

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

**Изучает физические  
свойства и агрегатные  
состояния тел в зависимости  
от их молекуляр-ного  
строения, сил взаимодейст-  
вия между частицами,  
характера теплового  
движения.**

# МЕТОДЫ

## Термодинамический

- основан на опыте;
- состоит в изучении свойств тел путем анализа условий и количественных соотношений превращения энергии;
- оперирует макроскопическими измеряемыми величинами: давлением , температурой , количеством вещества ,

## Молекулярно - кинетический

- основан на статистических закономерностях;
- оперирует величинами, усредненными для большого количества частиц: средней скоростью, средней энергией.

***$P, V, T$***  –

**термодинамическ  
ие параметры**

# Атомная масса

Атомная единица массы (а.е.м.) - это  
1/12 массы атома изотопа углерода



.

Относительная атомная масса  
вещества выражается в а.е.м.

$$M_{\text{ат}} = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0\text{C}}}$$

← Масса атома (г)

← Масса атома  ${}^{12}_6\text{C}$  (г)

# Количество вещества

1 моль — это количество вещества, в котором содержится столько же атомов, сколько их в  $^{12}_6\text{C}$  12 г углерода .

Количество атомов в 1 моле равно числу Авогадро:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}, \quad -1$$

Количество вещества найдем по формуле:

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

# Молярная масса

Молярная масса  $M$  - это масса одного моля вещества в граммах.

$$M = m_0 N_A$$

Молярная масса равна выраженной в граммах относительной атомной массе .

$$\nu = \frac{m}{M}$$

# Состояния и процессы

Состояние характеризуется набором ТД-параметров.

Если все параметры имеют определенные значения, состояние равновесное.

Процесс сопровождается изменением ТД-параметров.

Равновесный процесс – это медленный переход между равновесными состояниями.

Если какой-то параметр не изменяется, то процесс называется изобарическим.

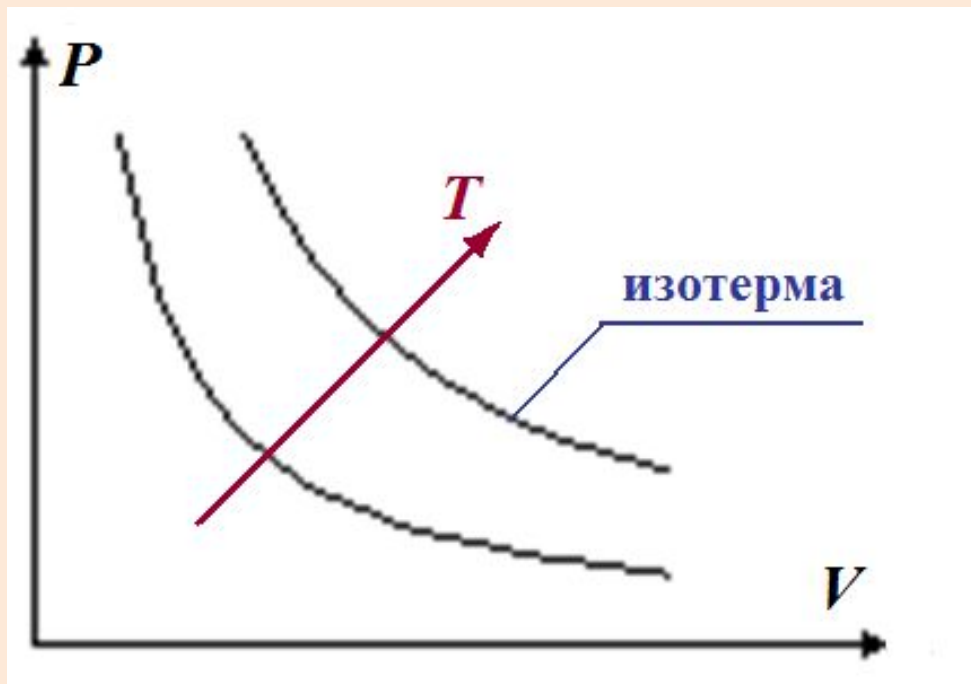
# ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

- Размеры молекул пренебрежи-мо малы;
- Молекулы не взаимодействуют;
- Столкновения – упругие.

# Экспериментальные газовые законы для данной массы

## 1. Закон Бойля-Мариотта для изотермического процесса.

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

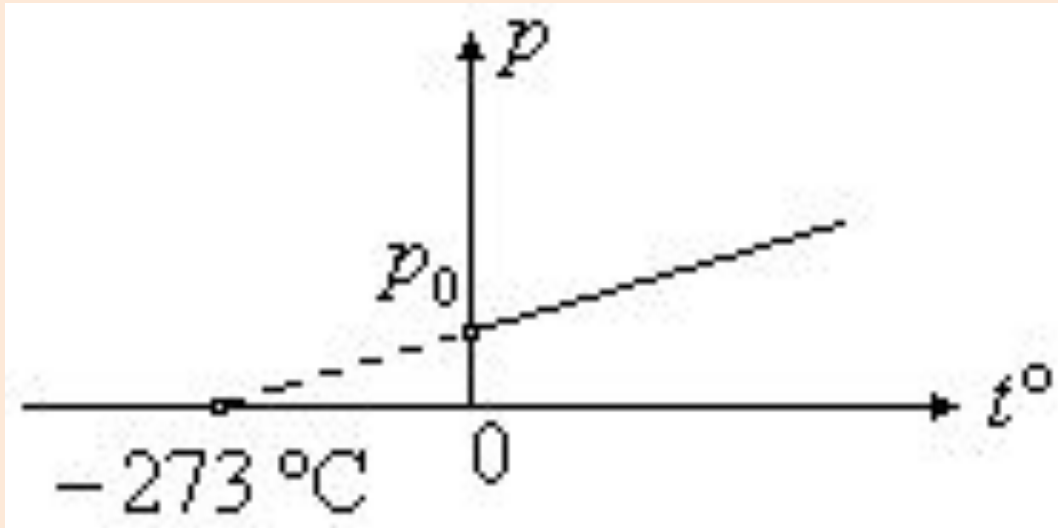


$$PV = \text{const.}$$

## 2. Закон Шарля для изохорного процесса.

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

$$P = P_0(1 + \alpha t^\circ)$$



$$\alpha = \frac{1}{273} (^{\circ}\text{C})^{-1}$$

$$P = \alpha P_0 \left( \frac{1}{\alpha} + t^\circ \right)$$

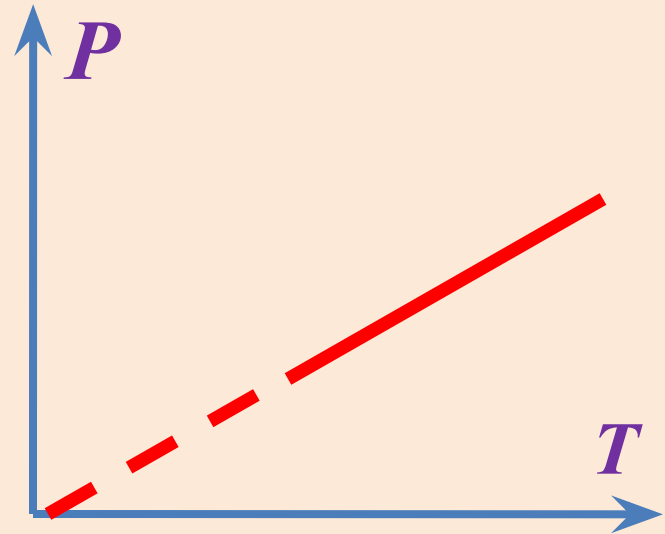
$$T = t^\circ + 273$$

**$T$  – абсолютная температура**

$$P = \alpha P_0 T$$

$$\frac{P}{T} = \alpha P_0$$

$$\frac{P}{T} = \text{const.}$$

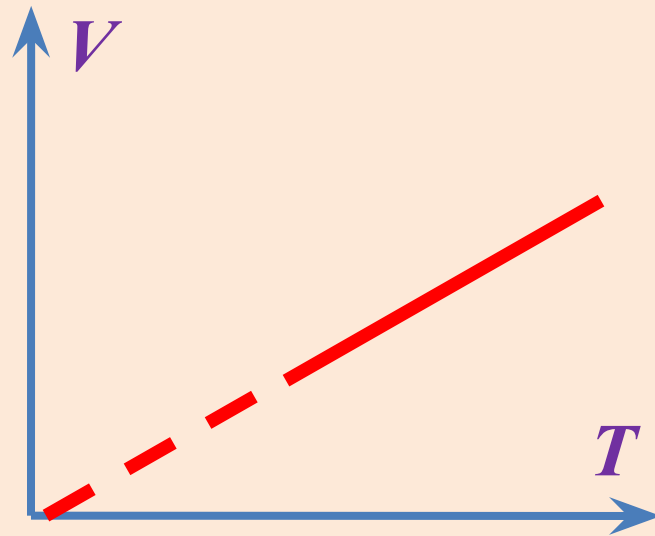


### 3. Закон Гей-Люссака для изобарного процесса.

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

$$V = V_0(1 + \alpha t^\circ)$$

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



## 4. Закон Авогадро

**1 киломоль любого газа  
занимает при одинаковых  
условиях одинаковый объем.**

**При нормальных условиях**

$$(1) \quad t = 0^{\circ} \text{C}, \quad P = 10^5$$

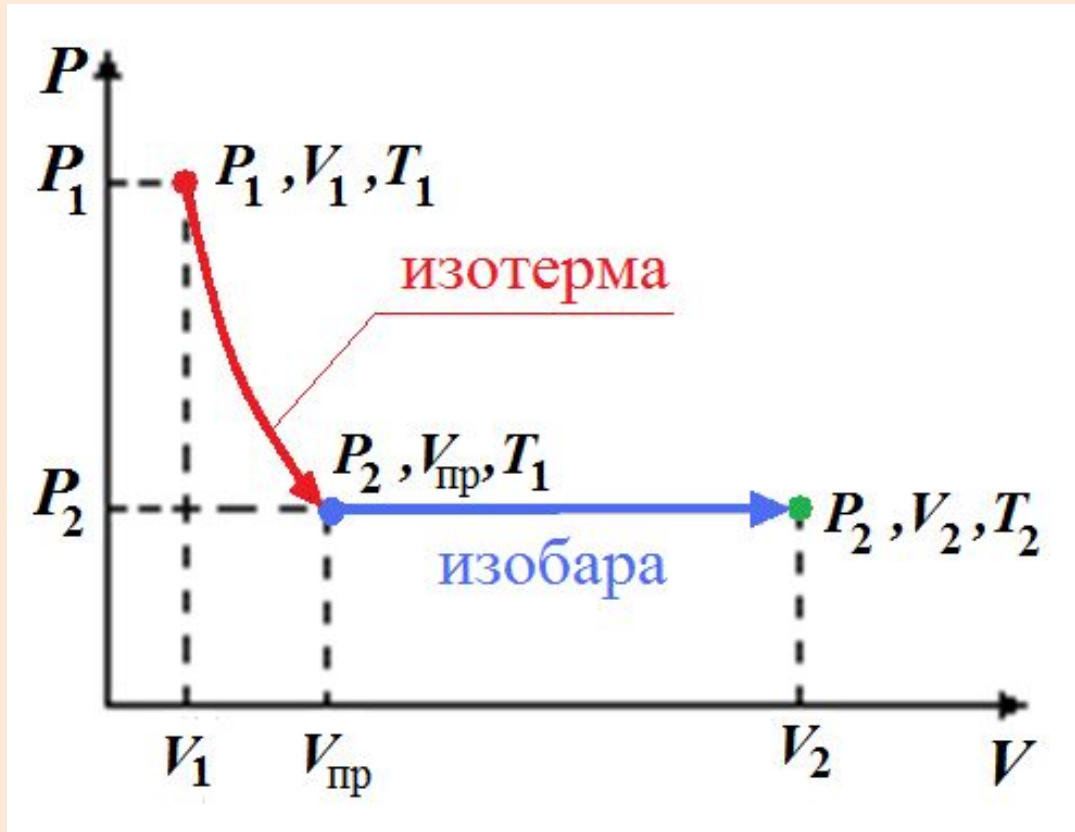
$$V_{\text{кМ}} = 22,4 \text{ кМ}^3$$

**5. Закон  
Дальтона**  
**Давление смеси газов равно  
сумме парциальных  
давлений.**

$$P = \sum_i P_i$$

$P_i$  — парциальные давления  
(каждого газа в  
отдельности)

# Уравнение состояния газа



$$\times \begin{cases} p_1 V_1 = p_2 V_{np} \\ \frac{V_{np}}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \end{cases}$$

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

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

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

**Для одного моля газа**

$$\frac{pV}{T} = R$$

**$R$  - универсальная газовая постоянная**

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

**Для  $\nu$  молей  
газа**

$$\frac{pV}{T} = \nu R$$

# Уравнение

## Менделеева — Клапейрона

$$pV = \nu RT$$

# Другая запись уравнения М-

К:

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

$$p = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{M}$$

$$p = \rho \frac{RT}{M}$$

$$pV = \frac{N}{N_A} RT$$

$$p = \frac{N}{V} \cdot \frac{RT}{N_A}$$

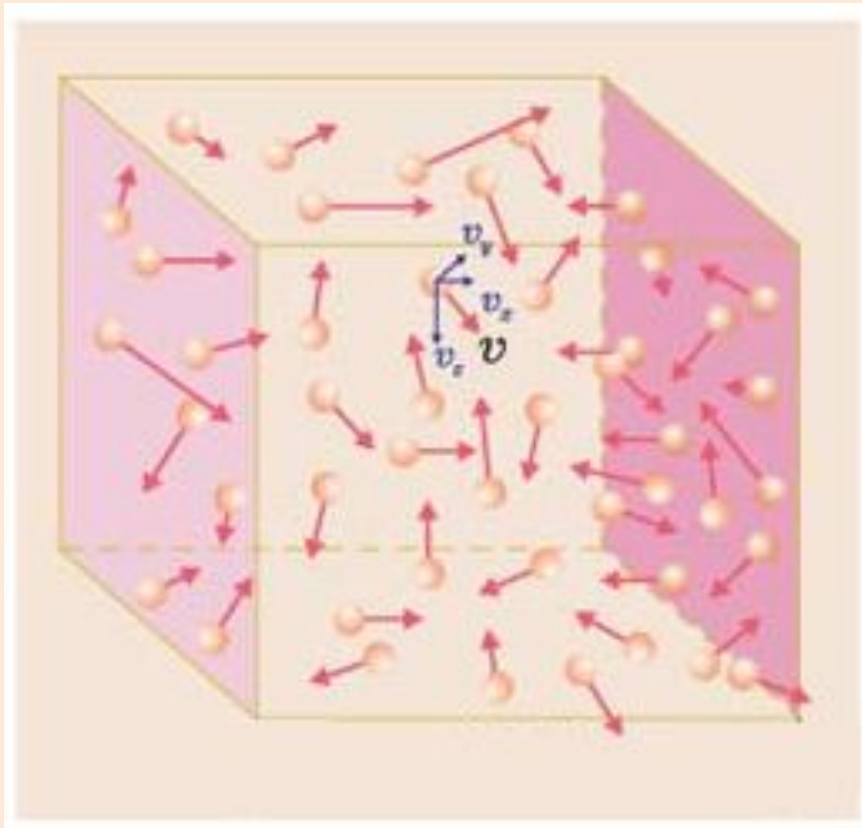
$$\frac{N}{V} = n \text{ - концентрация молекул}$$

$$\frac{R}{N_A} = k \text{ - постоянная Больцмана}$$

$$p = nkT$$

# Основное уравнение МКТ

Рассчитаем давление идеального газа на стенку сосуда.



сила давления



$$p = \frac{F}{S}$$

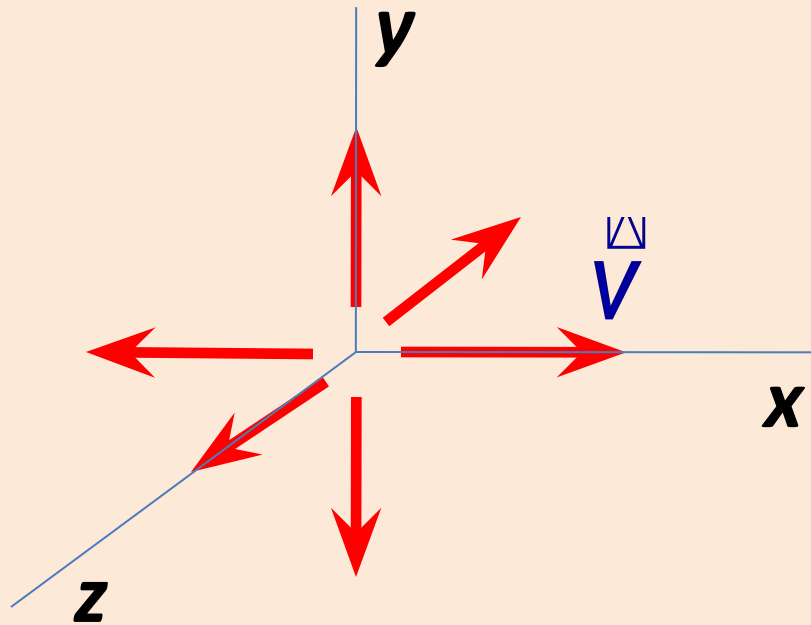


площадь стенки

$$F = \frac{dp_{\text{ст}}}{dt}$$

$dp_{\text{ст}}$  - импульс, полученный стенкой

У куба 6 граней. Пусть к каждой грани движется  $1/6$  часть всех молекул со средней скоростью  $\langle v \rangle$ .

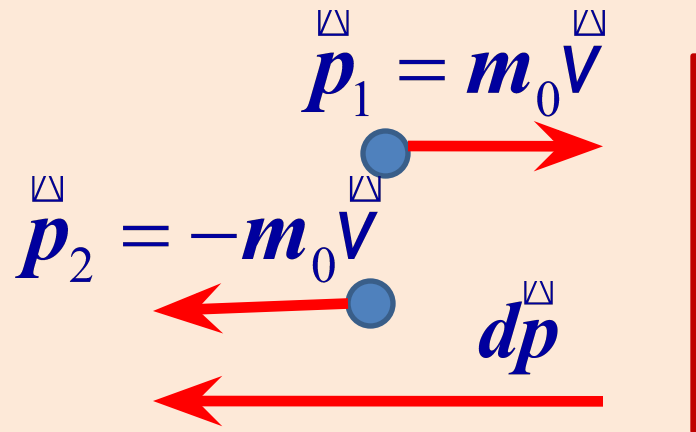
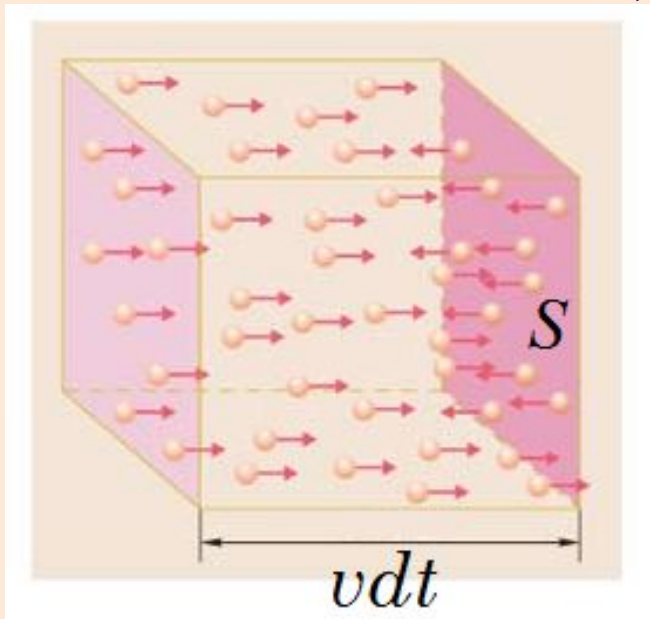


# Изменение импульса одной

молекулы:  $dp = p_2 - p_1 = -m_0 v - m_0 v = -2m_0 v$

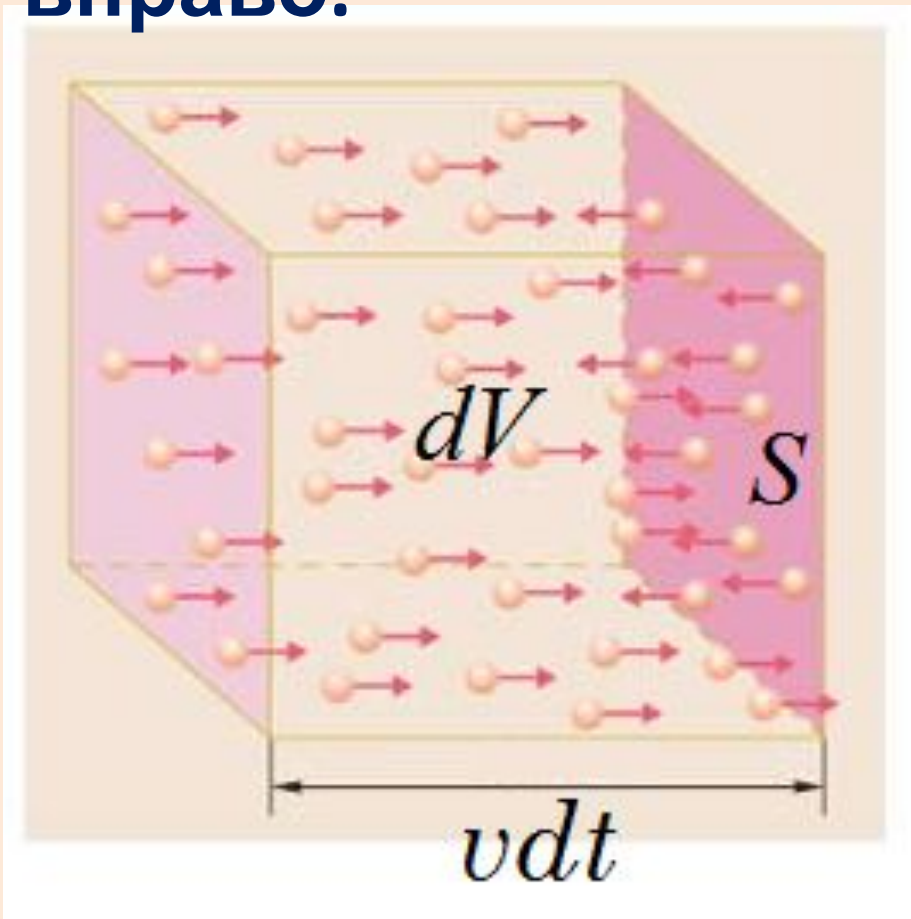
По закону сохранения импульса:

$$dp_{1,cm} = -dp = 2m_0 v$$



$$dp_{1,cm} = 2m_0 \langle v \rangle$$

За время  $dt$  со стенкой  $S$  столкнутся  $N$  молекул – те, что в объеме  $dV$  и летят вправо.



$$N = \frac{1}{6} n dV$$

$$dV = S \langle v \rangle dt$$

**Получим итоговую формулу  
для давления:**

$$p = \frac{F}{S} = \frac{dp_{cm}}{S \cdot dt} = \frac{N \cdot dp_{1,cm}}{S \cdot dt} = \frac{\frac{1}{6} n S \langle v \rangle dt \cdot 2 m_0 \langle v \rangle}{S \cdot dt}$$

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

**Умножим и поделим на 2:**

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$$

$$\frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \langle W_k \rangle - \text{средняя кинетическая энергия}$$

поступательного движения  
молекул

**Основное уравнение**

**МКТ:**

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

# Физический смысл абсолютной температуры

$$\left. \begin{array}{l} p = \frac{2}{3} n \langle W_k \rangle \\ p = nkT \end{array} \right\} \frac{2}{3} n \langle W_k \rangle = nkT$$

$$\langle W_k \rangle = \frac{3}{2} kT$$

Абсолютная температура идеального газа -  
это величина, прямо пропорциональная  
средней кинетической энергии  
поступательного движения его молекул.

# Средняя квадратичная скорость молекул

$$v_{kv} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} &= \langle W_k \rangle \\ \langle W_k \rangle &= \frac{3}{2} kT \end{aligned} \right\} \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3kT}{m_0}$$

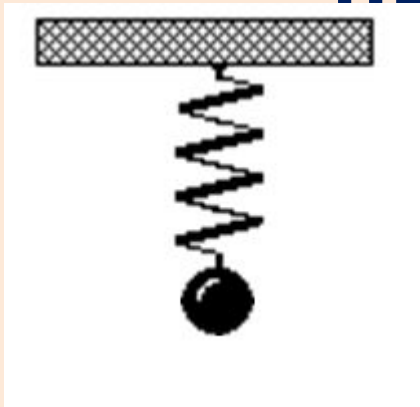
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{m_0N_A}} \quad \left. \begin{array}{l} kN_A = R \\ m_0N_A = M \end{array} \right\}$$

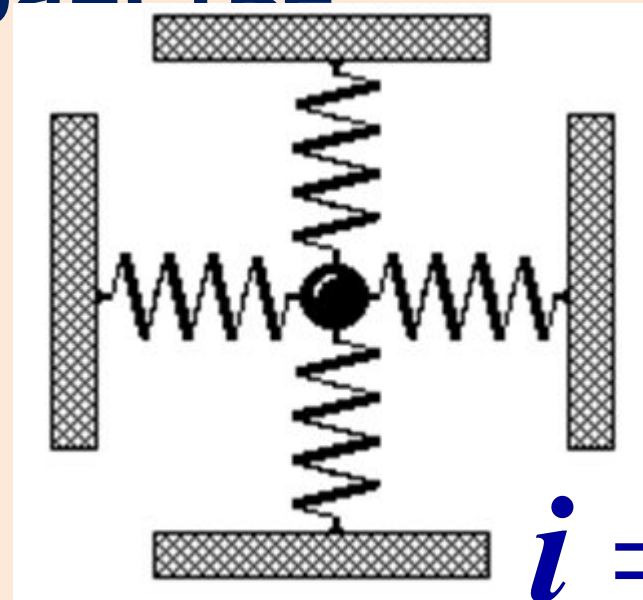
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

# Степени свободы тела

Число степеней свободы тела - это число независимых координат, которые необходимо задать для определения положения тела в пространстве

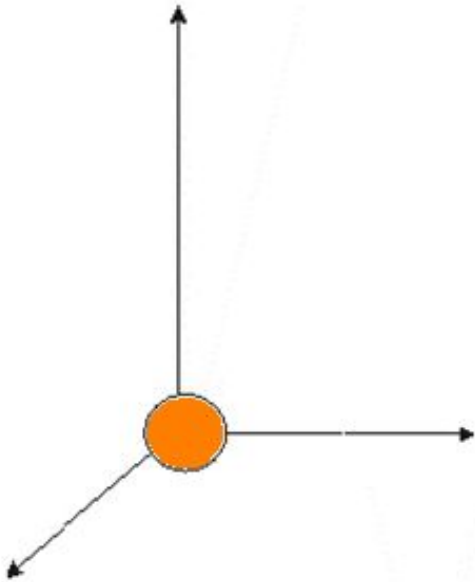


$$i = 1$$



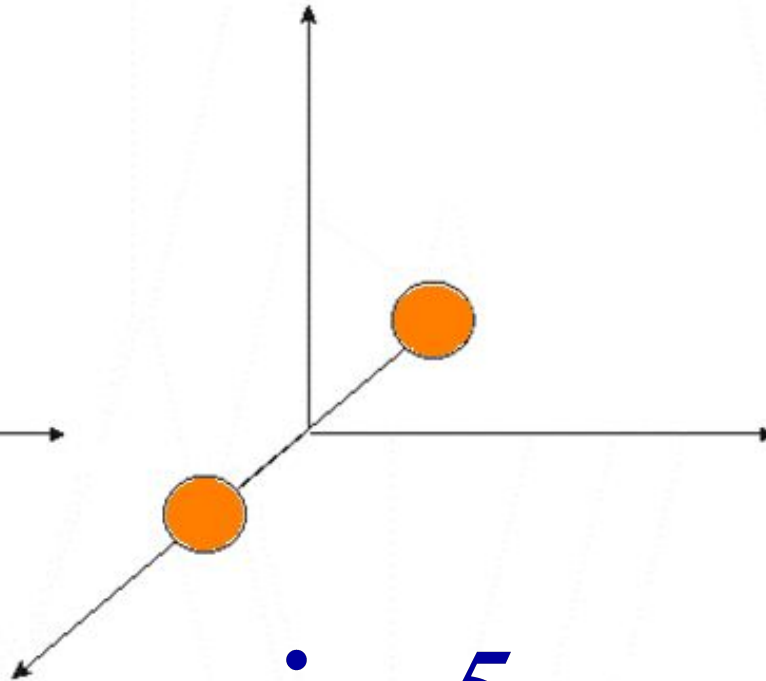
$$i = 2$$

# Степени свободы жестких молекул



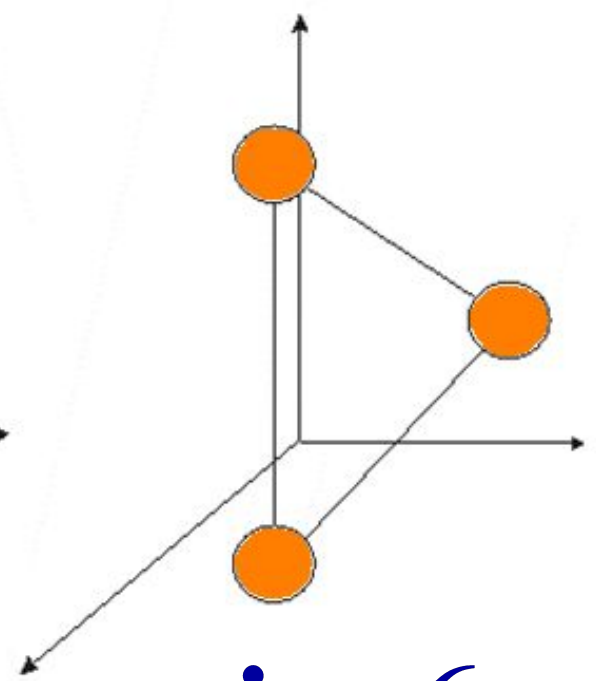
$$i = 3$$

*He, Ar, Ne...*



$$i = 5$$

*O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>...*



$$i = 6$$

*H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>...*

# Распределение энергии по степеням свободы

$$\langle W_k \rangle = \frac{3}{2} kT = \frac{m_0 \langle v_x^2 \rangle}{2} + \frac{m_0 \langle v_y^2 \rangle}{2} + \frac{m_0 \langle v_z^2 \rangle}{2}$$
$$\frac{m_0 \langle v_x^2 \rangle}{2} = \frac{m_0 \langle v_y^2 \rangle}{2} = \frac{m_0 \langle v_z^2 \rangle}{2}$$

На одну степень свободы приходится энергия

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} kT$$

# Энергия многоатомной молекулы

$$\langle W_k \rangle = \frac{i}{2} kT$$

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{колеб}}$$

# Внутренняя энергия идеального

газа

Внутренняя энергия идеального газа – это кинетическая энергия движения его молекул.

$$U = \langle W_k \rangle N = \frac{i}{2} kT \cdot \nu N_A = \nu \frac{i}{2} RT$$

$$U = \frac{i}{2} \nu RT$$

$$U = \frac{i}{2} pV$$