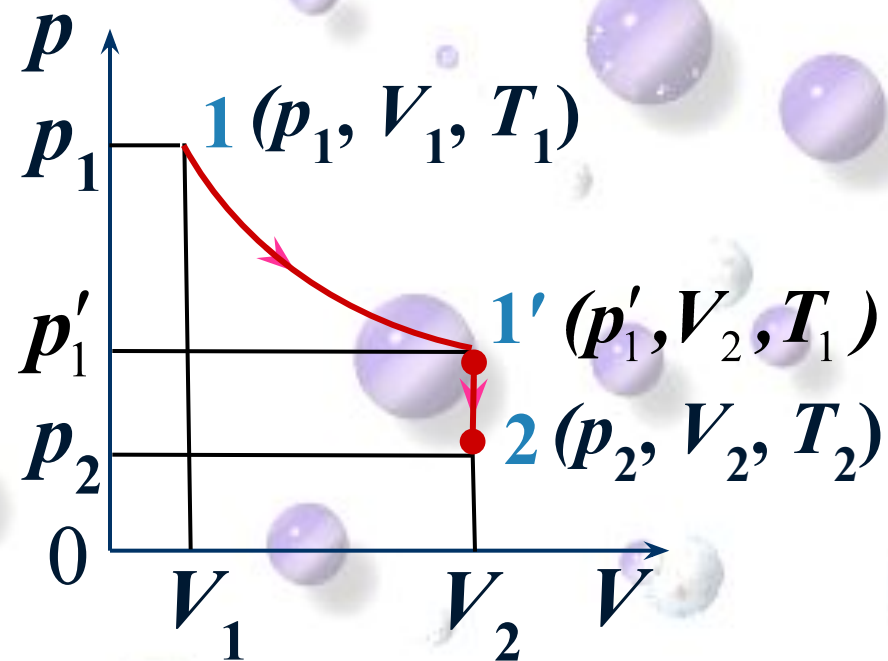


## Уравнение Клапейрона

*Клапейрон (фр.)  
вывел уравнение  
состояния  
идеального газа,  
объединив законы  
Бойля-Мариотта и  
закон Гей-Люссака –  
Шарля.*





## Уравнение Клапейрона

---

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

---

*уравнение Клапейрона*

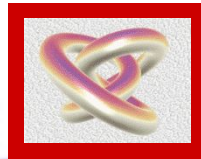
---



## Уравнение Клапейрона

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \quad (1)$$

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



## Уравнение Менделеева-Клапейрона

*Менделеев объединил уравнение Клапейрона с законом Авогадро.*

*Согласно закону Авогадро:*

*Один моль любого газа при нормальных условиях ( $T = 273$  К и  $p = 1,013 \cdot 10^5$  Па) занимает один и тот же объем (молярный)*

*$V_m$ , равный:*

$$V_m = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

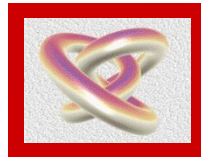
*Подставим эти данные в (1):*



## Уравнение Менделеева-Клапейрона

---

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



## Уравнение Менделеева-Клапейрона

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

$R$  – универсальная газовая постоянная  
(молярная газовая постоянная)



## Уравнение Менделеева-Клапейрона

*Тогда для 1 моль газа уравнение (1) можно записать в виде:*

$$pV = RT \quad (2)$$

**m**

Уравнение Менделеева-Клапейрона для 1 моль газа



## Уравнение Менделеева-Клапейрона

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

$p$  – давление идеального газа

$V$  – объем идеального газа

$m$  – масса газа

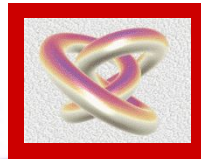
$M$  – молярная масса газа

$R$  – универсальная газовая постоянная

$T$  – абсолютная температура

идеального газа





## Основы МКТ

---

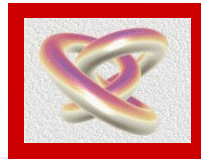
Задача молекулярно-кинетической теории состоит в том, чтобы установить связь между ***микроскопическими*** (масса, скорость, кинетическая энергия молекул) и ***макроскопическими параметрами*** (давление, объем, температура).

$m$     $v$     $E_k$

?

$p$     $V$     $T$

---



---

*Газ, состоящий из отдельных атомов, а не молекул, называют одноатомным.*

К одноатомным газам относят инертные газы — гелий, неон, аргон. В случае идеальных газов пренебрегают силами взаимодействия молекул, т. е. их потенциальная энергия полагается равной нулю, поэтому **внутренняя энергия идеального газа представляет собой кинетическую энергию теплового движения молекул.**

---



## Основное уравнение МКТ газов

$$F = \frac{1}{3} \frac{m_0 N}{l} \langle v_{кв} \rangle^2$$

С другой стороны, сила  $F$ , действующая со стороны газа в направлении, перпендикулярном к поверхности  $S$  стенки сосуда:

$$F = pS$$

$$[p] = 1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$p$  – **давление** газа на стенку сосуда.



## Основное уравнение МКТ газов

Или

$$p = \frac{1}{3} \frac{m_0 N}{V} \langle v_{кв} \rangle^2 = \frac{1}{3} m_0 n \langle v_{кв} \rangle^2 \quad (5)$$

Основное уравнение МКТ

$n = \frac{N}{V}$  — концентрация молекул



## Основное уравнение МКТ газов

---

***Средняя кинетическая энергия*** хаотического движения молекул газа

$$\langle E \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v_{кв} \rangle^2$$

Откуда

$$\langle v_{кв} \rangle^2 = \frac{2 \langle E \rangle}{m_0}$$



(5)



## Основное уравнение МКТ газов

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 = \frac{1}{3} m_0 n \frac{2 \langle E \rangle}{m_0} = \frac{2}{3} n \langle E \rangle$$

(6)

Основное уравнение МКТ



## Основное уравнение МКТ газов

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT$$



$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

Или

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{NRT}{N_A V} = \frac{nRT}{N_A}$$



## Основное уравнение МКТ газов

С другой стороны:

$$p = \frac{2}{3} n \langle E \rangle$$

Тогда:

$$\frac{2}{3} n \langle E \rangle = \frac{nRT}{N_A}$$

Откуда:

$$\langle E \rangle = \frac{nRT}{N_A} \frac{3}{2n} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T$$



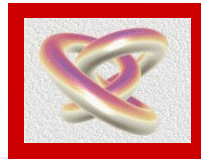


## Основное уравнение МКТ газов

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$k = \frac{R}{N_A}$$

$k$  – постоянная Больцмана



## Основное уравнение МКТ газов

---

Тогда:

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT \quad (7)$$

**Средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул газа прямо пропорциональна абсолютной температуре.**

**Температура есть мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул.**



## Основное уравнение МКТ газов

---

(7)  (6)

$$p = \frac{2}{3} n \langle E \rangle = \frac{2}{3} n \frac{3}{2} kT$$

Или

$$p = nkT$$

---