

*Уравнение состояния  
идеального газа.*

*Изопроцессы*

# Уравнение состояния

$$p = nkT$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{1}{V} \frac{m}{M} N_A$$

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

$$R = k N_A$$

$R$  - универсальная газовая постоянная

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

$R$  – универсальная газовая постоянная

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

уравнение Менделеева -  
Клапейрона

$p$  – давление идеального газа

$V$  – объем идеального газа

$m$  – масса газа

$M$  – молярная масса газа

$R$  – универсальная газовая постоянная

$T$  – абсолютная температура  
идеального газа

# Уравнение Клапейрона

$$m = \text{const.}$$

$$P_1, V_1, T_1 -$$

параметры первого состояния,

$$P_2, V_2, T_2 -$$

параметры второго состояния

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{m}{M} R$$

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{m}{M} R$$

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

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

$p$  – давление идеального газа  
 $V$  – объем идеального газа  
 $T$  – абсолютная температура  
идеального газа

# Бенуа Клапейрон Бенуа Поль Эмиль

(26.I.1799–28.I.1864)



· Французский химик и физик, член Парижской АН (1858). Окончил Политехническую школу в Париже (1818). В 1820–30 работал в Петербурге в институте инженеров путей сообщения. По возвращении во Францию был профессором Школы мостов и дорог в Париже. В 1834 обратил внимание на работу С. Карно, повторил его рассуждения и, впервые применив графический метод в термодинамике, придал его результатам геометрическую форму. Исследуя цикл Карно, вывел уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона). Ввел зависимость точки плавления и кипения от давления (уравнение Клапейрона–Клаузиуса).

# Менделеев Дмитрий (8.II.1834–2.II.1907)



Дмитрий Иванович Менделеев родился в феврале 1834 г. в городе Тобольске, в семье директора местной гимназии. В 1850 г. поступил на физико-математический факультет Петербургского педагогического института. В 1855 г. окончил его с золотой медалью. В 1861 г. Менделеев написал первый в России учебник по органической химии. Его полное научное и литературное наследие огромно и содержит 431 работу.

Умер он в феврале 1907 г. от воспаления легких.

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

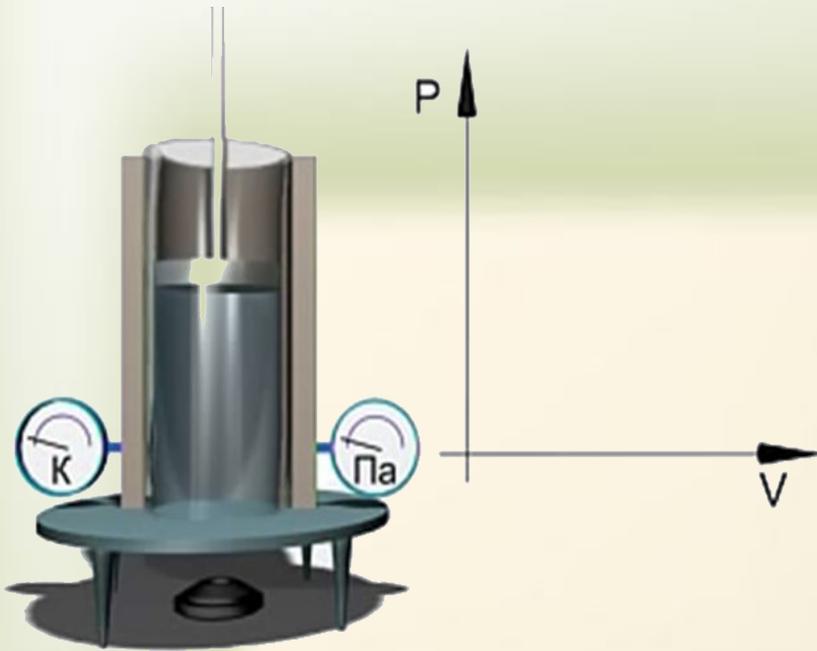
Законы, описывающие эти процессы, называют газовыми законами

$$T = \text{const}$$

Изотермический процесс – процесс изменения состояния определенной массы идеального газа при постоянной температуре

“термо” (греч.) – температура

# Изотермический процесс



Давление газа зависит от числа ударов молекул о стенки сосуда . При сжатии газа объем уменьшается, число ударов увеличивается и следовательно давление газа увеличивается

## Закон Бойля - Мариотта

$$pV = \text{const}$$

при  $T = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$

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

$p$  – давление данной массы  
идеального газа

$V$  – объем данной массы идеального газа

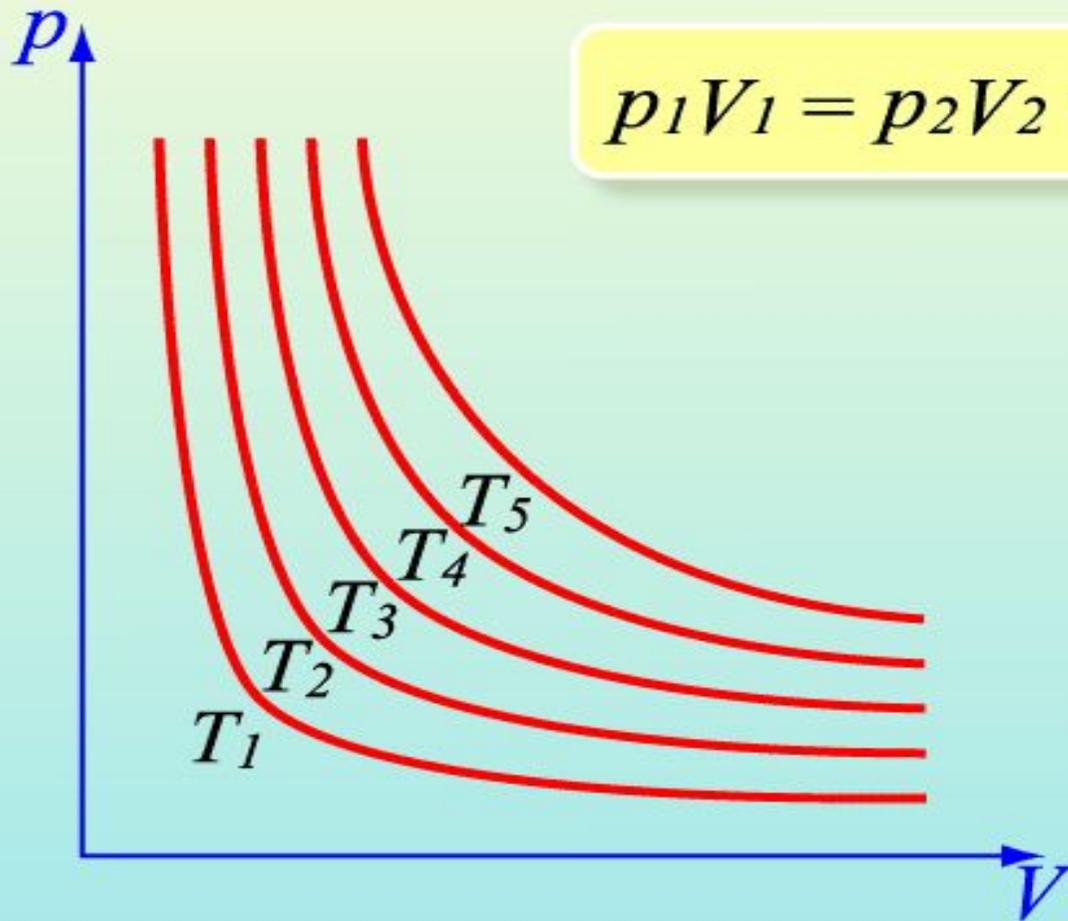
$T$  – абсолютная температура данной  
массы идеального газа

# Закон Бойля - Мариотта

Для газа данной массы при постоянной температуре произведение давления газа на его объем постоянно:

$$PV = \text{const.}$$

# График - изотерма



$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3$$

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

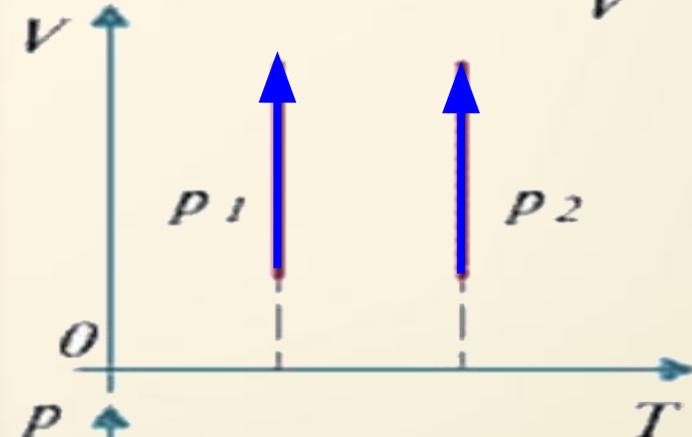
$$T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

# График изотермического процесса

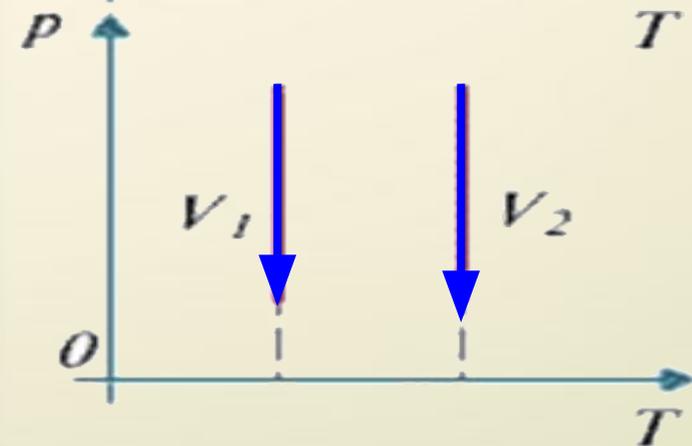


$$T_1 < T_2$$

$$y = \frac{1}{x}$$



$$p_1 < p_2$$



$$V_1 < V_2$$

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

## Роберт Бойль (*Boyle*) (25.I.1627–30.XII.1691)



· Роберт Бойль, четырнадцатый ребенок графа Корка, родился в его имении в Лисморе, Ирландия. После учебы в Англии Бойль путешествовал по Европе. Там он познакомился с трудами Галилея. Они оказали на юношу огромное влияние. В 1654г., работая в Оксфордском университете, Бойль заинтересовался опытами с вакуумом. В 1658г. он и Роберт Гук построили новый воздушный насос. Бойль и Гук получили вакуум, удалив насосом воздух из стеклянной колбы. Работы Бойля в области газов помогли ему сформулировать закон взаимосвязи между объемом газа и его давлением. Бойль доказал, что при двукратном увеличении давления газа и при постоянной температуре его объем уменьшается вдвое.

# Мариотт Эдм. (*Mariotte*) (1620 - 12. V 1684)



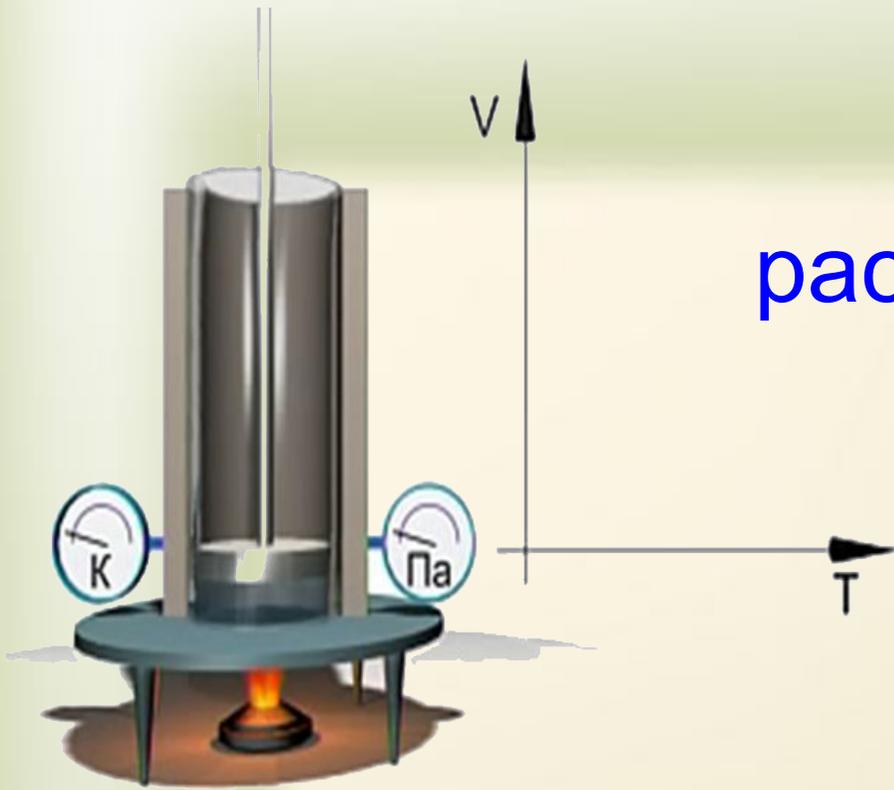
· Французский физик, член Парижской АН со дня её основания (1666). Был настоятелем монастыря в окрестностях Дижона. Впервые описал слепое пятно в глазу (1668), в 1676 - опыты о зависимости упругости воздуха от давления и вторично дал формулировку закона, открытого и опубликованного Р. Бойлем в 1662 (закон Бойля–Мариотта). Впервые использовал этот закон для определения высоты места по показаниям барометра. Описал многочисленные опыты о течении жидкостей по трубам и действие фонтанов (1686). Изучал также явление удара тел.

$$P = \text{const}$$

Изобарный процесс – процесс изменения состояния определенной массы газа при постоянном давлении

“барос” (греч.) - давление

# Изобарный процесс



При нагревании газ расширяется т.е. его объем увеличивается<sub>ся</sub>

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

при  $p = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$

Закон Гей-Люссака

$V$  – объем данной массы идеального газа

$T$  – абсолютная температура данной массы идеального газа

$p$  – давление данной массы идеального газам

# Закон Гей-Люссака

Для газа данной массы при постоянном давлении отношение объема газа к его температуре постоянно:

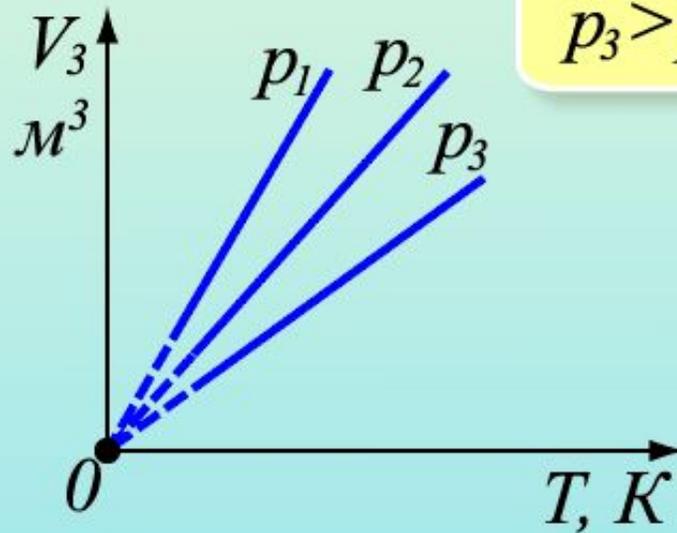
$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

# График - изобара

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

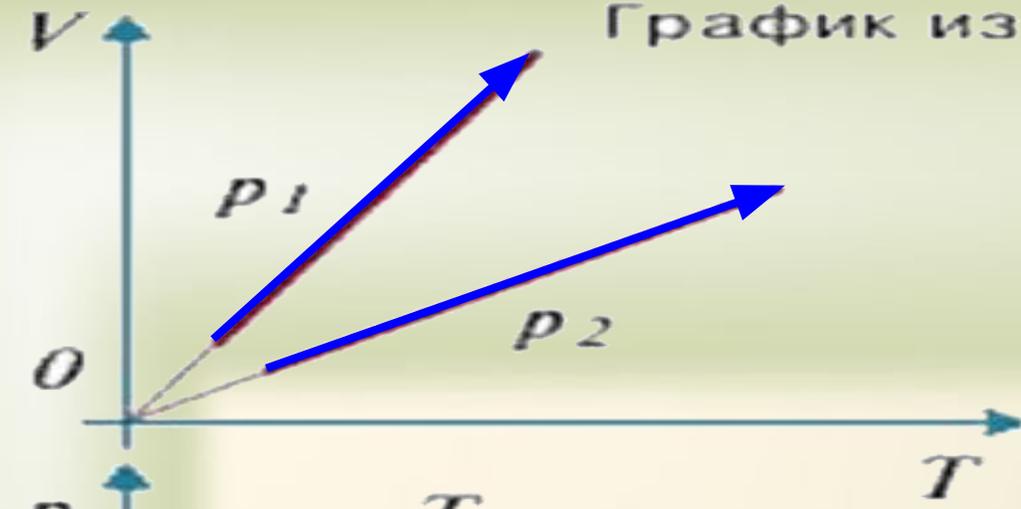
$$m = \text{const}$$

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

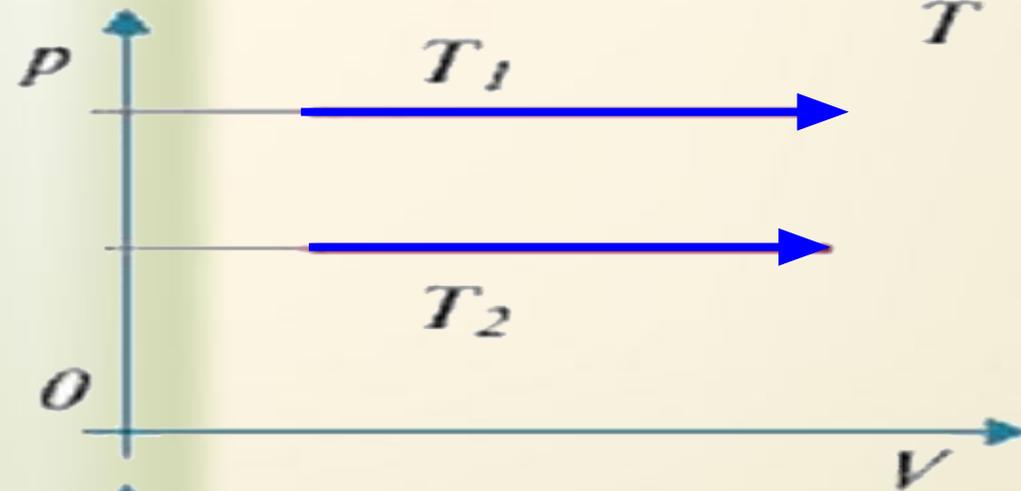


$$p_3 > p_2 > p_1$$

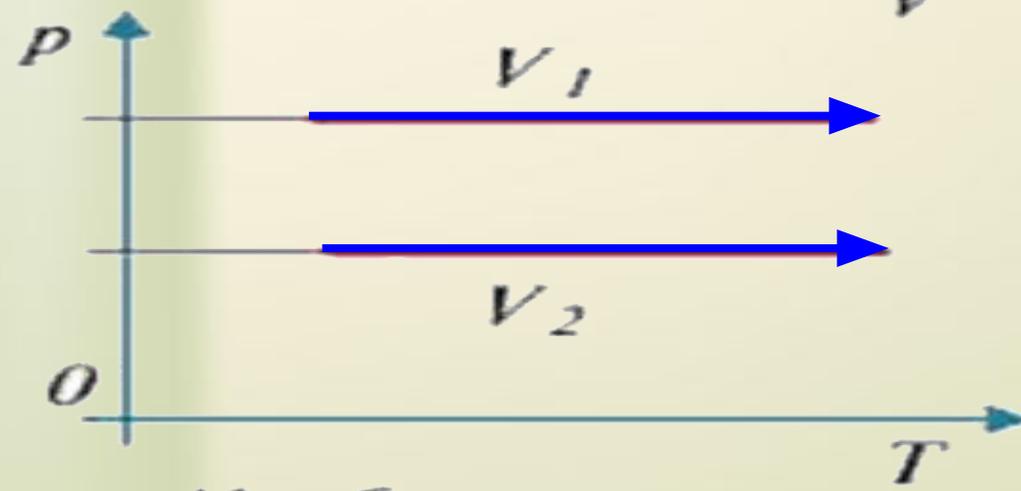
График изобарного процесса.



$$p_1 < p_2$$



$$T_1 < T_2$$



$$V_1 < V_2$$

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

# Жозеф Гей-Люссак (*Gay-Lussac*) Жозеф Луи

(6.XII.1778–9.V.1850)



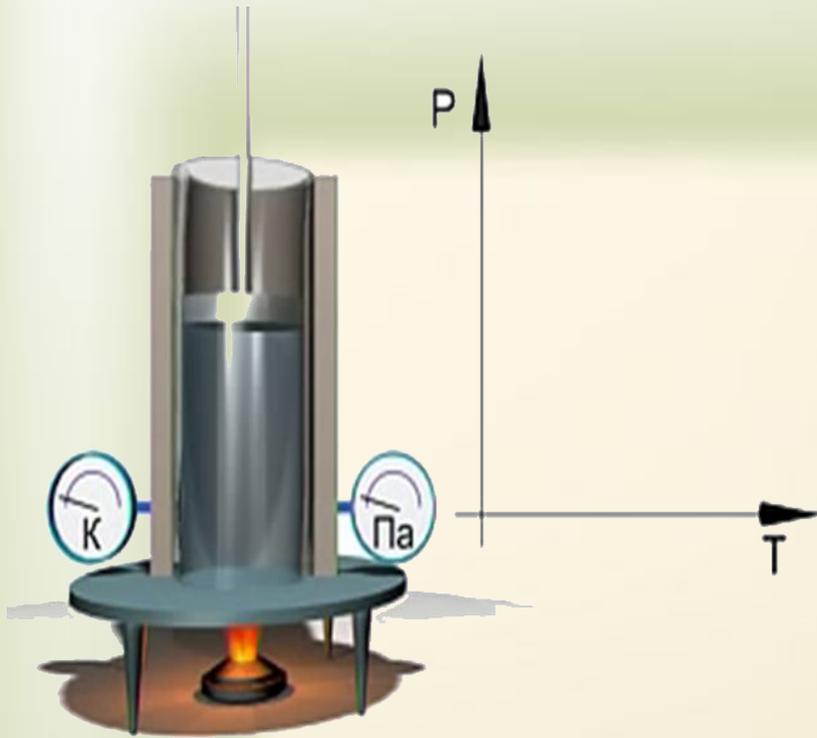
Французский химик и физик, член АН в Париже (1806). В 1802, независимо от Дж. Дальтона, Гей-Люссак открыл закон теплового расширения газов. В 1808 Гей-Люссак открыл закон объемных отношений при реакциях между газами. В том же году Гей-Люссак и Л. Тенар разработали способ получения калия и натрия сильным нагреванием едкого кали или едкого натра с железными стружками; нагреванием борного ангидрида с калием выделили свободный (нечистый) бор. Они же доказали элементарную природу хлора (1808), калия и натрия (1810). В 1813–14 Гей-Люссак одновременно с Г. Дэви показал, что иод – химический элемент, очень похожий на хлор, и получил соединения иода, в частности, иодистый водород. В 1819 Гей-Люссак построил на основании своих определений первые диаграммы растворимости солей в воде и подметил существование двух отдельных кривых растворимости для безводного сульфата натрия и его десятиводного гидрата. В 1824–32 усовершенствовал методы титрования (алкалометрию, ацидиметрию и хлорометрию). В 1827 Гей-Люссак изобрел башню для улавливания окислов азота, выходящих из свинцовых камер при производстве серной кислоты. Башни, носящие его имя, впервые применены в 1842.

$$V = \text{const}$$

Изохорный процесс – процесс изменения состояния определенной массы газа при постоянном объеме.

“хорос” (греч.) – объем

# Изохорный процесс



Давление газа зависит от числа ударов молекул о стенки сосуда. При повышении температуры число ударов молекул увеличивается и следовательно давление повышается

## Закон Шарля

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

при  $V = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$

$p$  – давление данной массы идеального газа

$T$  – абсолютная температура данной массы идеального газа

$V$  – объем данной массы идеального газа

# Закон Шарля

Для газа данной массы отношение  
давления газа к его температуре  
постоянно:

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

# График - изохора

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

$$m = \text{const}$$

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

$$V_3 > V_2 > V_1$$

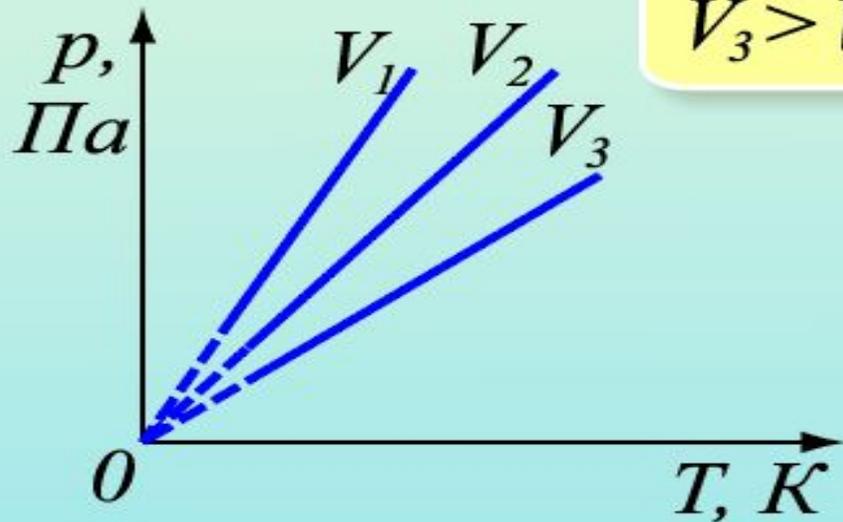
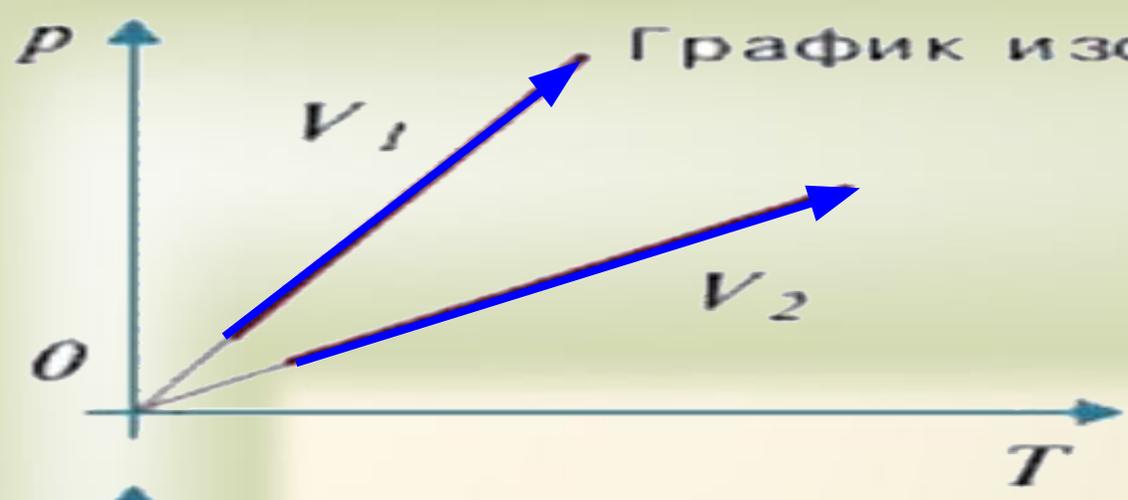
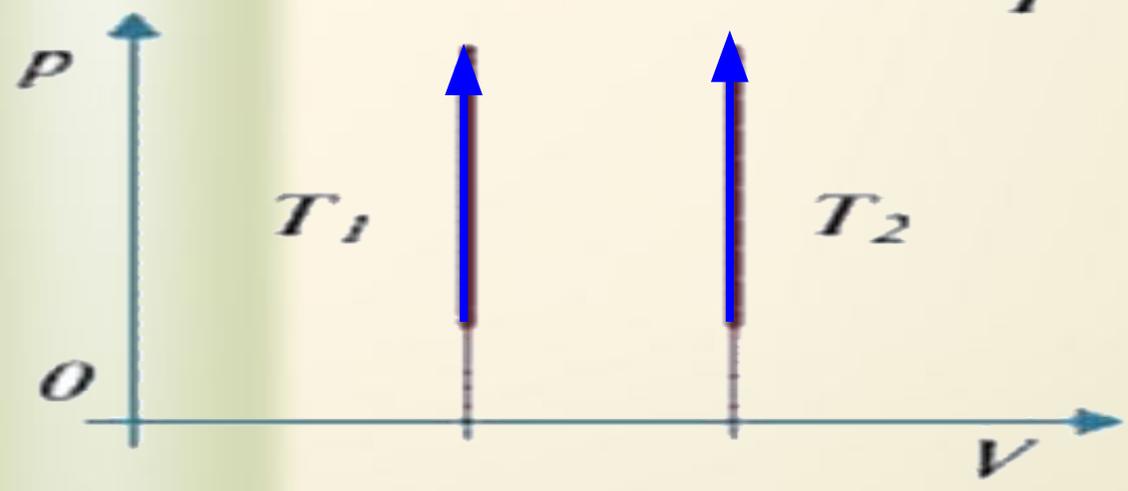


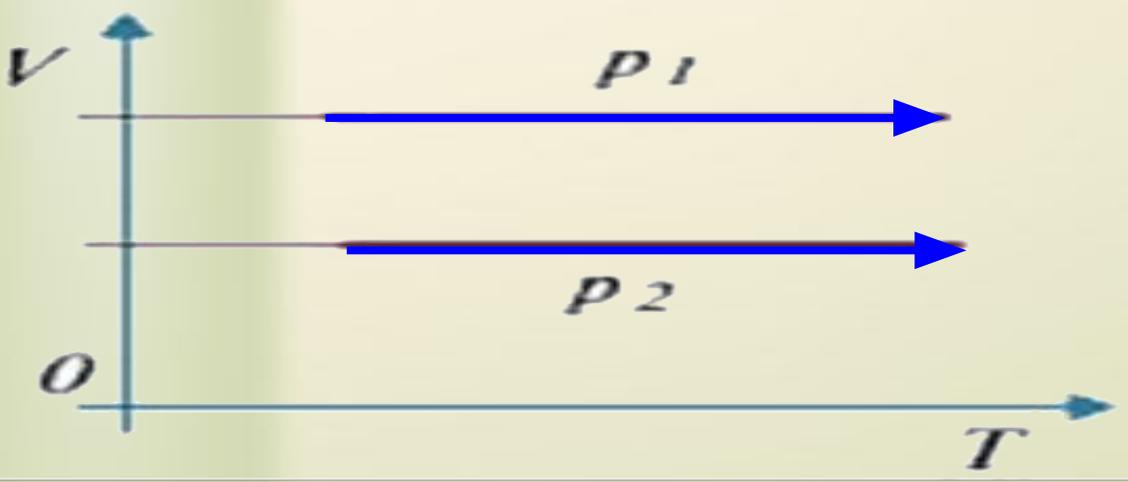
График изохорного процесса.



$$V_1 < V_2$$



$$T_1 < T_2$$



$$p_1 < p_2$$

Изохоры  
в координатах  
 $pV$ ,  $VТ$  и  $pТ$ .

# ШАРЛЬ, ЖАК АЛЕКСАНДР СЕЗАР *(Charles, Jacques-Alexandre-César)*

*(1746–1823),*



·Французский физик и изобретатель. Родился 12 ноября 1746 в Божанси. Учился самостоятельно. В молодости переехал в Париж и поступил на должность канцелярского служащего в министерство финансов. 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, а 1787 установил зависимость объема идеального газа от температуры. В 1802 этот закон был вновь открыт Ж.Гей-Люссаком. Шарль изобрел такие приборы, как мегаскоп и термометрический гидрометр. Умер Шарль в Париже 7 апреля 1823.

Домашнее задание  
стр. 25-30