



излучение



конвекция



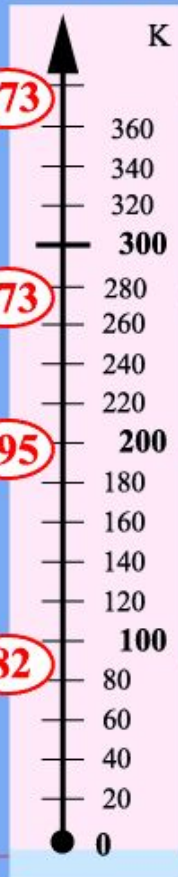
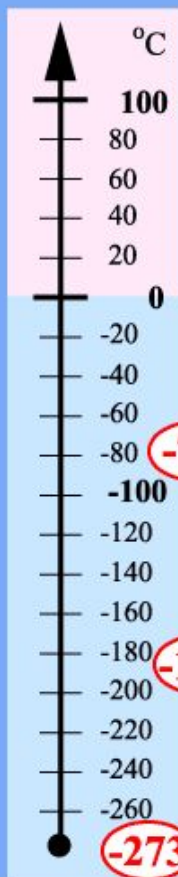
теплопроводность

Шкала Цельсия

Термодинамическая шкала

$$t = T - 273$$

$$T = t + 273$$



кипение воды



плавление льда



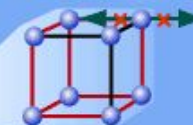
сухой лед (CO₂)



жидкий воздух



абсолютный ноль



Макроскопические параметры

Масса системы

Объем системы

Температура системы

*Количество вещества
в системе*

*Давление системы на
внешние тела*

*Внутренняя энергия
системы*

Микроскопические параметры

Масса частицы

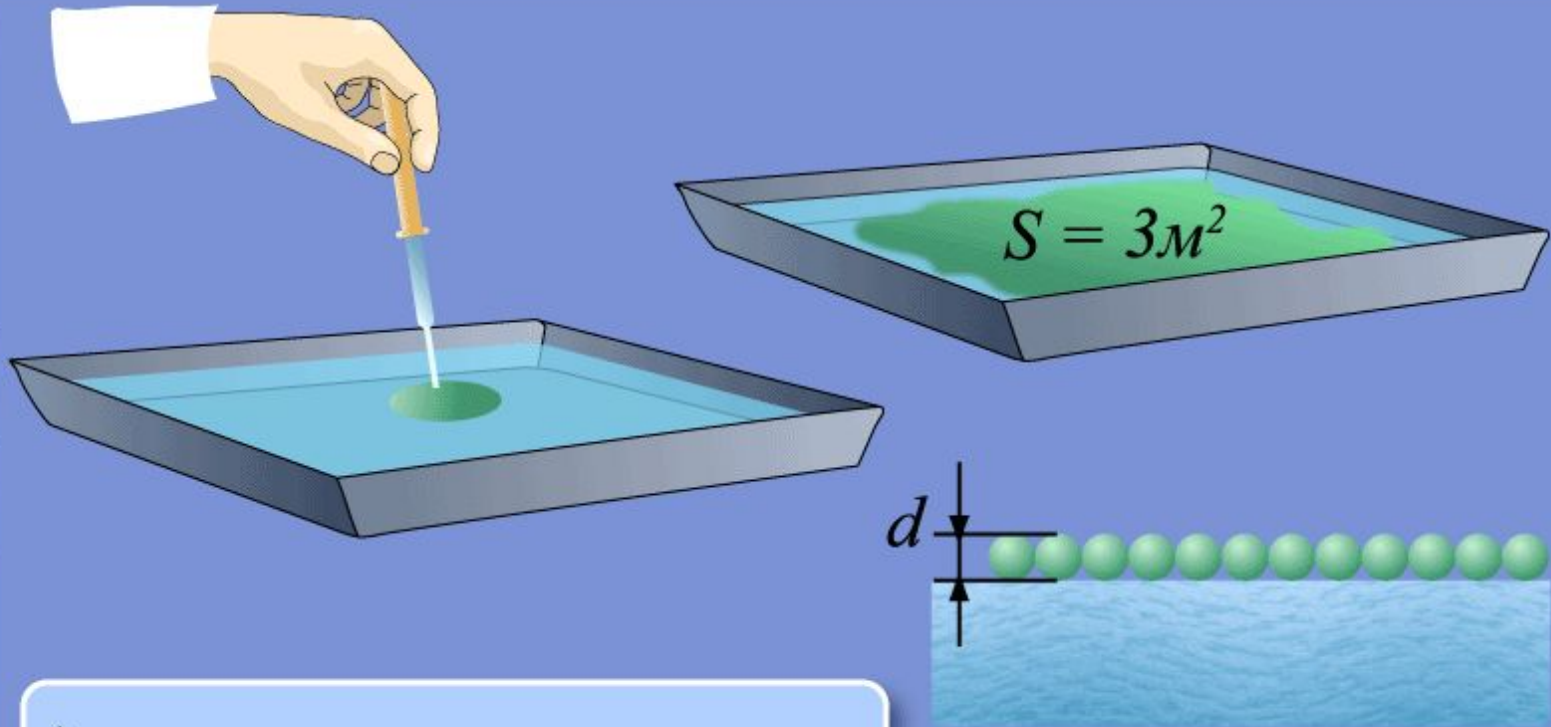
Объем частиц

Концентрация частиц

Количество частиц

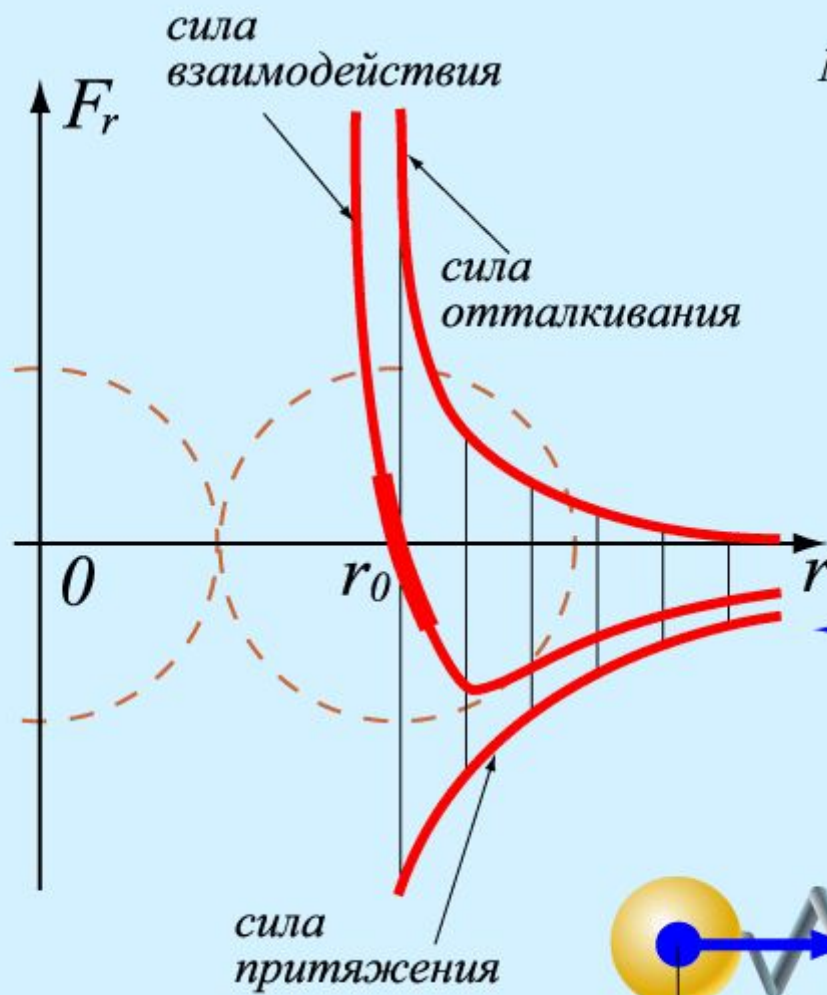
Скорость частиц

Энергия частицы

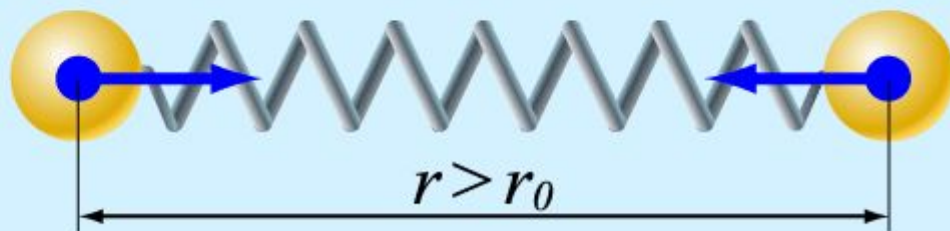
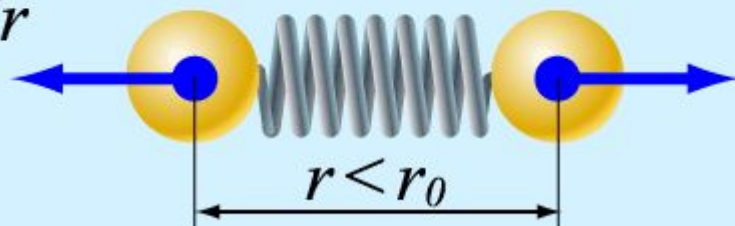
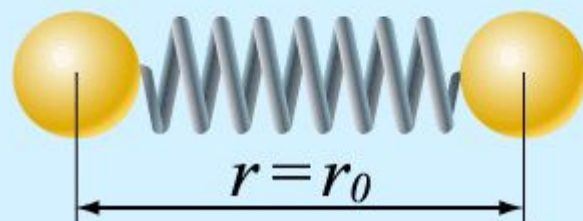


$$\rightarrow V = 1 \text{ mm}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

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



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

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

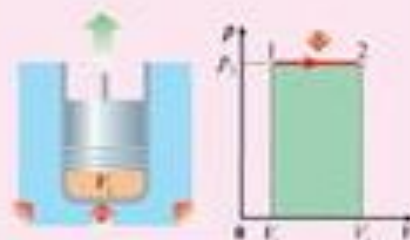


$$A = 0, \Delta U > 0$$

$$Q = \Delta U$$

ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

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

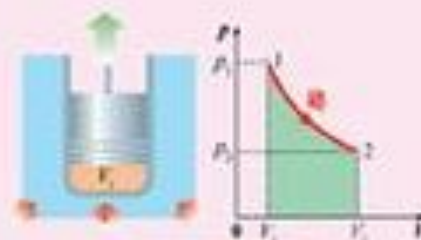


$$A > 0, \Delta U > 0$$

$$Q = \Delta U + A$$

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

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

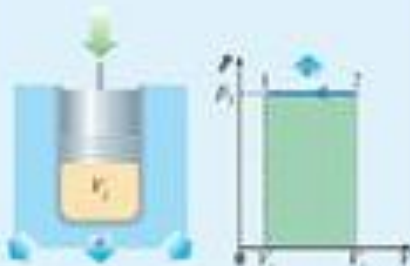


$$A > 0, \Delta U = 0$$

$$Q = A$$



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



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



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

Закон Шарля (изохорный процесс)

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

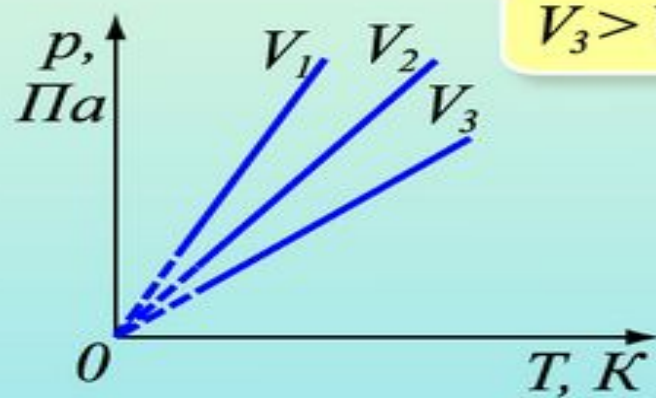
$$m = \text{const}$$

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

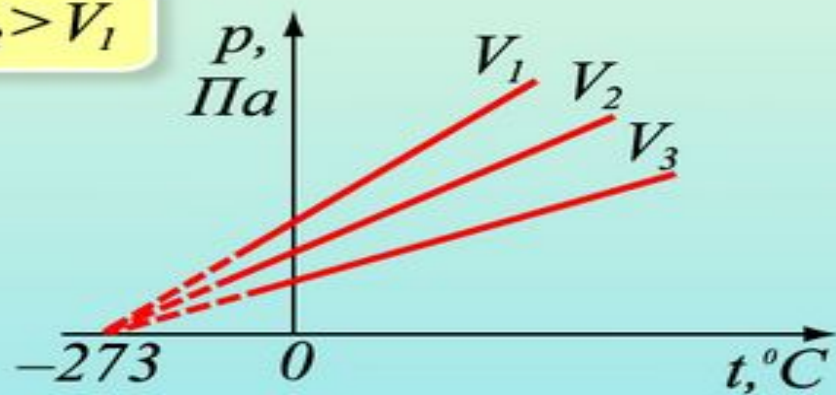
$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

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

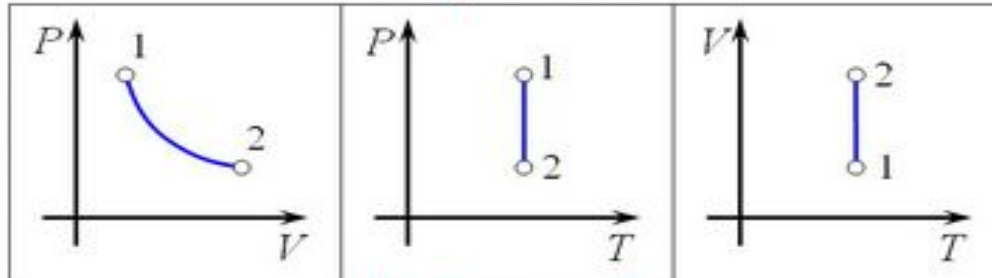
p_0 – давление газа 0°C



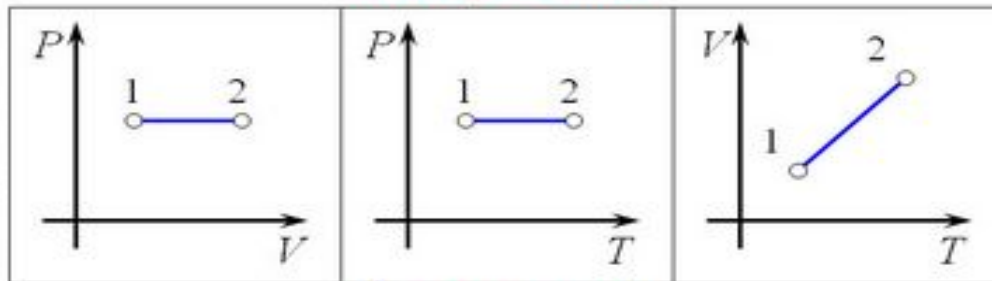
$$V_3 > V_2 > V_1$$



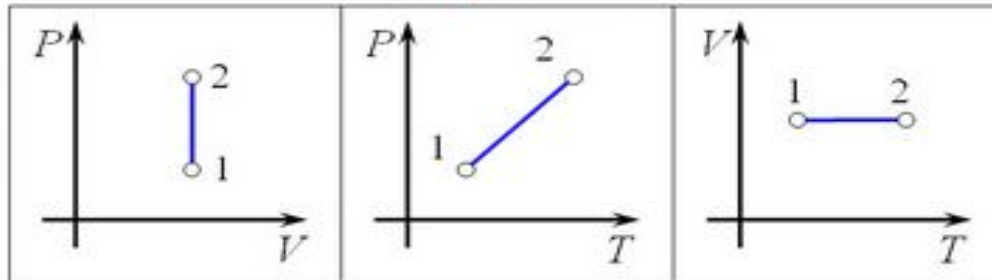
Изотермический

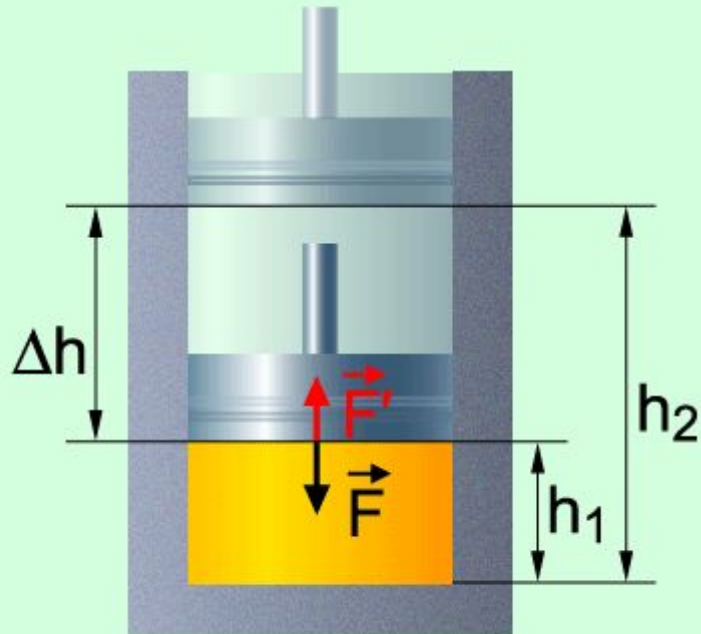


Изобарический



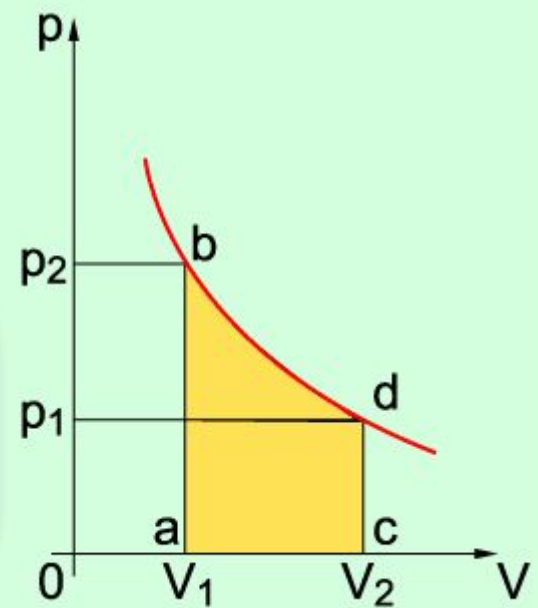
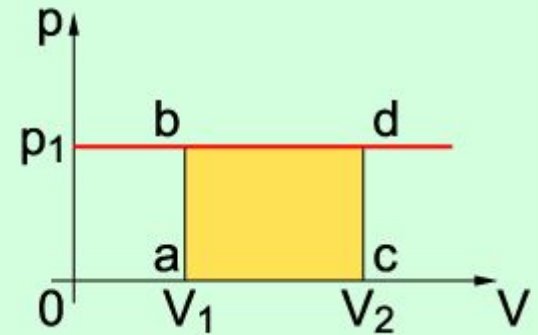
Изохорический





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

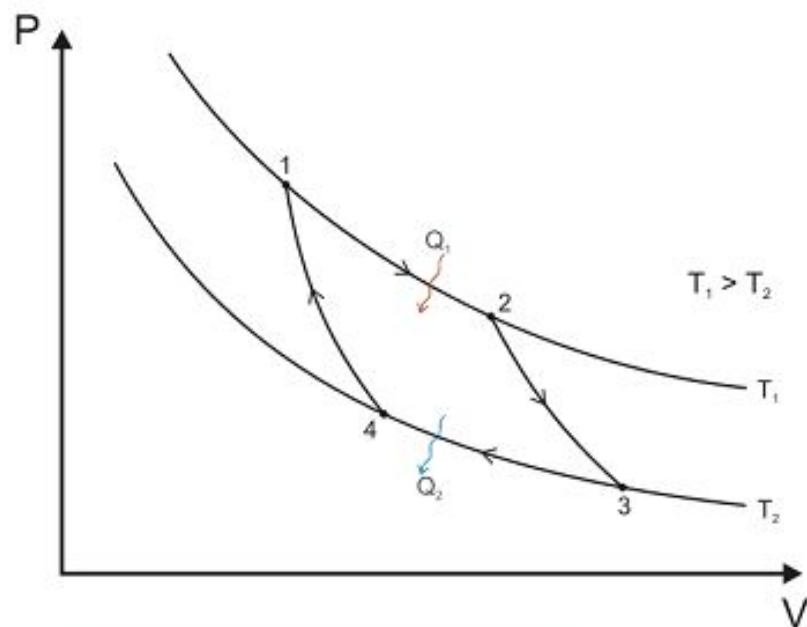
$$A' = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$



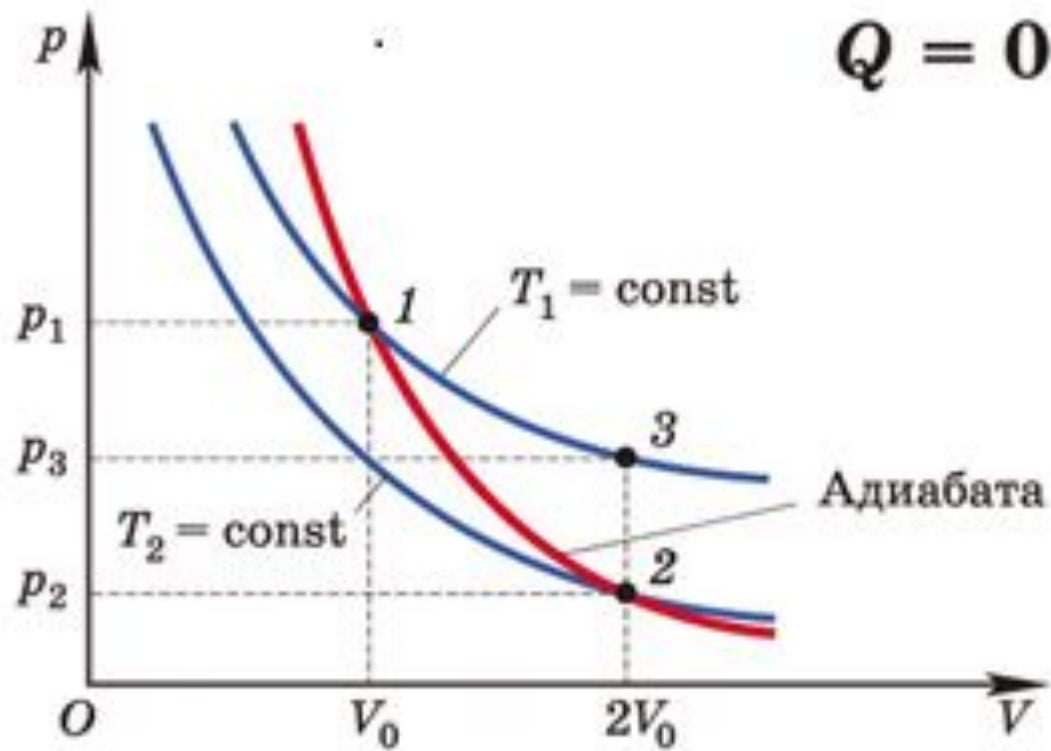
Адиабатный процесс

– 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*.



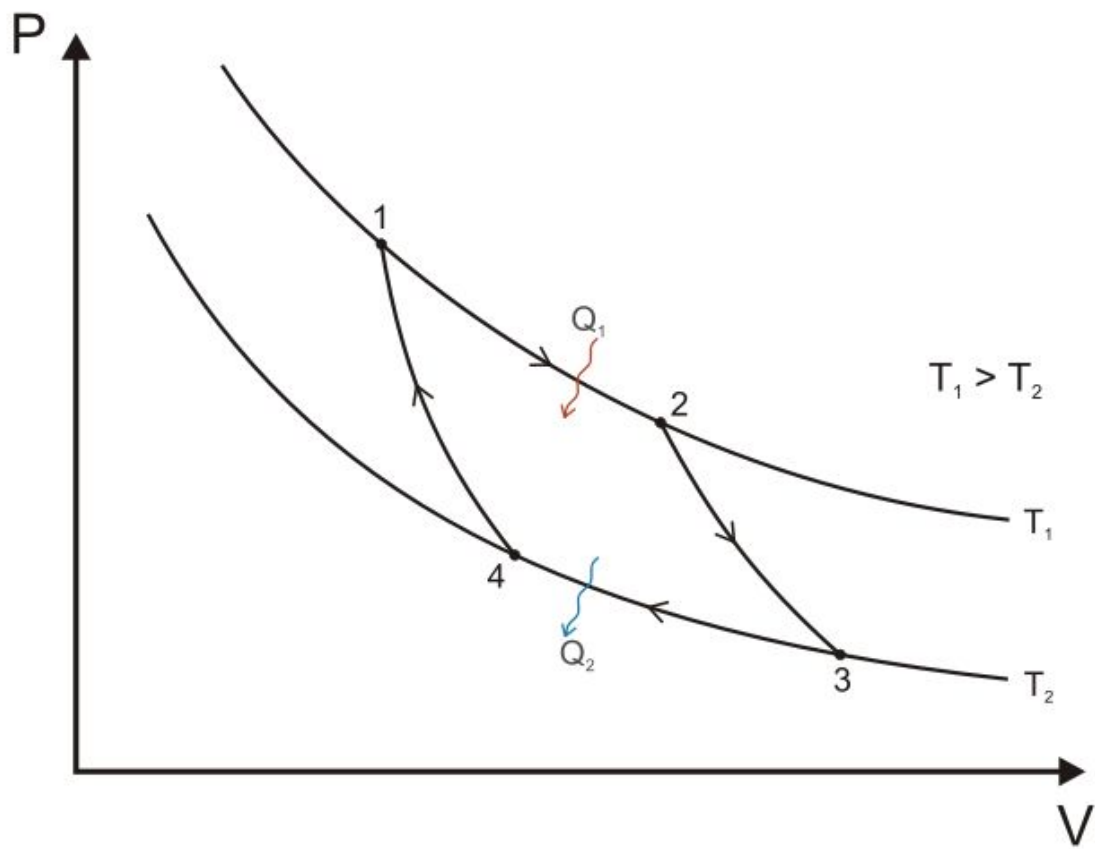
$$Q = 0$$

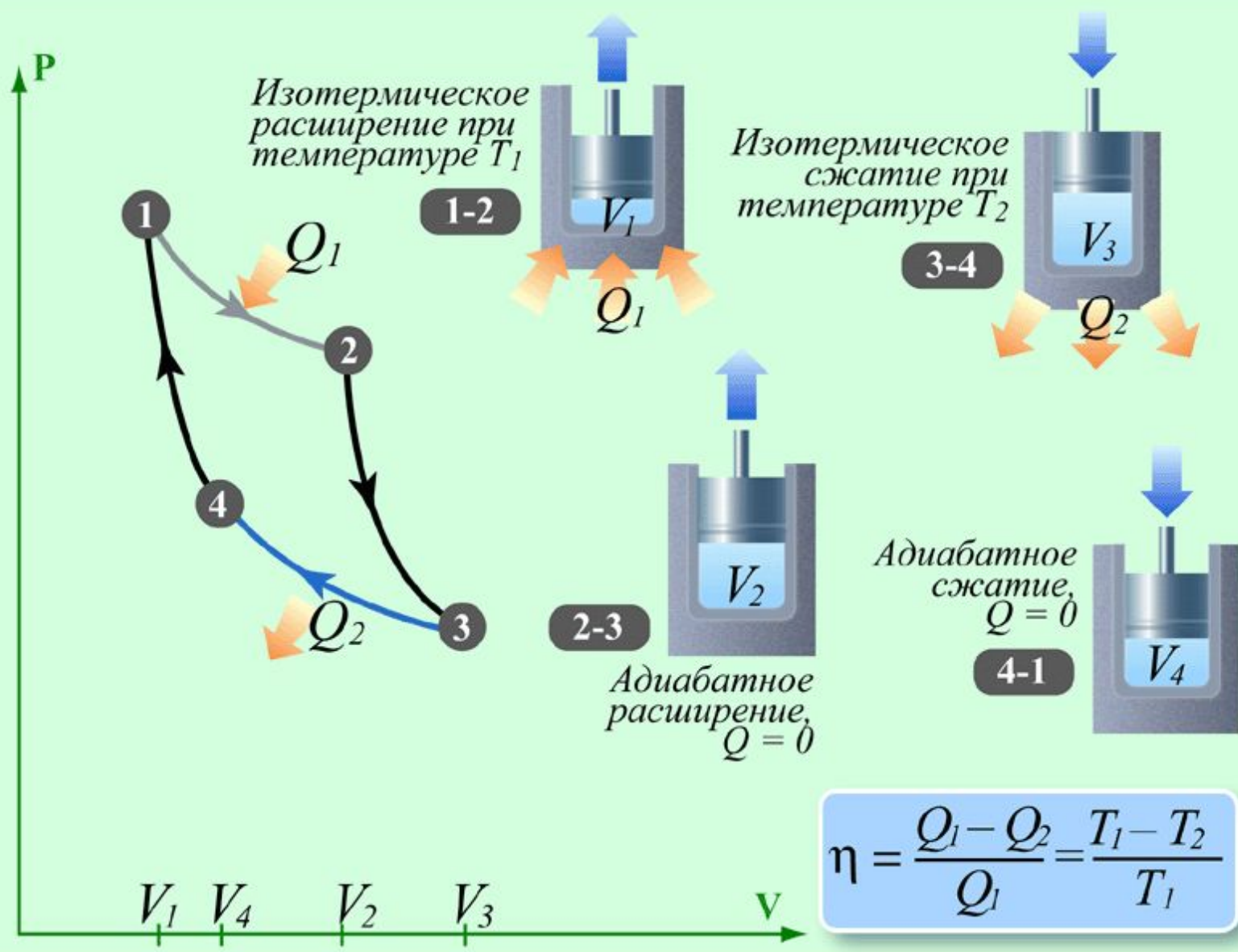


$$\Delta U = Q + A$$

ΔU – изменение внутренней энергии тела, Дж
 Q – полученное телом количество теплоты, Дж
 A – совершенная над телом работа, Дж







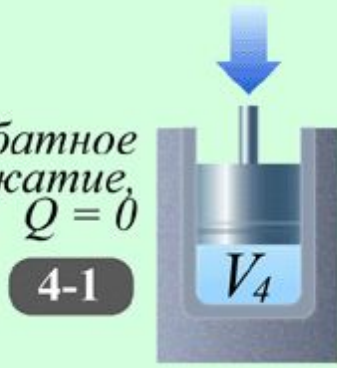
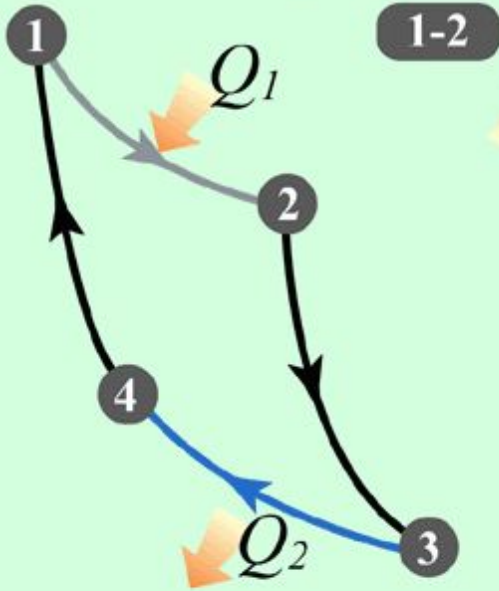
Изотермическое расширение при температуре T_1

Изотермическое сжатие при температуре T_2

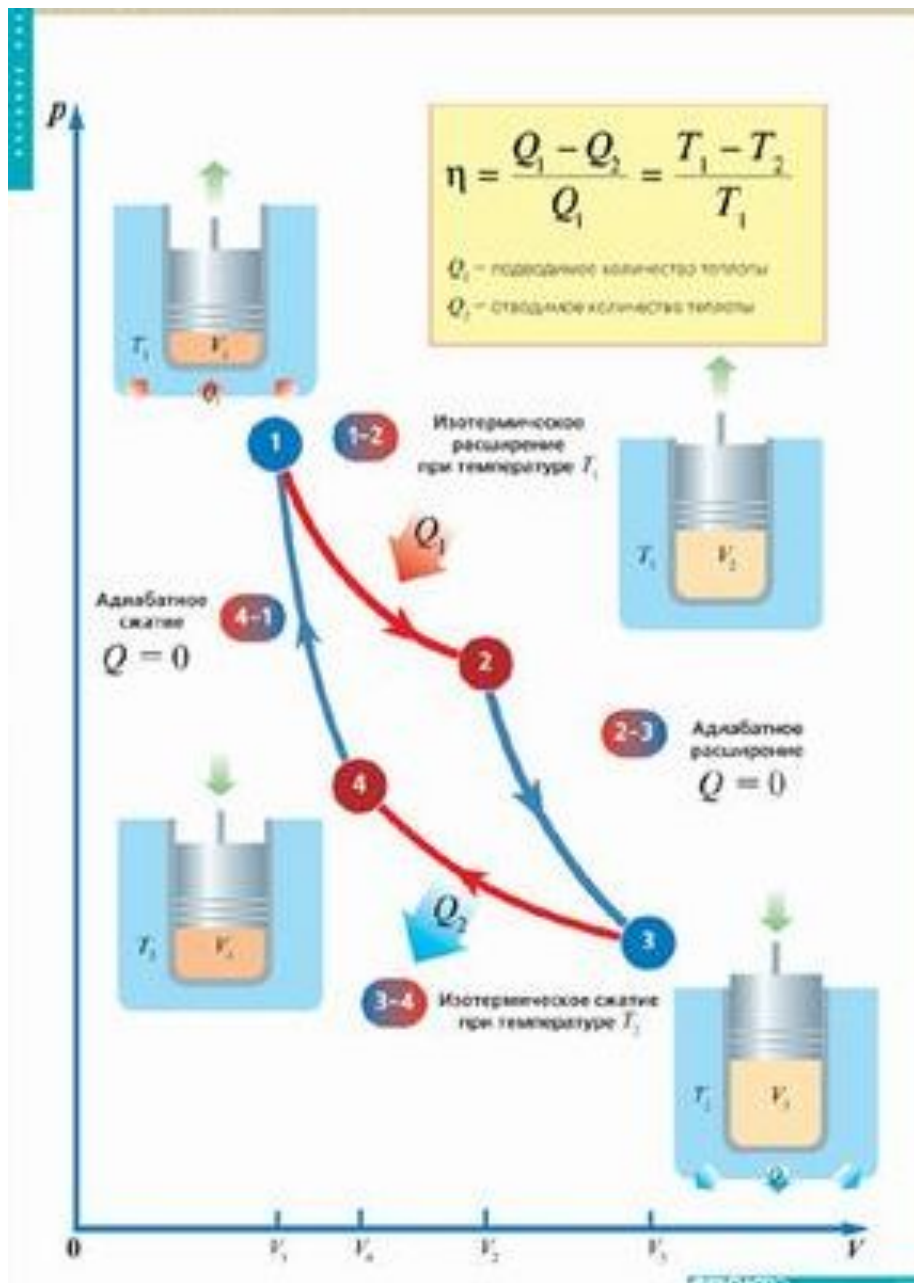
Адиабатное сжатие, $Q = 0$

Адиабатное расширение, $Q = 0$

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



V_1 V_4 V_2 V_3 v



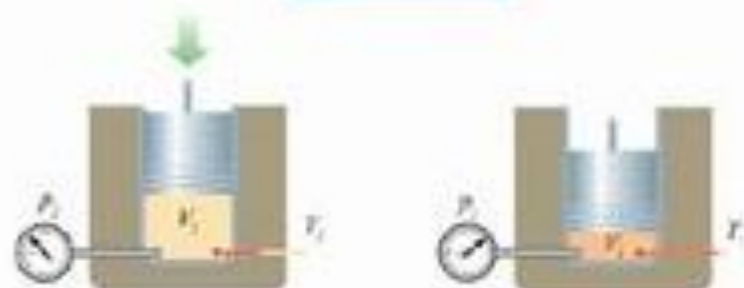
РАСШИРЕНИЕ ГАЗА

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



СЖАТИЕ ГАЗА

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

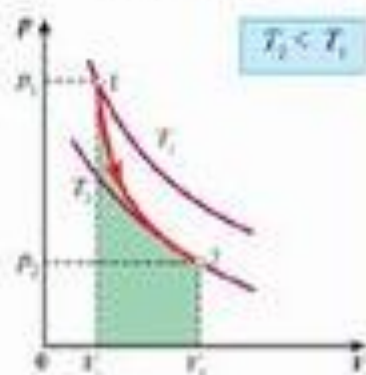


$$Q = 0$$

Охлаждение



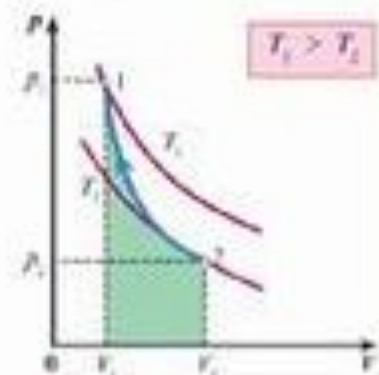
Адиабата

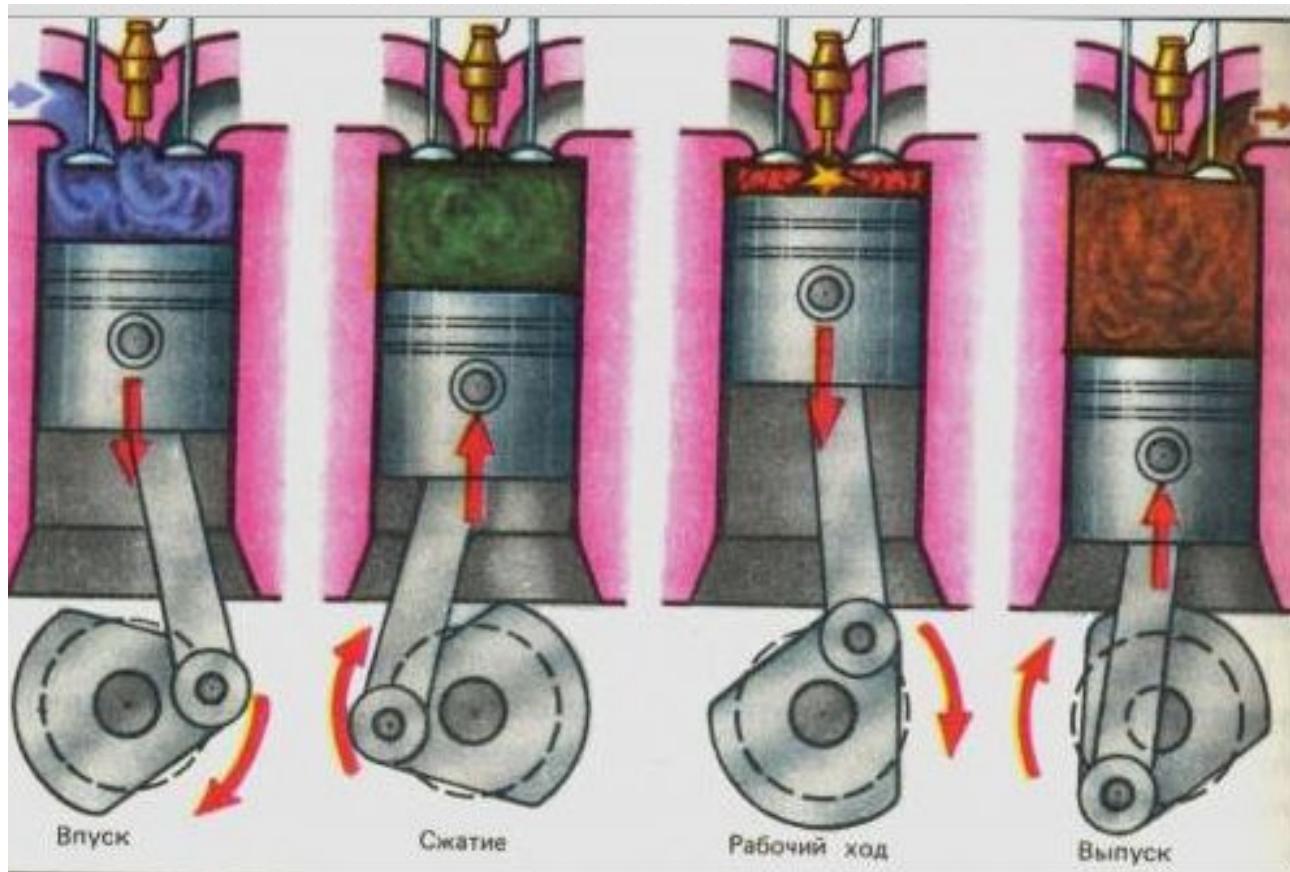


Нагревание



Адиабата





ОГНЕТУШИТЕЛЬ

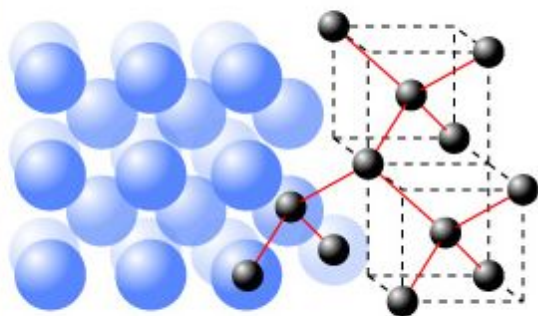


ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



КРИСТАЛЛЫ

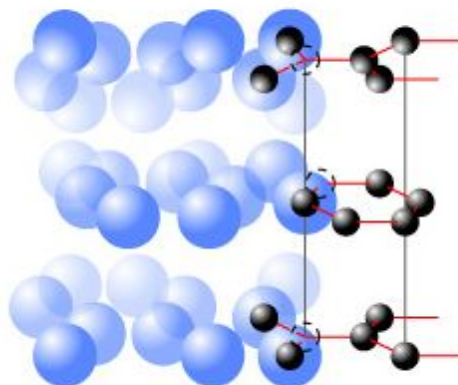
УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА АЛМАЗА



АЛМАЗ



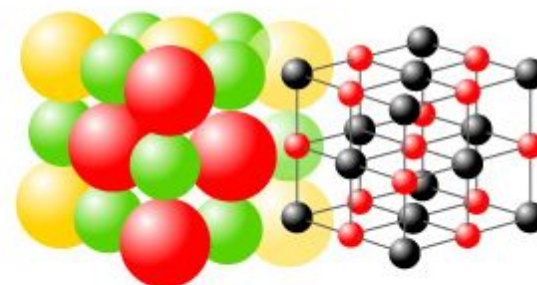
УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА ГРАФИТА



ГРАФИТ

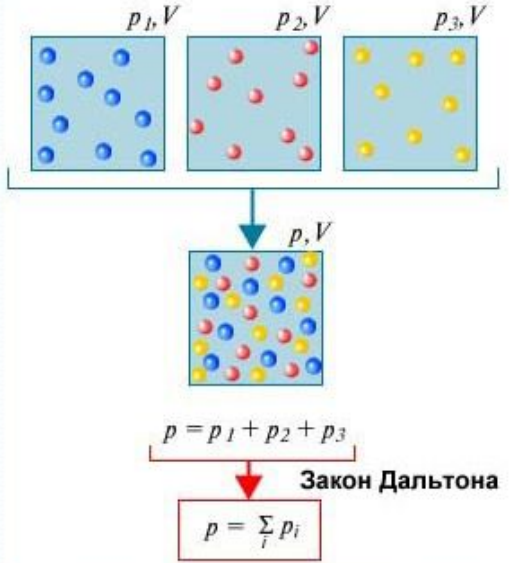
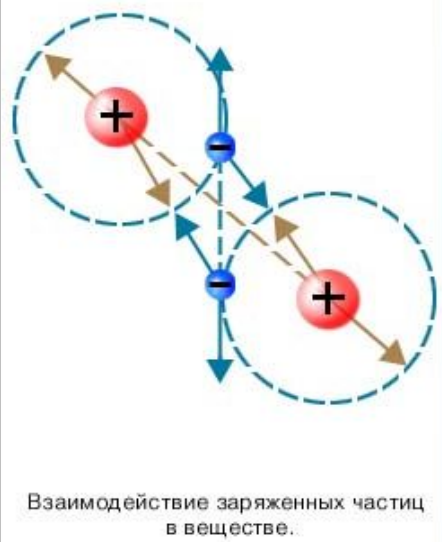


УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА
ПОВАРЕННОЙ СОЛИ



ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ

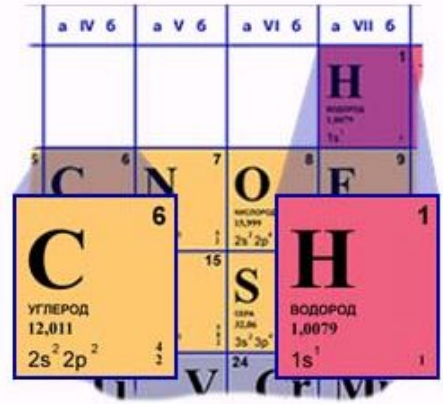
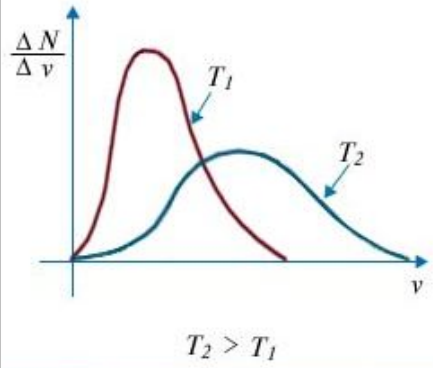




Скорости молекул некоторых газов при 0° С

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

Зависимость распределения Максвелла от температуры.

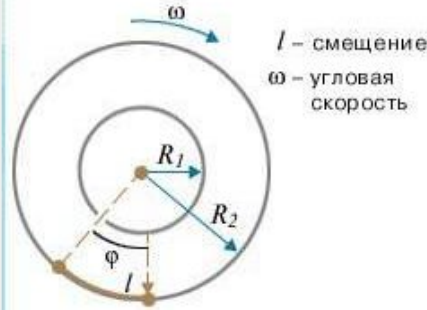


$1 \text{ а.е.м.} = \frac{m_c}{12}$

$m_H = 1,0079 \text{ а.е.м.}$



Схема установки Штерна.



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

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

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

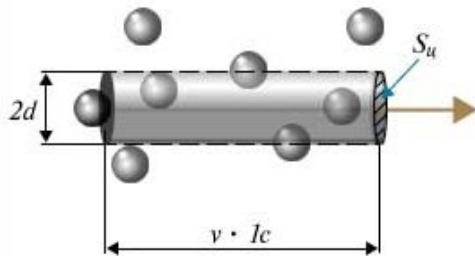
$$v = \frac{\omega \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)}{l}$$

Скорость молекул



Здесь оседают частицы при вращении установки

l – смещение



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

$$z = V_u \cdot n$$

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

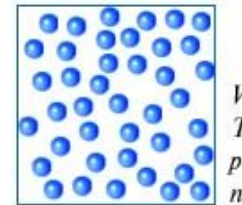
- z – число соударений за 1с
- V_u – объём цилиндра
- S_u – площадь основания цилиндра
- d – диаметр частицы

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

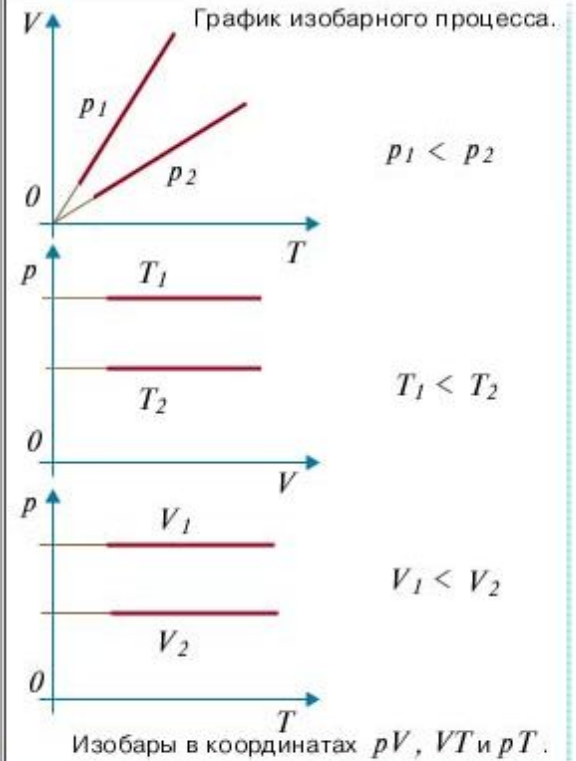
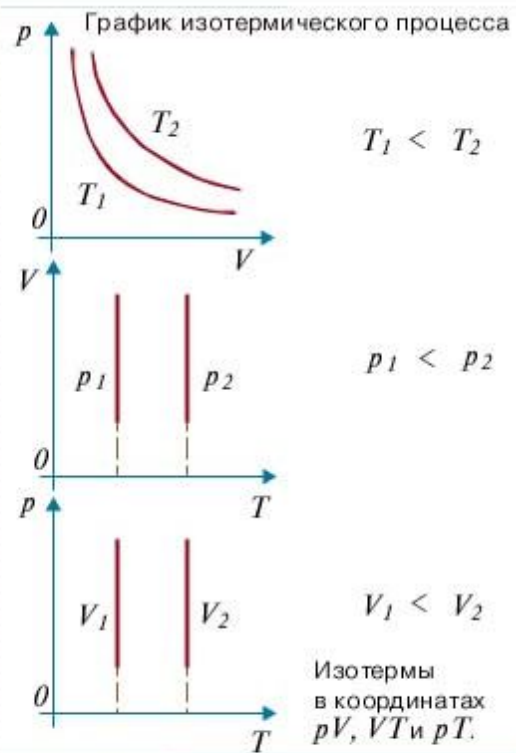
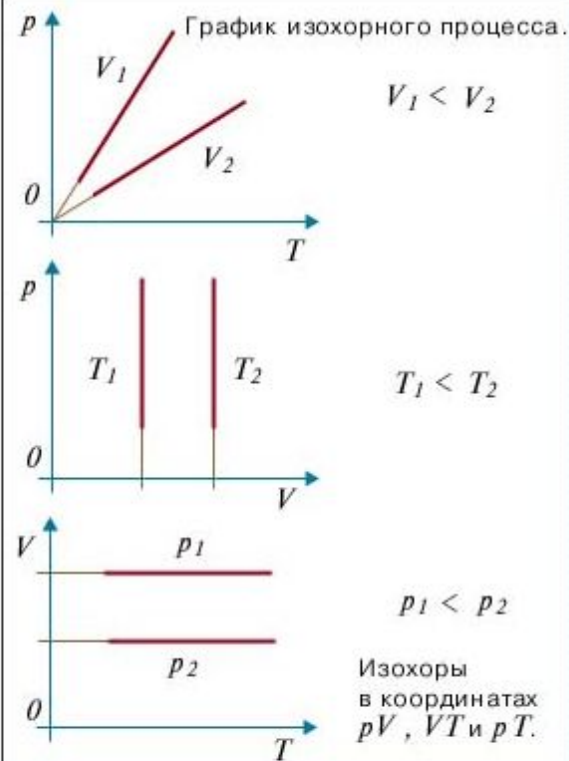
$$\lambda = \frac{v \cdot l_c}{\pi d^2 \cdot v \cdot l_c \cdot n}$$

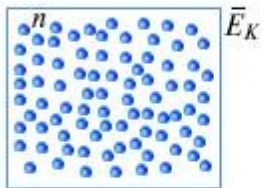
$$\lambda = \frac{l}{\pi d^2 \cdot n}$$

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



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

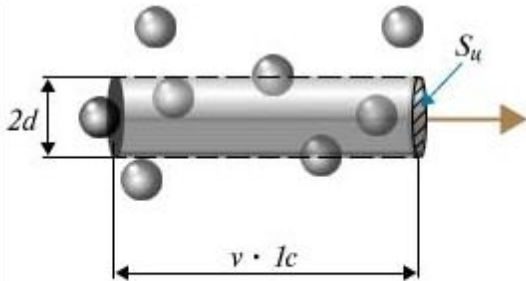
$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

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

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

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

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



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

$$z = V_u \cdot n$$

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

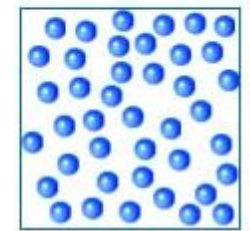
- z – число соударений за 1с
- V_u – объём цилиндра
- S_u – площадь основания цилиндра
- d – диаметр частицы
- n – концентрация
- v – скорость частицы

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

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

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

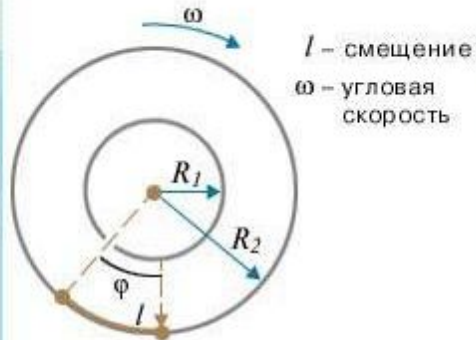
λ – длина свободного пробега частицы



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



Схема установки Штерна.



l – смещение
 ω – 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



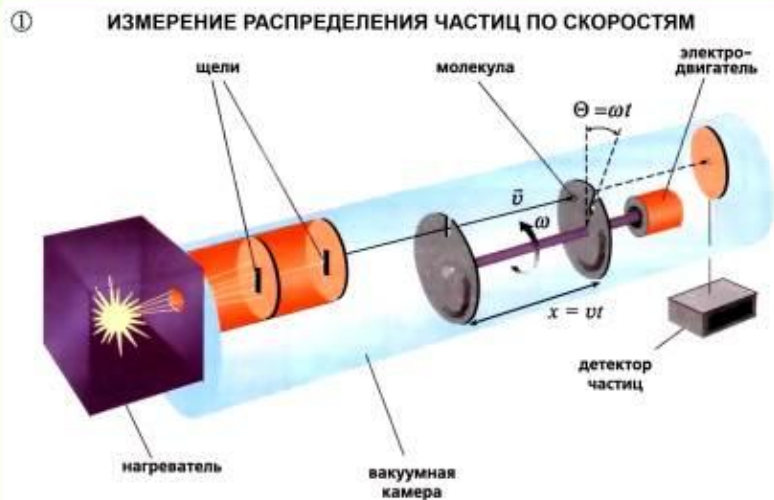
направление вращения

Здесь оседают частицы при вращении установки

l – смещение

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

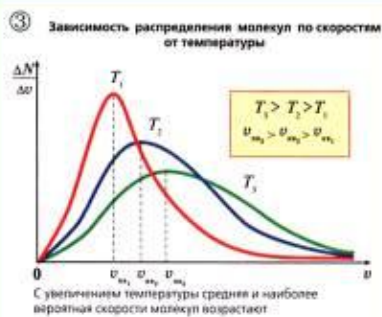
Распределение молекул идеального газа по скоростям. Опыт Штерна



Результаты эксперимента



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



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

①

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО СКОРОСТЯМ

