

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.

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

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

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

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

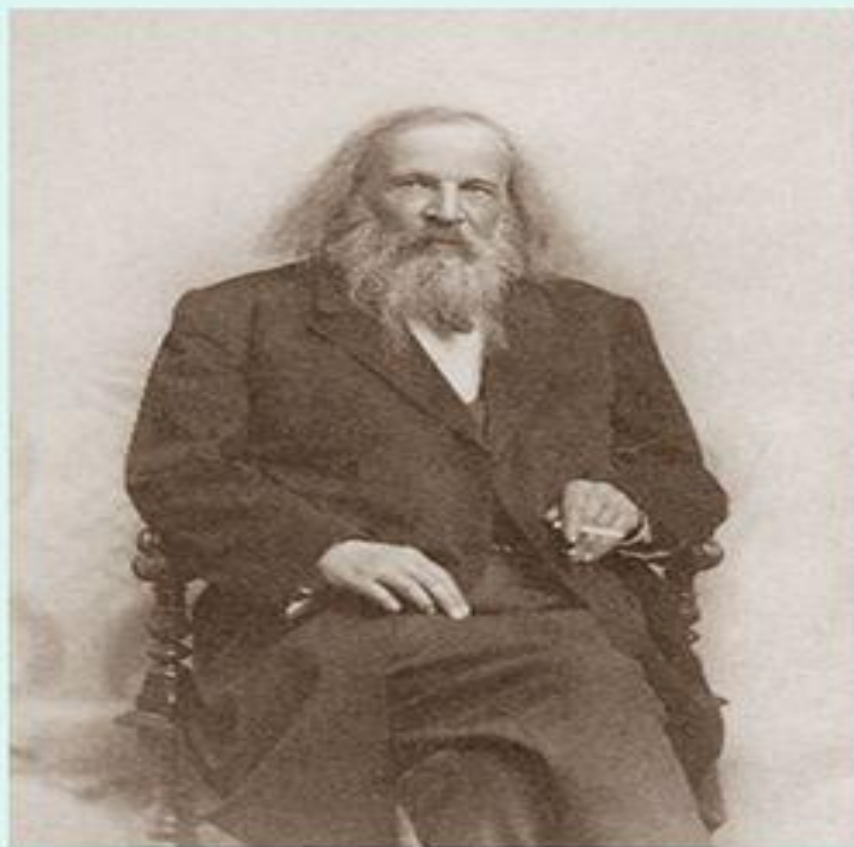
$$R = N_A \cdot k = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

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.

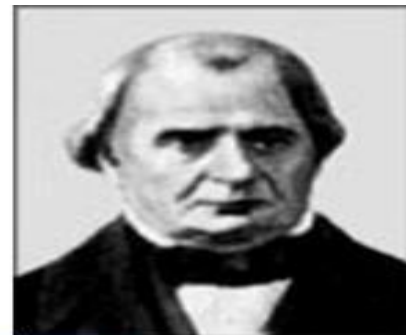
Объединенный газовый закон 1824



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

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 -
изопроеесс**

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



$$p_1 V_1$$



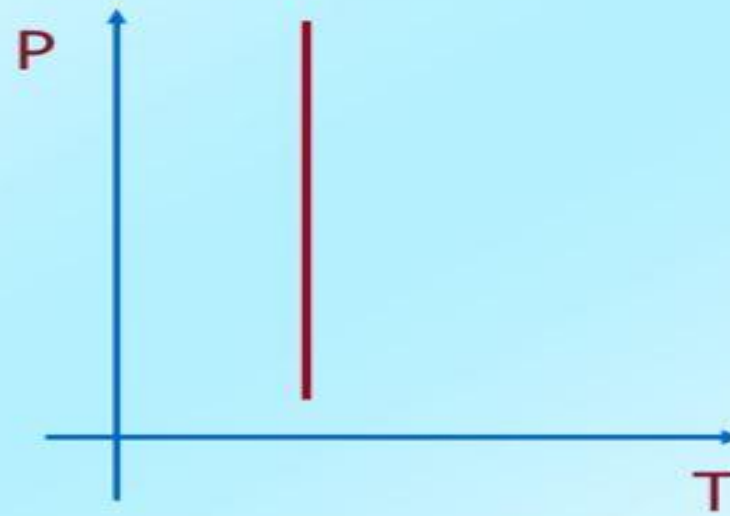
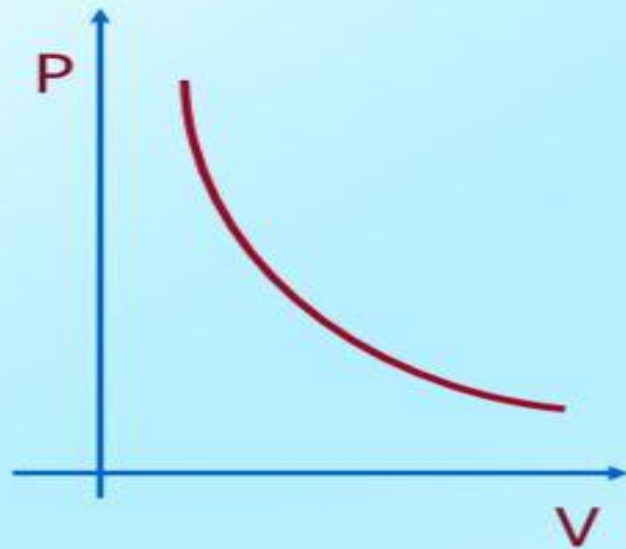
График изотермического процесса

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

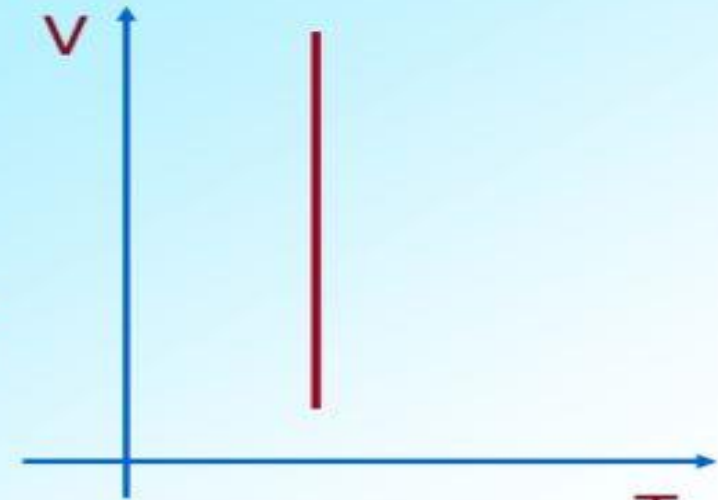
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$



Графики изотермического процесса в разных координатных осях

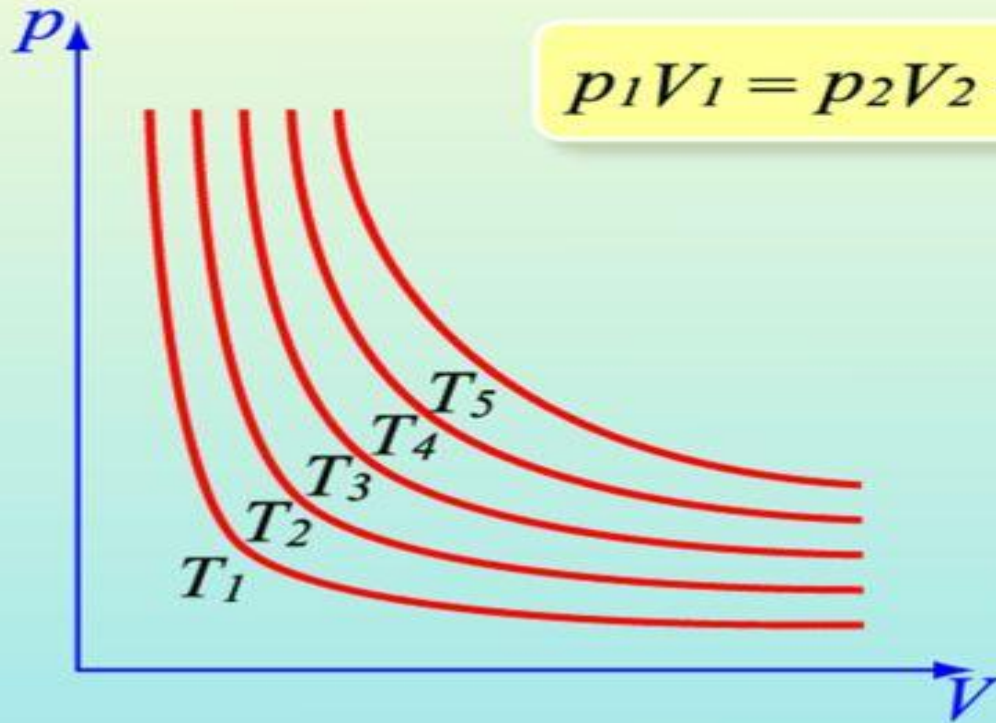


T - const



Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс)

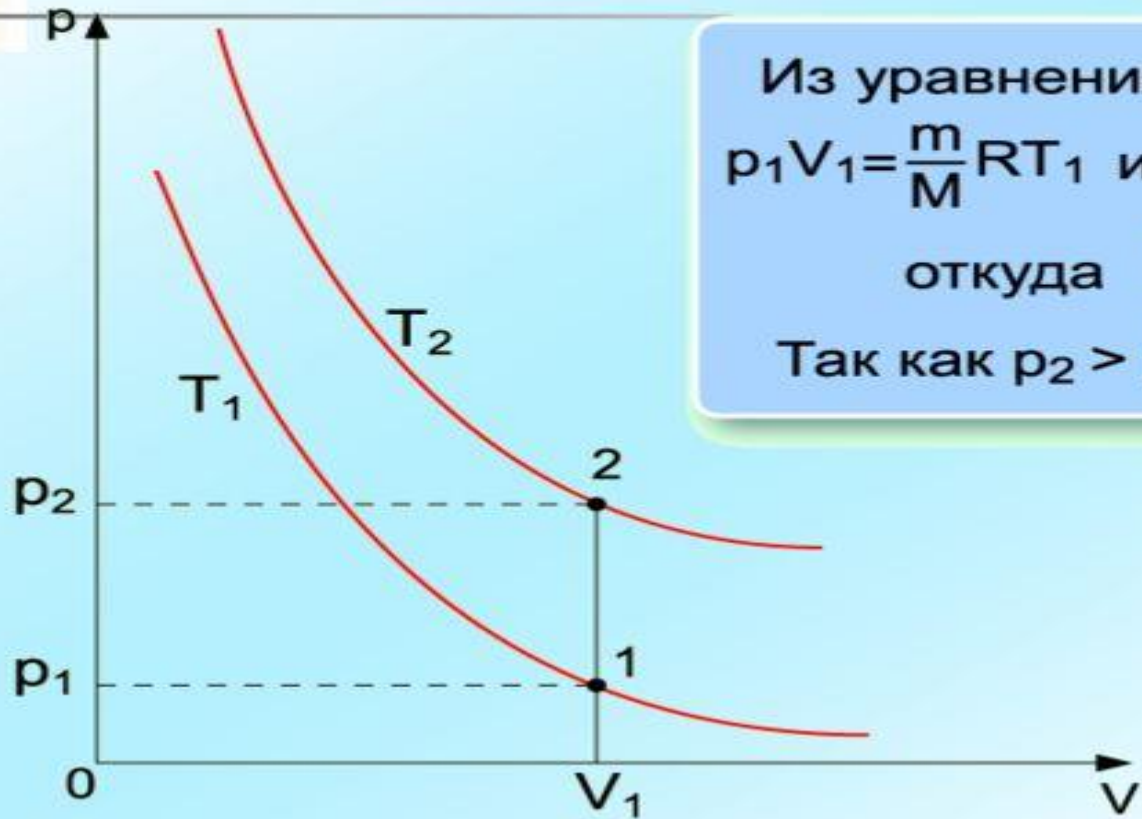
$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3$$



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

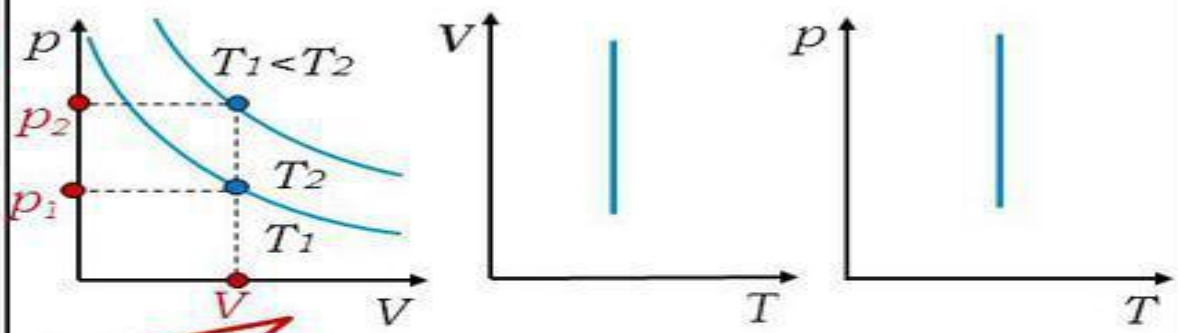
$$T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

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 <i>T = const</i>	Бойля - Мариотта <i>p₁V₁ = p₂V₂</i>	изотермы 	

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:

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

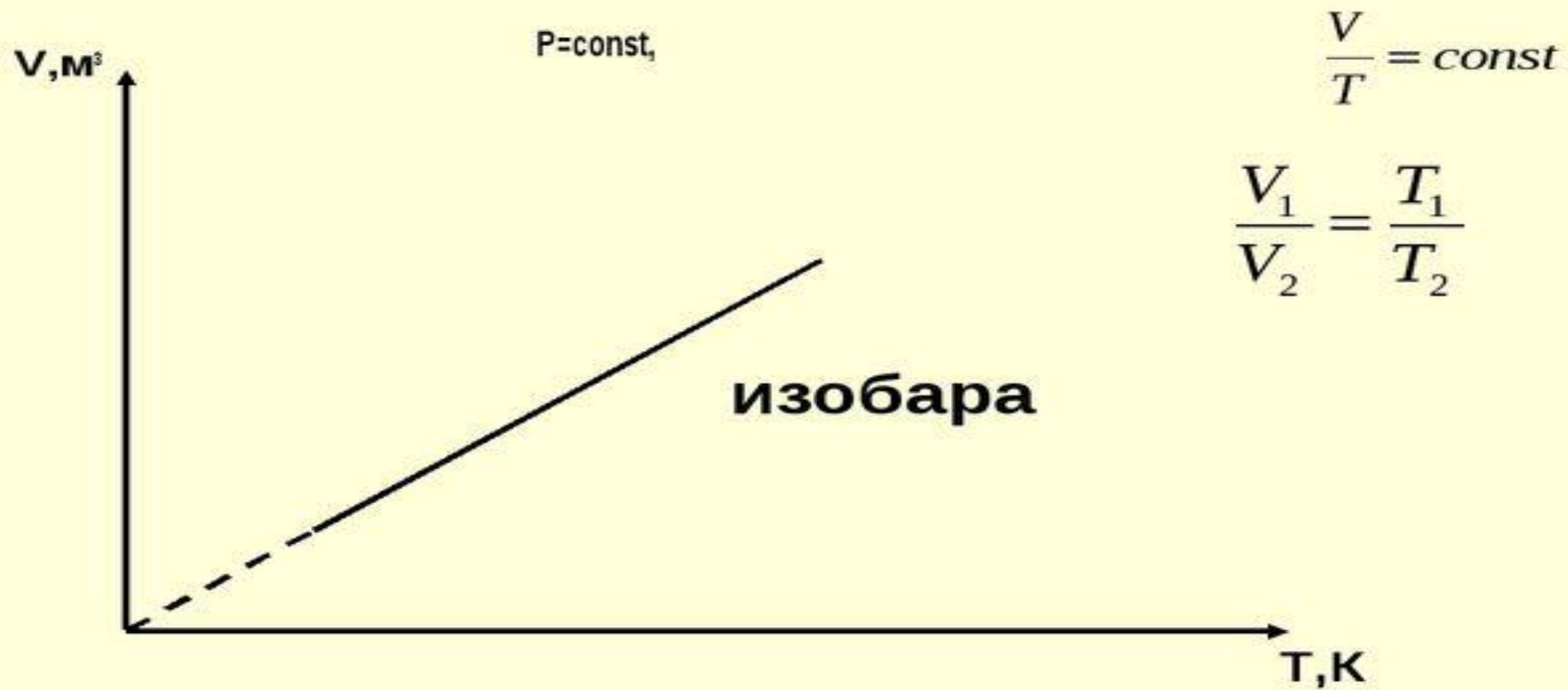
**Этот закон экспериментально был
открыт в 1802г. Французским
учёным
Гей-Люссаком**



Закон Гей-Люссака

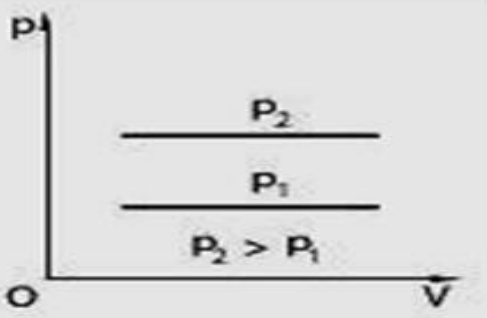
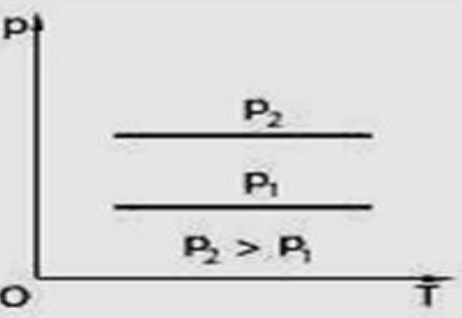
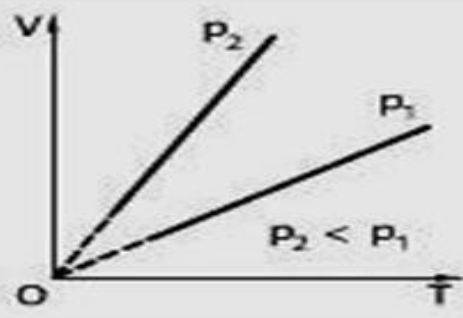
Для газа данной массы отношение объёма к температуре постоянно, если давление не меняется.

График изобарного процесса



Изобара –

график изменения макроскопических параметров газа при изобарном процессе.

Процессы	Система координат		
	$p - V$	$p - T$	$V - T$
Изобарный $p = \text{const}$	 <p>The diagram shows a vertical axis labeled 'p' and a horizontal axis labeled 'V'. Two horizontal lines represent constant pressure levels, labeled p_2 and p_1, with $p_2 > p_1$. The origin is marked 'O'.</p>	 <p>The diagram shows a vertical axis labeled 'p' and a horizontal axis labeled 'T'. Two horizontal lines represent constant pressure levels, labeled p_2 and p_1, with $p_2 > p_1$. The origin is marked 'O'.</p>	 <p>The diagram shows a vertical axis labeled 'V' and a horizontal axis labeled 'T'. Two rays originate from the origin 'O'. The steeper ray is labeled p_2 and the shallower ray is labeled p_1, with $p_2 < p_1$.</p>

ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

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

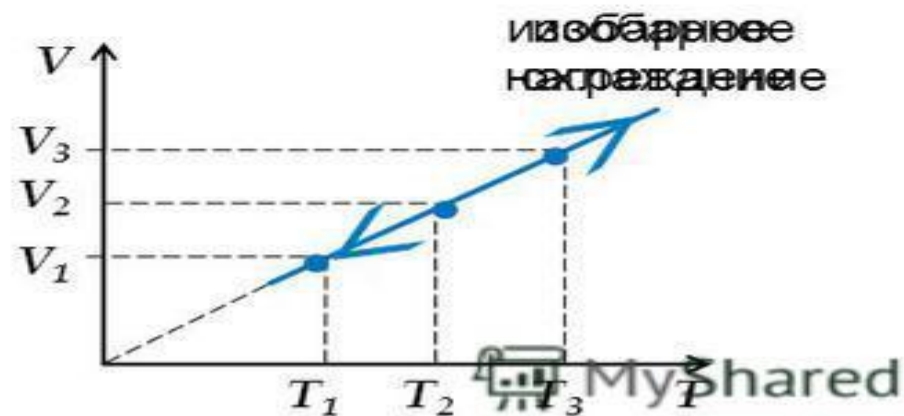
$$\left. \frac{pV}{T} = const \right\} \text{ при } p = const \quad \frac{V}{T} = const$$

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



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

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



ИЗОПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ

процесс <i>m = const</i>	закон	графики	термо- динамика
изобарный <i>p = const</i>	Гей - Люссака $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	<p style="text-align: center;">изобары</p>	

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.**

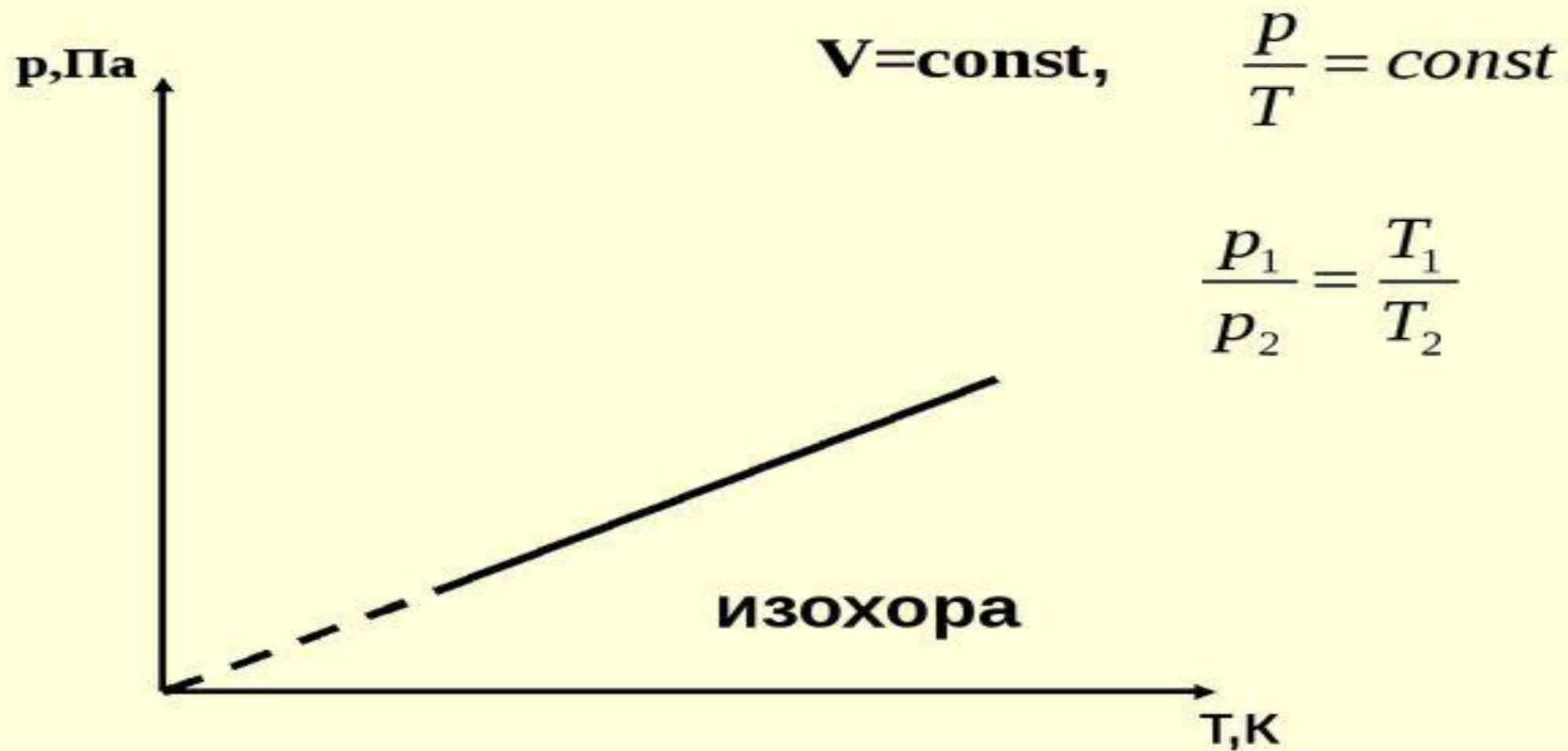
французский физик Шарль



Закон Шарля

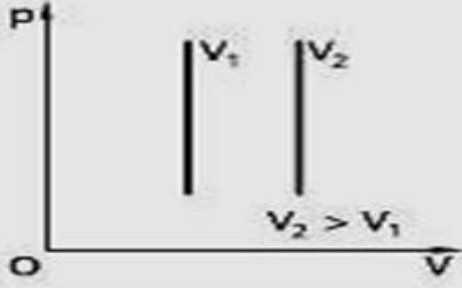
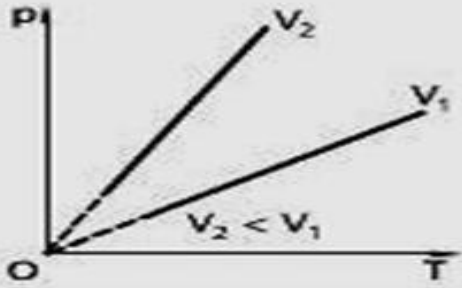
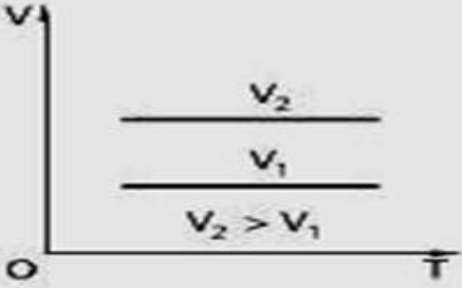
**Для данной массы газа
отношение давления к
температуре постоянно, если
объём не меняется**

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**

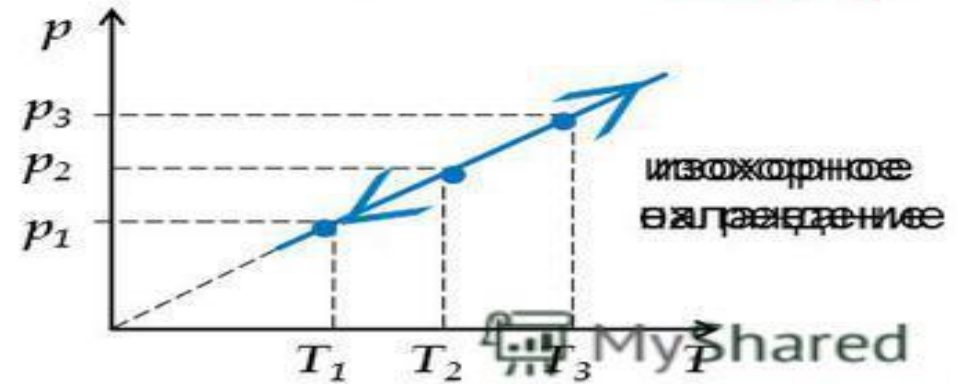
$$\left. \frac{pV}{T} = const \right\} \text{ при } V = const \quad \frac{p}{T} = const$$

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

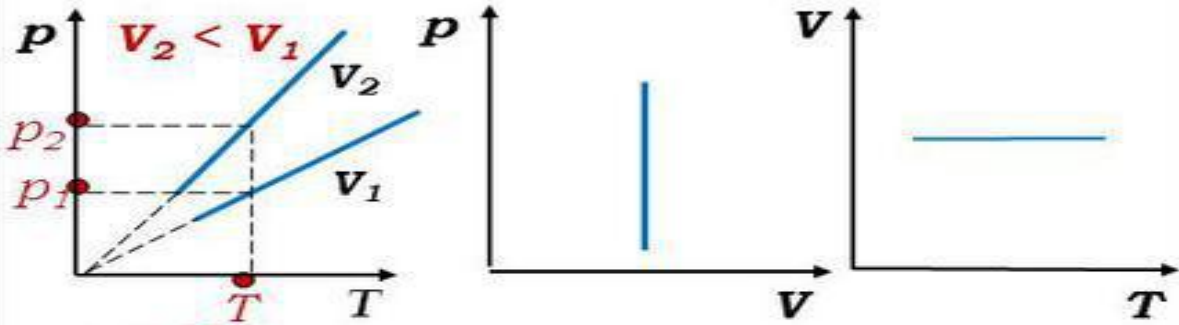


$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

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

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°C , если при 27°C его объём равен $0,006\text{ м}^3$, при постоянном давлении.**

V_1 -?

«СИ»

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

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

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

$T_2 = 300 \text{K}$

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

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

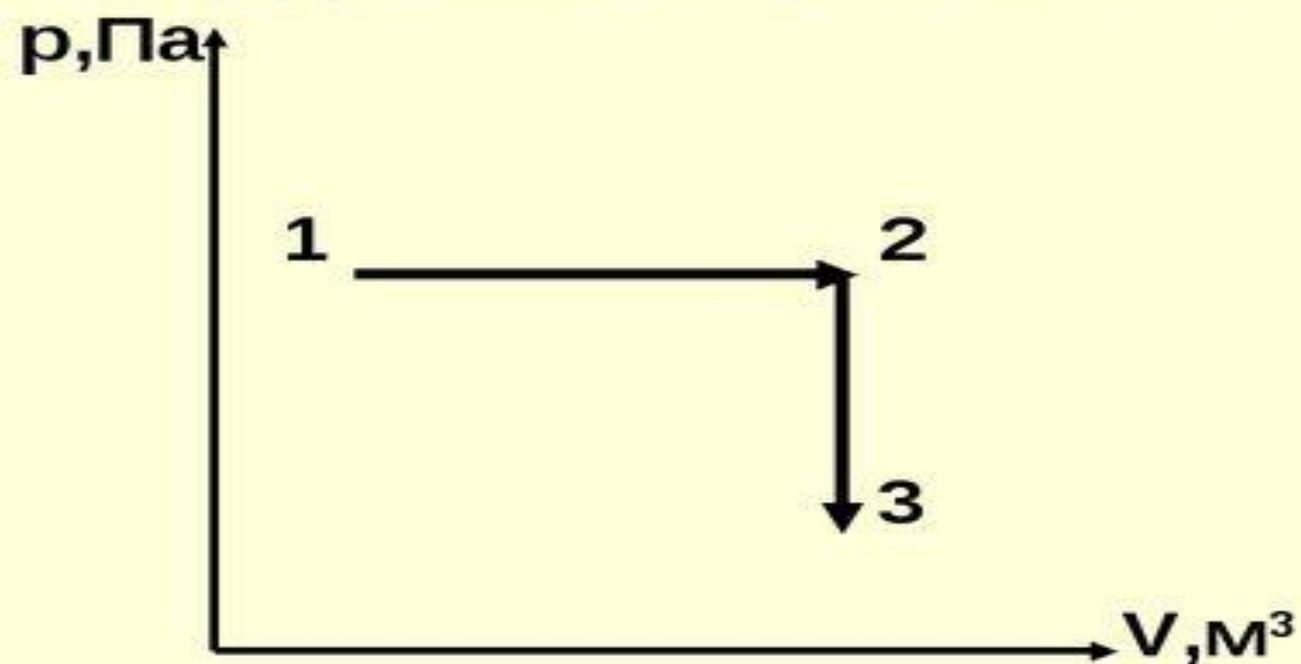
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

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

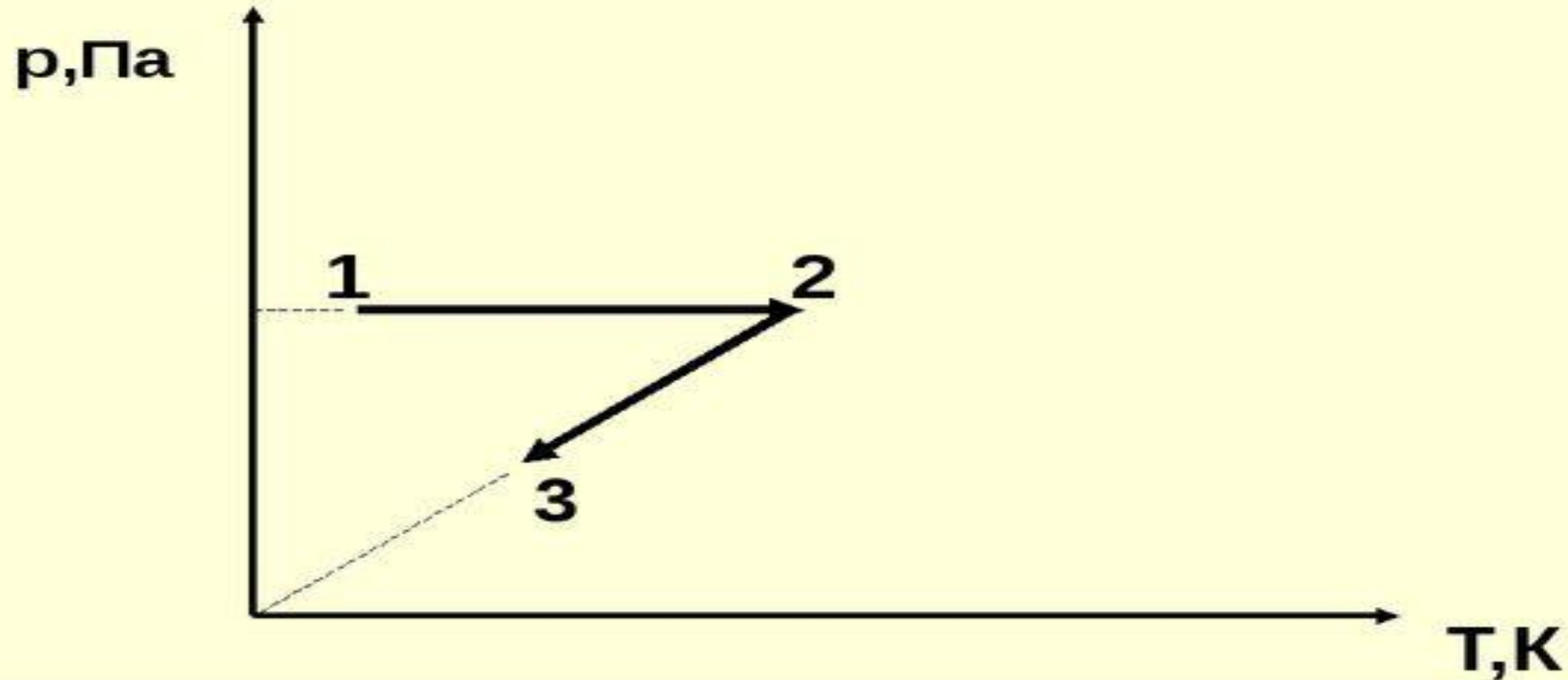
$$V_1 = \frac{0,006 \cdot 350}{300} = 0,007 (\text{m}^3)$$

Ответ: 0,007 м³.

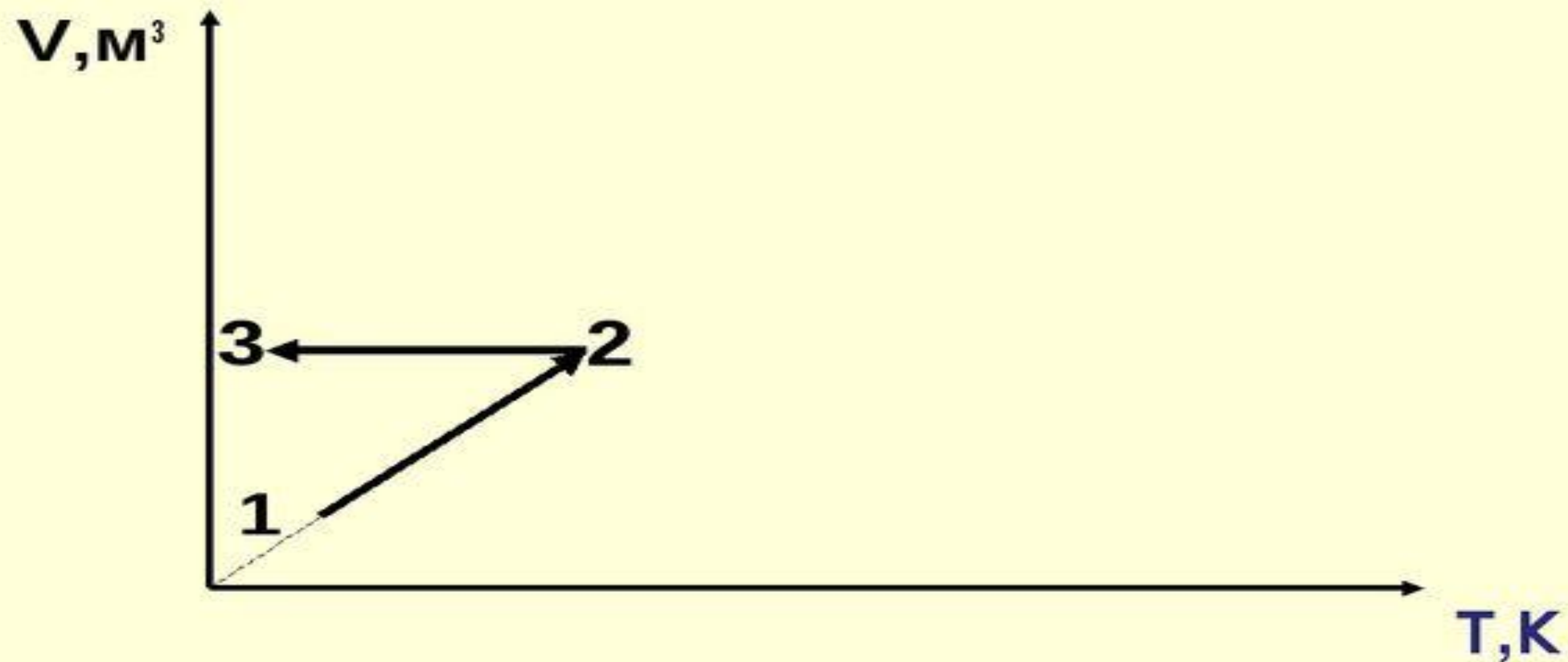
6. Какие процессы изображены на графике. Представьте эти процессы в координатах p - T и V - T



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



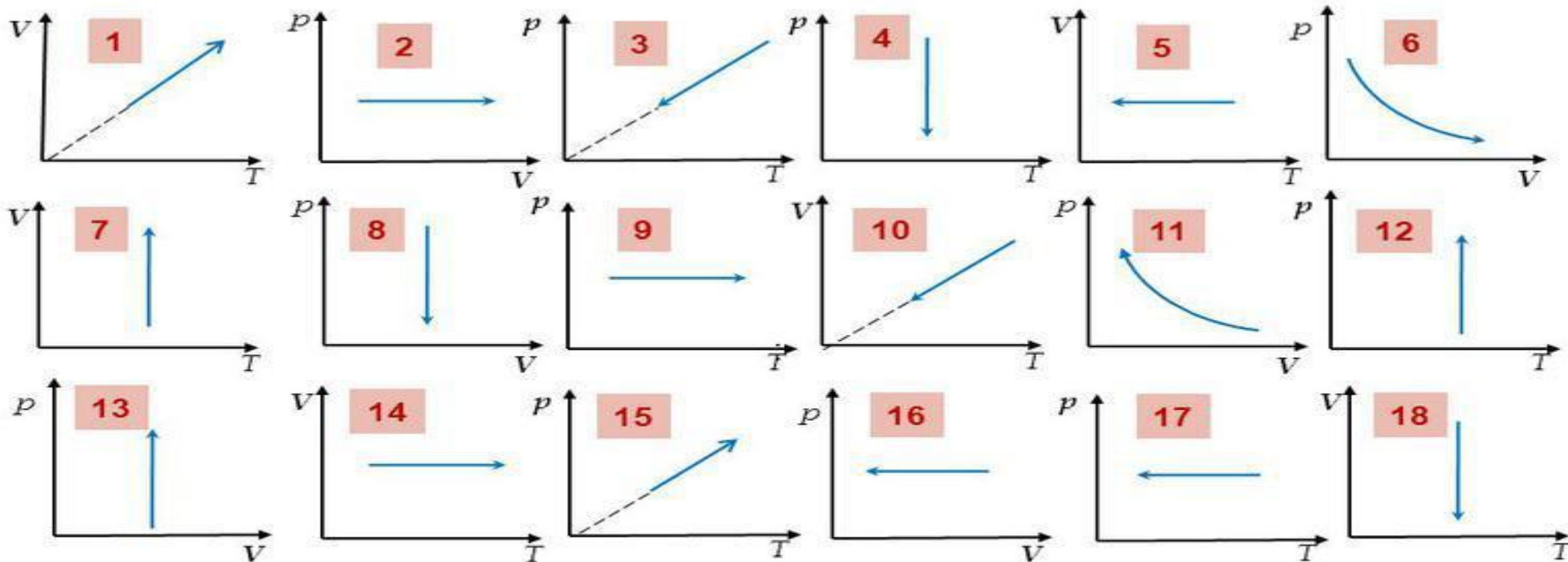
(Т.К. 1-2 – $p=\text{const}$, а
2-3 – $V=\text{const}$)



Изопроцессы

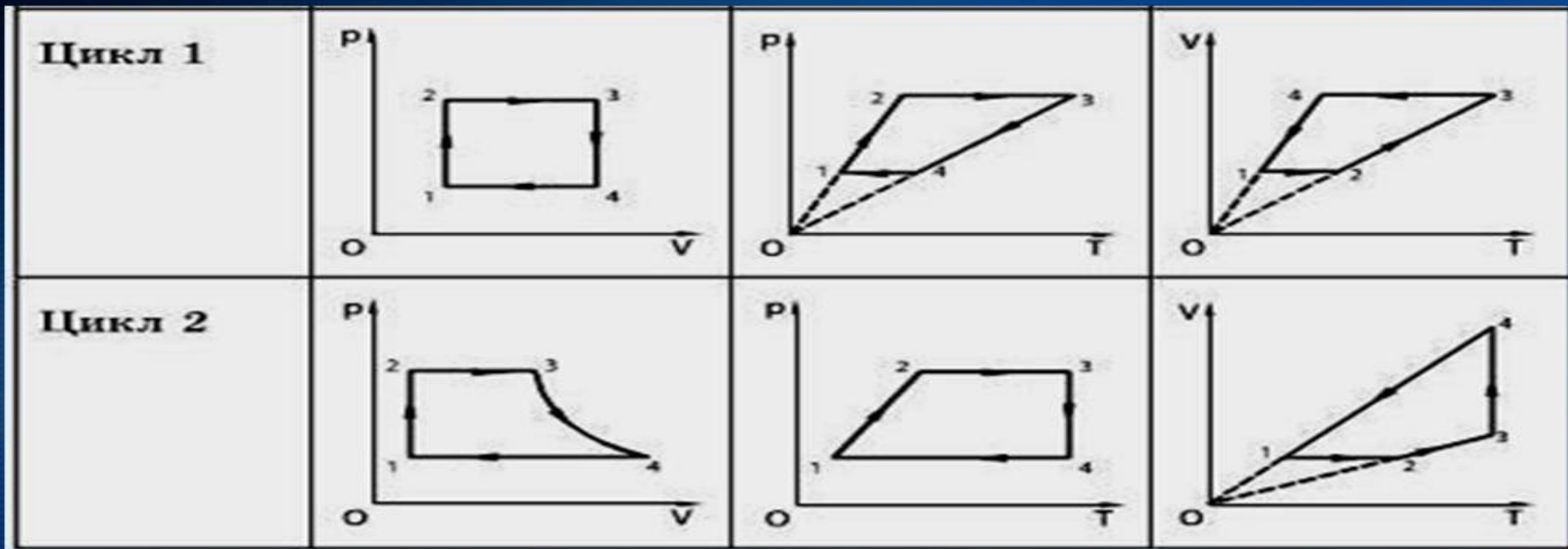
- $T - \text{const}$ - изотермический
- $P - \text{const}$ - изобарный
- $V - \text{const}$ - изохорный

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"

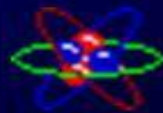


 **Начало**

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.

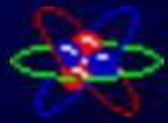


- состояние, в котором число молекул в заданном интервале скоростей изменяется хаотически.

Вопрос № 2



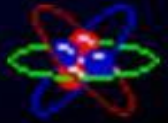
Какая формула является уравнением идеального газа?



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



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

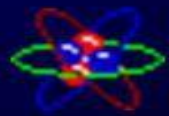


$$pV = \frac{M}{m} RT$$

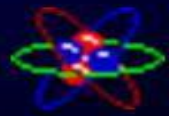
Вопрос № 3



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.

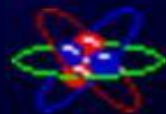
Вопрос № 4



Какой процесс называется изотермическим?



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении.

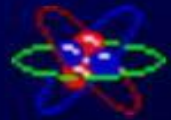


- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме.

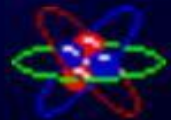
Вопрос № 5



Какой процесс называется изохорным?



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре.



- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении.

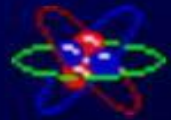


- процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме.

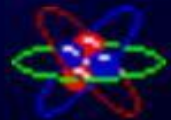
Вопрос № 6



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.

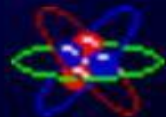
Вопрос № 7



Что называется температурой тела?



- мера средней потенциальной энергии хаотического поступательного движения его молекул.



- мера средней кинетической энергии хаотического поступательного движения его молекул.

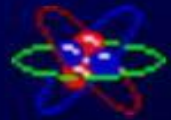


- мера средней внутренней энергии хаотического поступательного движения молекул.

Вопрос № 8



Абсолютный нуль температуры (0К)?



- температура, при которой должно прекратиться движение молекул .



- температура, при которой начинает замерзать вода.

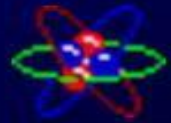


- температура, при которой вода закипает.

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.

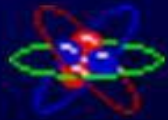


- давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в неё газов.

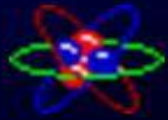
Вопрос № 10



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



- увеличится в 4 раза.



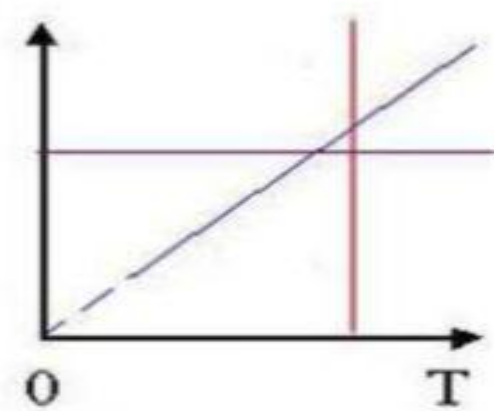
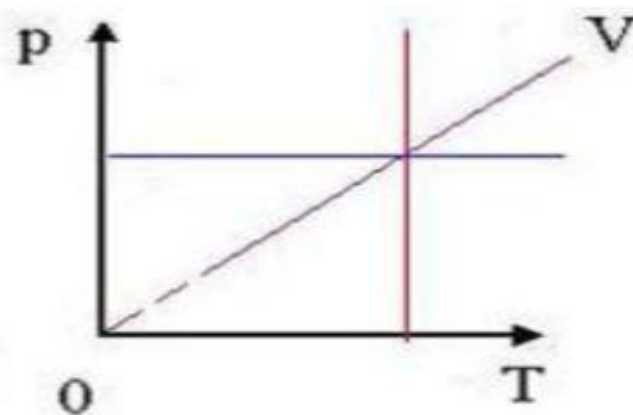
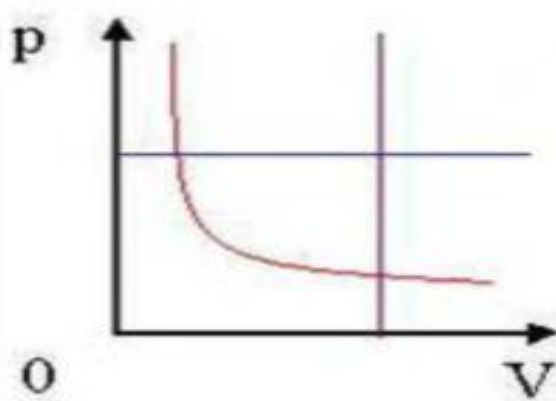
- уменьшится в 4 раза.



- 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

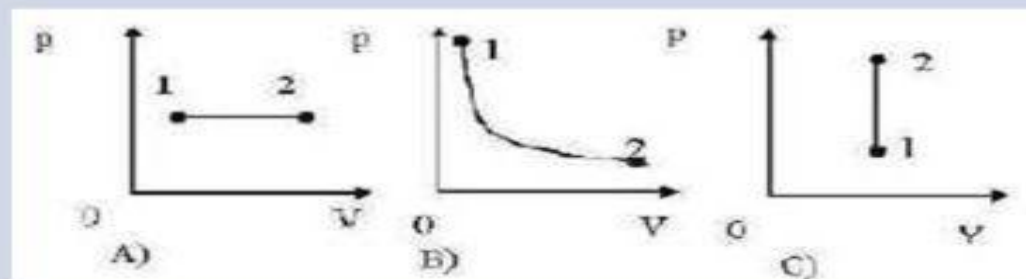
№	Вопрос	ответ
6	Как называют количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего параметра?	Такие количественные зависимости называют ы
7	Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.	Для газа данной массы произведение давления газа на его объем постоянно, если температура 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?



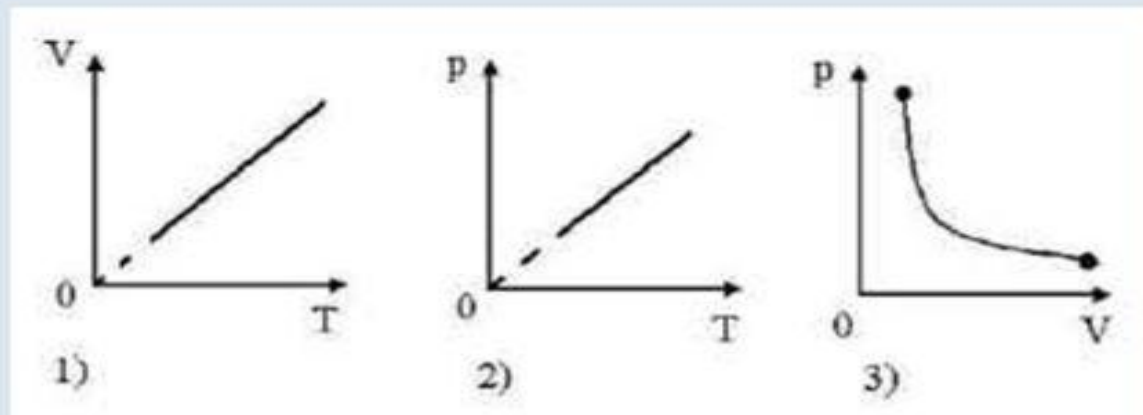
Решение задач

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°C ?

- A. 273 К ,
- B. 373 К ,
- C. 473 К .

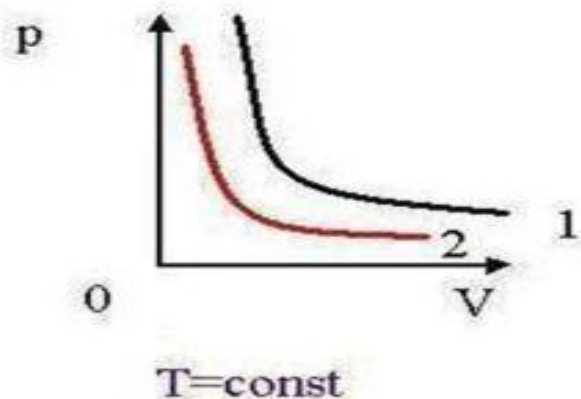
5. В сосуде объемом $8,3\text{ м}^3$ находится $0,04\text{ кг}$ гелия при температуре 127°C . Определить его давление.

- 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



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

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

т.к. $b_1 > b_2$, то

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

$$T_2 < T_1$$

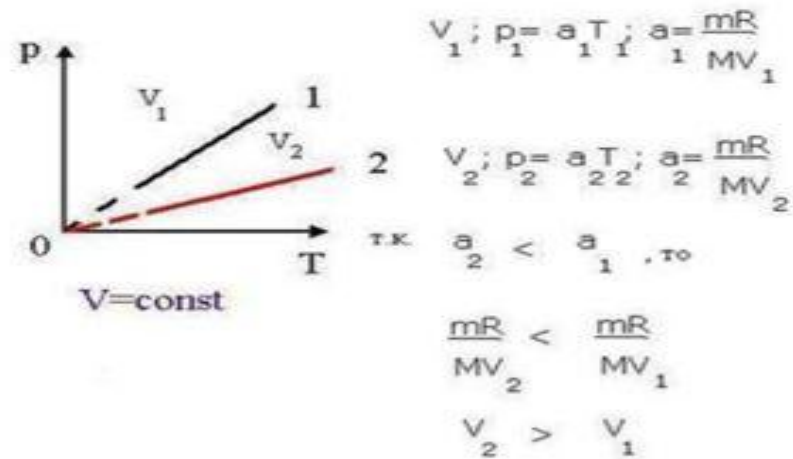
Значит, ниже находится график того изотермического процесса, у которого температура меньше.



Изохорный процесс

ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

Рассмотрим два изохорных процесса с объемами V_1 и V_2 .

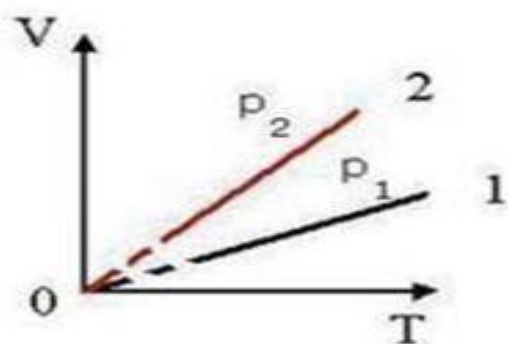


Значит, угол наклона изохоры больше у той, у которой меньше объем, а угол наклона изохоры меньше у той, у которой больше объем.

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

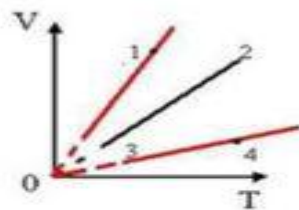
$$\frac{mR}{Mp_1} < \frac{mR}{Mp_2}$$

$$p_1 > p_2$$

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

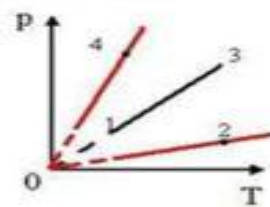
Решение задач

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



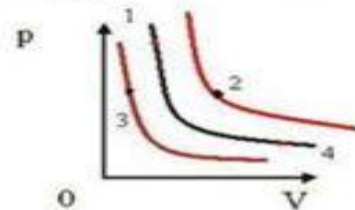
P_1 P_2 Процесс?
 P_1 P_2
 P_1 P_2

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

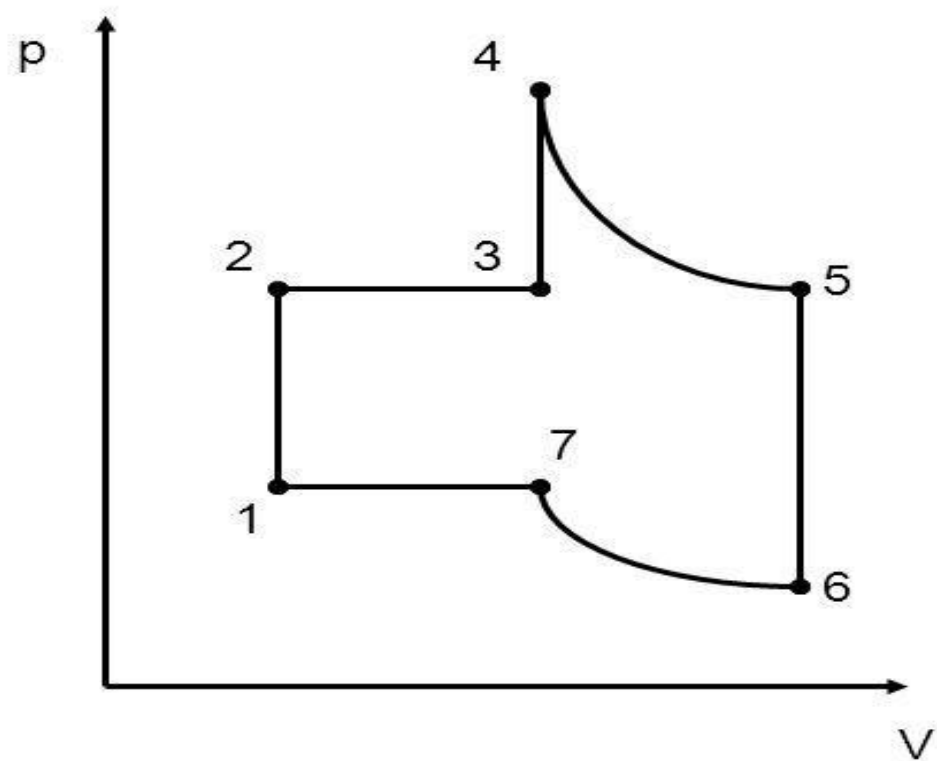


V_1 V_2 Процесс?
 V_1 V_2
 V_1 V_2

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 $V \uparrow T \uparrow$

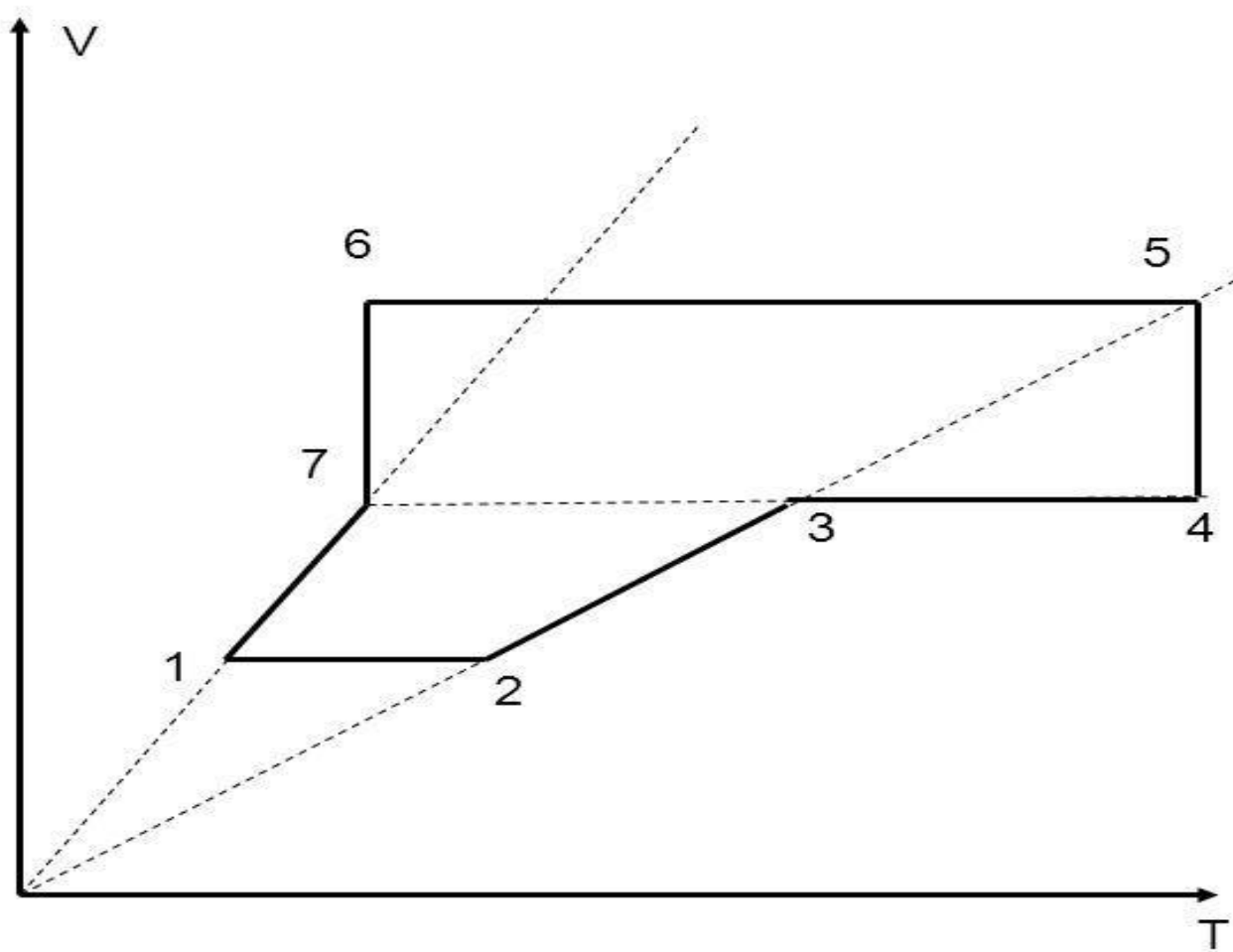
3-4 изохора $p \uparrow T \uparrow$

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

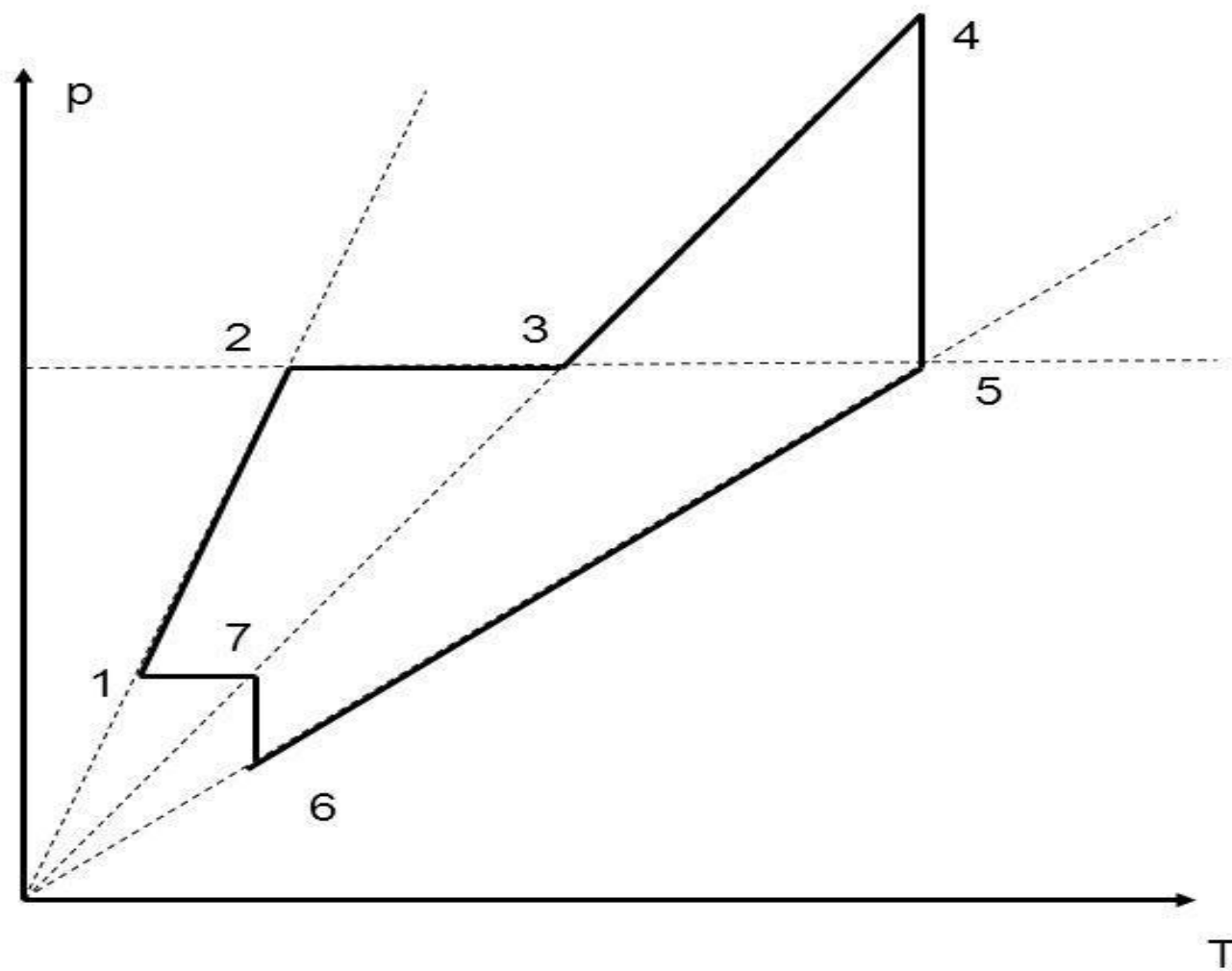
5-6 изохора $p \downarrow T \downarrow$

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 $V \downarrow T \downarrow$

