



излучение



конвекция



теплопроводность

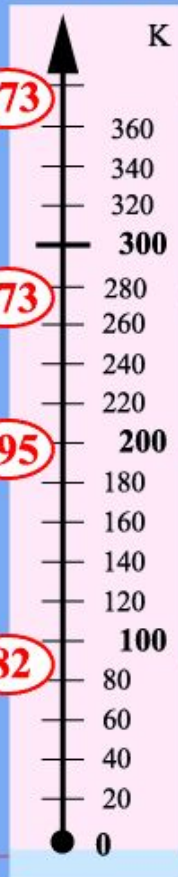
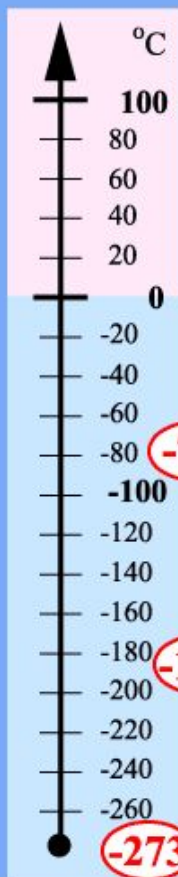


## Шкала Цельсия

## Термодинамическая шкала

$$t = T - 273$$

$$T = t + 273$$



*кипение воды*



*плавление льда*



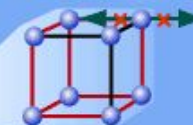
*сухой лед ( $\text{CO}_2$ )*



*жидкий воздух*



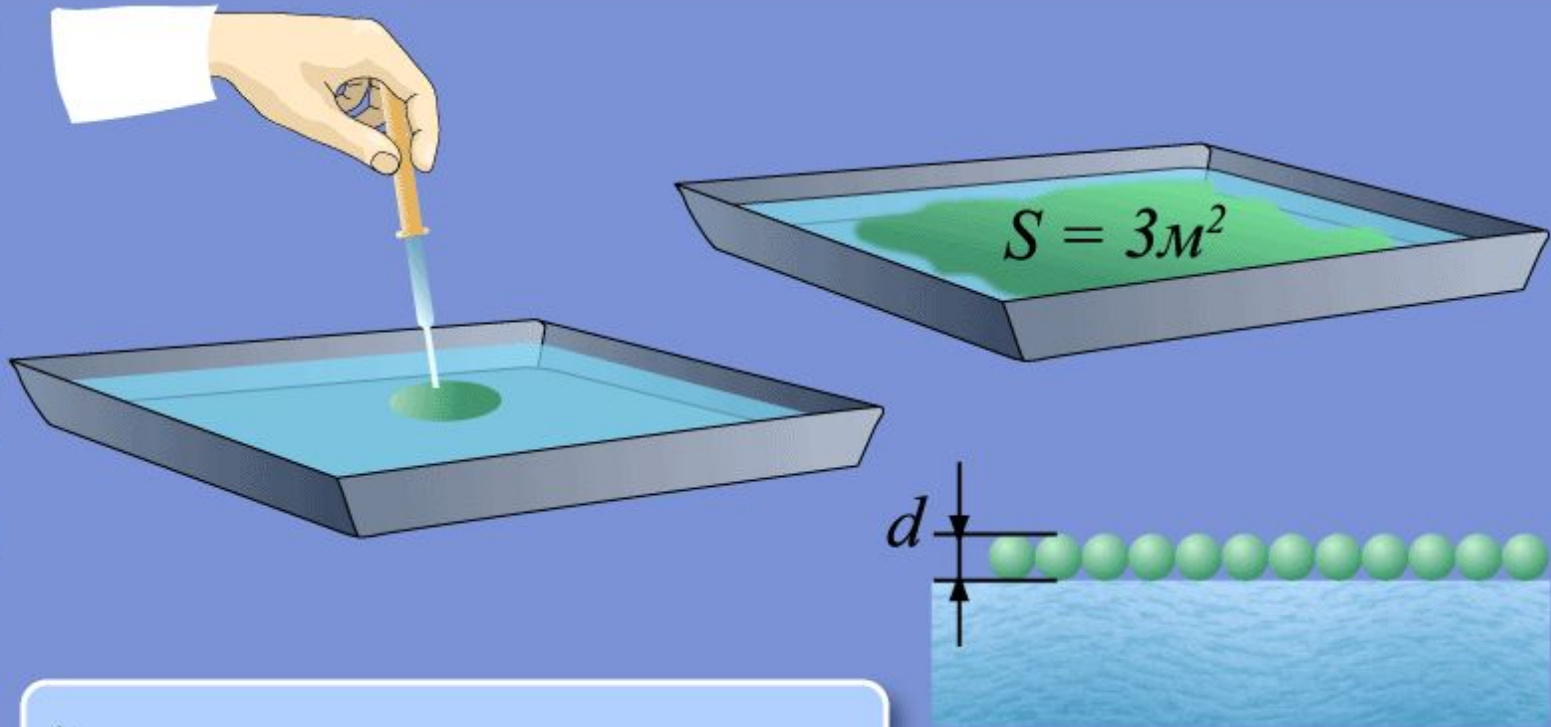
*абсолютный ноль*



100  
80  
60  
40  
20  
0  
-20  
-40  
-60  
-78  
-100  
-120  
-140  
-160  
-180  
-191  
-200  
-220  
-240  
-260  
-273

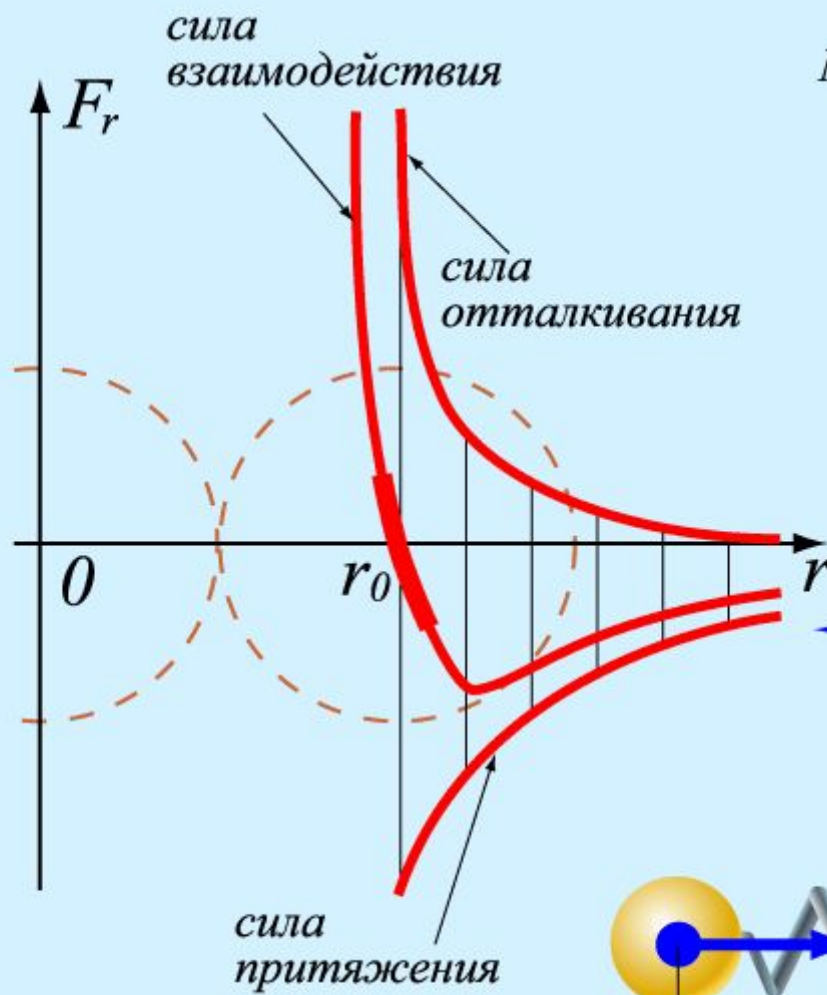
373  
360  
340  
320  
300  
280  
273  
260  
240  
220  
200  
195  
180  
160  
140  
120  
100  
82  
80  
60  
40  
20  
0

<b>Макроскопические параметры</b>	<b>Микроскопические параметры</b>
<i>Масса системы</i>	<i>Масса частицы</i>
<i>Объем системы</i>	<i>Объем частиц</i>
<i>Температура системы</i>	<i>Концентрация частиц</i>
<i>Количество вещества в системе</i>	<i>Количество частиц</i>
<i>Давление системы на внешние тела</i>	<i>Скорость частиц</i>
<i>Внутренняя энергия системы</i>	<i>Энергия частицы</i>

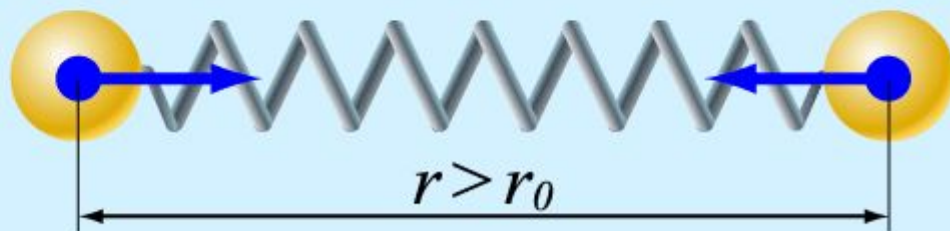
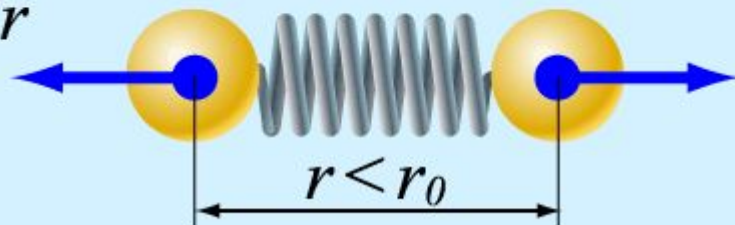
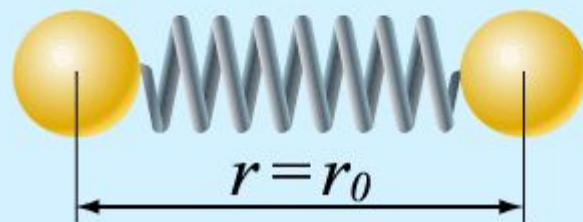


$$\rightarrow V = 1 \text{ mm}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ m}^3}{3 \text{ m}^2} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$



Модель взаимодействия между частицами вещества



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

$p$  – давление идеального газа

$V$  – объем идеального газа

$m$  – масса газа

$M$  – молярная масса газа

$R$  – универсальная газовая постоянная

$T$  – абсолютная температура

идеального газа

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$p$  – давление идеального газа  
 $m_0$  – масса частицы газа  
 $n$  – концентрация частиц  
 $\overline{v^2}$  – средний квадрат скорости



### ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

( $V = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )



$$A = 0, \Delta U > 0$$

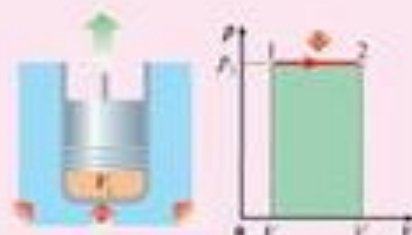
$$Q = \Delta U$$



$$A = 0, \Delta U < 0$$

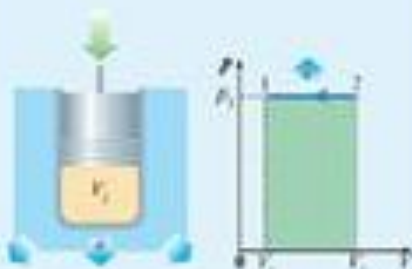
### ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

( $p = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )



$$A > 0, \Delta U > 0$$

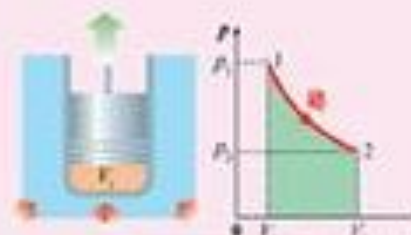
$$Q = \Delta U + A$$



$$A < 0, \Delta U < 0$$

### ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

( $T = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )



$$A > 0, \Delta U = 0$$

$$Q = A$$



$$A < 0, \Delta U = 0$$

## Закон Шарля (изохорный процесс)

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

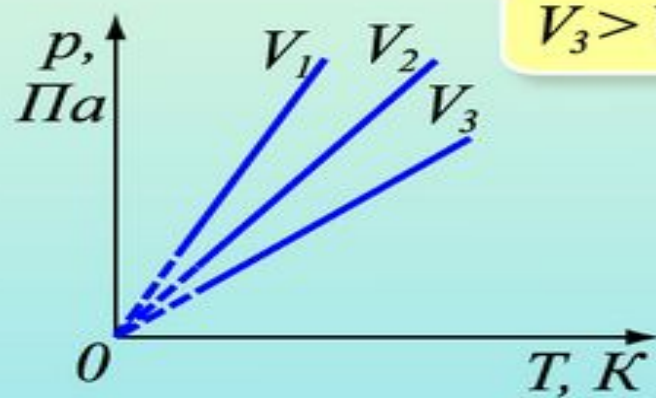
$$m = \text{const}$$

$$p = p_0(1 + \alpha t)$$

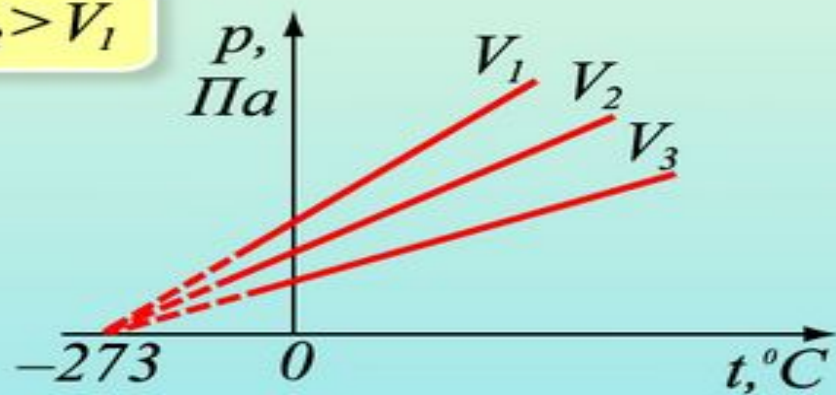
$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

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

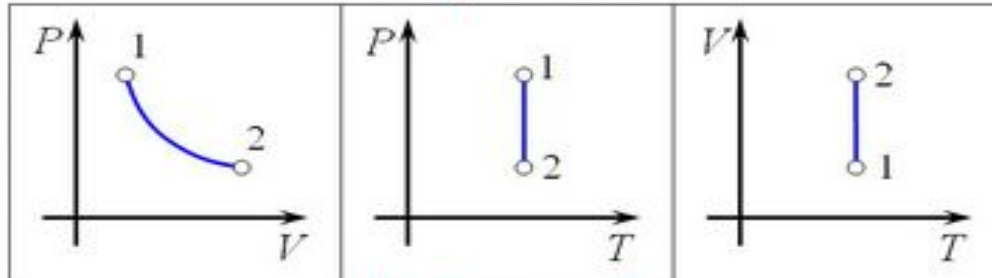
$p_0$  – давление газа  $0^\circ\text{C}$



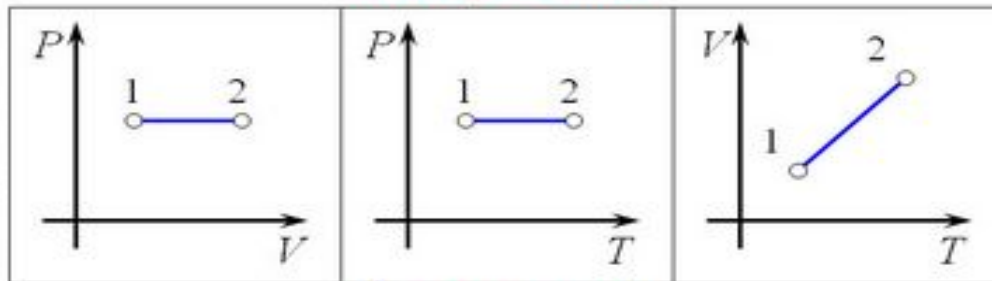
$$V_3 > V_2 > V_1$$



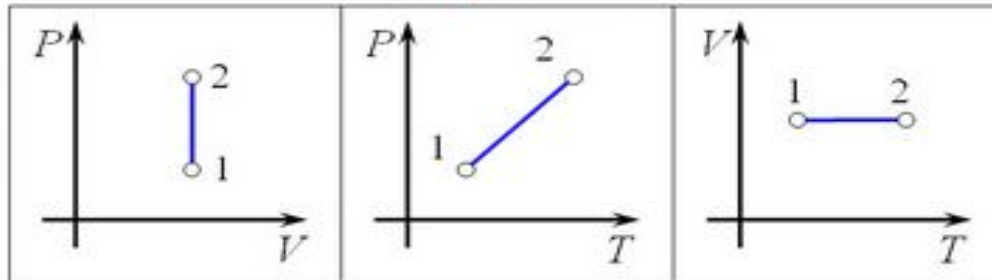
Изотермический

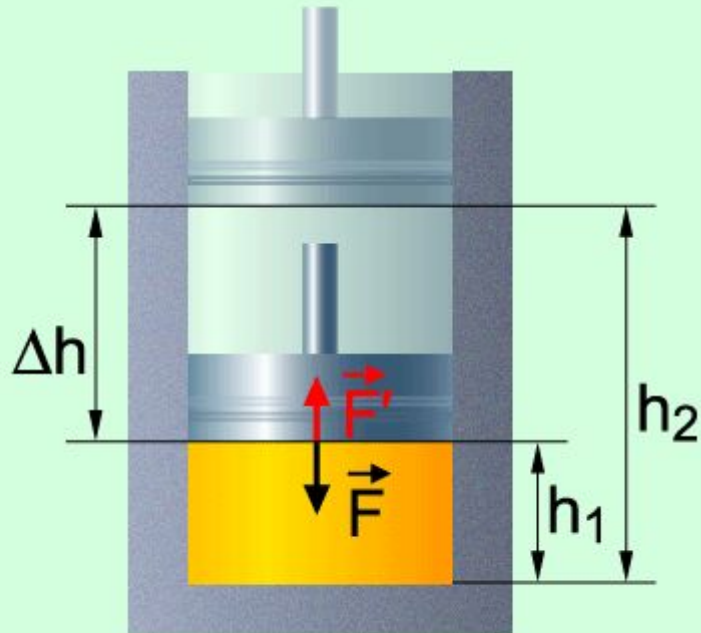


Изобарический



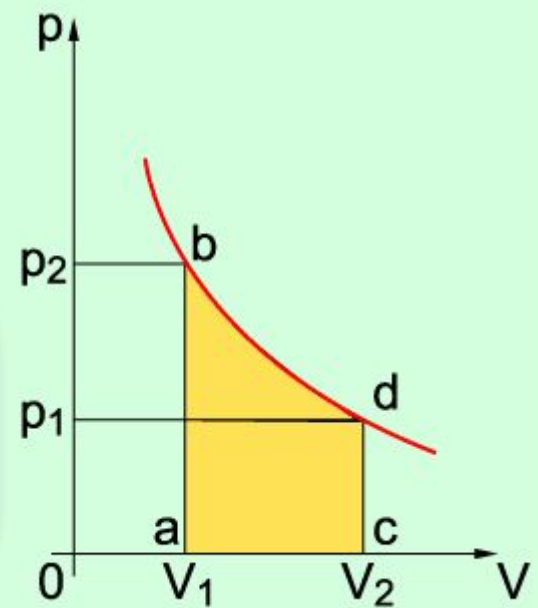
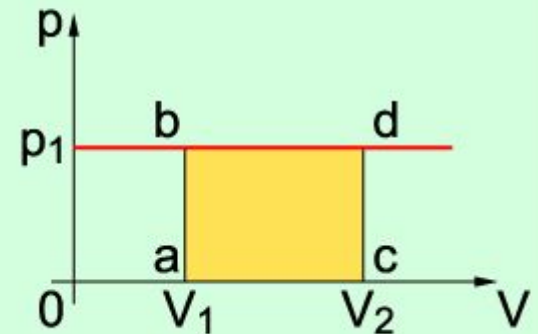
Изохорический





$$A' = F' \Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$$

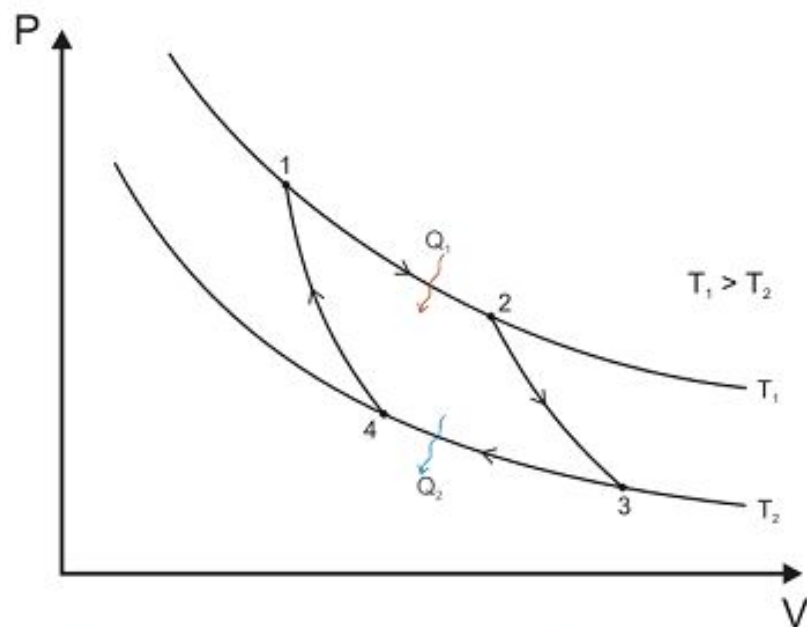
$$A' = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$



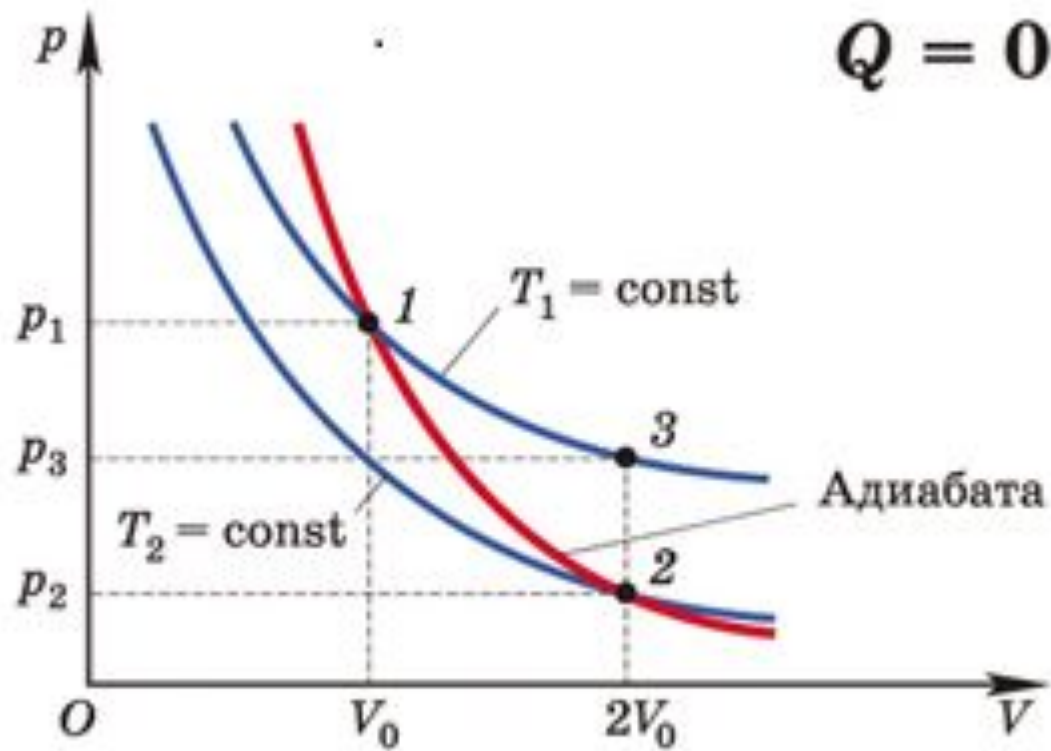
# Адиабатный процесс

– это модель термодинамического процесса, происходящего в системе без теплообмена с окружающей средой.

Линия на термодинамической диаграмме состояний системы, изображающая равновесный (обратимый) адиабатический процесс, называется *адиабатой*.



$$Q = 0$$



---

$$\Delta U = Q + A$$

$\Delta U$  – изменение внутренней энергии тела, Дж

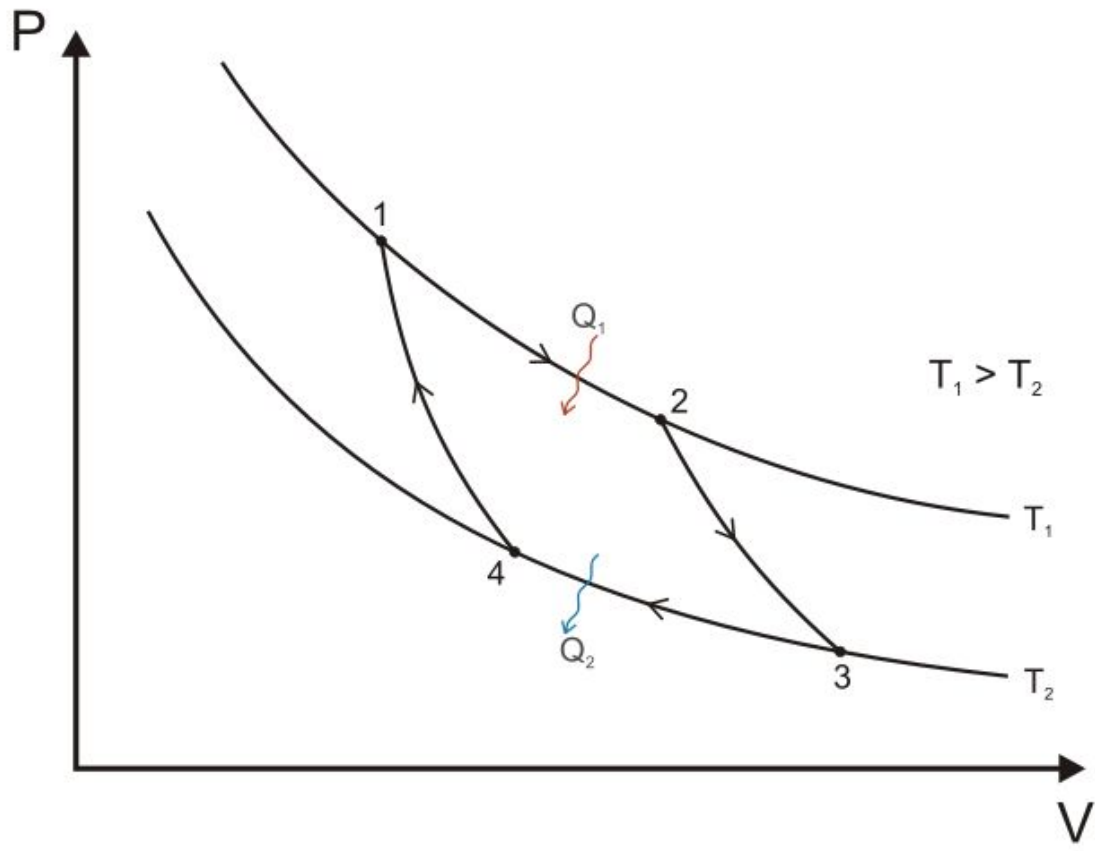
$Q$  – полученное телом количество теплоты, Дж

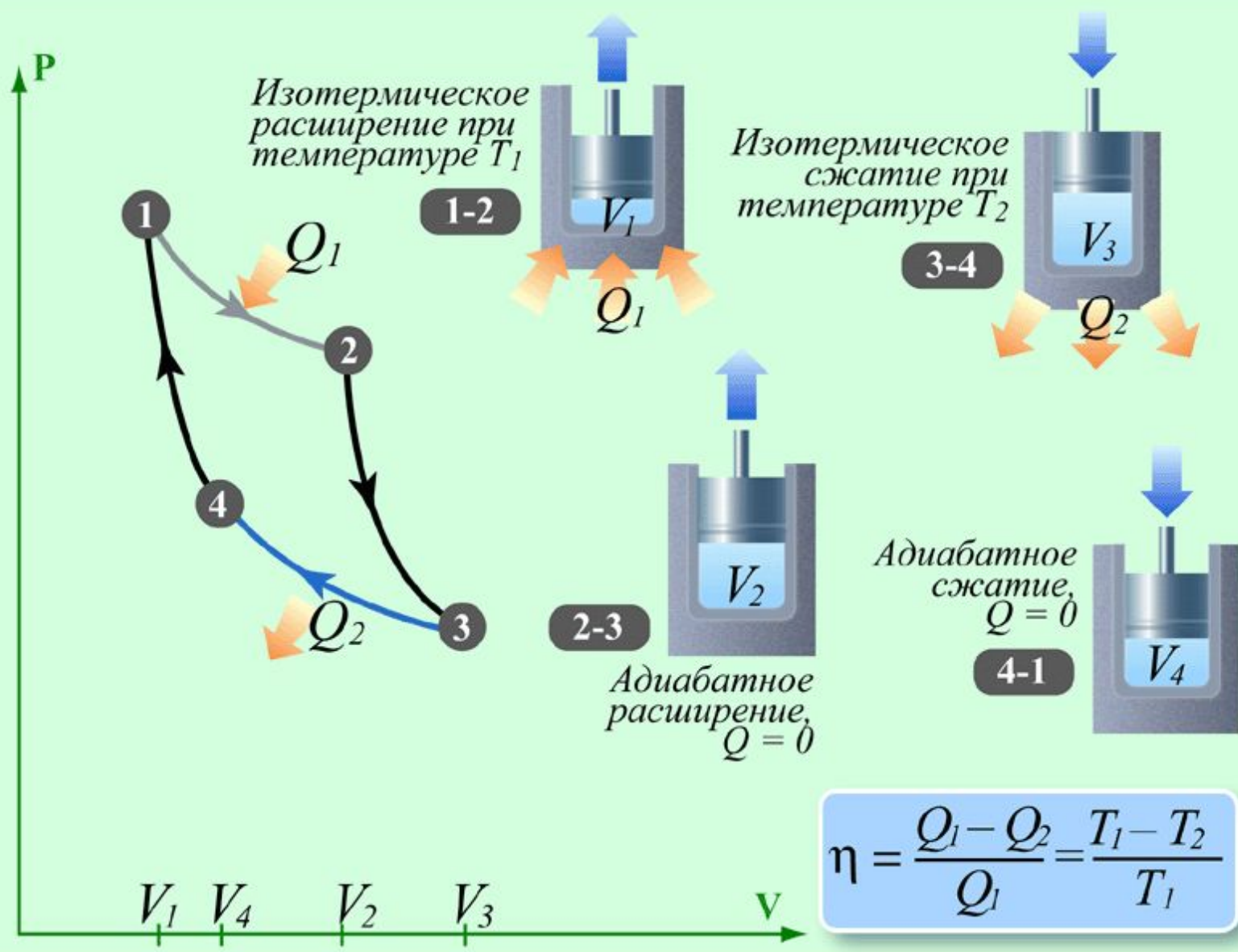
$A$  – совершенная над телом работа, Дж

---

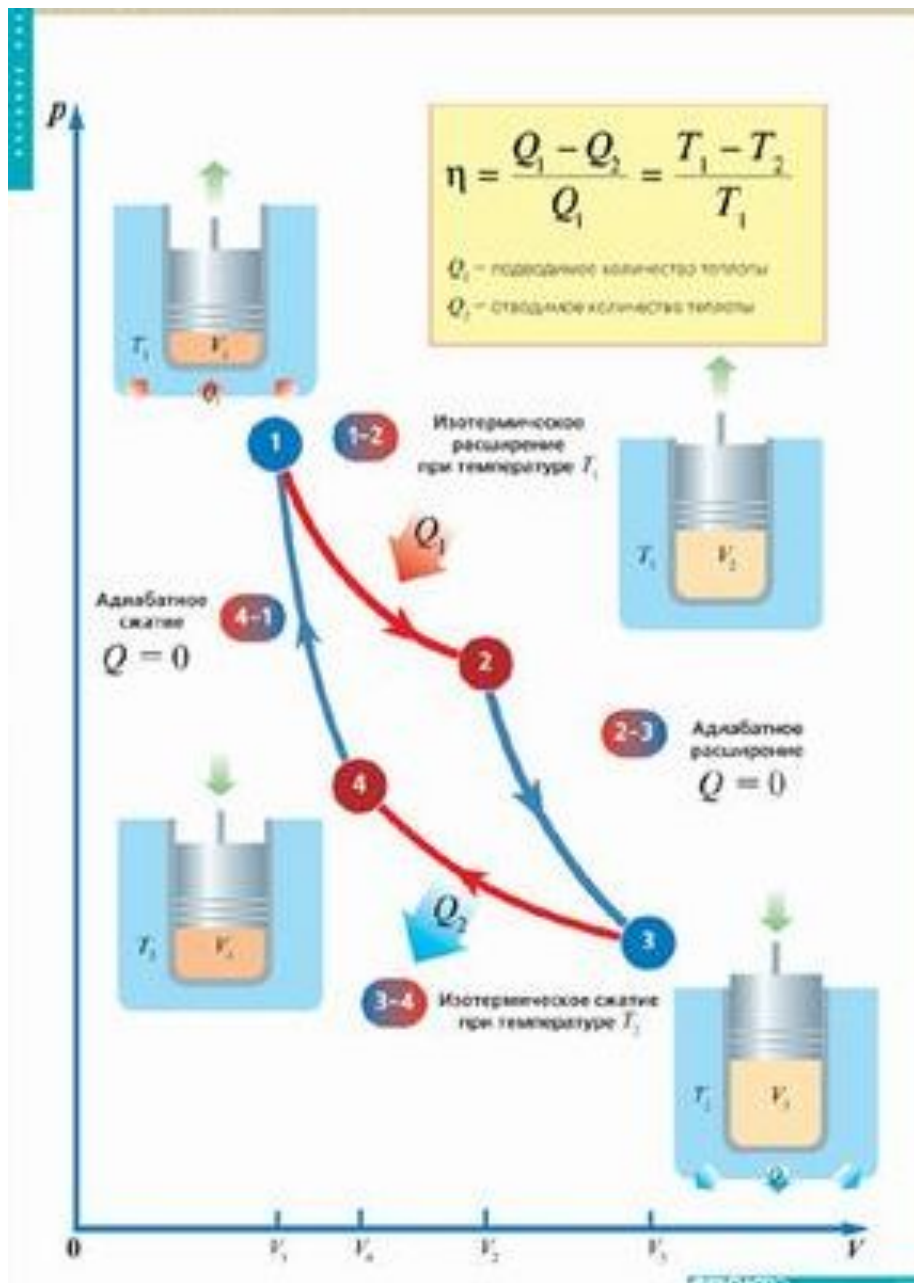








$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



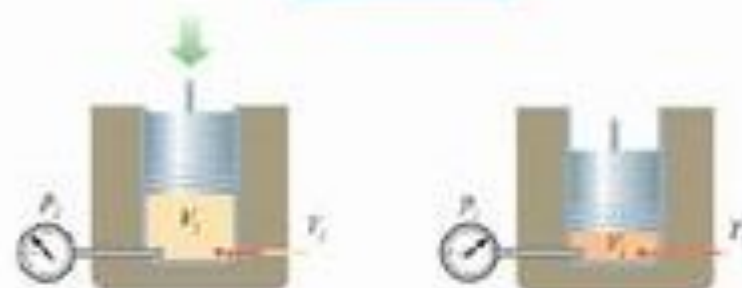
### РАСШИРЕНИЕ ГАЗА

$$A = -\Delta U > 0$$



### СЖАТИЕ ГАЗА

$$A = -\Delta U < 0$$

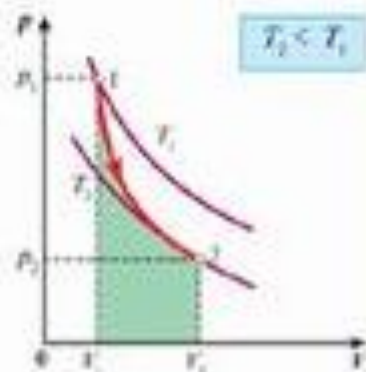


$$Q = 0$$

Охлаждение



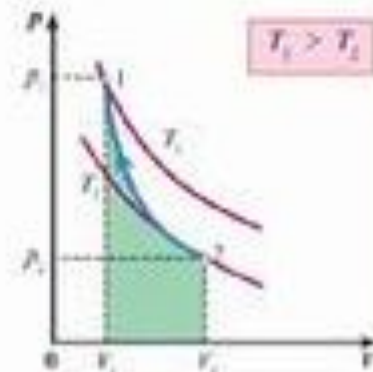
Адиабата

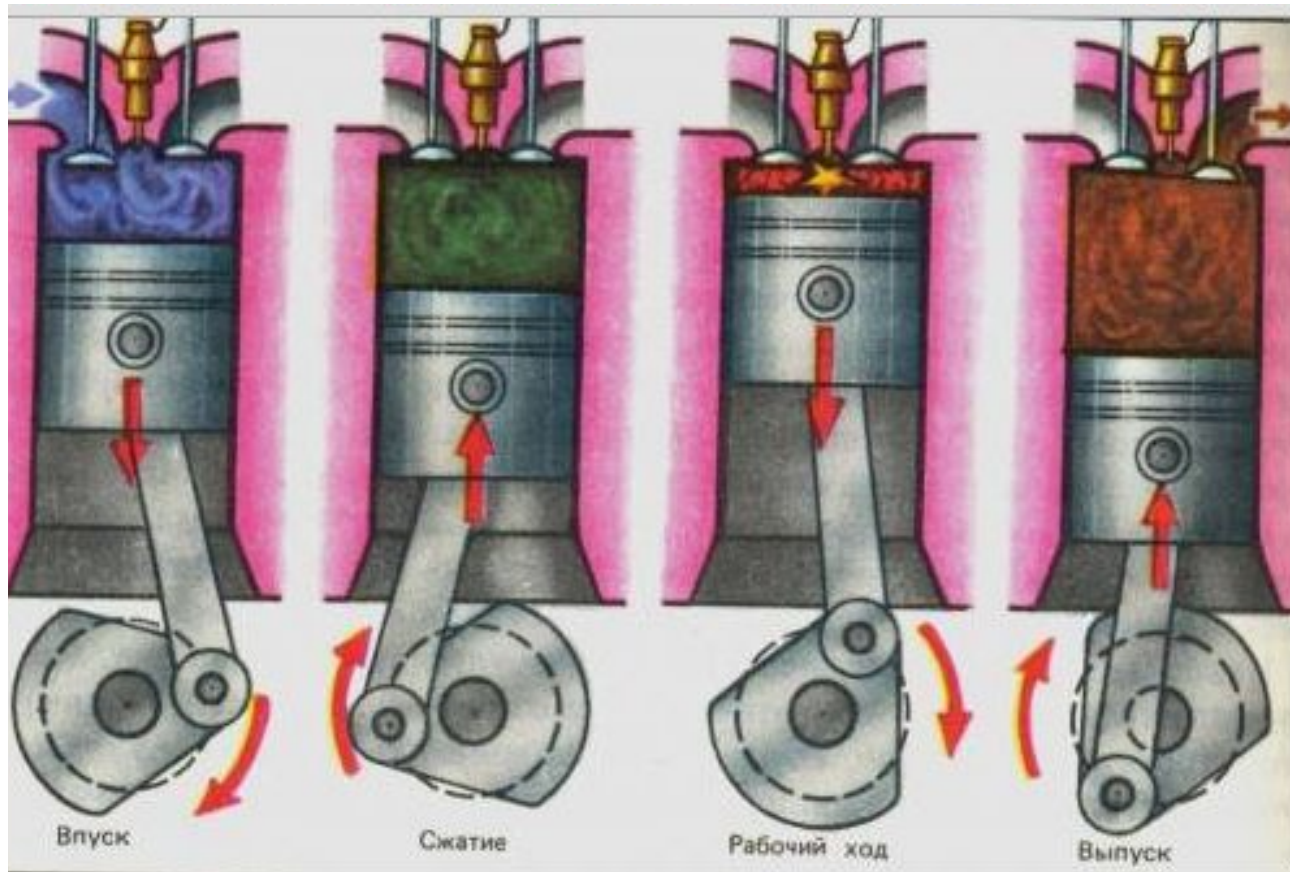


Нагревание



Адиабата





ОГнетушитель

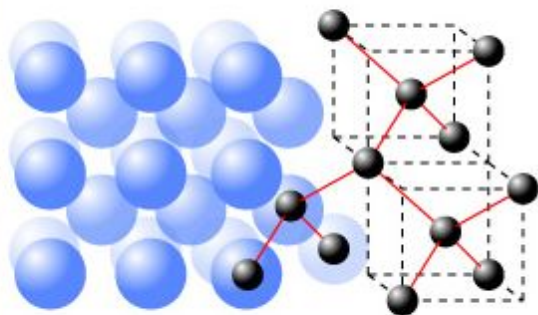


ДИЗельный двигатель



# КРИСТАЛЛЫ

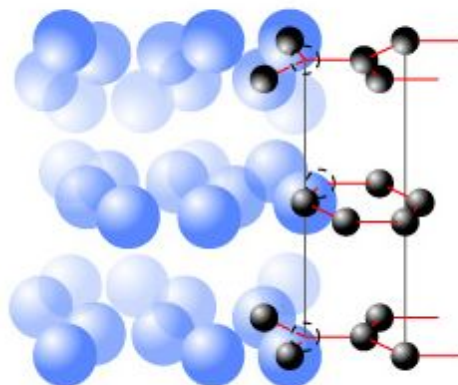
УПАКОВКА АТОМОВ  
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ  
РЕШЕТКА АЛМАЗА



АЛМАЗ



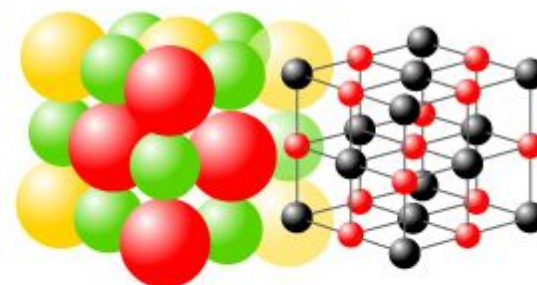
УПАКОВКА АТОМОВ  
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ  
РЕШЕТКА ГРАФИТА



ГРАФИТ

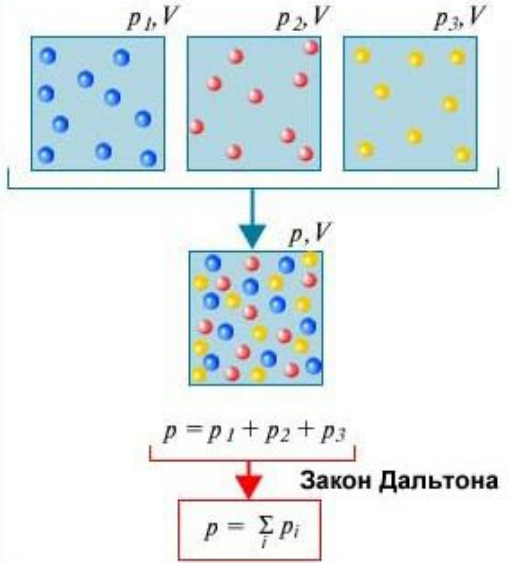
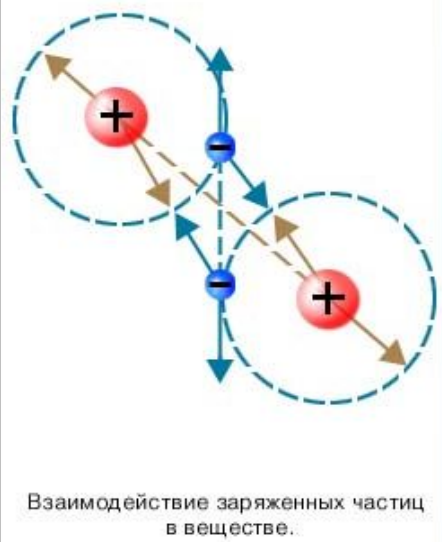


УПАКОВКА АТОМОВ  
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ  
РЕШЕТКА  
ПОВАРЕННОЙ СОЛИ



ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ

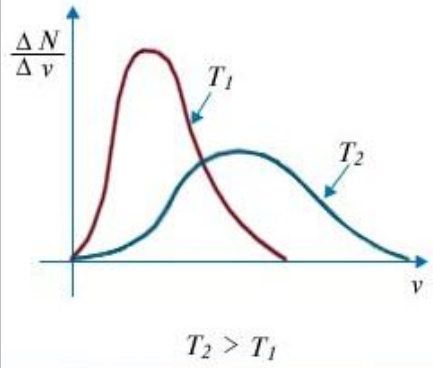




Скорости молекул некоторых газов при 0° С

газ	м/с
углекислый газ	360
кислород	425
азот	450
водяной пар	570
гелий	1200
водород	1700

Зависимость распределения Максвелла от температуры.



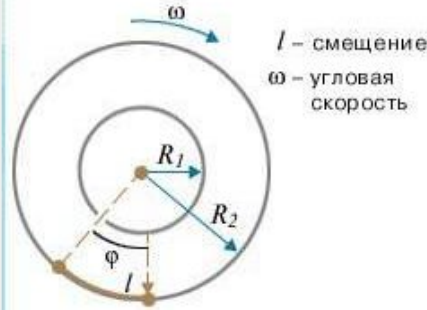
$1 \text{ а.е.м.} = \frac{m_c}{12}$

$m_H = 1,0079 \text{ а.е.м.}$





Схема установки Штерна.



$$t = \frac{R_2 - R_1}{v}$$

$$\varphi = \omega \cdot t = \omega \cdot \frac{R_2 - R_1}{v}$$

$$l = \varphi \cdot R_2 = \omega \cdot R_2 \cdot \frac{R_2 - R_1}{v}$$

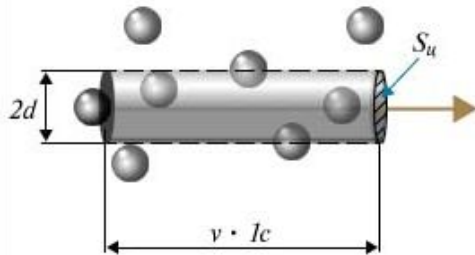
$$v = \frac{\omega \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)}{l}$$

Скорость молекул



Здесь оседают частицы при вращении установки

l – смещение



$$V_u = S_u \cdot v \cdot l_c = \pi d^2 \cdot v \cdot l_c$$

$$z = V_u \cdot n$$

$$z = \pi d^2 \cdot v \cdot n$$

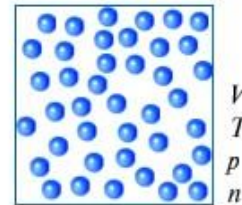
- z – число соударений за 1с
- V<sub>u</sub> – объём цилиндра
- S<sub>u</sub> – площадь основания цилиндра
- d – диаметр частицы

$$\lambda = \frac{v \cdot l_c}{z}$$

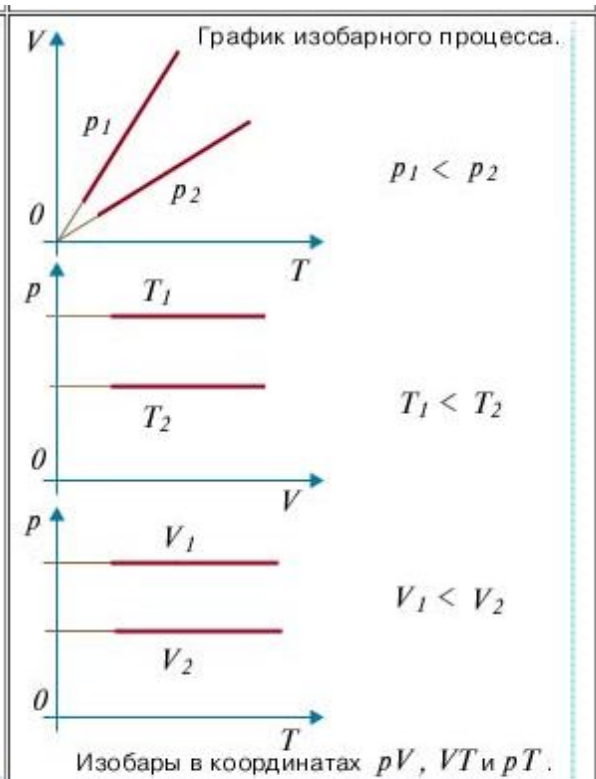
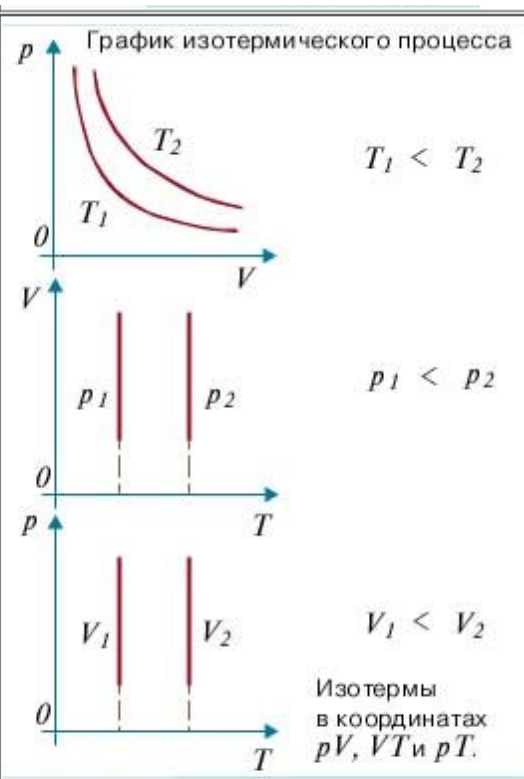
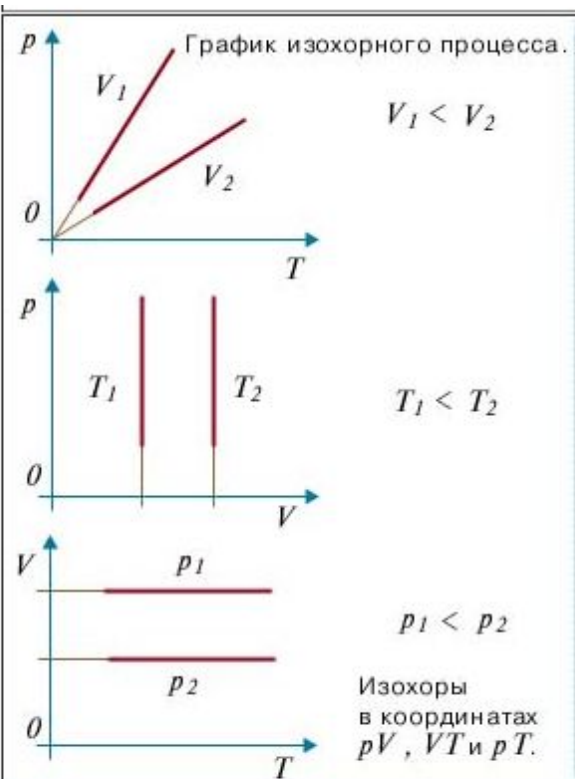
$$\lambda = \frac{v \cdot l_c}{\pi d^2 \cdot v \cdot l_c \cdot n}$$

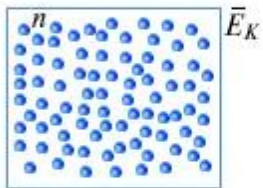
$$\lambda = \frac{l}{\pi d^2 \cdot n}$$

λ – длина свободного пробега частицы



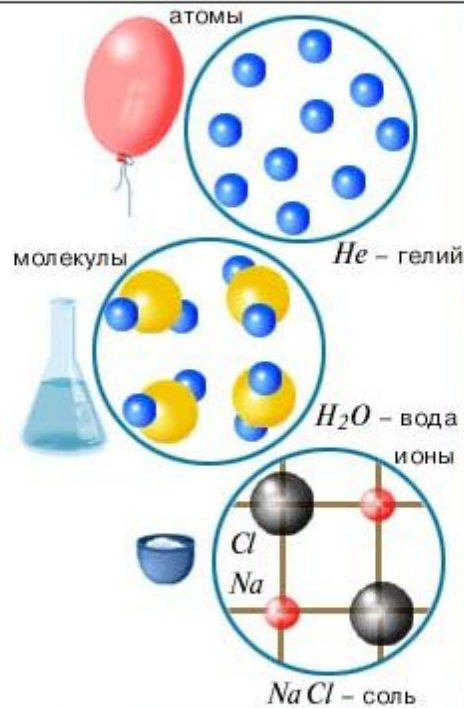
- m – масса газа
- V – объём газа
- T – температура газа
- p – давление газа
- n – концентрация





$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

Основное уравнение МКТ  
идеального газа



$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

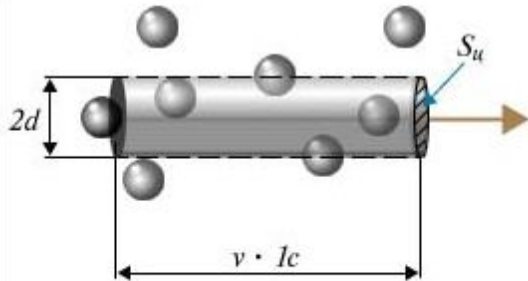
$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{m}{m_0 V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \cdot \bar{v}^2$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$$



$$V_u = S_u \cdot v \cdot t_c = \pi d^2 \cdot v \cdot t_c$$

$$z = V_u \cdot n$$

$$z = \pi d^2 \cdot v \cdot n$$

$z$  – число соударений за 1с

$V_u$  – объём цилиндра

$S_u$  – площадь основания цилиндра

$d$  – диаметр частицы

$n$  – концентрация

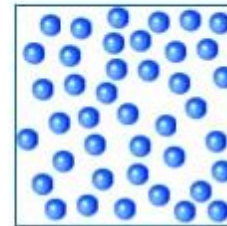
$v$  – скорость частицы

$$\lambda = \frac{v \cdot t_c}{z}$$

$$\lambda = \frac{v \cdot t_c}{\pi d^2 \cdot v \cdot t_c \cdot n}$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 \cdot n}$$

$\lambda$  – длина свободного пробега частицы



$m$  – масса газа

$V$  – объём газа

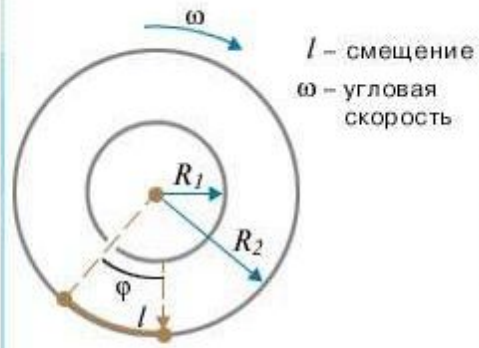
$T$  – температура газа

$p$  – давление газа

$n$  – концентрация



Схема установки Штерна.



$l$  – смещение  
 $\omega$  – угловая скорость

$$t = \frac{R_2 - R_1}{v}$$

$$\varphi = \omega \cdot t = \omega \cdot \frac{R_2 - R_1}{v}$$

$$l = \varphi \cdot R_2 = \omega \cdot R_2 \cdot \frac{R_2 - R_1}{v}$$

$$v = \frac{\omega \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)}{l}$$

Скорость молекул



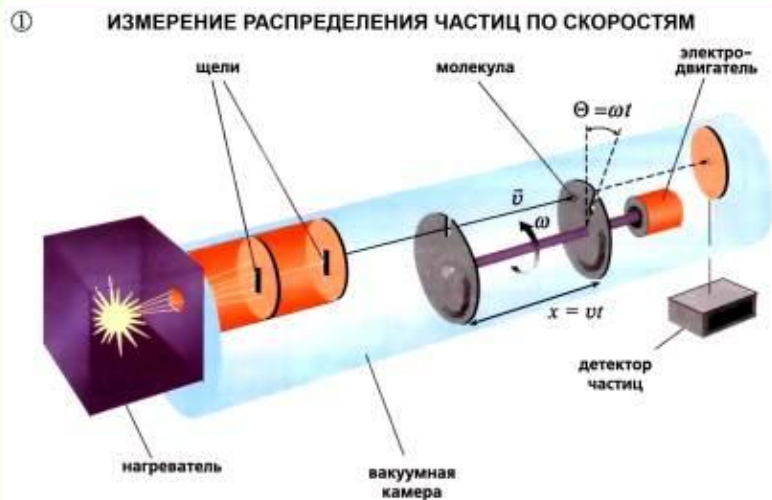
направление вращения

Здесь оседают частицы при вращении установки

$l$  – смещение

# МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

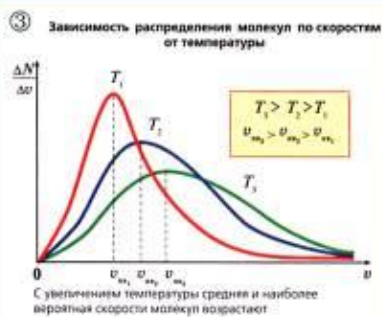
## Распределение молекул идеального газа по скоростям. Опыт Штерна



### Результаты эксперимента



$$v = \omega \frac{x}{\theta}$$



$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

①

## ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО СКОРОСТЯМ

