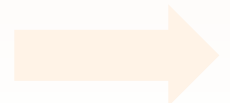


Молекулярная физика

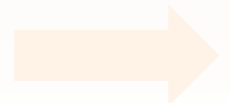
Молекулярно-кинетическая теория

- **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

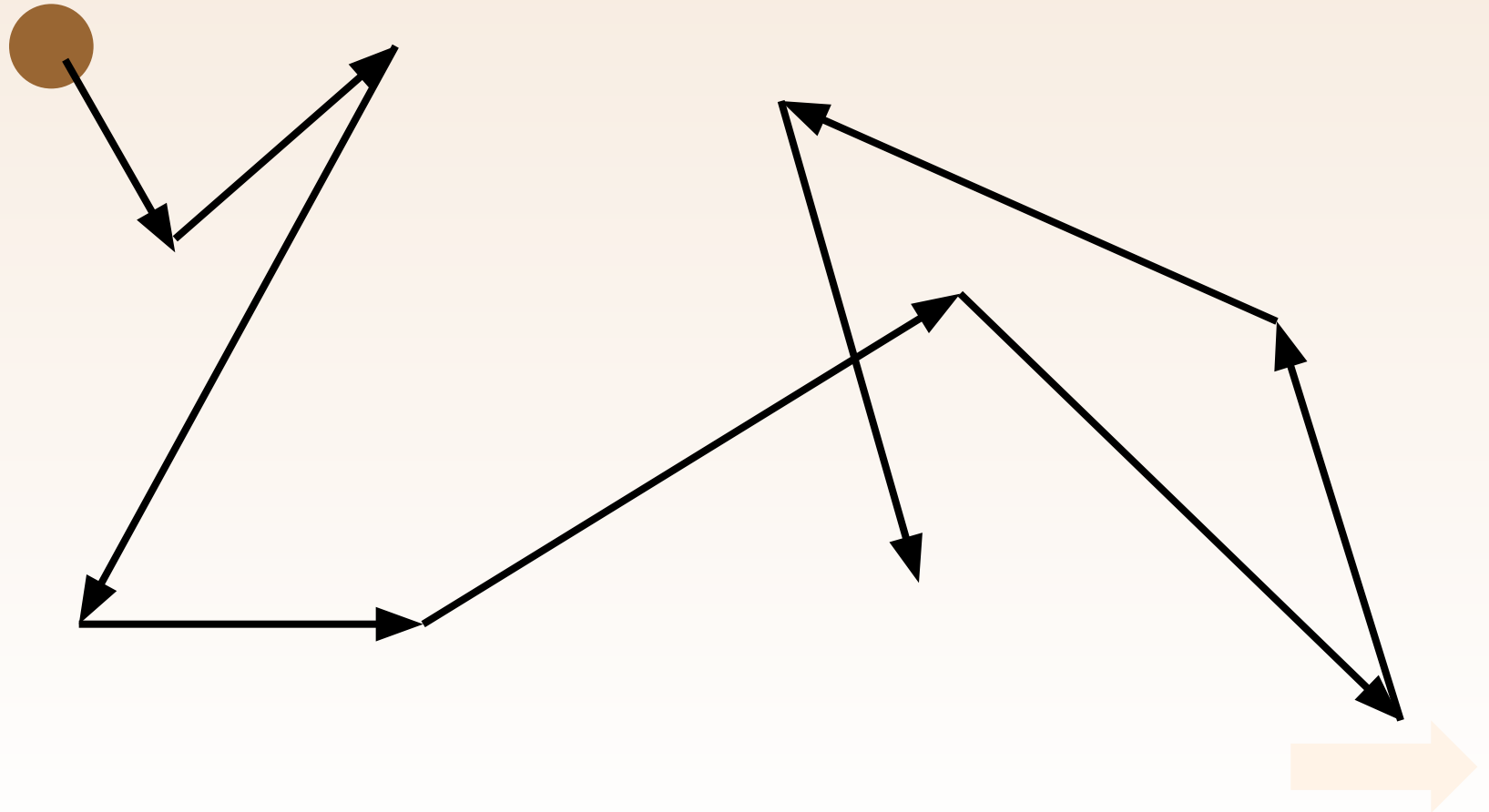
- Все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул и атомов), которые разделены промежутками.
- Все эти частицы находятся в непрерывном хаотическом движении.
- Между атомами и молекулами существуют силы взаимодействия (притяжение и отталкивание).



Броуновское движение

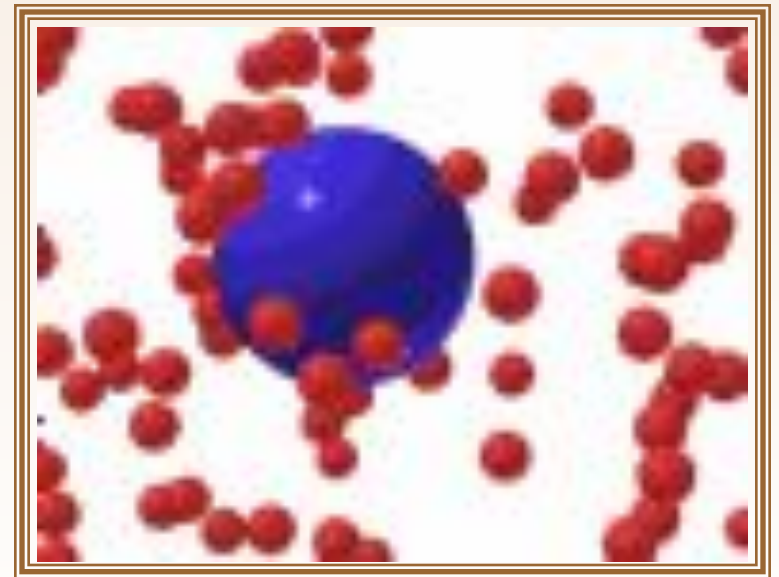
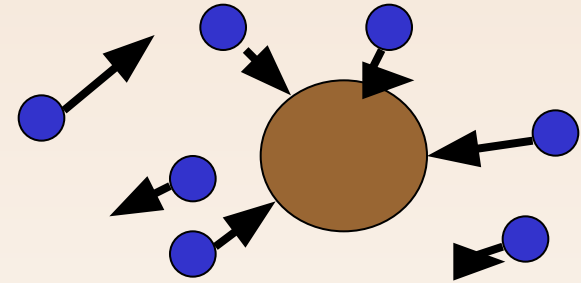
1827 г.

Роберт Броун



Броуновское движение

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

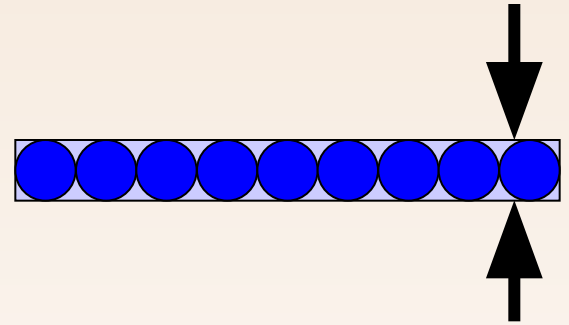
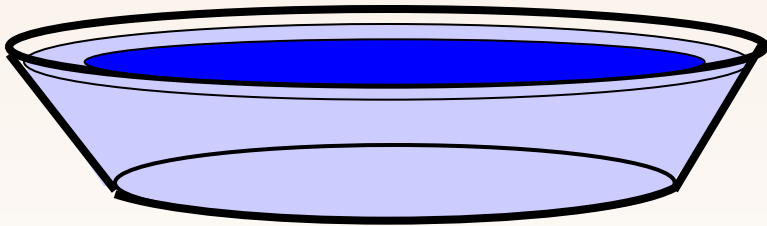


Масса и размеры молекул



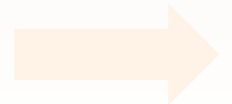
$$V = 1 \text{ мм}^3$$

$$S = 0,6 \text{ м}^2$$



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

$$d = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

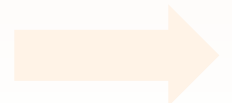


Масса и размеры молекул

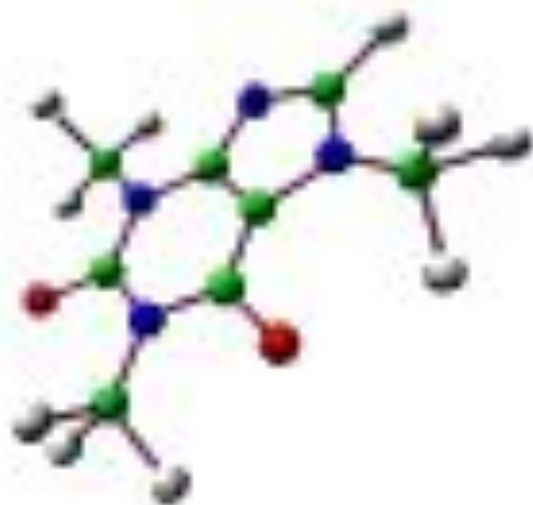
В 1 г воды содержится $3,7 \cdot 10^{22}$ молекул.

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

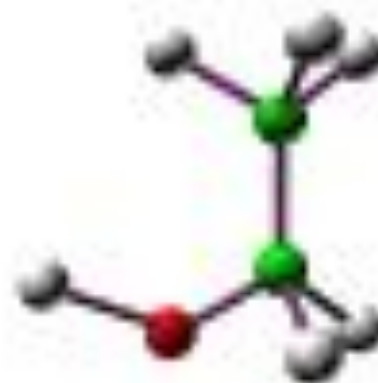
Массы молекул в макроскопических масштабах
чрезвычайно малы.



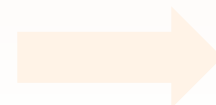
Масса и размеры молекул



кофе



этанол

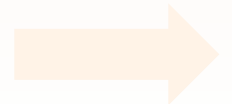


Масса и размеры молекул

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} .

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

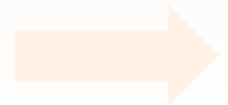


Количество вещества

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.



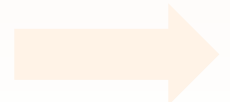
Количество вещества

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

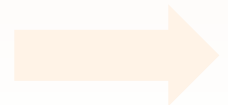
Молярной массой вещества называют массу вещества, взятого в количестве 1 моль.

$$\mu = m_0 N_A$$

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

m_0 - масса одной молекулы или атома

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



Количество вещества

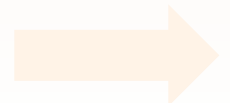
$$m = m_0 N$$

m – масса вещества

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

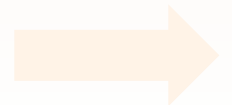
$$N = \nu N_A = N_A \frac{m}{\mu}$$

- формула для расчета
числа частиц в теле



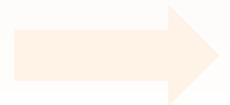
Таблица

**Свойства газов, жидкостей и
твёрдых тел**



Строение газов, жидкостей и ТВЕРДЫХ ТЕЛ

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



Свойства

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



Свойства

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



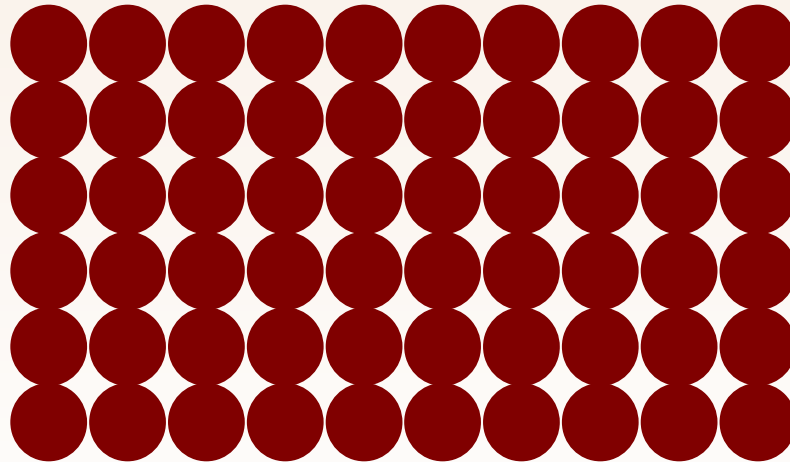
Свойства

- Газы не имеют формы, занимают весь предоставленный объем.



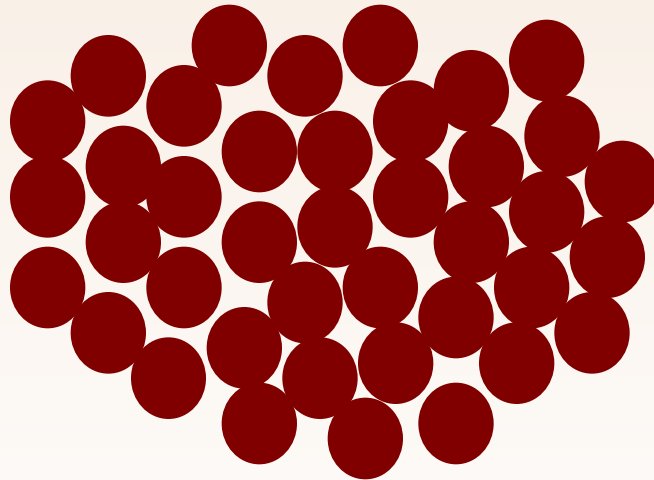
Расположение частиц

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



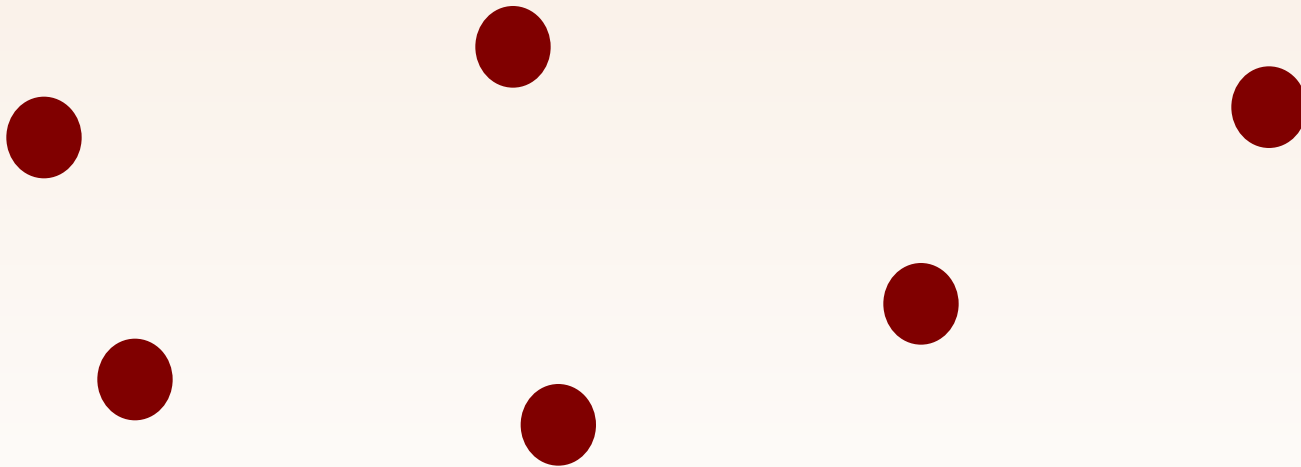
Расположение частиц

- **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

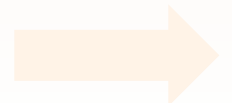
- **Частицы свободно перемещаются по всему объему, двигаясь поступательно**
- **Силы притяжения почти отсутствуют, силы отталкивания проявляются при соударениях**



Идеальный газ

Идеальный газ – это газ, в котором

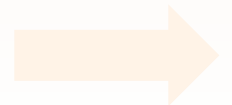
- **Частицы – материальные точки**
- **Частицы взаимодействуют только при соударениях**
- **Удары абсолютно упругие**



Среднее значение квадрата скорости молекул

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

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



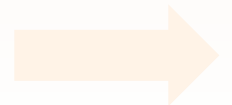
Среднее значение квадрата скорости молекул

$$\overline{v}^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots}{N} \neq 0$$

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

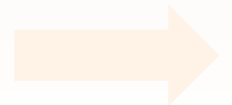
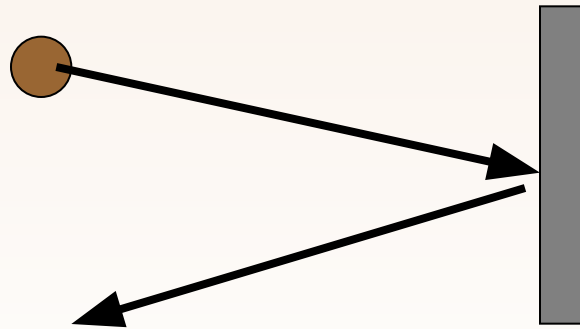
$$\overline{v_x}^2 = \overline{v_y}^2 = \overline{v_z}^2$$

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

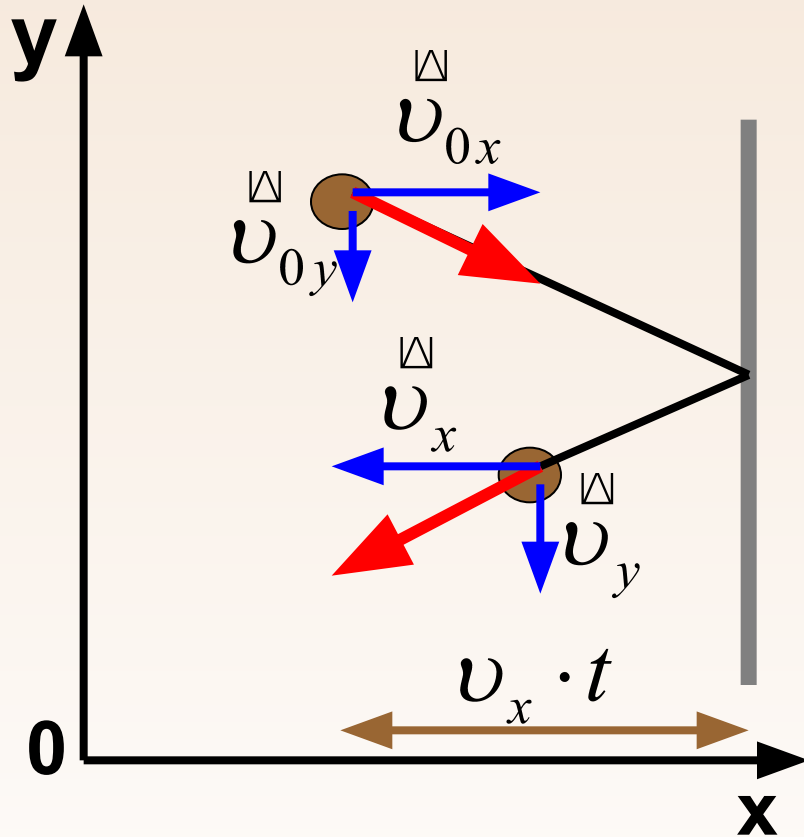


Основное уравнение МКТ

- 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



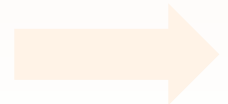
$$\Delta P_{x0} = 2m_0 u_x$$

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

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

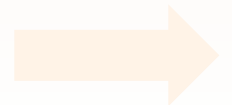
$$F_x = m_0 n u_x^2 S$$

$$\overline{u_x^2} = \frac{1}{3} \overline{u^2}$$



Основное уравнение МКТ

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



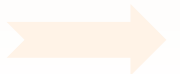
Температура и тепловое равновесие

- **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.



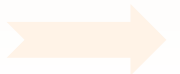
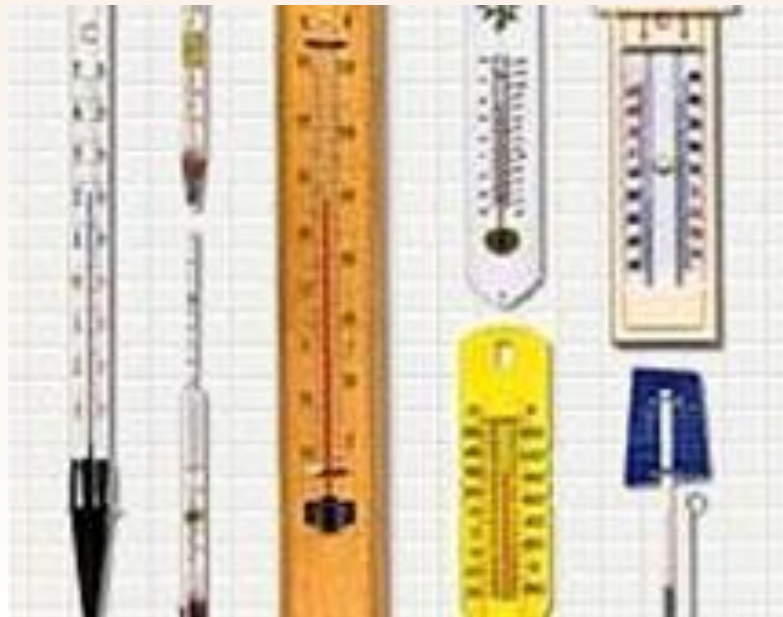
Температура и тепловое равновесие

- 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.



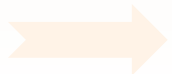
Температура и тепловое равновесие

- **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.)

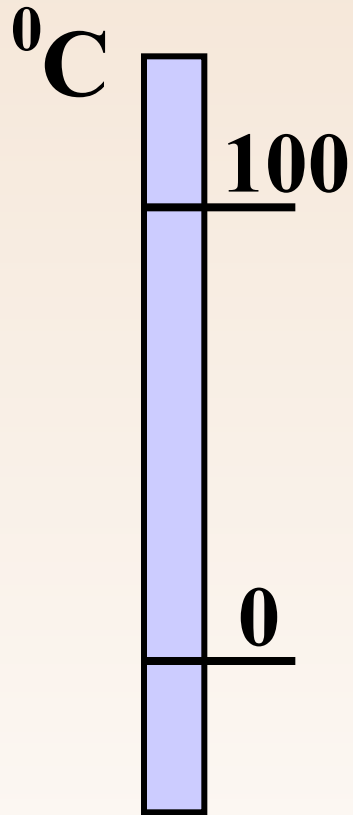


Температура и тепловое равновесие

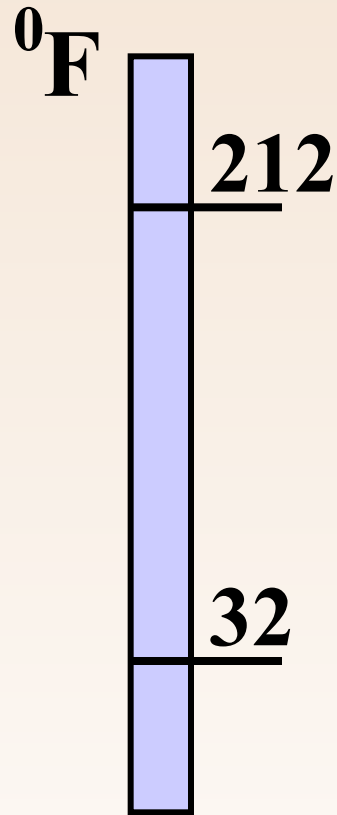
- Изобретателем термометра является Галилео Галилей (ок. 1600 г.)
- Термометрическим телом в его термометре являлся газ – при повышении температуры его объем увеличивался, вытесняя жидкость.
- Недостатком термометра Галилея являлось отсутствие температурной шкалы.



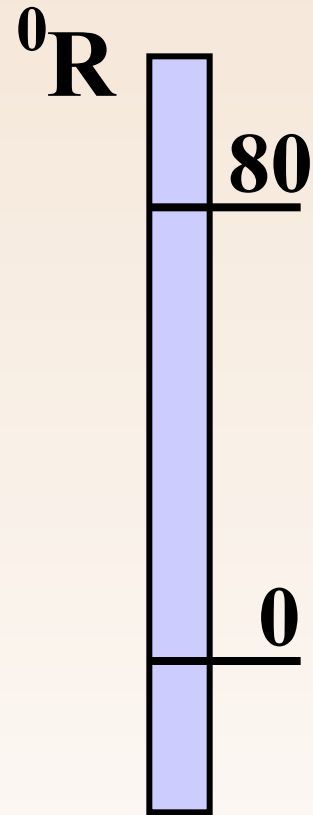
Температурные шкалы



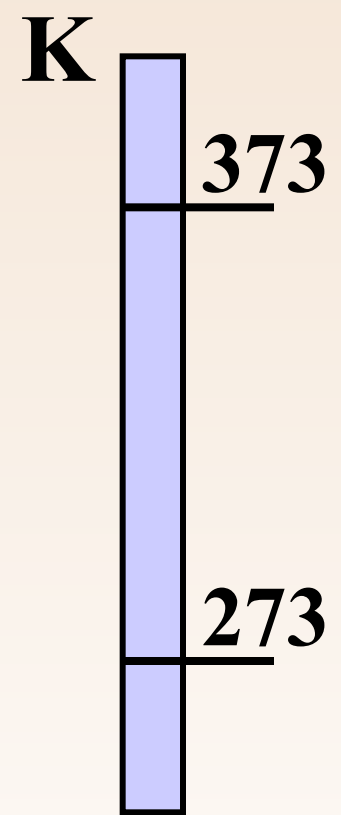
шкала
Цельсия



шкала
Фаренгейта



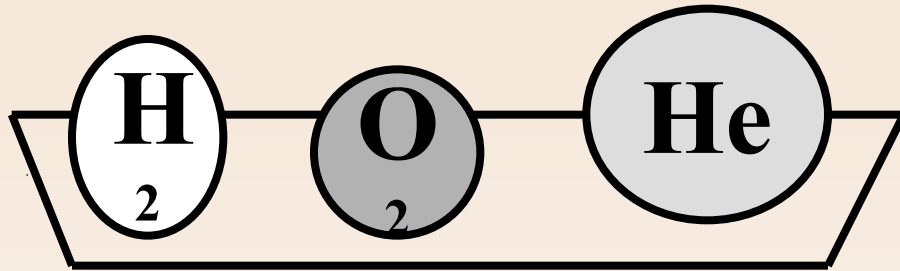
шкала
Реомюра



шкала
Кельвина



Определение температуры



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

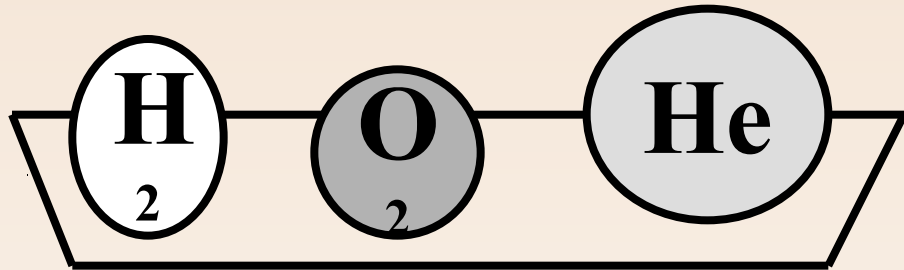
$$p = \frac{2}{3} n E_k = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k$$

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

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



Определение температуры



$$[\Theta] = \text{Дж}$$

Θ - Энергетический эквивалент температуры.

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

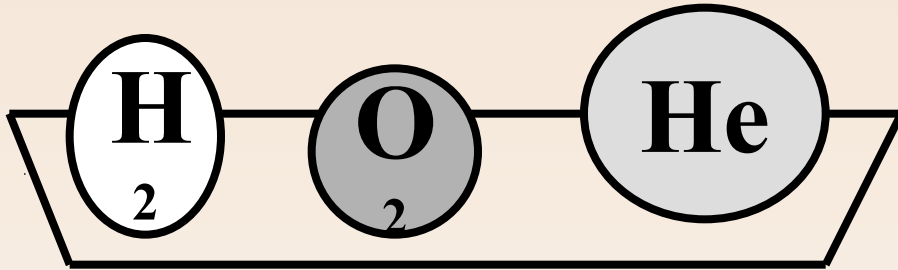
$$\Theta_0 = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

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

$$\Theta \sim T$$



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

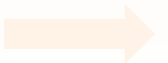
$$\left. \begin{array}{l} \Theta = kT \\ \frac{2}{3} \bar{E}_k = \Theta \end{array} \right\} E_k = \frac{3}{2} kT$$

$$[T] = K \text{ (кельвин)}$$

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

$$\Delta t = \Delta T$$



Опыт показывает, что давление газа зависит от температуры и для любых веществ справедливо соотношение

$$\frac{pV}{N} = kT ,$$

где **k** – коэффициент пропорциональности, называемый **постоянной Больцмана**

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

Предельную температуру, при которой давление идеального газа обращается в ноль при фиксированном объеме (или объем стремится к нулю при постоянном давлении) называют **АБСОЛЮТНЫМ НУЛЁМ ТЕМПЕРАТУРЫ.**

Средняя кинетическая энергия молекул:

$$\overline{E}_{\text{кин}} = \frac{m\overline{v}^2}{2}$$

Средняя кинетическая энергия прямо пропорциональна абсолютной температуре.

$$\overline{E}_{\text{кин}} = \frac{3}{2}kT$$

ТЕМПЕРАТУРА - мера средней кинетической энергии молекул.

Связь давления и температуры:

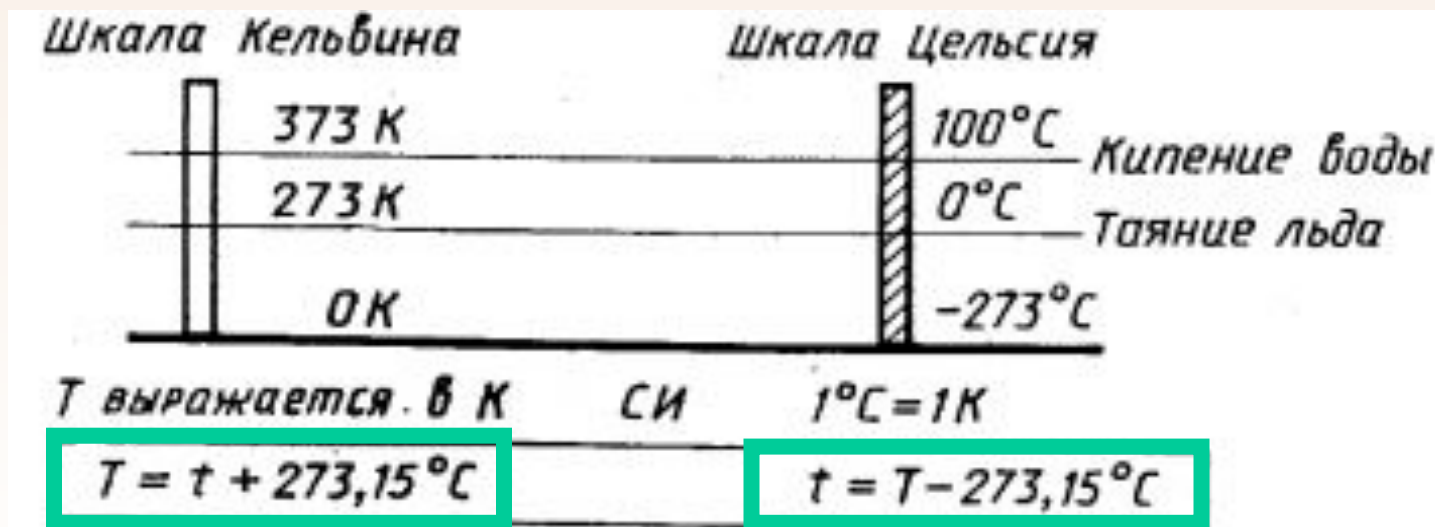
$$p = nkT$$

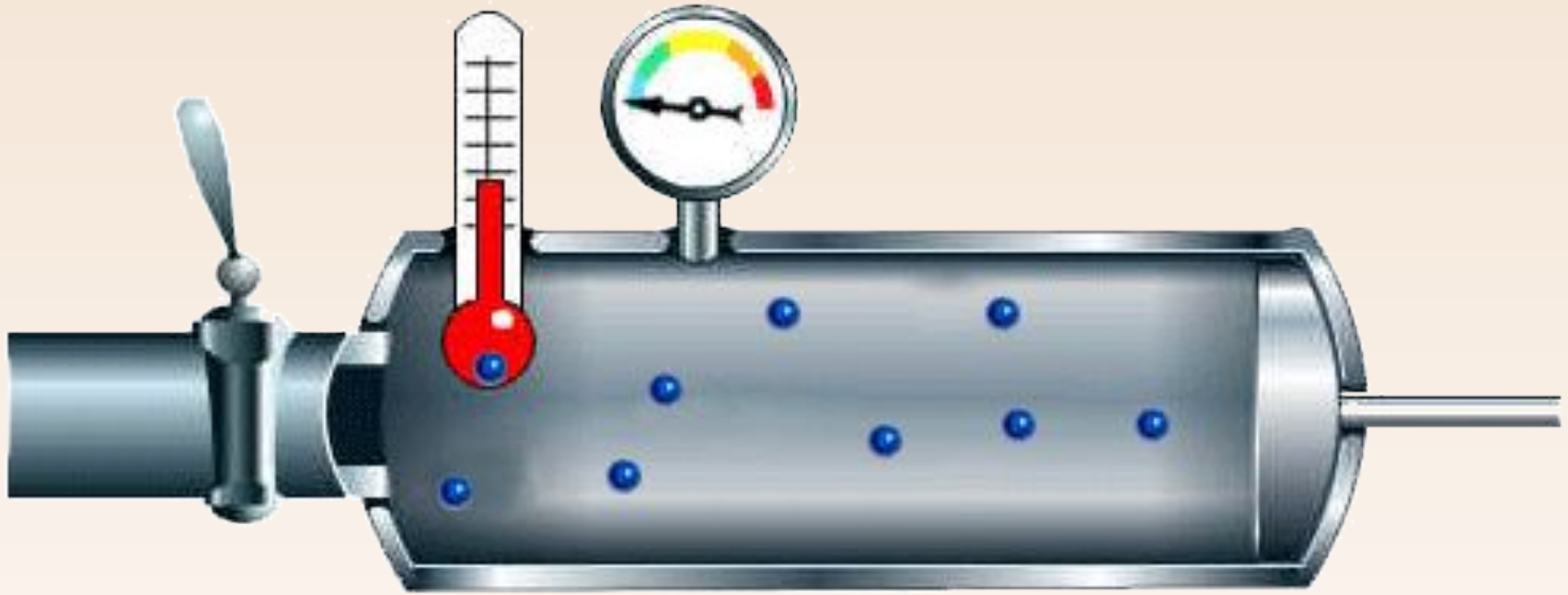
Температурные шкалы:

- Шкала Реомюра. $0^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{R}$, $100^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{R}$. $\rightarrow 1^{\circ}\text{R} = 1,25^{\circ}\text{C}$.
- Шкала Фаренгейта. $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$, $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$ $\rightarrow t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32)$.
- Шкала Цельсия. 0°C – таяние льда, 100°C – кипение воды.

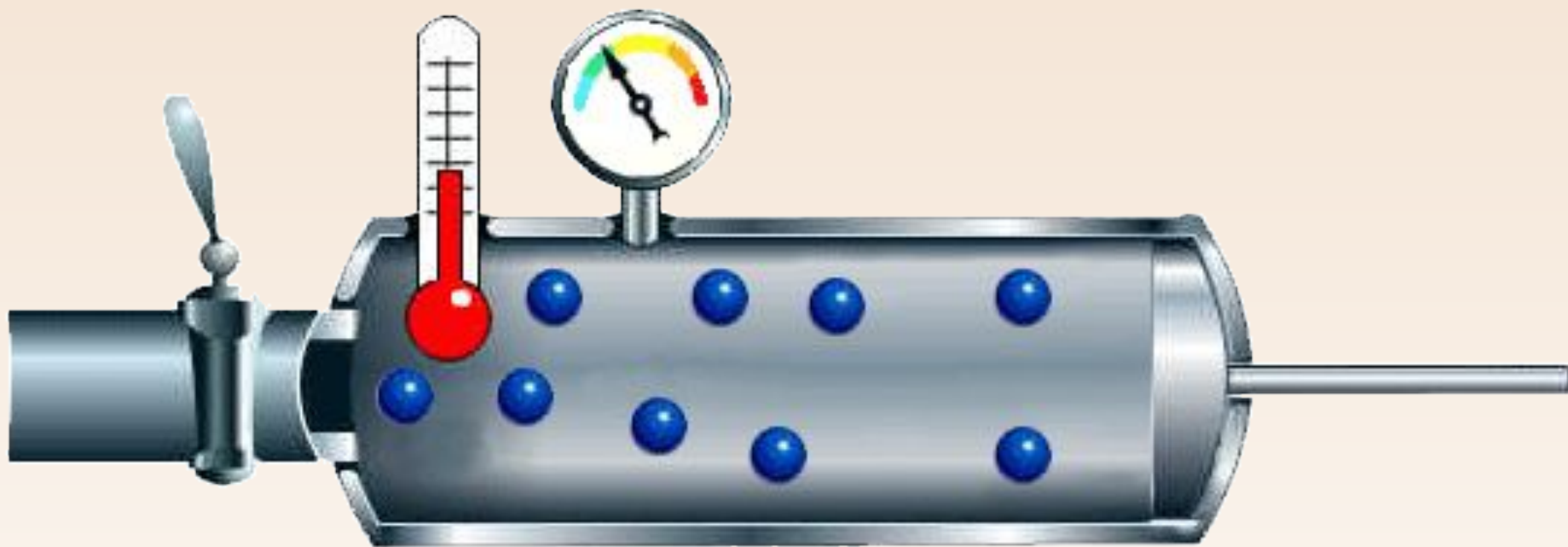
Английский учёный У. Кельвин ввел **абсолютную** шкалу температур – *шкалу Кельвина*.

в СИ: [Т]=К (Кельвин)

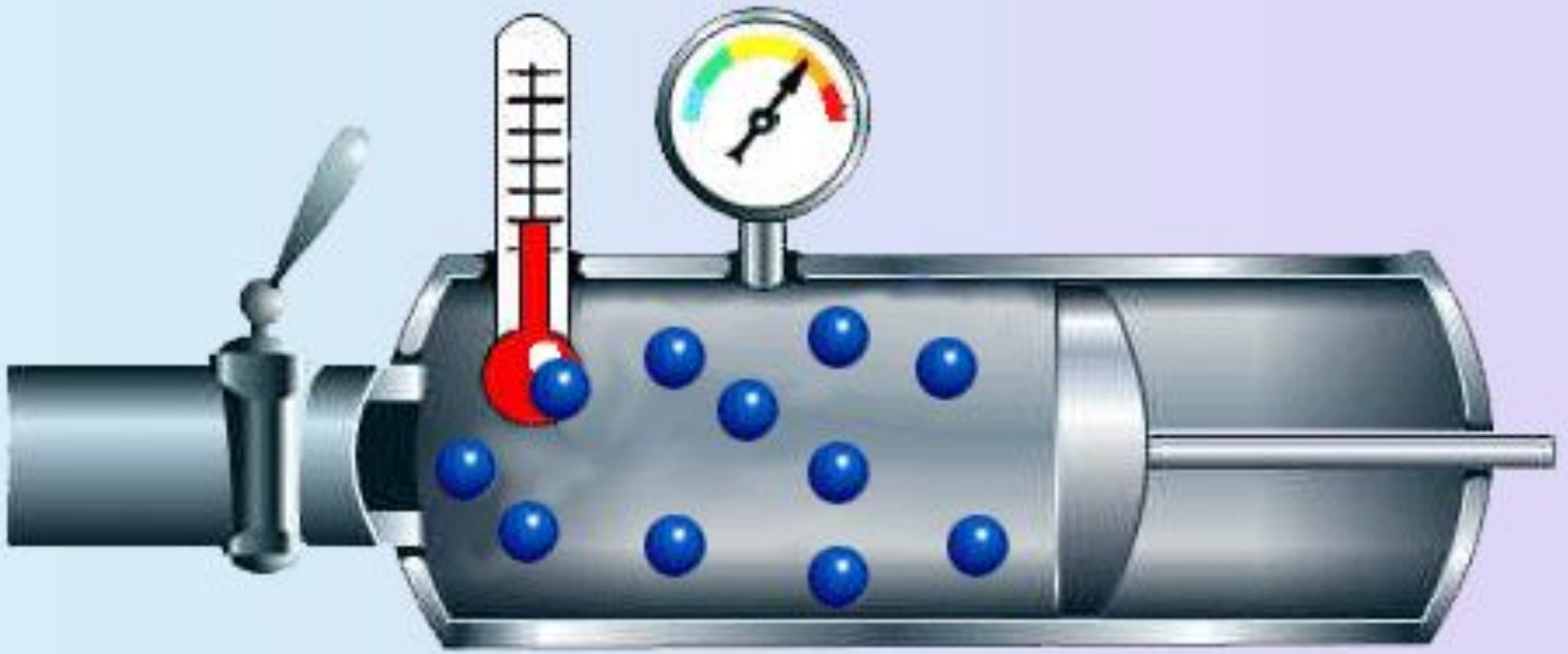




$$P \sim m_0$$



$$p \sim n$$

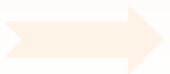


$$p \sim v^2$$

Скорости молекул

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

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



Домашнее задание

Задача 1. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Во сколько раз изменится его давление, если мы увеличим его объем в 2 раза. Средняя скорость молекул при изменении объема осталась неизменной.

Задача 2. Средняя скорость молекул идеального газа составляет 360 км/ч, а плотность газа равна 780 мкг/см^3 . Найти давление.

Задача 3. Идеальный газ массой 12 мг занимает сосуд площадью 6 мм^2 и высотой 0.4 м. Давление газа в сосуде составляет 250 МПа. Найти чему равен квадрат средней скорости молекул газа в сосуде.