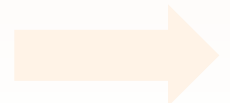


# **Основы МКТ. Идеальный газ.**

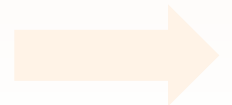
# Молекулярно-кинетическая теория

- **МКТ объясняет свойства макроскопических тел и тепловых процессов, на основе представлений о том, что все тела состоят из отдельных, беспорядочно движущихся частиц.**
- **Макроскопические тела – тела, состоящие из большого количества частиц.**
- **Микроскопические тела – тела, состоящие из малого количества частиц.**



# Основные положения МКТ

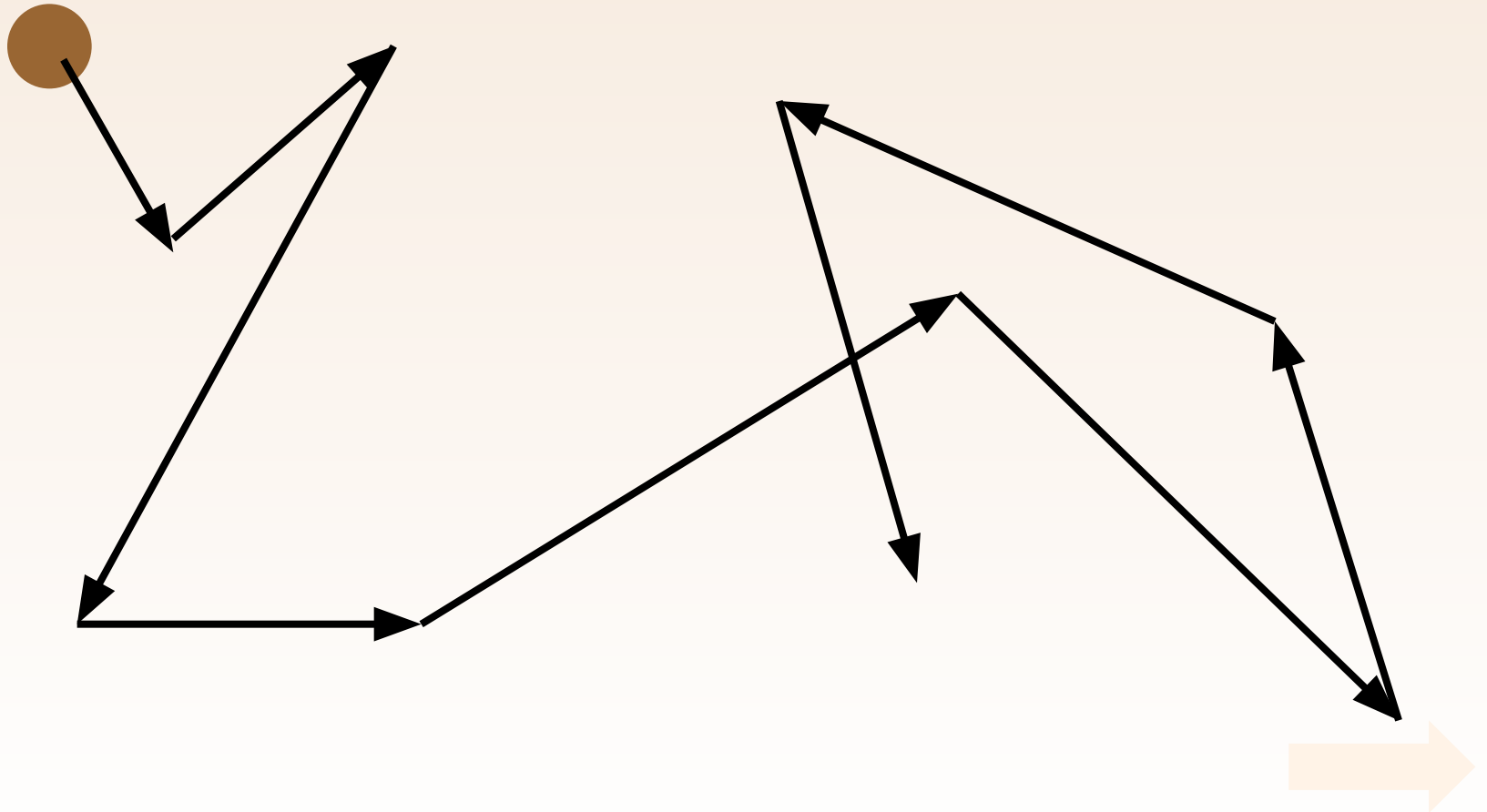
- **Вещество состоит из частиц**
- **Частицы непрерывно и хаотически движутся**
- **Частицы взаимодействуют друг с другом**



# Броуновское движение

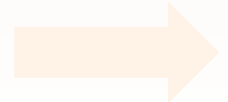
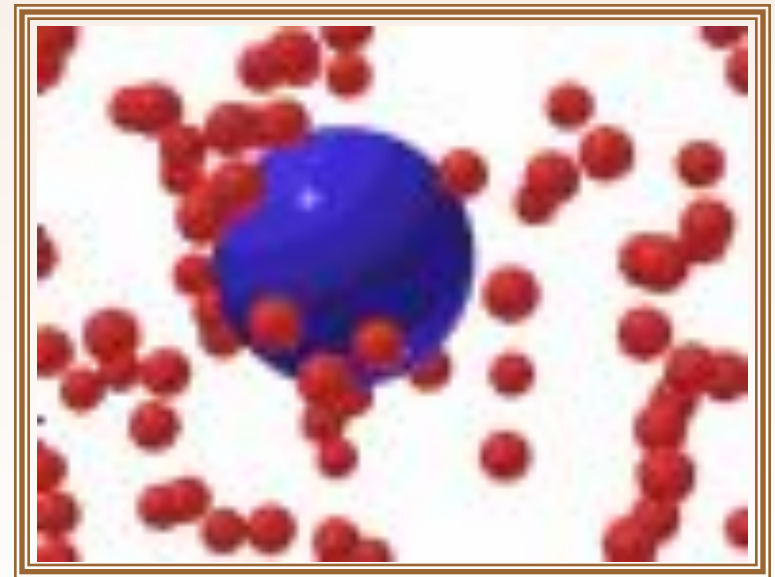
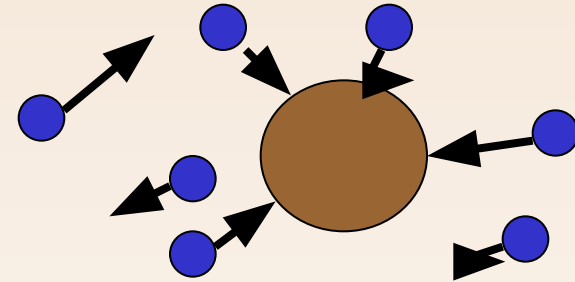
1827 г.

Роберт Броун



# Броуновское движение

- Причина броуновского движения состоит в том, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга.
- 1905 г. Альберт Эйнштейн.

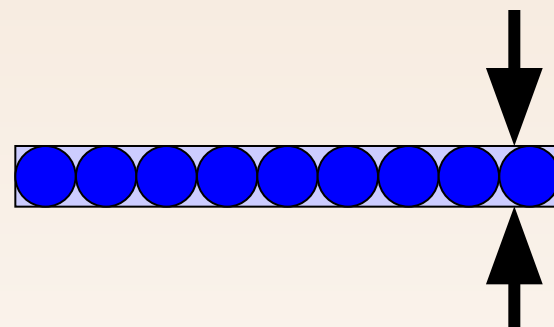
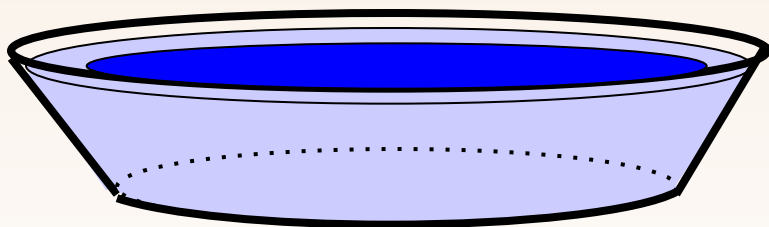


# Масса и размеры молекул



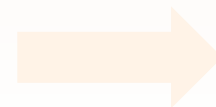
$$V = 1 \text{ мм}^3$$

$$S = 0,6 \text{ м}^2$$



$$d = \frac{V}{S}$$

$$d = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

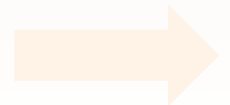


# Масса и размеры молекул

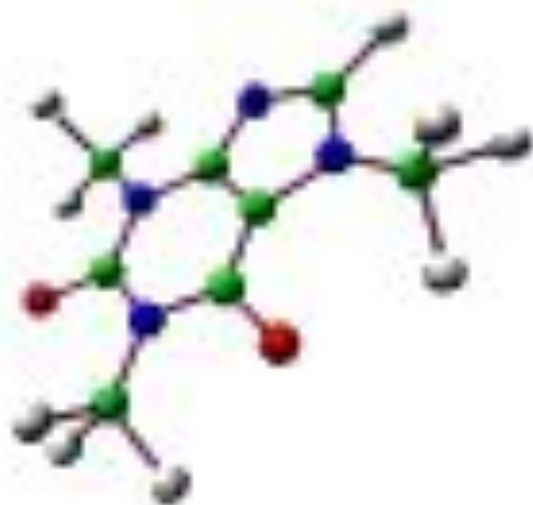
**В 1 г воды содержится  $3,7 \cdot 10^{22}$  молекул.**

$$m_{0(\text{воды})} = \frac{1 \text{ г}}{3,7 \cdot 10^{22}} = 2,7 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

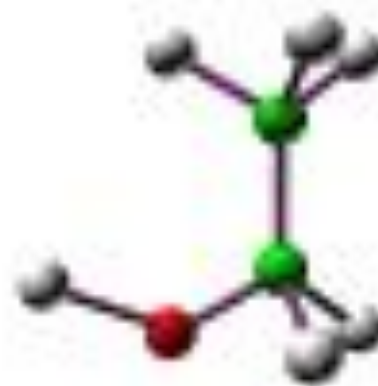
**Массы молекул в макроскопических масштабах  
чрезвычайно малы.**



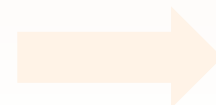
# Масса и размеры молекул



**кофе**



**этанол**



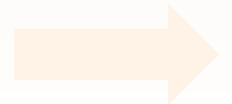


# Масса и размеры молекул

1961 год

**Относительной молекулярной (или атомной) массой вещества ( $M_r$ ) называют отношение массы молекулы (или атома)  $m_0$  данного вещества к  $1/12$  массы атома углерода  $m_{0C}$ .**

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$$

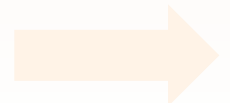


# Количество вещества

Количество вещества наиболее естественно было бы измерять числом молекул или атомов в теле. Но число частиц в любом макроскопическом теле так велико, что в расчетах используют не абсолютное число частиц, а относительное.

$$[ \nu ] = \text{моль}$$

Один моль – это количество вещества, в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько содержится в углероде массой 12 г.



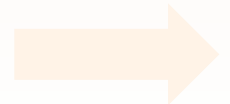
# Количество вещества

**В 1 моле любого вещества содержится одно и то же число атомов или молекул.**

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \quad \begin{array}{l} \text{- постоянная} \\ \text{Авогадро} \end{array}$$

**Количество вещества равно отношению числа молекул в данном теле к постоянной Авогадро.**

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



# Количество вещества

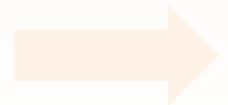
**Молярной массой вещества называют массу вещества, взятого в количестве 1 моль.**

$$M = m_0 N_A$$

$$[M] = \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

**$m_0$  - масса одной молекулы или атома**

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$



# Количество вещества

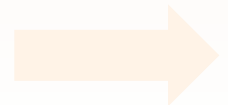
$$m = m_0 N$$

**m** – масса вещества

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

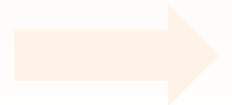
$$N = \nu N_A = N_A \frac{m}{M}$$

- формула для расчета  
числа частиц в теле



# Таблица

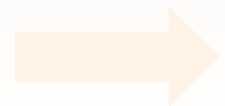
**Свойства газов, жидкостей и  
твёрдых тел**



# Строение газов, жидкостей и ТВЕРДЫХ ТЕЛ

	<b>свойства</b>	<b>расположение частиц</b>	<b>движение и взаимод. частиц</b>
<b>твердые тела</b>	★	★	★
<b>жидкости</b>	★	★	★
<b>газы</b>	★	★	★

Заполним таблицу по мере изучения темы.



# Свойства

- **Твердые тела сохраняют объем и форму.**





# Свойства

- **Жидкости сохраняют объем и принимают форму сосуда.**
- **Обладают текучестью.**



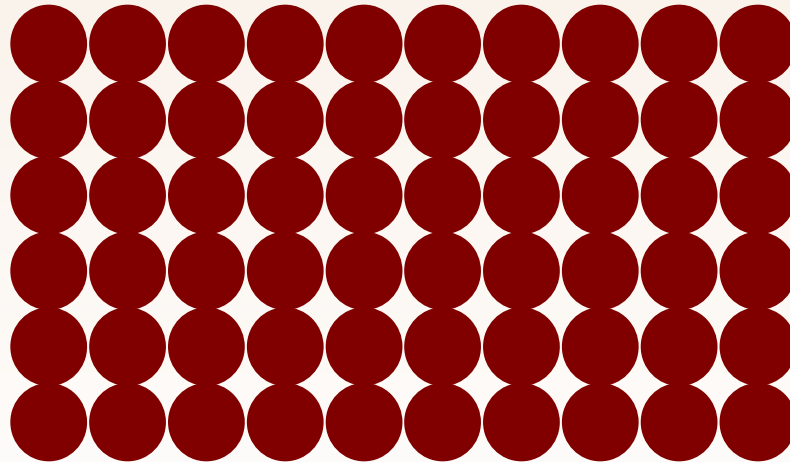
# Свойства

- Газы не имеют формы, занимают весь предоставленный объем.



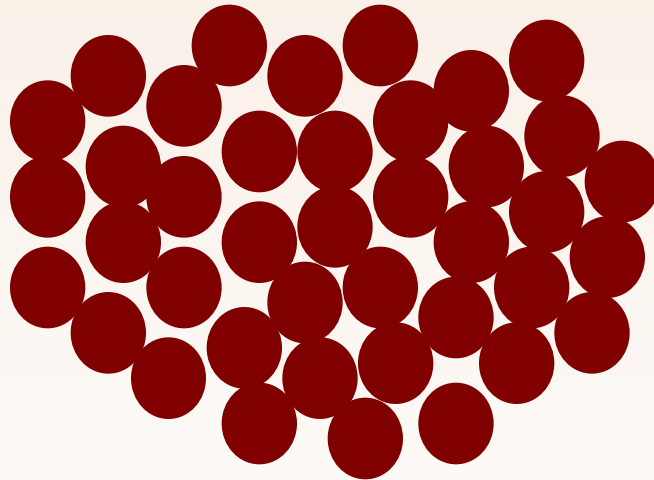
# Расположение частиц

- **Частицы расположены в строгом порядке вплотную друг к другу.**
- **Кристаллическая решетка.**



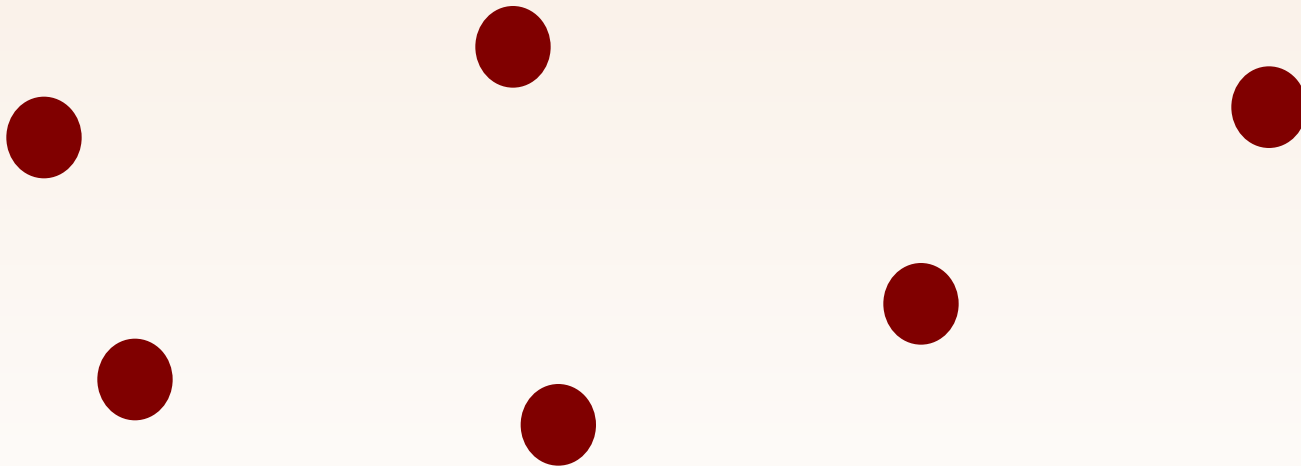
# Расположение частиц

- **Частицы расположены вплотную друг к другу, образуют только ближний порядок.**



# Расположение частиц

- **Частицы расположены на значительных расстояниях (расстояния между частицами во много раз больше размеров самих частиц).**



# **Движение и взаимодействие частиц**

- **Частицы совершают колебательные движения около положения равновесия**
- **Силы притяжения и отталкивания значительны**



# Движение и взаимодействие частиц

- **Частицы совершают колебательные движения около положения равновесия, изредка совершая скачки на новое место**
- **Силы притяжения и отталкивания значительны**



# **Движение и взаимодействие частиц**

- **Частицы свободно перемещаются по всему объему, двигаясь поступательно**
- **Силы притяжения почти отсутствуют, силы отталкивания проявляются при соударениях**

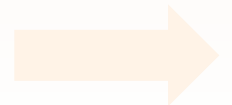




# Идеальный газ

**Идеальный газ – это газ, в котором**

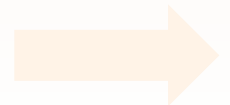
- **Частицы – материальные точки**
- **Частицы взаимодействуют только при соударениях**
- **Удары абсолютно упругие**



# Среднее значение квадрата скорости молекул

- **Скорость – величина векторная, поэтому средняя скорость движения частиц в газе равна нулю.**

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 + \dots}{N} = 0$$



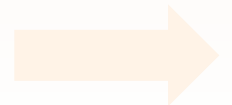
# Среднее значение квадрата скорости молекул

$$\overline{v}^2 = \frac{v^2_1 + v^2_2 + v^2_3 + \dots}{N} \neq 0$$

$$\overline{v}^2 = \overline{v_x}^2 + \overline{v_y}^2 + \overline{v_z}^2$$

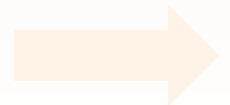
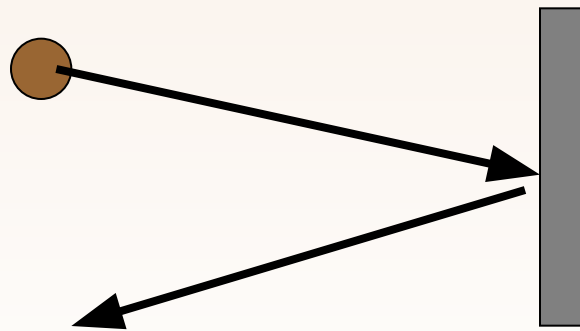
$$\overline{v_x}^2 = \overline{v_y}^2 = \overline{v_z}^2$$

$$\overline{v_x}^2 = \frac{1}{3} \overline{v}^2$$

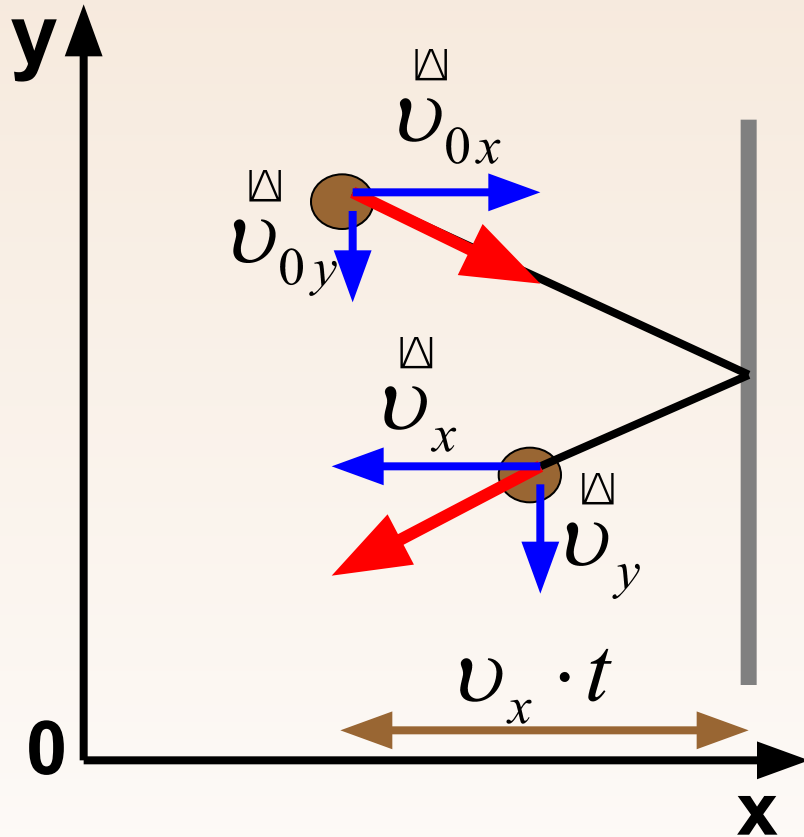


# Основное уравнение МКТ

- Основное уравнение МКТ устанавливает зависимость давления газа от средней кинетической энергии его молекул.
- Газ оказывает давление на стенки сосуда путем многочисленных ударов молекул (или атомов).



# Основное уравнение мкт



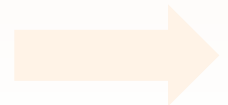
$$\Delta P_{x0} = 2m_0 v_x$$

$$N = \frac{1}{2} n V \quad , \quad V = S v_x t$$

$$F_x = \Delta P_x t = N \cdot \Delta P_{0x} t$$

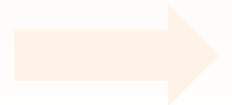
$$F_x = m_0 n v_x^2 S$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$$



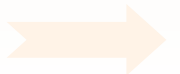
# Основное уравнение МКТ

$$\left. \begin{aligned} \bar{F} &= \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2 S \\ p &= \frac{\bar{F}}{S} \\ \bar{E}_{k0} &= \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} p &= \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 \\ p &= \frac{2}{3} n \bar{E}_{k0} \\ m_0 n &= m_0 \frac{N}{V} = \frac{m}{V} = \rho \\ p &= \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 \end{aligned}$$



# Температура и тепловое равновесие

- **Макроскопические параметры (макропараметры) – величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета молекулярного строения. ( $V, p, t$ ).**
- **Тепловым равновесием** называют такое состояние, при котором все макроскопические параметры всех тел системы остаются неизменными сколь угодно долго.



# Температура и тепловое равновесие

- Любое макроскопическое тело или группа макроскопических тел при неизменных внешних условиях самопроизвольно переходит в состояние теплового равновесия.
- Все тела системы, находящиеся друг с другом в тепловом равновесии имеют одну и ту же температуру.





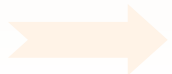
# Температура и тепловое равновесие

- **Термометр** – прибор для измерения температуры тела.
- Термометр входит в состояние теплового равновесия с исследуемым телом и показывает свою температуру.



# Температура и тепловое равновесие

- Основная деталь термометра – **термометрическое тело**, то есть тело, макропараметры которого изменяются при изменении температуры. (Например, в ртутных термометрах термометрическим телом является ртуть – при изменении температуры изменяется ее объем.)

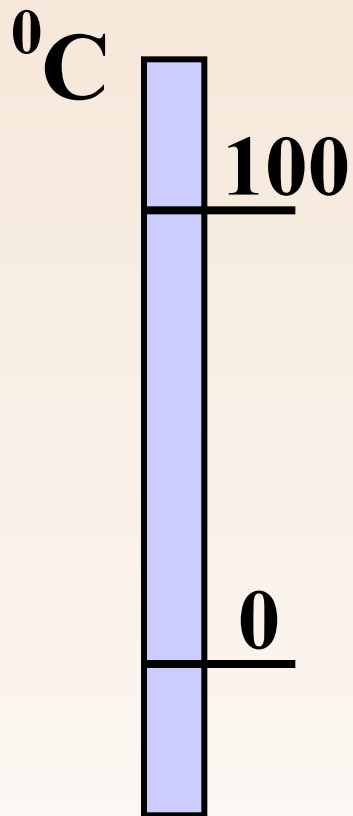


# Температура и тепловое равновесие

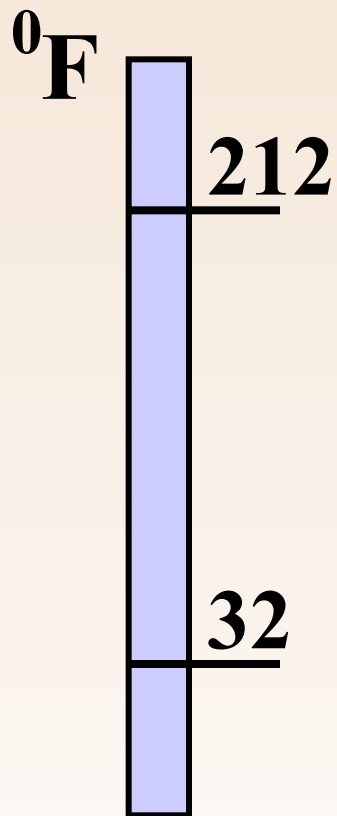
- Изобретателем термометра является Галилео Галилей (ок. 1600 г.)
- Термометрическим телом в его термометре являлся газ – при повышении температуры его объем увеличивался, вытесняя жидкость.
- Недостатком термометра Галилея являлось отсутствие температурной шкалы.



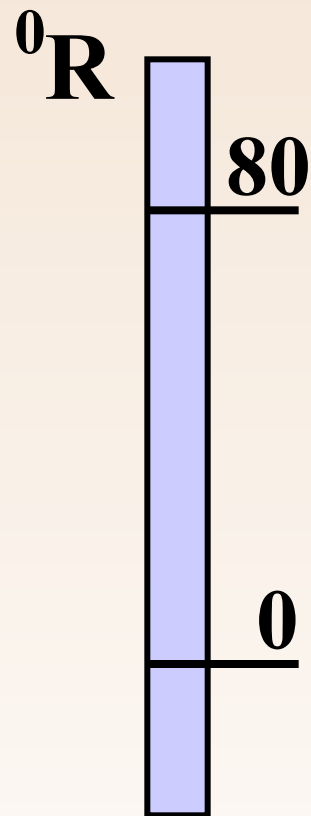
# Температурные шкалы



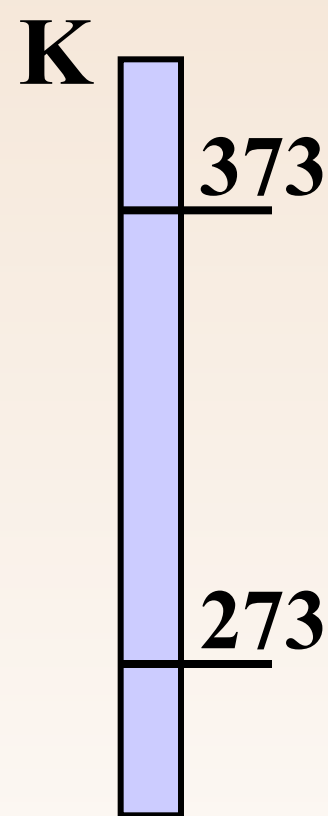
шкала  
Цельсия



шкала  
Фаренгейта



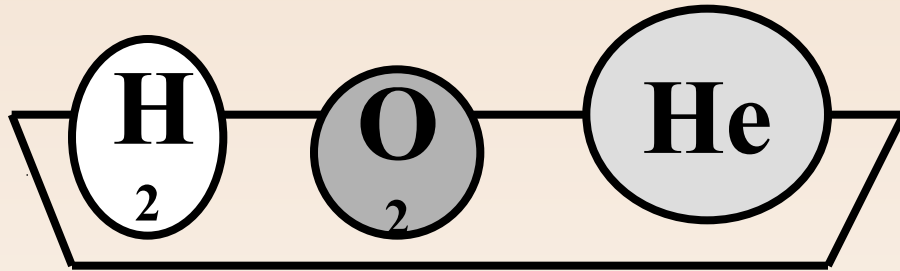
шкала  
Реомюра



шкала  
Кельвина



# Определение температуры

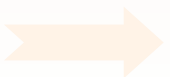


При тепловом равновесии средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул всех газов одинакова.

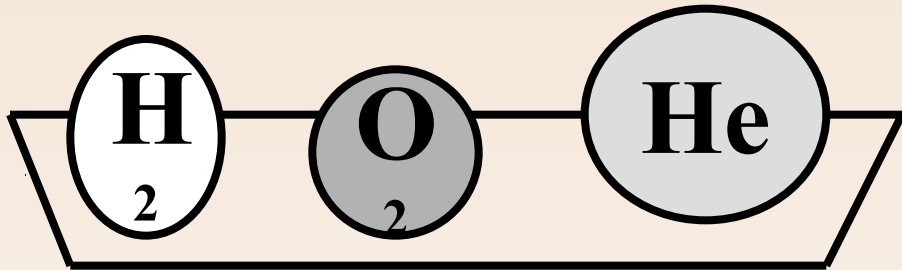
$$p = \frac{2}{3} n E_k = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k$$

$$\frac{2}{3} E_k = \frac{pV}{N} = \text{const}$$

$$\frac{2}{3} E_k = \Theta$$



# Определение температуры



$$[\Theta] = \text{Дж}$$

$\Theta$  - Энергетический эквивалент температуры.

$$\left( \frac{pV}{N} \right)_t = \Theta_t = \text{const}$$

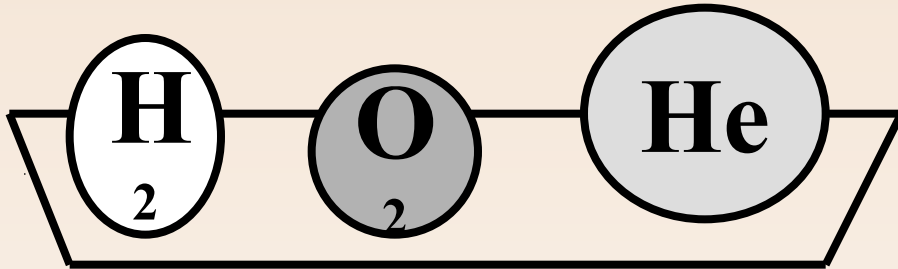
$$\Theta_0 = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$\Theta_{100} = 5,10 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$\Theta \sim T$$



# Определение температуры



$$\Theta = kT$$

$$k = \frac{\Theta_{100} - \Theta_0}{100 - 0}$$

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

- постоянная  
Больцмана



# Температура – мера средней кинетической энергии молекул

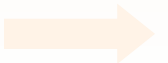
$$\left. \begin{array}{l} \Theta = kT \\ \frac{2}{3} \bar{E}_k = \Theta \end{array} \right\} E_k = \frac{3}{2} kT$$

$$[T] = K \text{ (кельвин)}$$

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

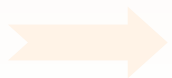
$$\Delta t = \Delta T$$





# Зависимость давления газа от температуры и концентрации молекул газа

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_k &= \frac{3}{2} kT \\ p &= \frac{2}{3} n \bar{E}_k \end{aligned} \right\} p = nkT$$



# Скорости молекул

$$\left. \begin{aligned} \overline{E}_{k0} &= \frac{3}{2} kT \\ \overline{E}_{k0} &= \frac{m_0 \overline{v}^2}{2} \end{aligned} \right\} \overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad \text{- средняя квадратичная скорость}$$

$$\left. \begin{aligned} v_{\text{азота}} &= 500 \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ v_{\text{водорода}} &= 1800 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned} \right\} \text{при } 0^\circ \text{C}$$



# Уравнение состояния идеального газа

(ур-е Менделеева – Клапейрона)

$$\left. \begin{aligned} p &= nkT = \frac{N}{V} kT \\ N &= \nu N_A = N_A \frac{m}{M} \end{aligned} \right\}$$

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

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

- универсальная  
газовая постоянная



# Уравнение состояния идеального газа

(ур-е Менделеева – Клапейрона)

Если в ходе процесса масса газа  
остается неизменной, то

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R = \text{const}$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3} = \dots$$



# Изопроцессы

- Изотермический процесс
- Изобарный процесс
- Изохорный процесс

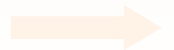


# Изотермический процесс

- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянной температуре называется изотермическим.
- Изотермический процесс описывается **законом Бойля – Мариотта** (конец 17 века):

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

$$p_1V_1 = p_2V_2$$



# Изобарный процесс

- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянном давлении называется изобарным.
- Изобарный процесс описывается **законом Гей-Люссака** (1802 г.):

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

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

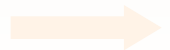


# Изохорный процесс

- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянном объеме называется **изохорным**.
- Изохорный процесс описывается **законом Шарля** (1787 г.):

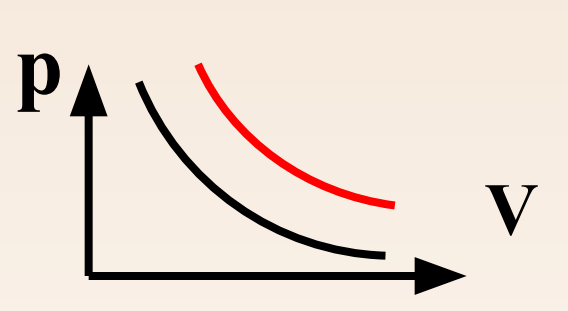
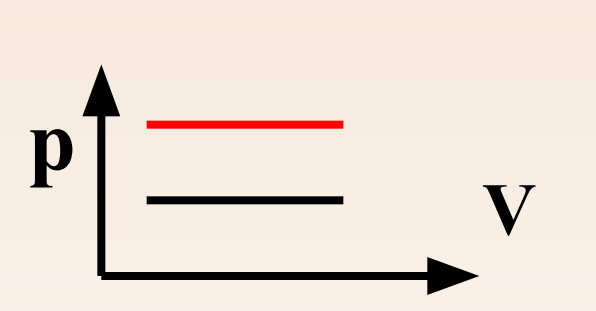
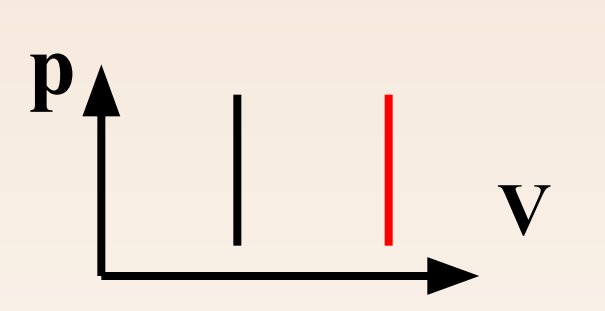
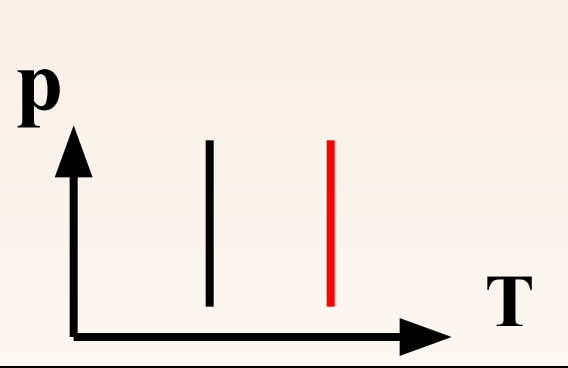
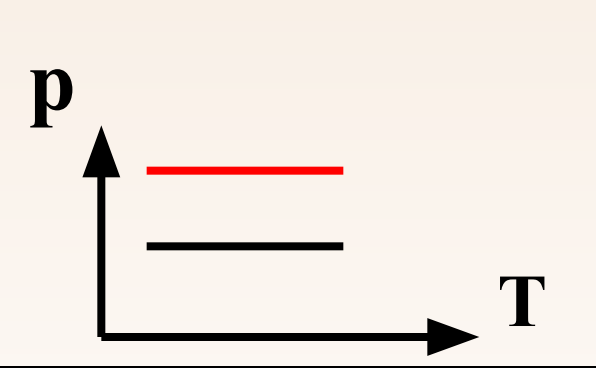
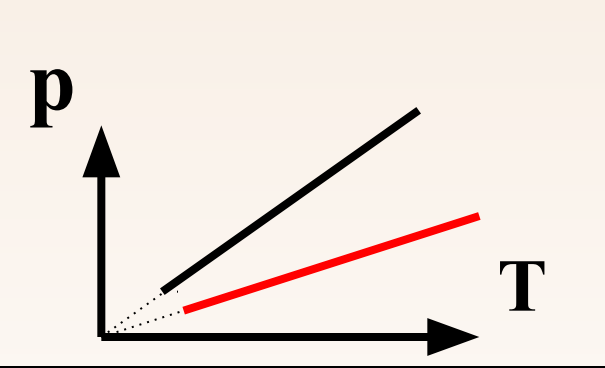
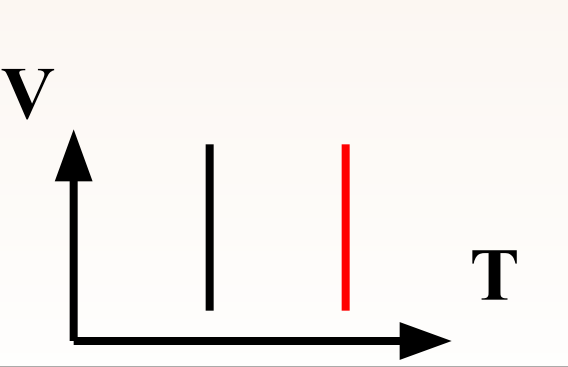
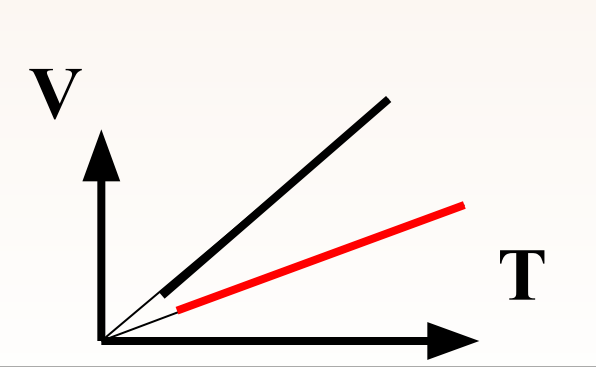
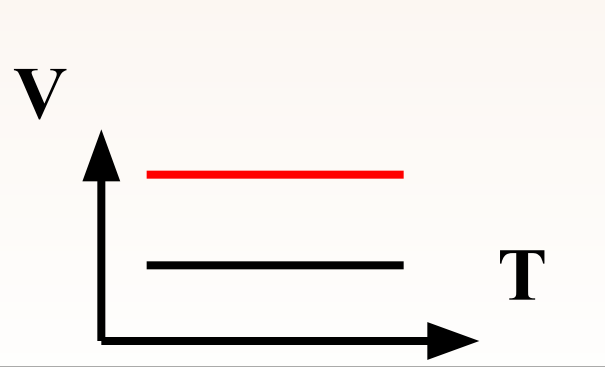
$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

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





# Графики изопроцессов

изотерма	изобара	изохора
 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and volume <math>v</math> on the horizontal axis. Two hyperbolic curves are shown: a black one closer to the origin and a red one further away, representing isotherms.</p>	 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and volume <math>v</math> on the horizontal axis. Two horizontal lines are shown: a black one lower on the pressure axis and a red one higher, representing isobars.</p>	 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and volume <math>v</math> on the horizontal axis. Two vertical lines are shown: a black one further to the left and a red one further to the right, representing isochors.</p>
 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two vertical lines are shown: a black one further to the left and a red one further to the right, representing isotherms.</p>	 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two horizontal lines are shown: a black one lower on the pressure axis and a red one higher, representing isobars.</p>	 <p>A graph with pressure <math>p</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two straight lines originate from the origin: a black one with a steeper slope and a red one with a shallower slope, representing isochors.</p>
 <p>A graph with volume <math>v</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two vertical lines are shown: a black one further to the left and a red one further to the right, representing isotherms.</p>	 <p>A graph with volume <math>v</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two straight lines originate from the origin: a black one with a steeper slope and a red one with a shallower slope, representing isobars.</p>	 <p>A graph with volume <math>v</math> on the vertical axis and temperature <math>T</math> on the horizontal axis. Two horizontal lines are shown: a black one lower on the volume axis and a red one higher, representing isochors.</p>