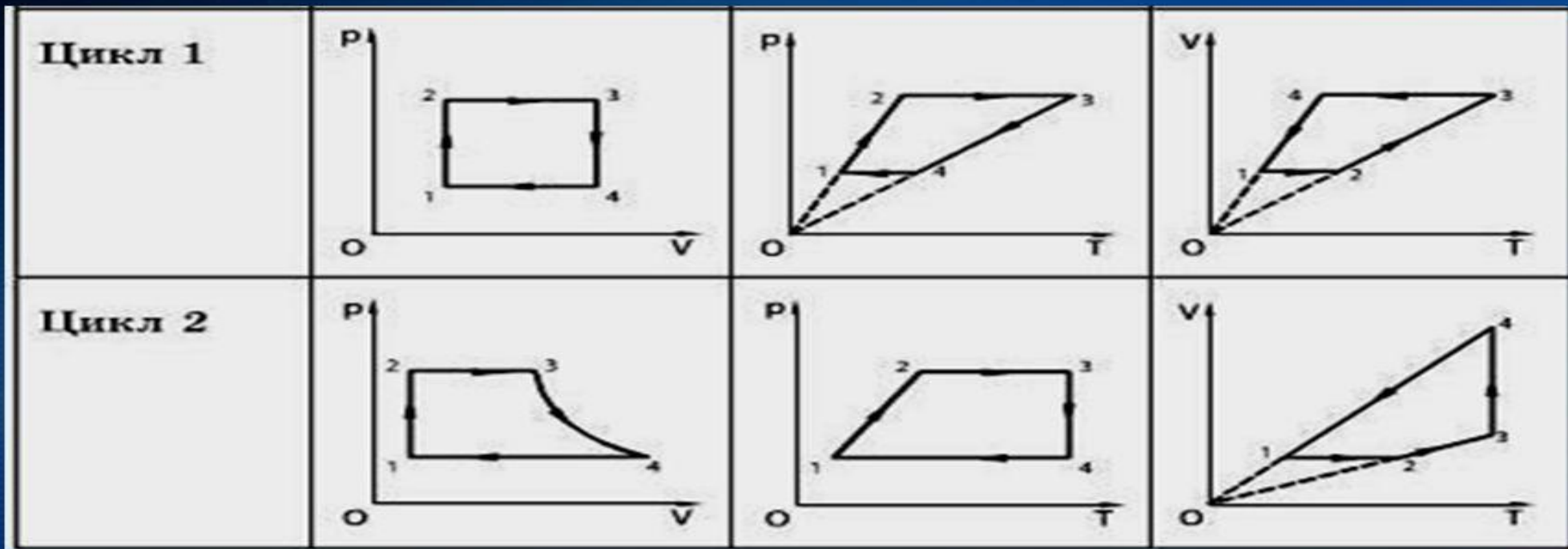
Расположите номера процессов в соответствующие колонки таблицы



изохорное		изотермическое		изобарное	
нагревание	охлаждение	расширение	сжатие	нагревание	охлаждение
13, 14, 15	3, 5, 8	4, 6, 7	11, 12, 18	1, 2, 9	10, 16, 17



# Циклы.





Спасибо за урок



# ТЕСТ

## на знание понятий по теме: "ИЗОПРОЦЕССЫ"

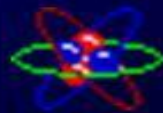


 **Начало**

# Вопрос № 1



Какое состояние газа, является стационарным равновесным состоянием?



- состояние, в котором число молекул в заданном интервале скоростей периодически изменяется.



- состояние, в котором число молекул в заданном интервале скоростей остаётся постоянным.

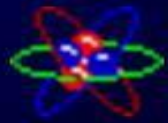


- состояние, в котором число молекул в заданном интервале скоростей изменяется хаотически.

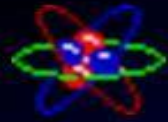
# Вопрос № 2



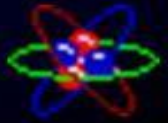
Какая формула является уравнением идеального газа?



$$pV = \frac{m}{M} RT$$



$$mV = \frac{p}{M} RT$$

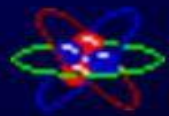


$$pV = \frac{M}{m} RT$$

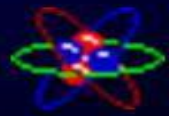
# Вопрос № 3



**Какие процессы изменения состояния идеального газа называют изопроцессами?**



- процесс, при котором все макроскопические параметры состояния данной массы газа изменяются.



- процесс, при котором любой макроскопический параметр состояния данной массы газа изменяется.



- процесс, при котором один из макроскопических параметров состояния данной массы газа остаётся постоянным.

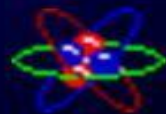
# Вопрос № 4



Какой процесс называется изотермическим?



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении.

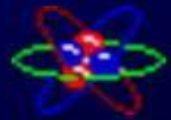


- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме.

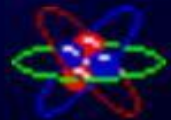
# Вопрос № 5



Какой процесс называется изохорным?



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении.



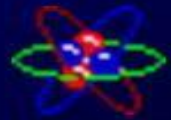
- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме.



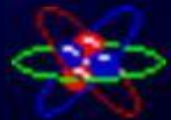
# Вопрос № 6



Какой процесс называется изобарным?



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме.

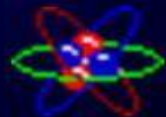
# Вопрос № 7



## Что называется температурой тела?



- мера средней потенциальной энергии хаотического поступательного движения его молекул.



- мера средней кинетической энергии хаотического поступательного движения его молекул.

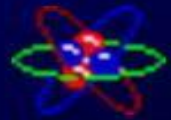


- мера средней внутренней энергии хаотического поступательного движения молекул.

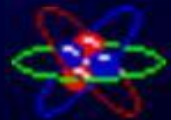
# Вопрос № 8



## Абсолютный нуль температуры (0К)?



- температура, при которой должно прекратиться движение молекул .



- температура, при которой начинает замерзать вода.

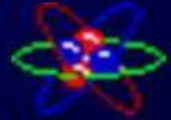


- температура, при которой вода закипает.

# Вопрос № 9



## Формулировка закона Дальтона?



- давление смеси идеальных газов равно произведению парциальных давлений входящих в неё газов.



- давление смеси реальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в неё газов.

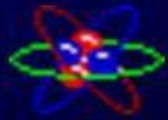


- давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в неё газов.

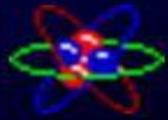
# Вопрос № 10



Как изменится давление идеального газа при увеличении температуры и объёма газа в 4 раза?



- увеличится в 4 раза.



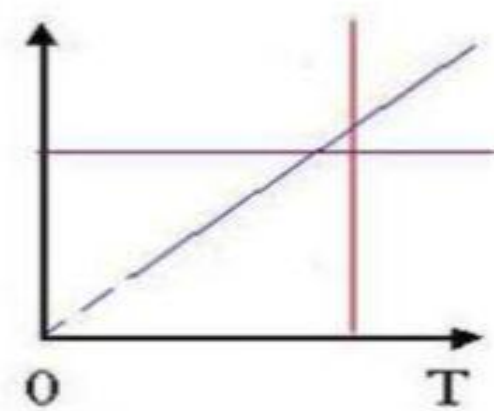
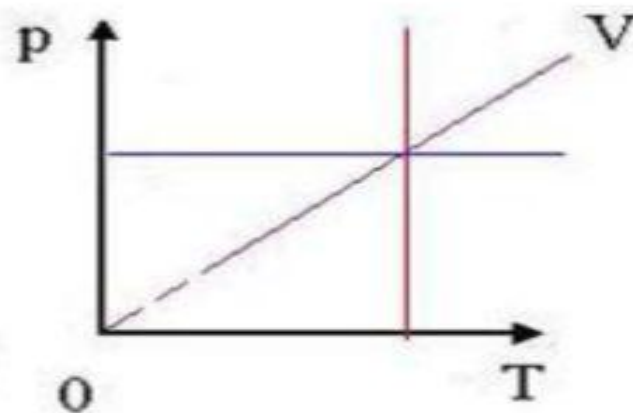
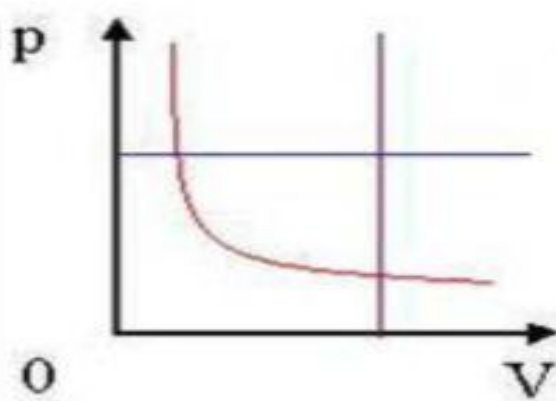
- уменьшится в 4 раза.



- не изменится.

**Газовые законы.  
Решение задач  
графическим  
способом**

Как изображаются на диаграммах  
изотерма, изобара и изохора в  
координатах  $PV$ ,  $PT$ ,  $VT$ .



$V = \text{const}$

$T = \text{const}$

$P = \text{const}$

№	Вопрос	ответ
1	Как называют процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров?	
2	Какими тремя макроскопическими параметрами характеризуется состояние данной массы газа?	
3	Какой процесс называют изотермическим?	
4	Какой процесс называют изобарным?	
5	Какой процесс называют изохорным?	



№	Вопрос	ответ
1	Как называют процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров?	Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров, называют изопроцессами.
2	Какими тремя макроскопическими параметрами характеризуется состояние данной массы газа?	Это давление, объём и температура.
3	Какой процесс называют изотермическим?	Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре называют изотермическим.
4	Какой процесс называют изобарным?	Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном давлении называют изобарным.
5	Какой процесс называют изохорным?	Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном объеме называют изохорным.

## Ответы на вопросы

№	Вопрос	
6	Как называют количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего параметра?	
7	Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.	
8	Сформулируйте закон Шарля.	
9	Сформулируйте закон Гей-Люссака.	



## Ответы на вопросы

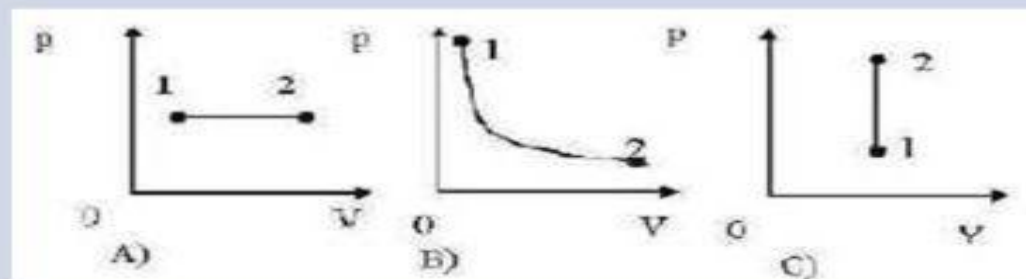
№	Вопрос	ответ
6	Как называют количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего параметра?	Такие количественные зависимости называют <b>ы</b>
7	Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.	Для газа данной массы произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется.
8	Сформулируйте закон Шарля.	Для газа данной массы отношение давления к температуре постоянно, если объем не меняется..
9	Сформулируйте закон Гей-Люссака.	Для газа данной массы отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется.

## Решение задач

1. Для газа данной массы произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется.

- А. Это закон: Шарля,
- В. Гей-Люссака,
- С. Бойля-Мариотта.

2. Какой из приведенных ниже графиков соответствует изобарному расширению?



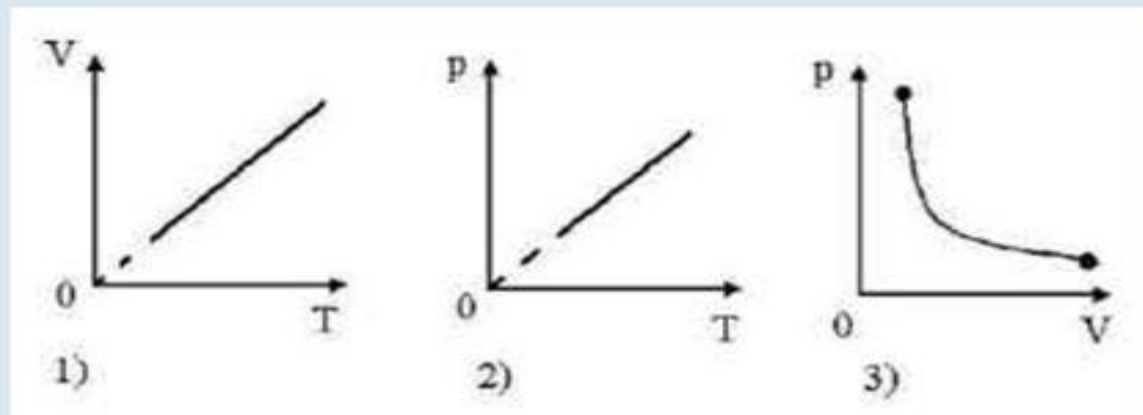
## Решение задач

3. Какие три процесса представлены на диаграммах рисунка?

А.Изохорный, изотермический, изобарный.

В.Изобарный, изохорный, изотермический.

С.Изохорный, изобарный, изотермический.



## Решение задач

4. Какое значение температуры по шкале Кельвина соответствует температуре  $100^{\circ}\text{C}$ ?

- A.  $273\text{ К}$ ,
- B.  $373\text{ К}$ ,
- C.  $473\text{ К}$ .

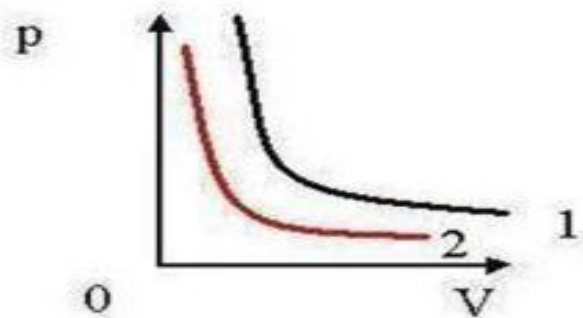
5. В сосуде объемом  $8,3\text{ м}^3$  находится  $0,04\text{ кг}$  гелия при температуре  $127^{\circ}\text{C}$ . Определить его давление.

- A.  $4 \cdot 10^3\text{ Па}$ ,
- B.  $8 \cdot 10^3\text{ Па}$ ,
- C.  $16 \cdot 10^3\text{ Па}$ .

# Изотермический процесс

## изотермический процесс

Рассмотрим два изотермических процесса с постоянными температурами  $T_1$  и  $T_2$



$T = \text{const}$

$$T_1; p_1 V_1 = b_1 \quad b_1 = \frac{m}{M} RT_1$$

$$T_2; p_2 V_2 = b_2 \quad b_2 = \frac{m}{M} RT_2$$

т.к.  $b_1 > b_2$ , то

$$\frac{m}{M} RT_2 < \frac{m}{M} RT_1$$

$$T_2 < T_1$$

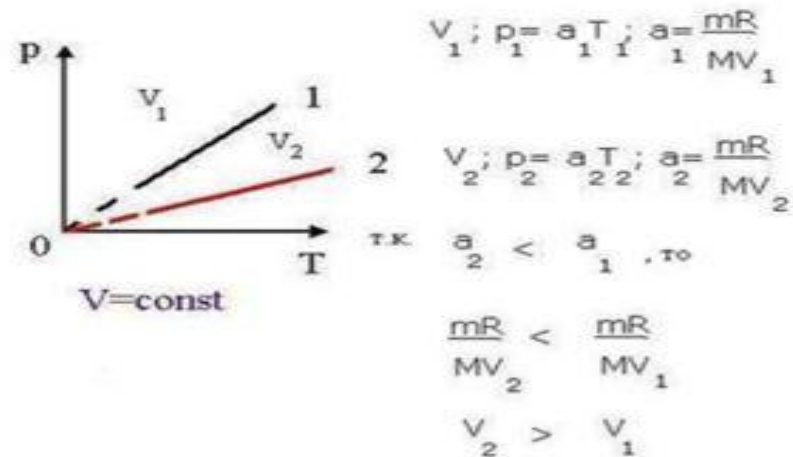
Значит, ниже находится график того изотермического процесса, у которого температура меньше.



# Изохорный процесс

## ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

Рассмотрим два изохорных процесса с объемами  $V_1$  и  $V_2$ .



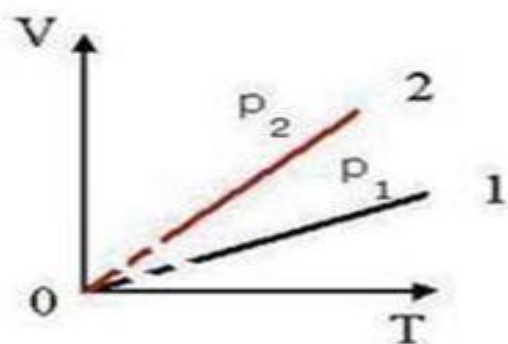
Значит, угол наклона изохоры больше у той, у которой меньше объем, а угол наклона изохоры меньше у той, у которой больше объем.



# Изобарный процесс

## изобарный процесс

Рассмотрим два изобарных процесса с давлениями  $p_1$  и  $p_2$



$p = \text{const}$

$$p_1; V_1 = c_1 T_1; \quad c_1 = \frac{mR}{Mp_1}$$

$$p_2; V_2 = c_2 T_2; \quad c_2 = \frac{mR}{Mp_2}$$

т.к.  $c_1 < c_2$ , то

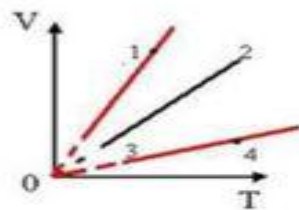
$$\frac{mR}{Mp_1} < \frac{mR}{Mp_2}$$

$$p_1 > p_2$$

Значит, угол наклона изобары меньше у той, у которой больше давление, а угол наклона изобары больше у той, у которой меньше давление.

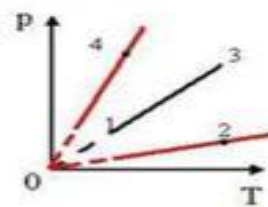
# Решение задач

1. На диаграмме точками 1,2,3,4 обозначены состояния одной и той же массы газа. Сравнить давления газа в этих состояниях.



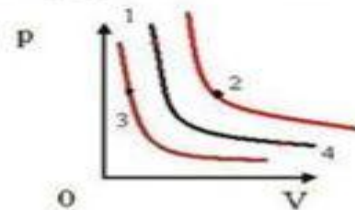
$P_1$    $P_2$     Процесс?  
 $P_1$    $P_2$   
 $P_1$    $P_2$

2. На диаграмме точками 1,2,3,4 обозначены состояния одной и той же массы газа. Сравнить объемы газа в этих состояниях.

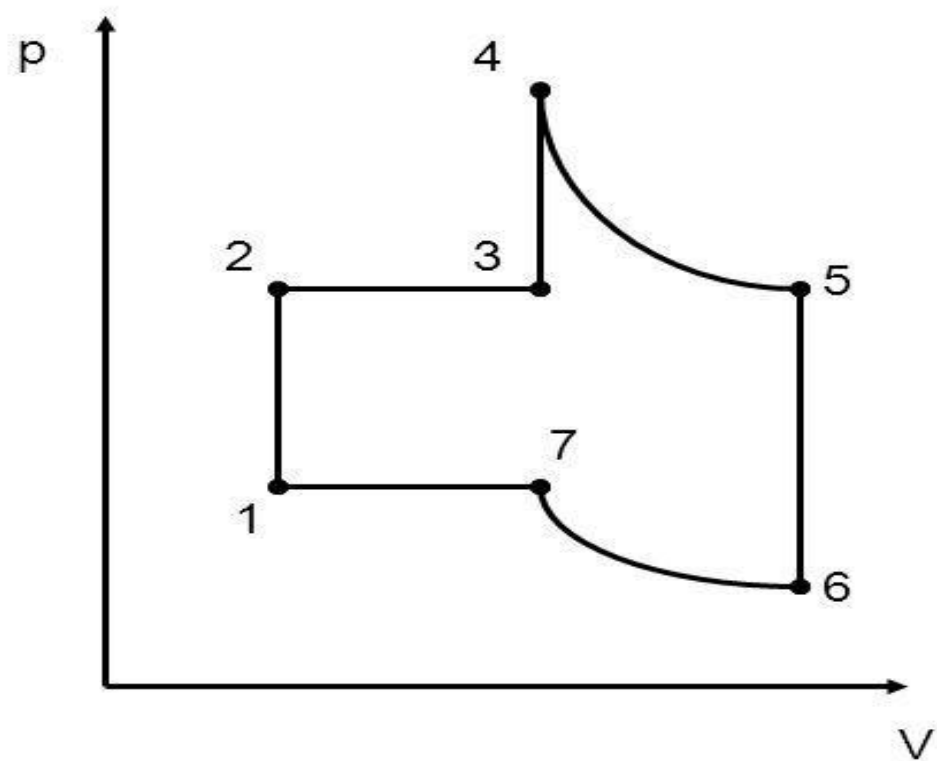


$V_1$    $V_2$     Процесс?  
 $V_1$    $V_2$   
 $V_1$    $V_2$

3. На диаграмме точками 1,2,3,4 обозначены состояния одной и той же массы газа. Сравнить температуры газа в этих состояниях.



$T_1$    $T_2$     Процесс?  
 $T_1$    $T_2$   
 $T_1$    $T_2$



1-2 изохора  $p \uparrow T \uparrow$

2-3 изобара  $V \uparrow T \uparrow$

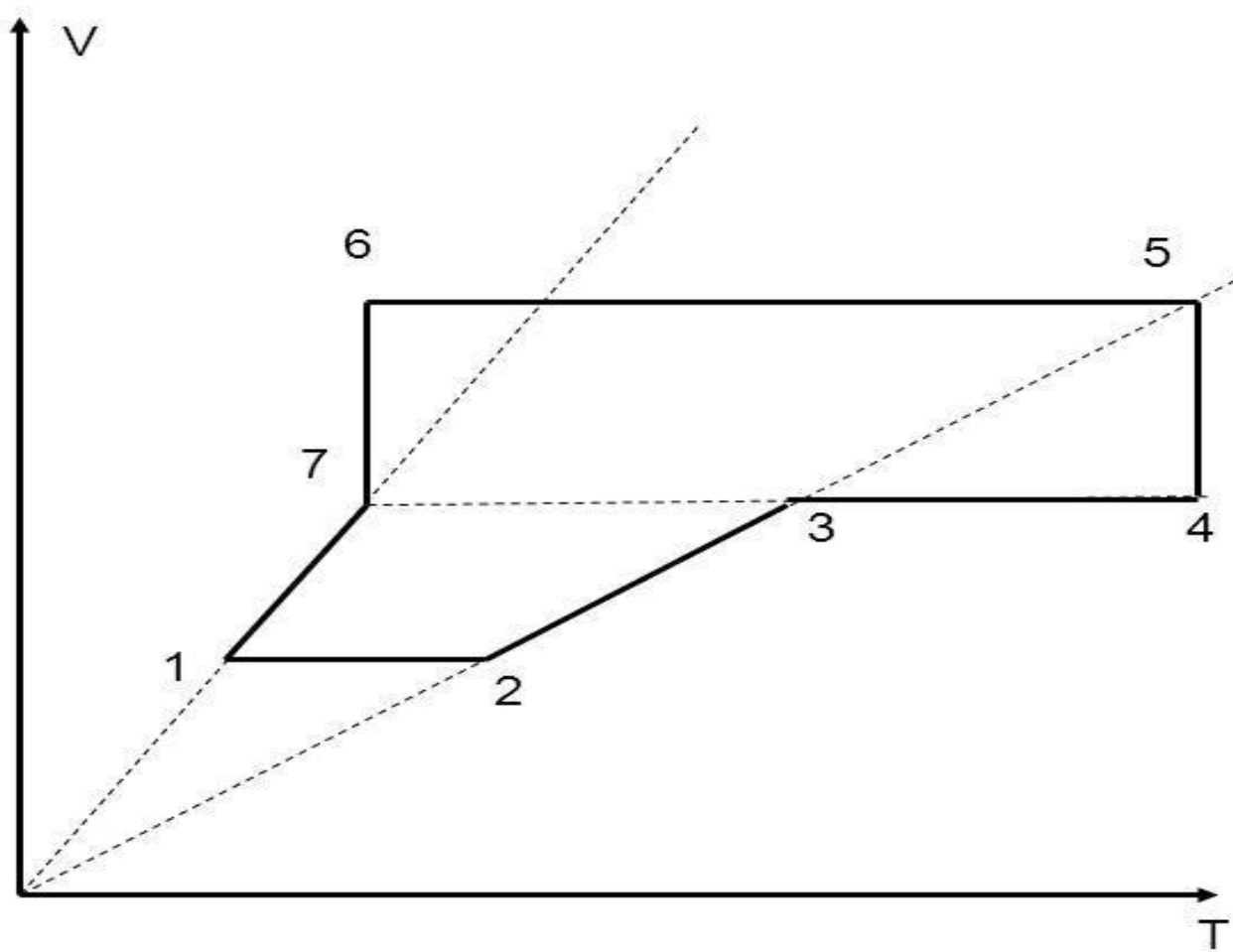
3-4 изохора  $p \uparrow T \uparrow$

4-5 изотерма  $V \uparrow p \downarrow$

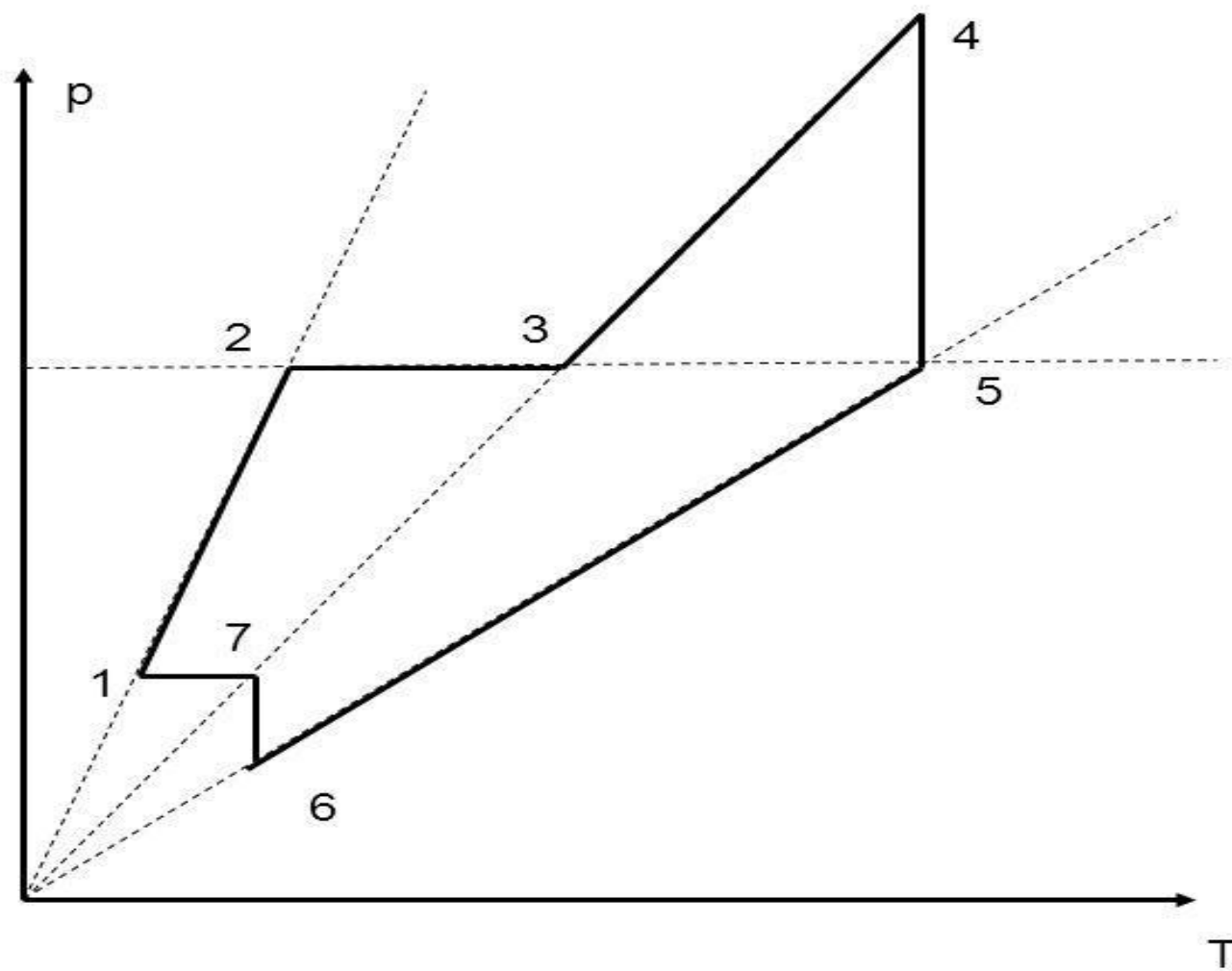
5-6 изохора  $p \downarrow T \downarrow$

6-7 изотерма  $p \uparrow V \downarrow$

7-1 изобара  $V \downarrow T \downarrow$



- 1-2 изохора  $p \uparrow T \uparrow$
- 2-3 изобара  $V \uparrow T \uparrow$
- 3-4 изохора  $p \uparrow T \uparrow$
- 4-5 изотерма  $V \uparrow p \downarrow$
- 5-6 изохора  $p \downarrow T \downarrow$
- 6-7 изотерма  $p \uparrow V \downarrow$
- 7-1 изобара  $V \downarrow T \downarrow$



- 1-2 изохора  $p \uparrow T \uparrow$
- 2-3 изобара  $V \uparrow T \uparrow$
- 3-4 изохора  $p \uparrow T \uparrow$
- 4-5 изотерма  $V \uparrow p \downarrow$
- 5-6 изохора  $p \downarrow T \downarrow$
- 6-7 изотерма  $p \uparrow V \downarrow$
- 7-1 изобара  $V \downarrow T \downarrow$

