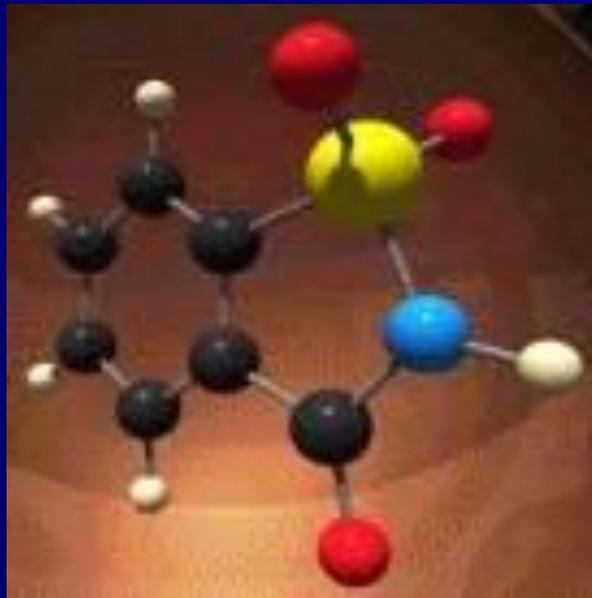


# Молекулярная физика



# Газовые законы -

- Количественные зависимости между двумя параметрами газа одной и той же массы при неизменном значении третьего параметра называют газовыми законами

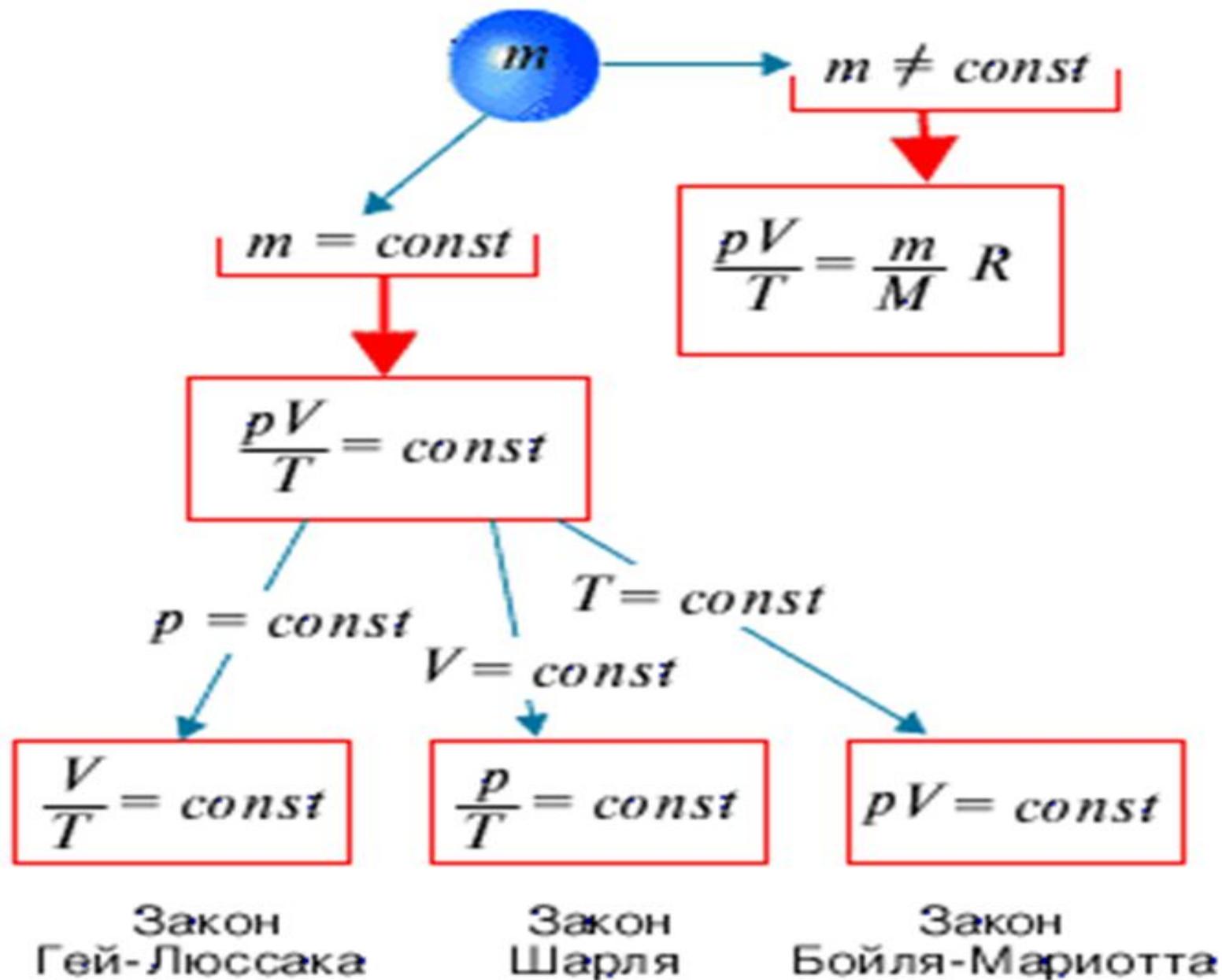
# Единый план изучения газовых законов

- Определение и условия осуществления процесса.
- Уравнение и формулировка закона.
- Историческая справка.
- Экспериментальное исследование справедливости закона.
- Графическое изображение процесса.
- Границы применимости закона.

# Уравнение состояния идеального газа

$$p V = \frac{m}{M} R T$$

Уравнение  
Менделеева-Клапейрона



**Это стоит запомнить!**

**Процессы в газах, при которых один  
из  
параметров остается постоянным,  
называются изопроцессами**

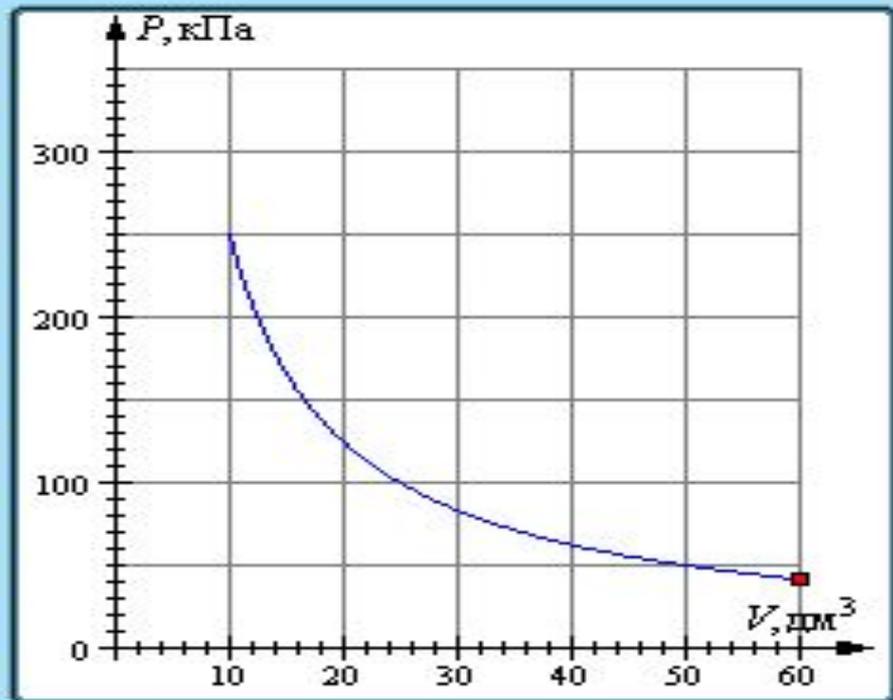
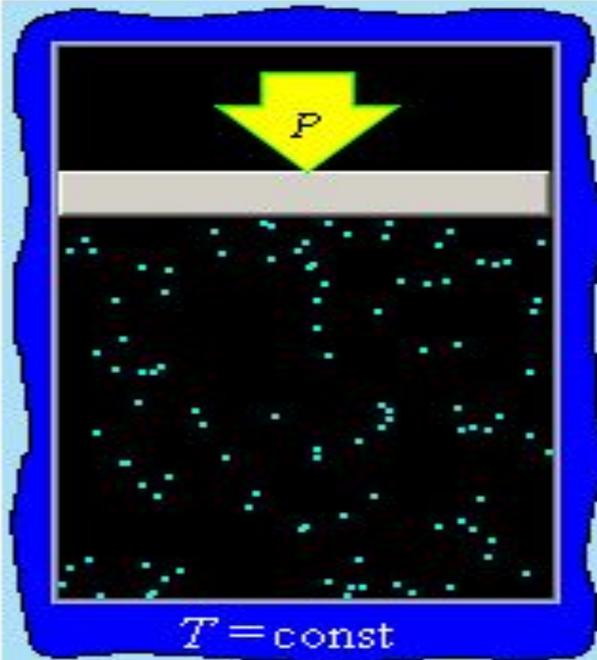


# Закон Бойля-Мариотта

(изотермический процесс)

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

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



# Закон Бойля-Мариотта

$$PV = \text{const}$$

*При постоянной температуре  
давление данной массы газа обратно  
пропорционально его объёму.*



$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

таким виде закон применяется при решении задач

# Закон Бойля-Мариотта

Процесс перехода газа из одного состояния в другое при  $T = const$  называется **изотермическим**

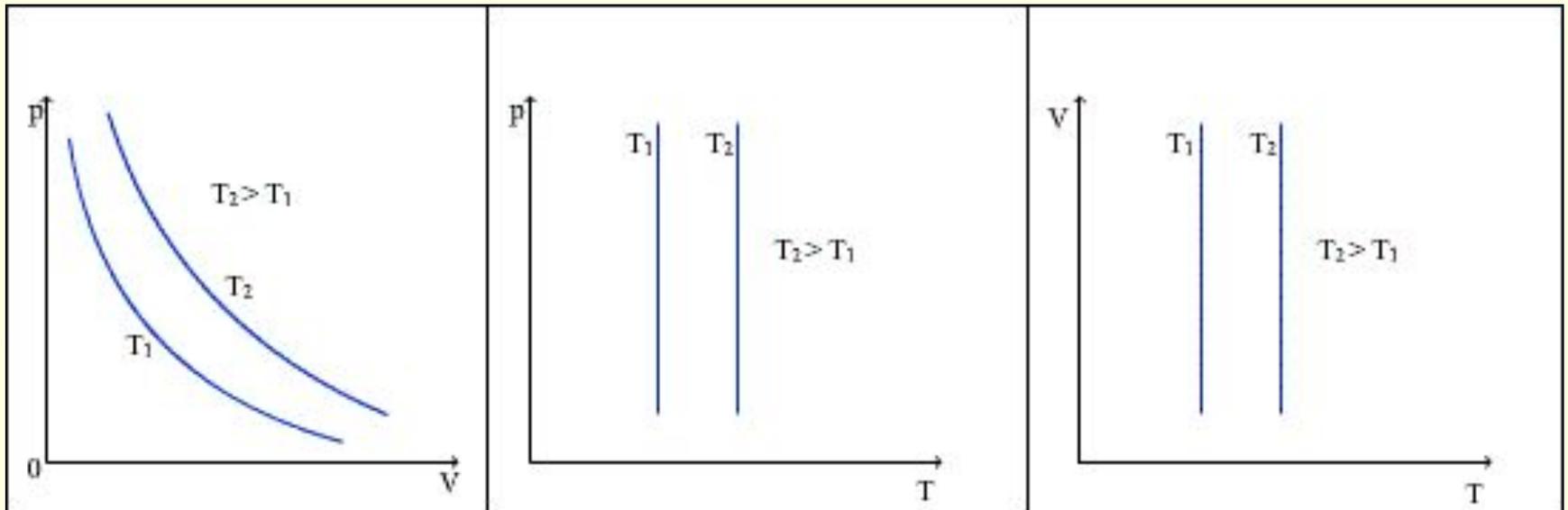


График изотермического процесса называется **изотермой**.

# Закон Бойля-Мариотта

Эдм  
Мариотт



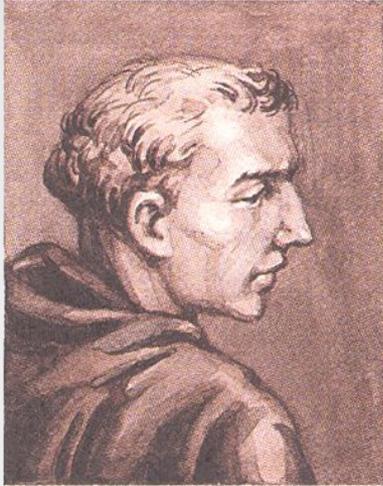
Роберт  
Бойль



- в 1662 г. Р. Бойлем;
- в 1676 г. Э. Мариоттом

Закон получен  
экспериментально

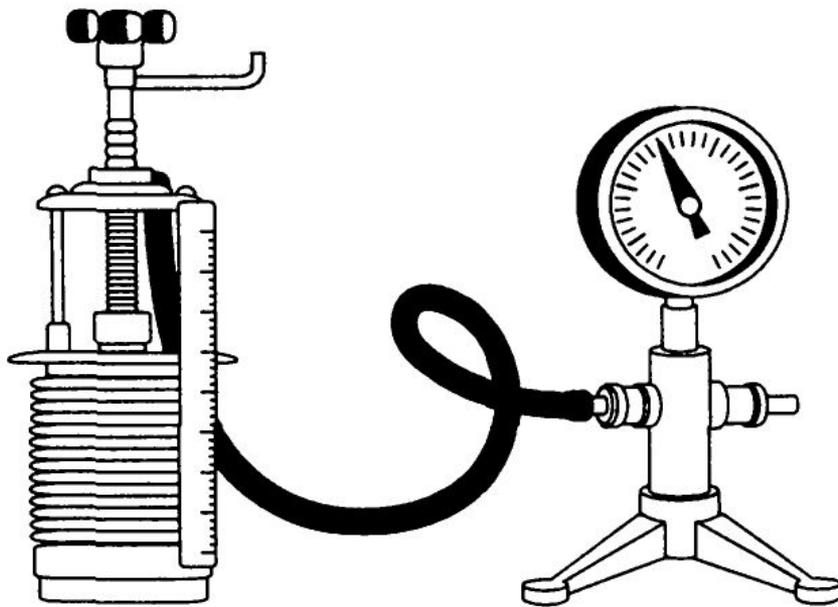
# История открытия



*Слева- Мариотт Эдм,  
справа- Бойль Роберт.*

История открытия его весьма поучительна. Франциск Лин (Franciscus Linus), профессор математики в Люттихе (1595-1675), не признавал, чтобы воздух, столь подвижное и легкое вещество, мог поддерживать ртутный столб в барометрической трубке, хотя ученик Галилея Евангелиста Торричелли (1608-1647) несомненно доказал, что именно давление атмосферы есть причина этого явления. До того времени все допускали, что природа не терпит пустоты (*horror vacui*) и что поэтому в пустые трубки устремляется ртуть, вода и вообще всякие жидкости. Когда же оказалось, что вода в трубке следует за поршнем насоса только до высоты несколько более 30 футов, то Галилей положил, что боязнь пустоты имеет предел. Лин же объяснял, что ртуть держится в трубке невидимыми нитями (*funiculus*) и что он сам чувствовал эти нити, когда закрывал пальцем верхнее отверстие трубки, которая была потом наполнена ртутью и опрокинута нижним концом в чашечку со ртутью же; при этом ртуть в достаточно длинной трубке опускалась, но останавливалась на известной высоте. Такое толкование опыта Торричелли Лином побудило Бойля сделать несколько новых опытов, которые им описаны в его "A defense of the doctrine touching spring and weight of the air" (Лондон, 1662).

# Закон Бойля-Мариотта на практике

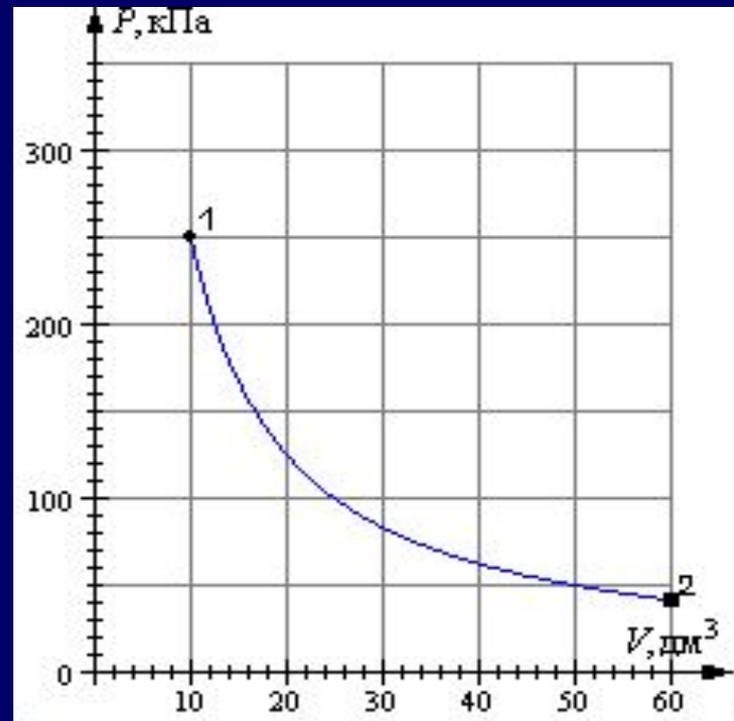


Убедиться в справедливости закона Бойля-Мариотта можно с помощью прибора, изображенного на рисунке. Герметичный гофрированный сосуд соединен с манометром, регистрирующим давление внутри сосуда. Вращением винта можно менять объем сосуда. Об объеме можно судить с помощью линейки. Меняя объем и измеряя давление, можно заметить, что уравнение  $pV = \text{const}$  выполняется.

# Определись в своих знаниях и проверь свои умения

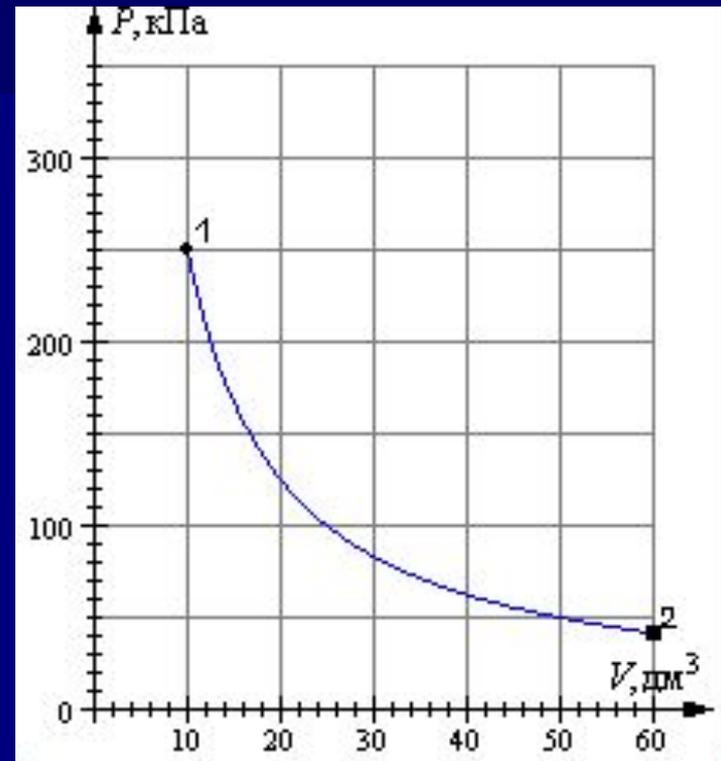
Назовите процесс:

- 1) изотермическое сжатие;
- 2) изохорное нагревание;
- 3) изобарное нагревание;
- 4) изотермическое расширение;
- 5) изобарное расширение;
- 6) изохорное охлаждение.



# Выбери правильный ответ

- 1)  $p = \text{const}$    $V$    $T$
- 2)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 3)  $V = \text{const}$    $T$    $p$
- 4)  $p = \text{const}$    $T$    $V$
- 5)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 6)  $V = \text{const}$    $p$    $T$



# Реши задачу

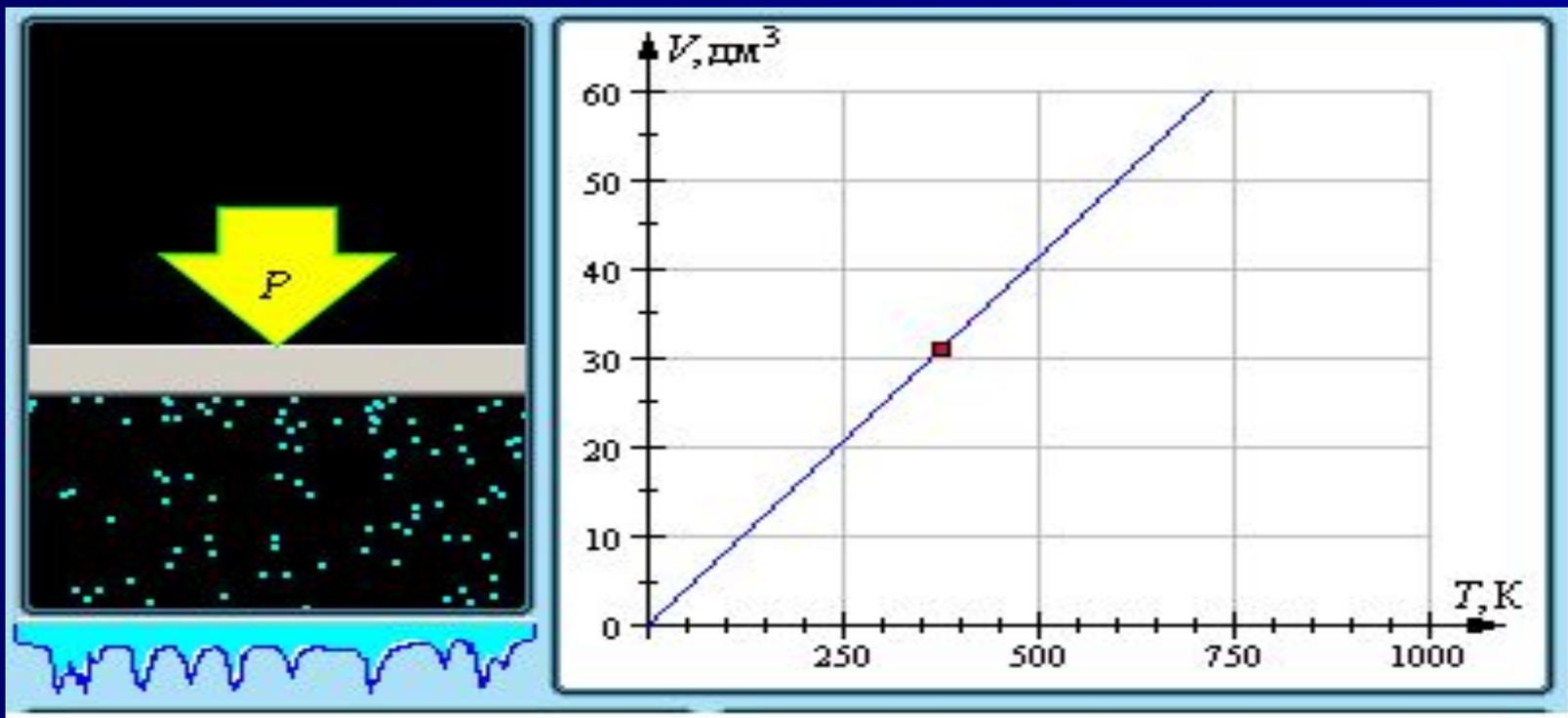
Воздух под поршнем насоса имеет давление  $10^5$  Па и объем  $260 \text{ см}^3$ . При каком давлении этот воздух займет объем  $130 \text{ см}^3$ , если его температура не изменится?

- 1)  $0,5 \cdot 10^5$  Па; 3)  $2 \cdot 10^4$  Па; 5)  $3 \cdot 10^5$  Па;  
2)  $5 \cdot 10^4$  Па; 4)  $2 \cdot 10^5$  Па; 6)  $3,9 \cdot 10^5$  Па

# Закон Гей-Люссака (изобарный процесс)

$$V/T = \text{const} \text{ при } p = \text{const}$$

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



# Закон Гей - Люссака

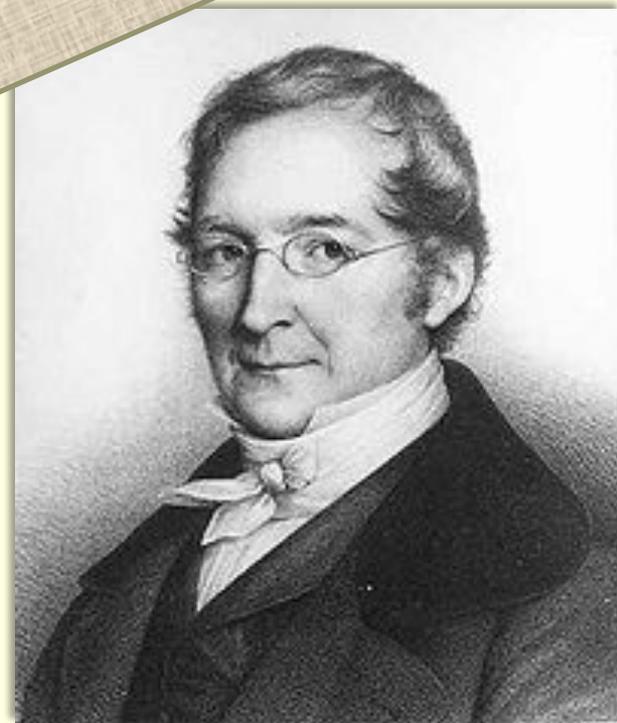
Закон получен экспериментально

в 1802 г.

Жозеф Луи Гей-Люссак

Французский химик и физик,  
член АН в Париже  
(1806).

В 1802, независимо от Дж. Дальтона, Гей-Люссак открыл закон теплового расширения газов.



# Закон Гей - Люссака

$$V = V_0 \alpha T$$

- *Объем данной массы газа при постоянном давлении прямопропорционален температуре.*

$$\alpha = \frac{1}{273,15} K^{-1}$$

$V_0$  - объем,  
занимаемый газом  
при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

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



# Закон Гей - Люссака

Процесс перехода газа из одного состояния в другое при  $P = \text{const}$  называется ***изобарическим (изобарным)***

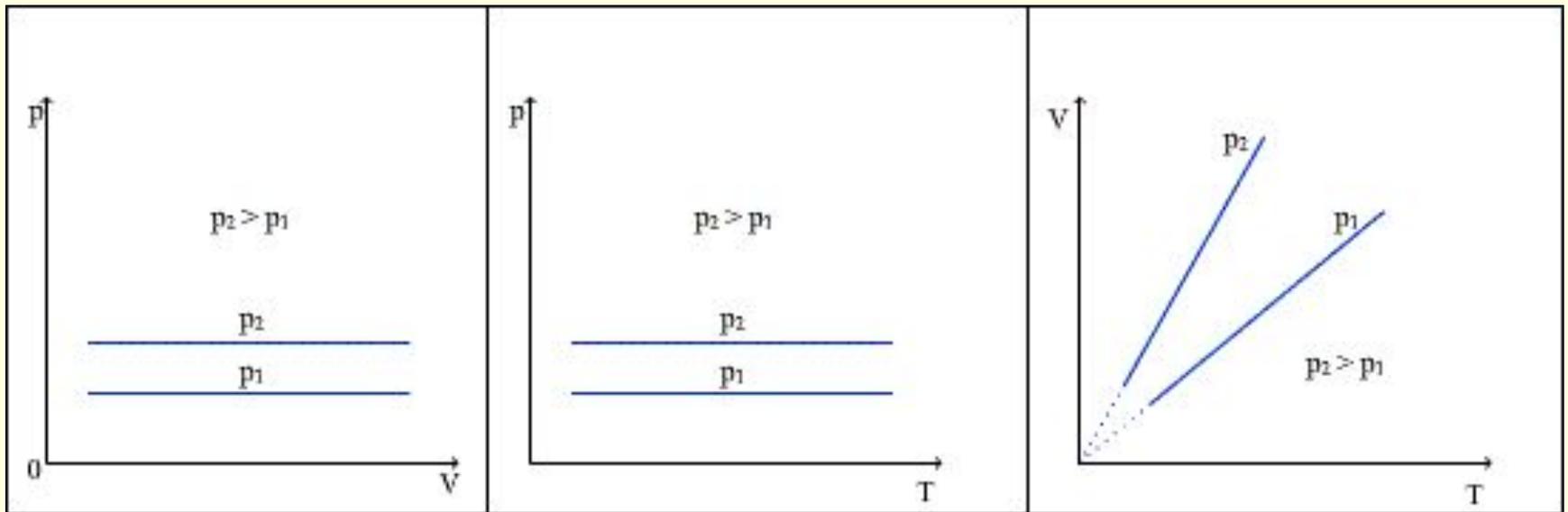
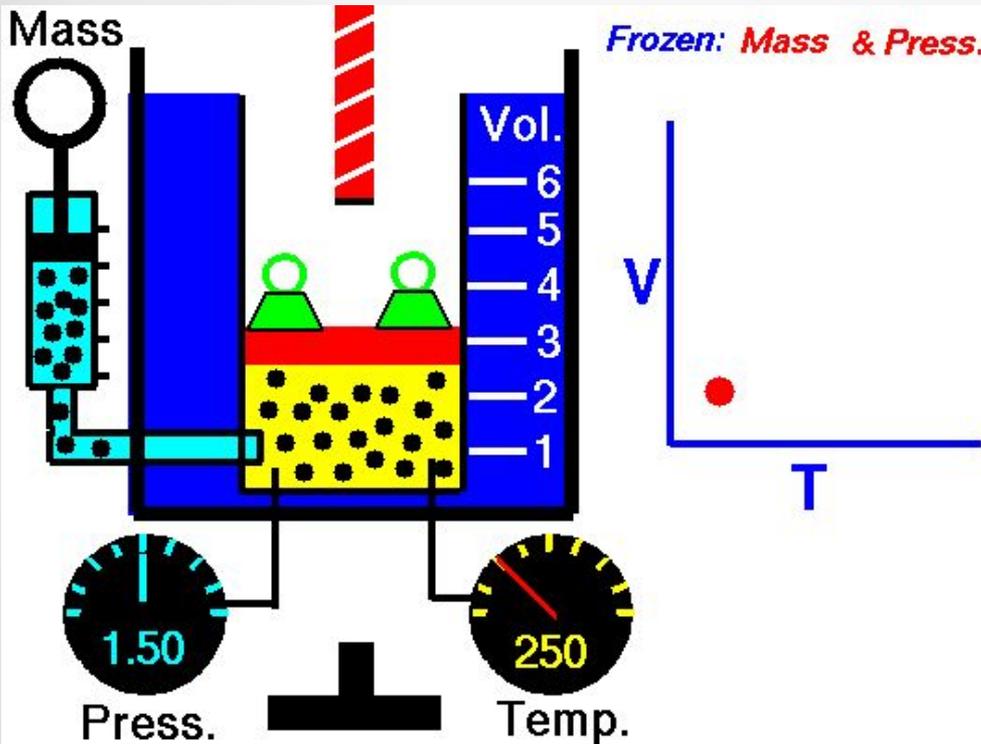


График изобарного процесса называется **изобарой**.

# Закон Гей-Люссака на практике



При постоянном давлении объём постоянной массы газа пропорционален абсолютной температуре

$$p = \text{const} \quad V \sim T$$

Мультипликация, представляющая зависимость объёма газа от температуры.

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

# История открытия



*Жозеф Луи  
Гей-Люссак*

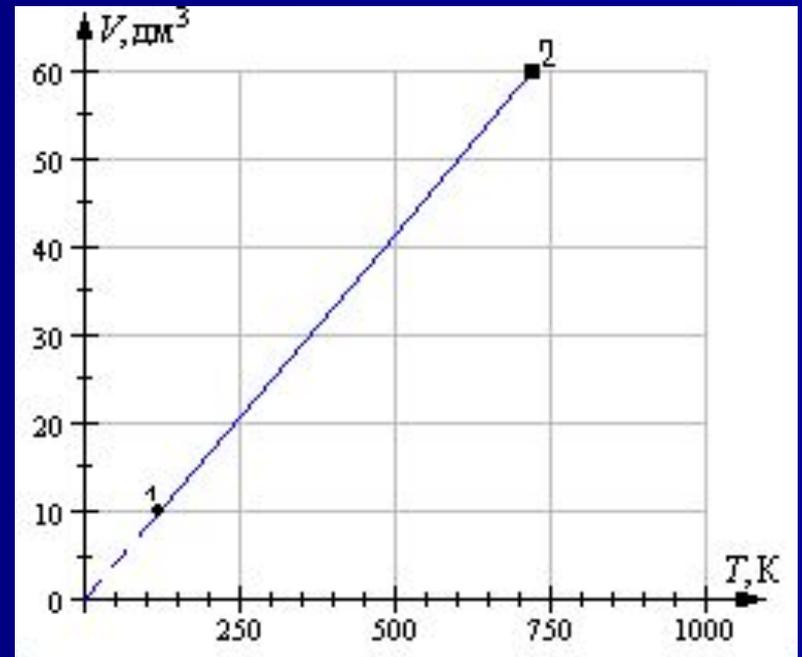
Гей-Люссак открыл закон чисто опытным путем. Он не стремился при выводе этого закона изучить всевозможные газовые реакции, а ограничился их сравнительно небольшим числом. На основе этих данных ученый сформулировал закон и сделал из него выводы. Так, измерив объемы взаимодействующих газов, Гей-Люссаку удалось правильно установить состав аммиака и пяти оксидов азота.

Ученый, сопоставив формулировку закона с результатами, полученными другим путем, нашел, что его закон подтверждается. Он смог опереться и на материалы, полученные другими исследователями. Например, он использовал известные определения плотности газов и соответственно соединительные веса не газообразных веществ.

# Определись в своих знаниях и проверь свои умения

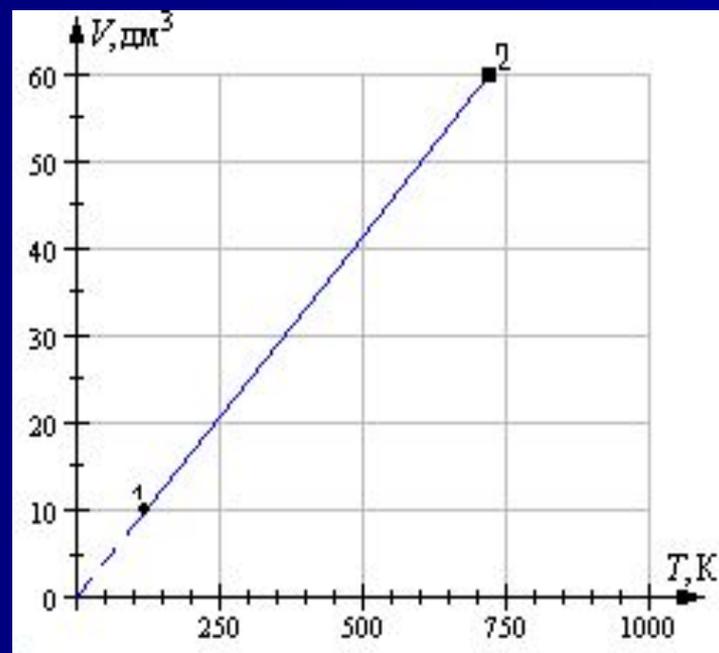
Назовите процесс:

- 1) изотермическое сжатие;
- 2) изохорное нагревание;
- 3) изобарное нагревание;
- 4) изотермическое расширение;
- 5) изобарное сжатие;
- 6) изохорное охлаждение.



# Выбери правильный ответ

- 1)  $p = \text{const}$    $V$    $T$
- 2)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 3)  $V = \text{const}$    $T$    $p$
- 4)  $P = \text{const}$    $T$    $V$
- 5)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 6)  $V = \text{const}$    $p$    $T$



1

2

3

4

5

6

# Реши задачу

Газ занимает объём  $2\text{м}^3$  при температуре  $273^{\circ}\text{C}$ . Каков будет его объём при температуре  $546^{\circ}\text{C}$  и прежнем давлении?

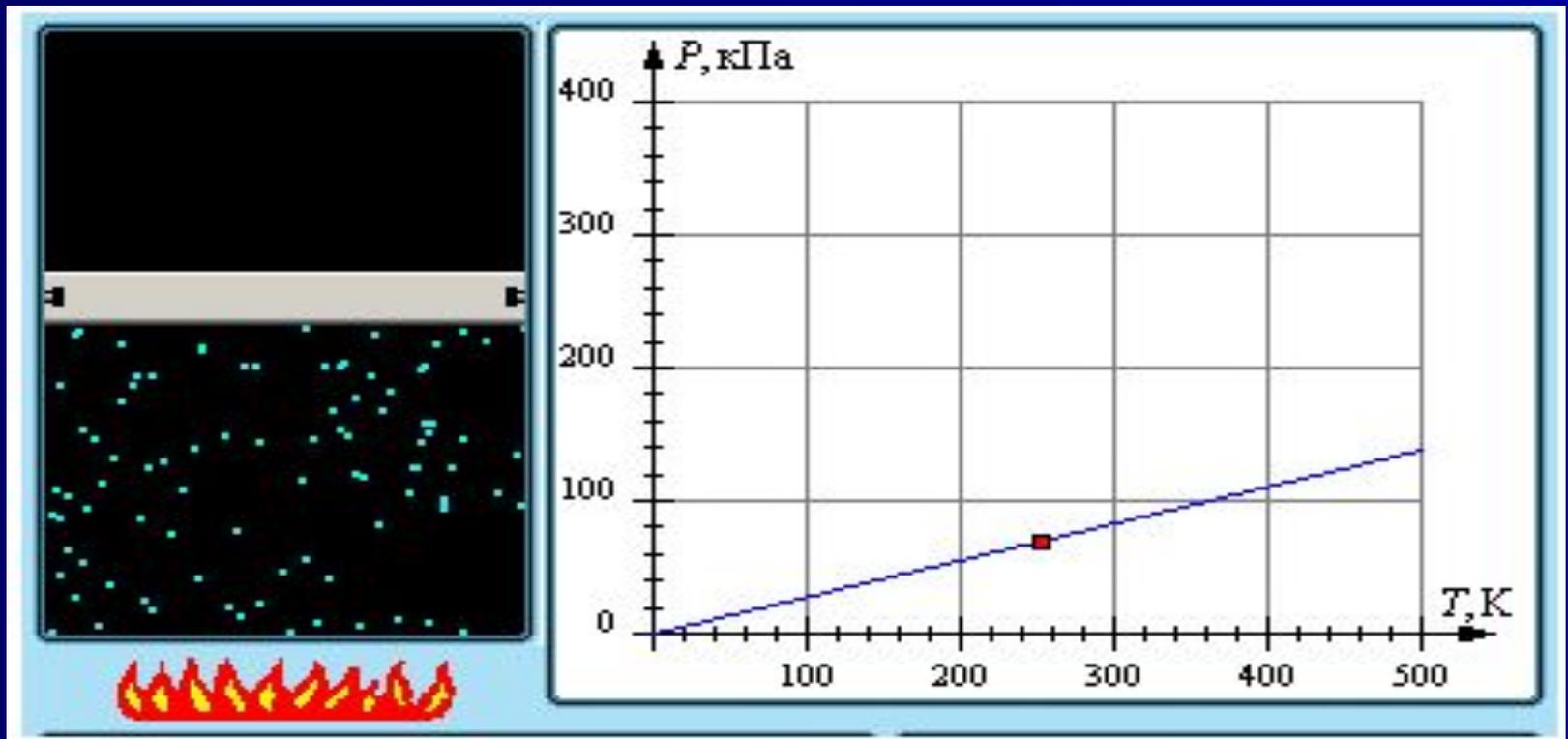
- |                      |                      |                    |
|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1) $3,5\text{м}^3$ ; | 3) $2,5\text{м}^3$ ; | 5) $3\text{м}^3$ ; |
| 2) $1\text{м}^3$ ;   | 4) $4\text{м}^3$ ;   | 6) $1,5\text{м}^3$ |

# Закон Шарля

(изохорный процесс)

$$p/T = \text{const} \text{ при } V = \text{const}$$

Для газа данной массы отношение давления к температуре постоянно, если объем газа не меняется.



# Закон Шарля

$$P = P_0 \alpha T$$

● Давление данной массы газа при постоянном объёме прямопропорционально температуре.

$$\alpha = \frac{1}{273,15} K^{-1}$$

$P_0$  - давление газа при температуре 0 °С;

$\alpha$  – температурный коэффициент давления

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



# Закон Шарля

Процесс перехода газа из одного состояния в другое при  $V = \text{const}$  называется **изохорическим (изохорным)**

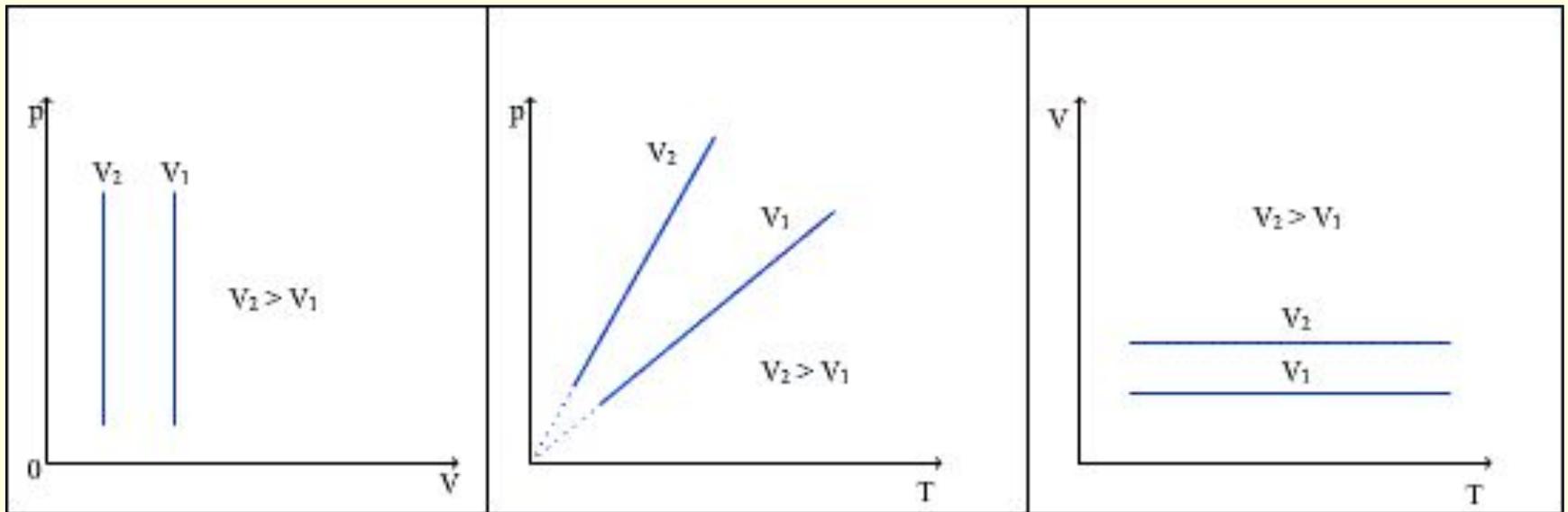


График изохорического процесса называется **изохорой**.

# История открытия



Жак  
Александр  
Сезар Шарль

- Когда стали известны опыты Б.Франклина с молнией, Шарль повторил их с изменениями - настолько интересными, что сам Франклин приехал познакомиться с ним и похвально отозвался о его способностях. Шарль построил воздушный шар из прорезиненной ткани и первым использовал для его наполнения водород. В 1783 осуществил полет на этом шаре. Исследуя процессы расширения газов, в 1787 установил зависимость объема идеального газа от температуры. В 1802 этот закон был вновь открыт Ж.Гей-Люссаком.

# Объединённый Газовый Закон

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Из уравнения  
Клапейрона можно  
получить любой газовый  
закон

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

*Если  $T_1 = T_2$*

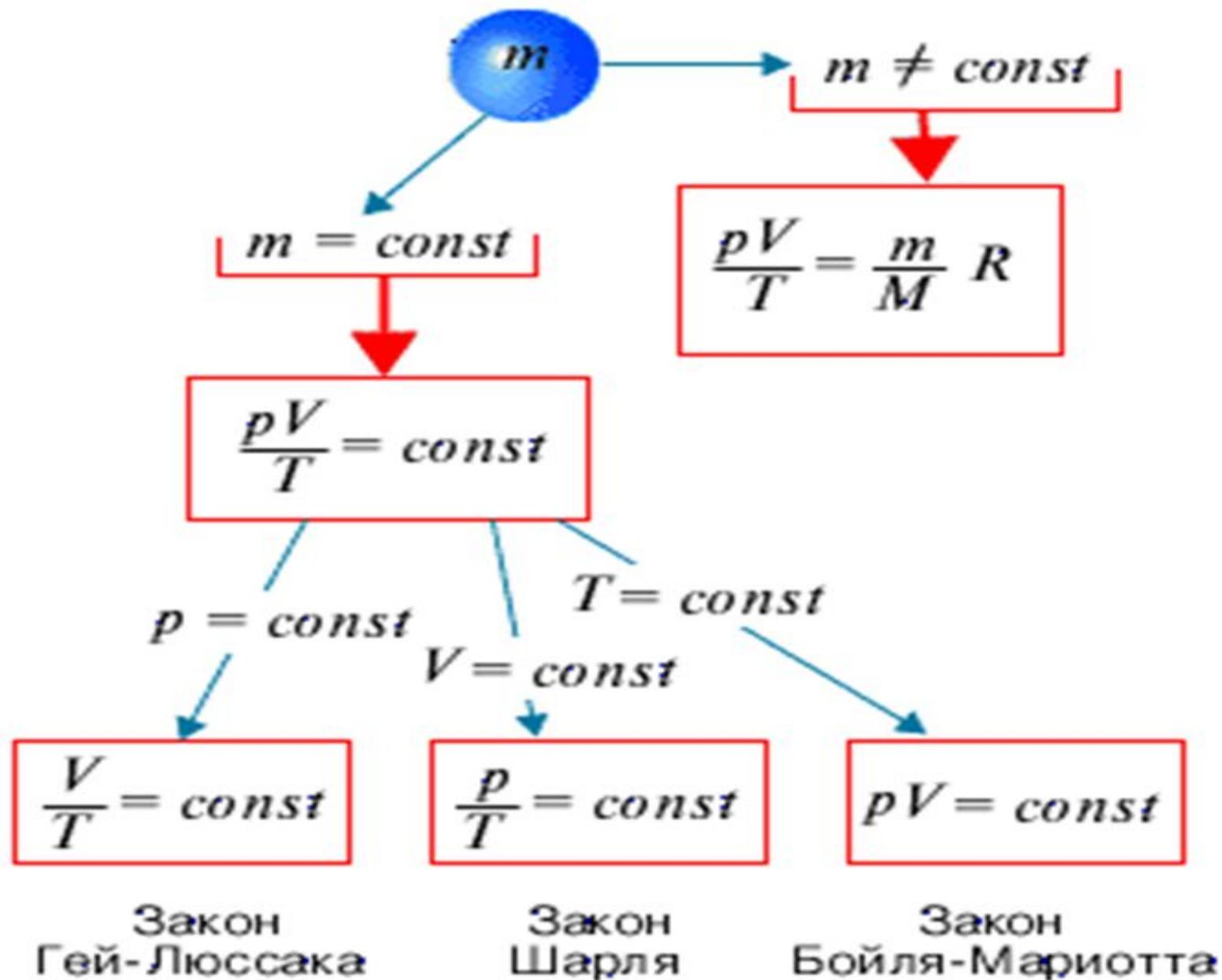
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

*Если  $P_1 = P_2$*

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

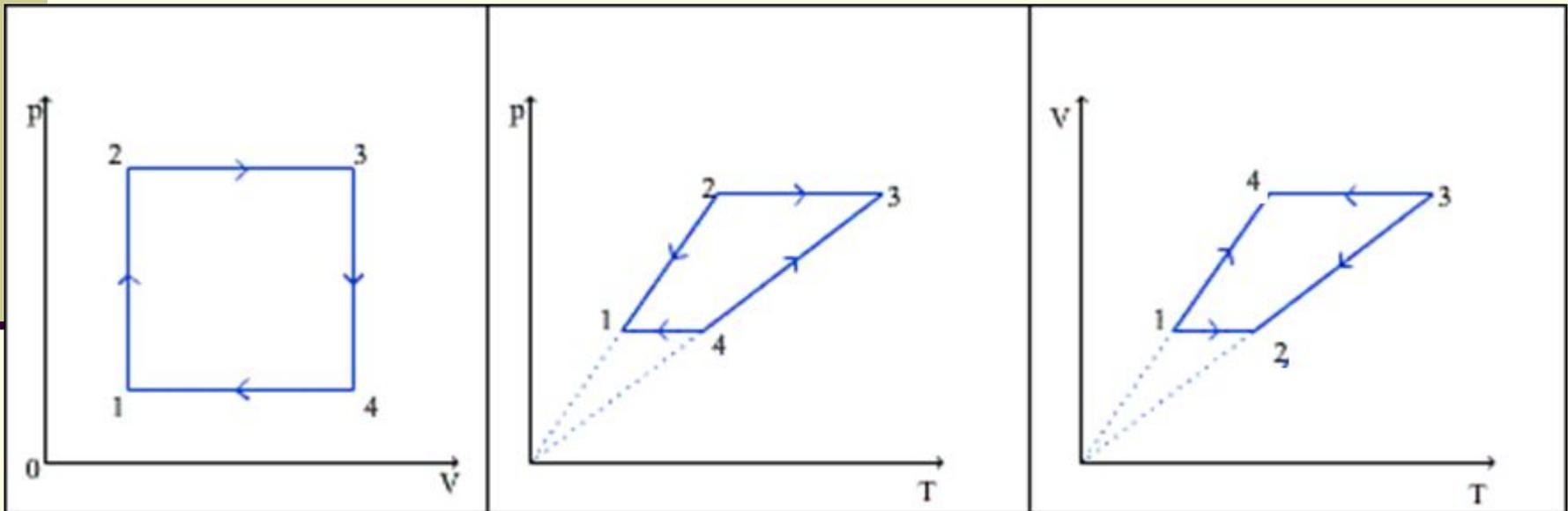
*Если  $V_1 = V_2$*



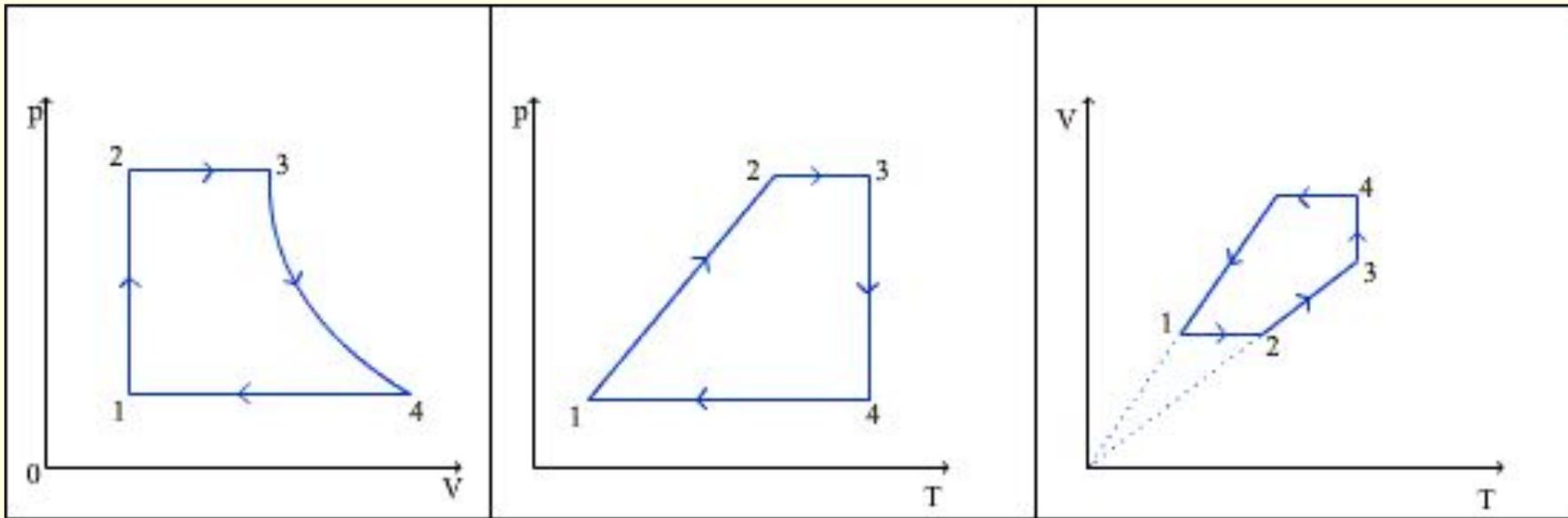


# Циклический процесс

Процесс перехода газа из одного состояния в другие, когда конечное состояние совпадает с начальным



# Циклический процесс



# Закон Дальтона:

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

# Закон Дальтона

Закон Дальтона- это физический закон, определяющий давление и растворимость смеси газов.

Сформулированы Джоном Дальтоном в начале XIX века.

Давление, которое имел бы каждый из газов, составляющих смесь, если удалить из сосуда остальные газы, называется парциальным

$$P = \sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

С точки зрения молекулярно-кинетической теории закон Дальтона выполняется потому, что взаимодействие между молекулами идеального газа пренебрежимо мало. Поэтому каждый газ оказывает на стенку сосуда такое давление, как если бы остальных газов не было бы.

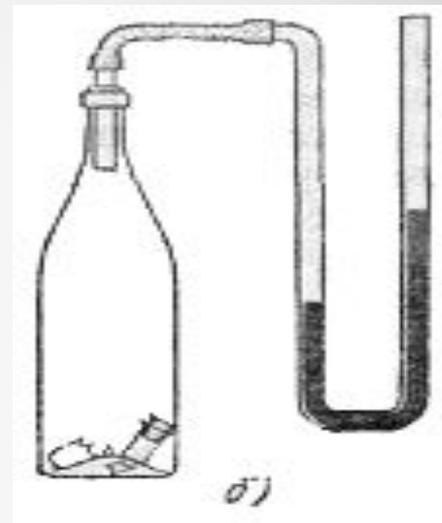
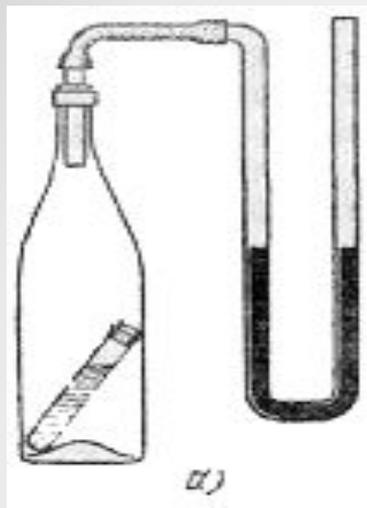
# История открытия



*Джон  
Дальтон*

Закон сложения парциальных давлений был сформулирован в 1801 году. При этом правильное теоретическое обоснование, основанное на молекулярно-кинетической теории, было сделано значительно позже.

# Закон Дальтона на практике



Поместим в бутылку закупоренную пробирку с эфиром. Бутылку закроем пробкой со стеклянной трубкой, присоединенной к ртутному манометру. При закупоривании бутылки в ней находился атмосферный воздух, и уровни ртути в обоих коленах почти одинаковы. Затем резко встряхнем бутылку, чтобы пробирка разбилась. Мы увидим, что ртуть в манометре начнет подниматься. Через несколько минут установится разность уровней, равная понижению уровня в опыте, показанном на рис.

Изменение уровня ртути показывает, что к давлению воздуха прибавилось давление паров эфира. Значит, равновесие между жидким эфиром и его парами устанавливается в присутствии воздуха при том же давлении паров эфира, что и в пространстве, откуда воздух удален.

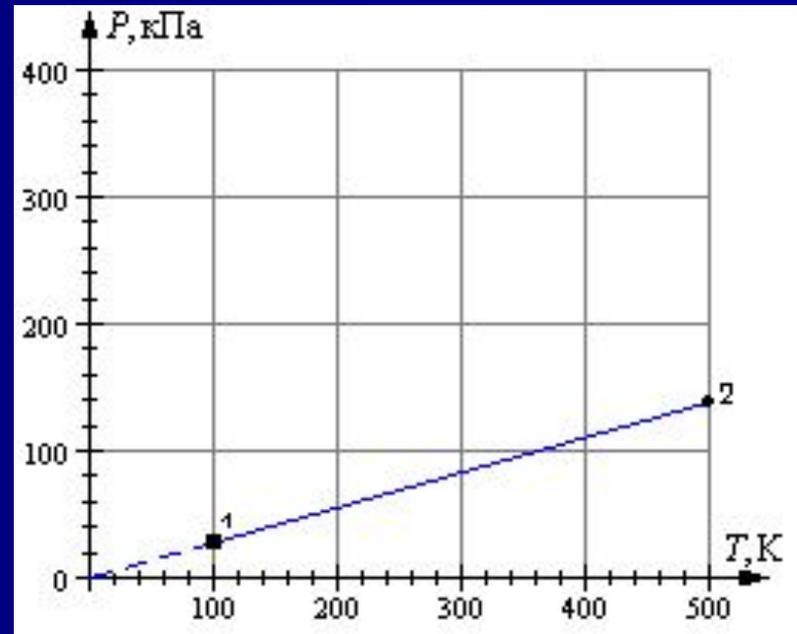
Из того наблюдения, что давление пара эфира и в присутствии воздуха и без него получается одинаковым, можно сделать вывод, что количество эфира, которое испаряется в определенное пространство, одинаково в обоих случаях при условии равенства температур



# Определись в своих знаниях и проверь свои умения

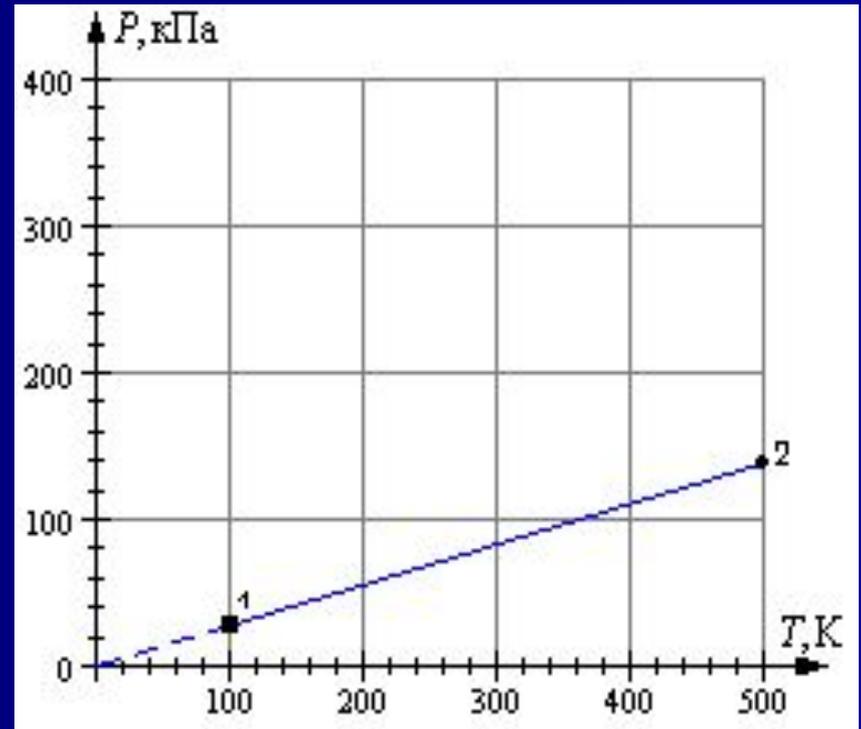
Назовите процесс:

- 1) изотермическое сжатие;
- 2) изобарное нагревание;
- 3) изохорное нагревание;
- 4) изотермическое расширение;
- 5) изобарное расширение;
- 6) изохорное охлаждение.



# Выбери правильный ответ

- 1)  $p = \text{const}$    $V$    $T$
- 2)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 3)  $V = \text{const}$    $T$    $p$
- 4)  $P = \text{const}$    $T$    $V$
- 5)  $T = \text{const}$    $p$    $V$
- 6)  $V = \text{const}$    $p$    $T$



# Реши задачу

Газ находится в баллоне при температуре 288 К и давлении 1,8 МПа. При какой температуре давление газа станет равным 1,55 МПа? Объем баллона считать неизменным.

- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| 1) 100К; | 3) 248К; | 5) 456К; |
| 2) 284К; | 4) 123К; | 6) 789К  |

# ЗАДАЧА (образец)



*Какие процессы  
на графике и как  
параметры газа?*

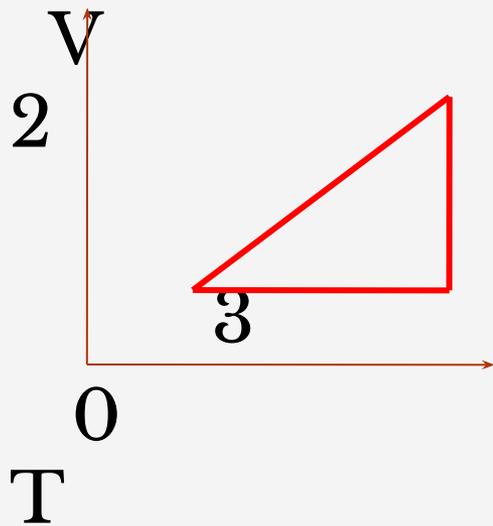
0

T

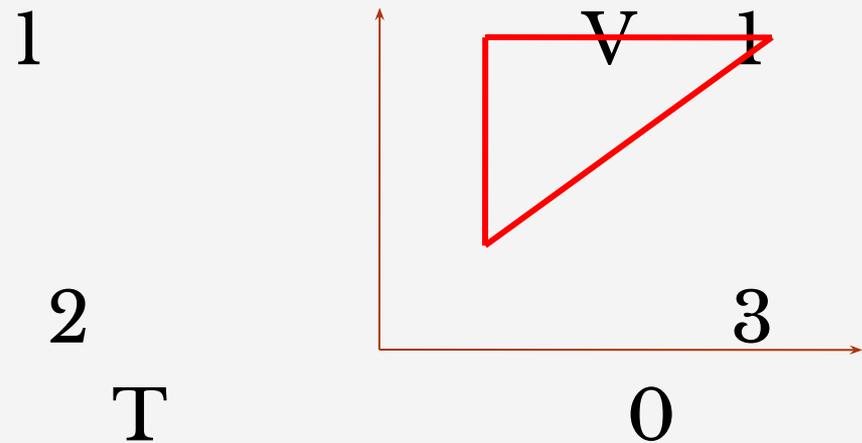
1 – 2	изотермический,	$p \uparrow$	$T =$	$V \downarrow$
2 – 3	изобарный,	$p =$	$T \uparrow$	$V \uparrow$
3 – 1	изохорный,	$p \downarrow$	$T \downarrow$	$V =$

# САМОСТОЯТЕЛЬНО

Вариант 1

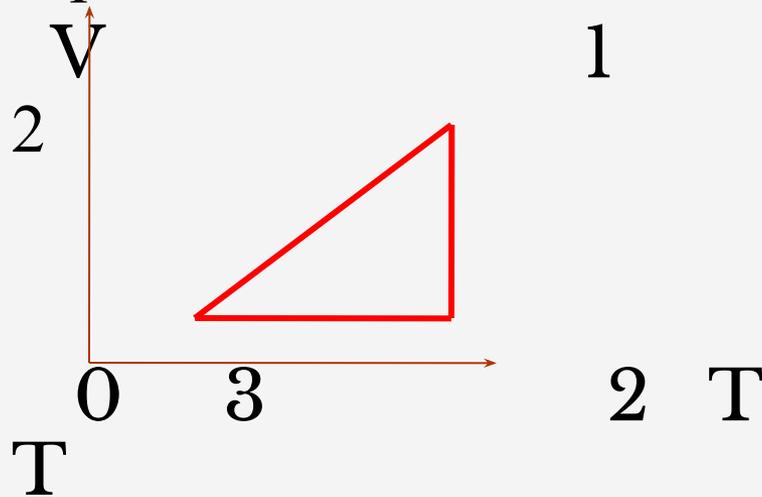


Вариант 2



# САМОСТОЯТЕЛЬНО

Вариант 1



1 – 2 изотермический

$$V \downarrow \quad T = \quad p \uparrow$$

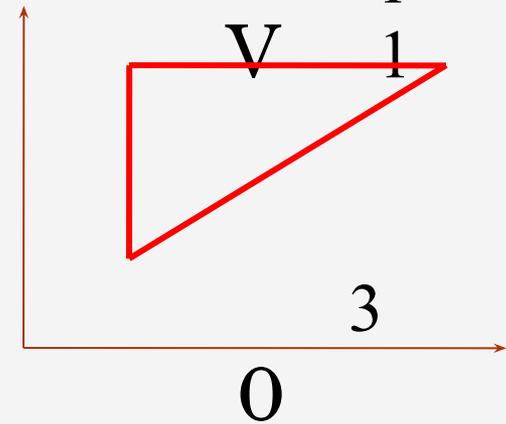
2 – 3 изохорный

$$V = \quad T \downarrow \quad p \downarrow$$

3 – 1 изобарный

$$V \uparrow \quad T \uparrow \quad p =$$

Вариант 2



1 – 2 изохорный

$$V = \quad T \uparrow \quad p \uparrow$$

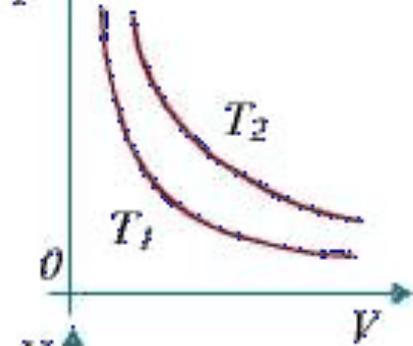
2 – 3 изобарный

$$V \downarrow \quad T \downarrow \quad p =$$

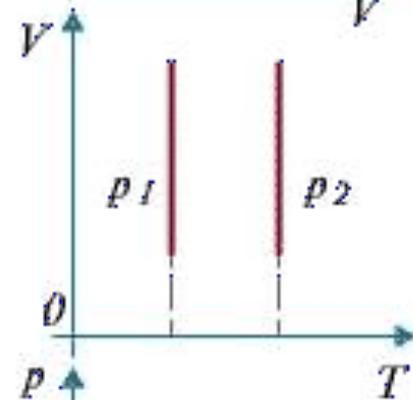
3 – 1 изотермический

$$V \uparrow \quad T = \quad p \downarrow$$

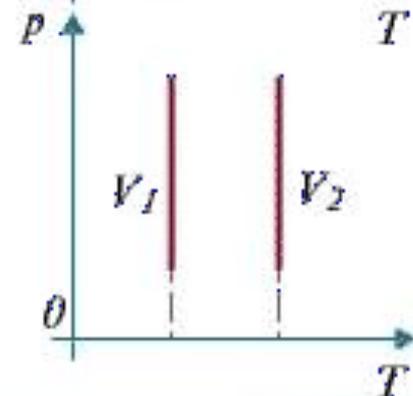
График изотермического процесса



$$T_1 < T_2$$



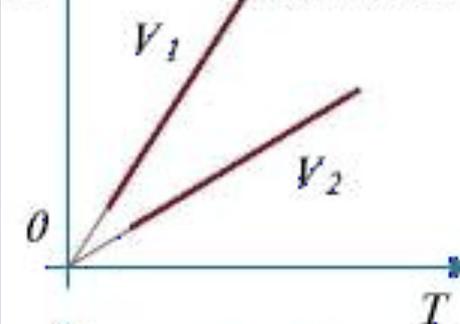
$$p_1 < p_2$$



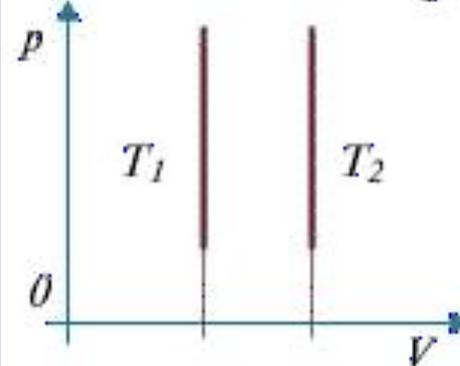
$$V_1 < V_2$$

Изотермы  
в координатах  
 $pV$ ,  $VT$  и  $pT$ .

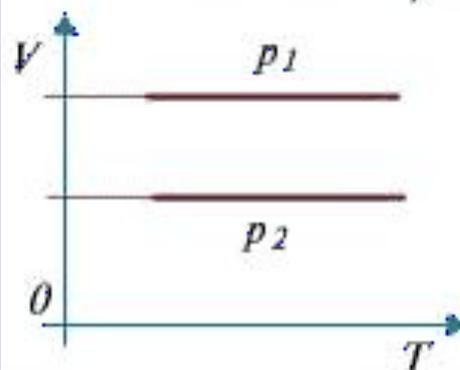
График изохорного процесса.



$$V_1 < V_2$$

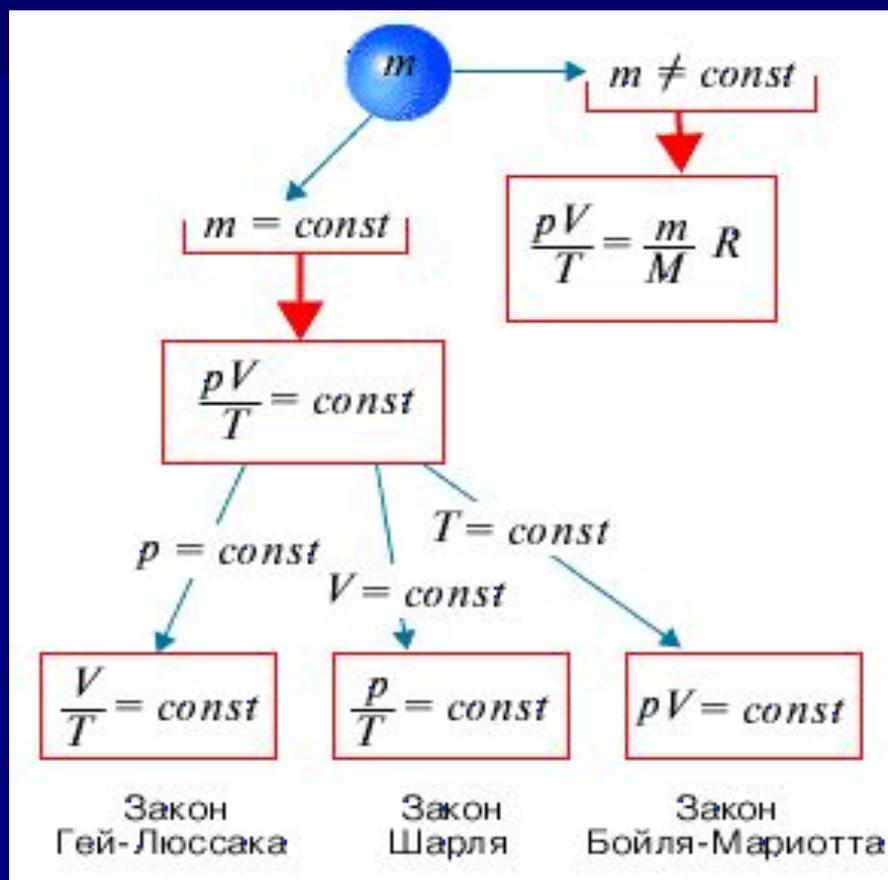
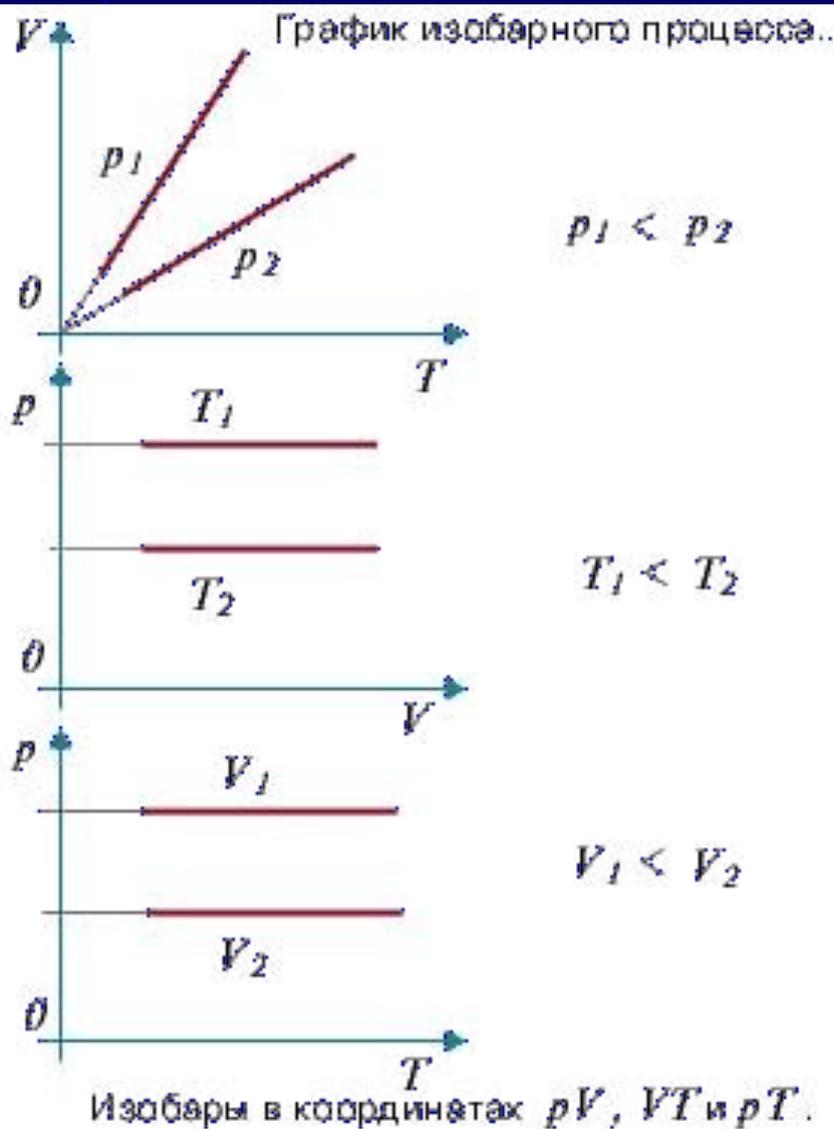


$$T_1 < T_2$$



$$p_1 < p_2$$

Изохоры  
в координатах  
 $pV$ ,  $VT$  и  $pT$ .



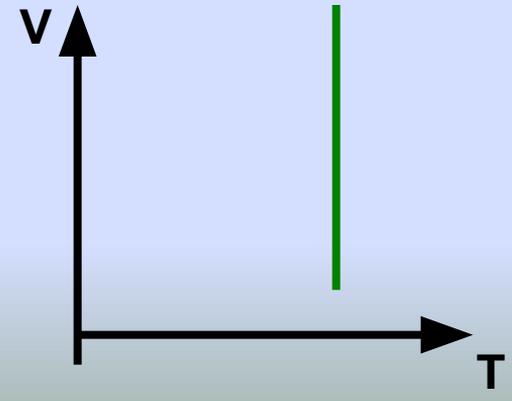
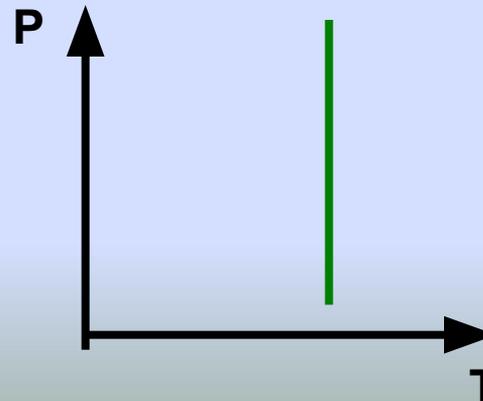
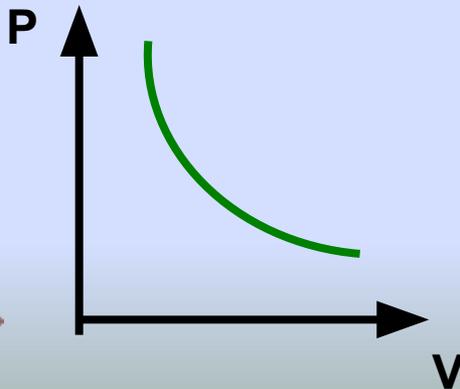
Давайте повторим!

# Изотермический процесс

- *Постоянный параметр – температура* ( $T = const$ )
- *Связь между другими параметрами:  $P_1V_1 = P_2V_2$  ( $PV = const$ )*
- *Закон Бойля – Мариотта*

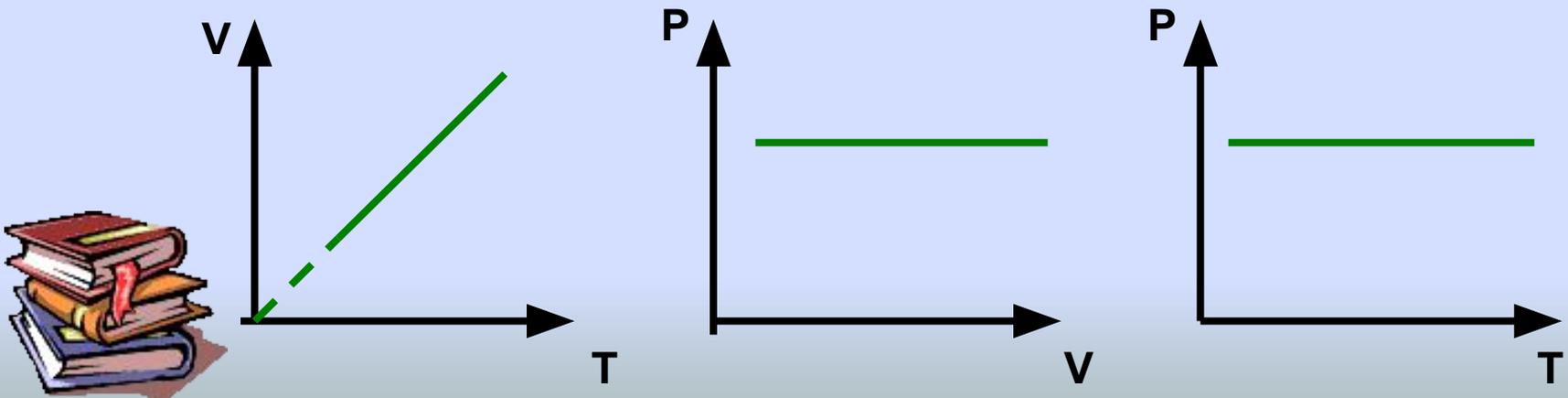
*(Для данной массы газа произведение давления на объем есть величина постоянная при постоянной температуре)*

- *Графики процесса:*



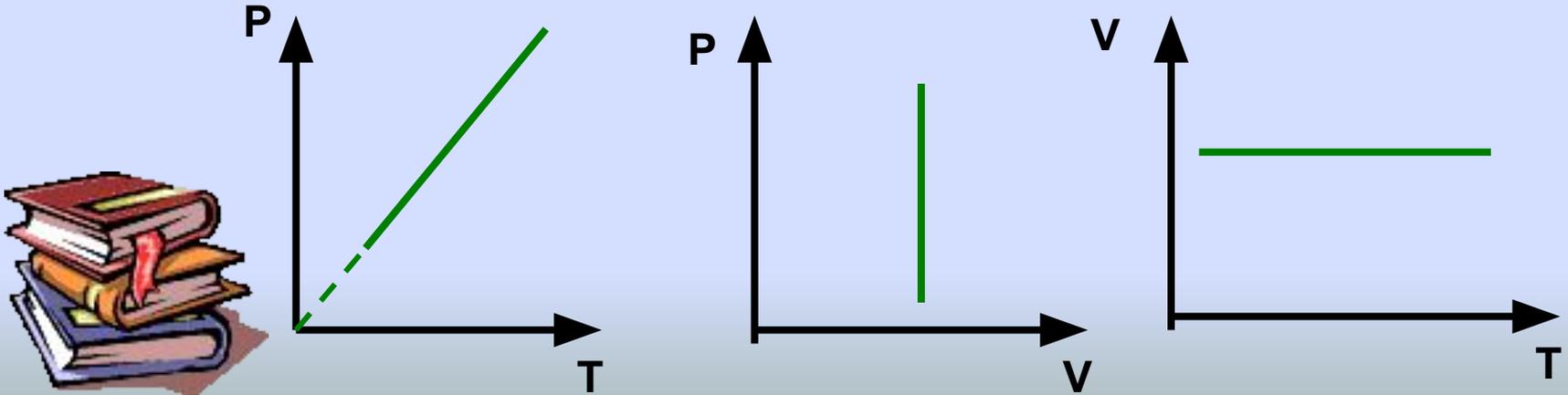
# Изобарный процесс

- *Постоянный параметр – давление* ( $P = \text{const}$ )
- *Связь между другими параметрами:  $V_1/T_1 = V_2/T_2$  ( $V/T = \text{const}$ )*
- *Закон Гей-Люссака*  
(Для данной массы газа отношение объема к абсолютной температуре есть величина постоянная при постоянном давлении)
- *Графики процесса:*



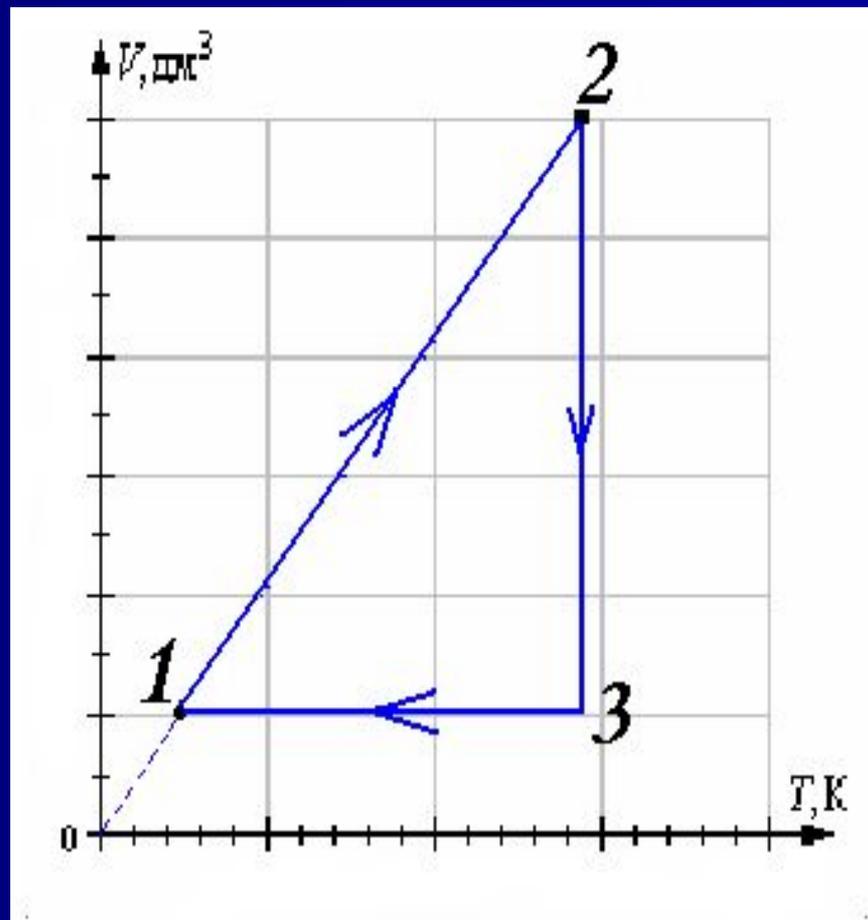
# Изохорный процесс

- *Постоянный параметр – объем* ( $V = \text{const}$ )
- *Связь между другими параметрами:  $P_1/T_1 = P_2/T_2$  ( $V/T = \text{const}$ )*
- *Закон Шарля*  
(Для данной массы газа отношение давления к абсолютной температуре есть величина постоянная при постоянном объеме)
- *Графики процесса:*



# Домашнее задание

На рисунке дан график изменения состояния идеального газа в координатных осях  $V, T$ . Представьте этот процесс на графиках в координатных осях  $P, V$  и  $P, T$ .



СПАСИБО

ЗА

УРОК