

# ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО- КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

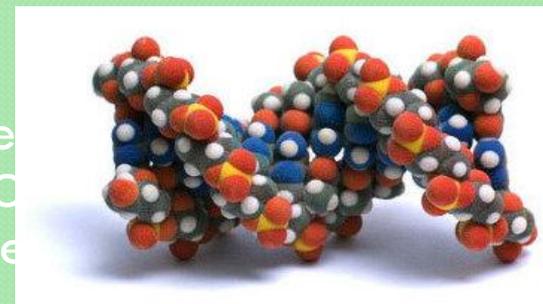
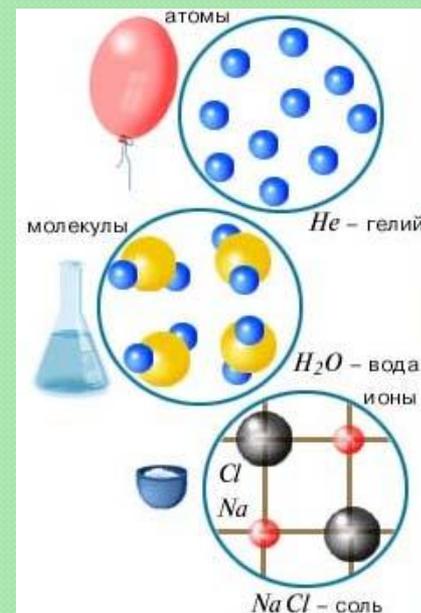
# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## 1. ВСЕ ТЕЛА СОСТОЯТ ИЗ МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ – АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

В 1647 году француз П. Гассенди высказал предположение, что атомы объединяются в небольшие группы, для которых он же придумал название — «молекулы» (уменьшительное от лат. moles — масса). «Молекула» — в буквальном переводе «массочка».

Молекула — наименьшая частица какого-либо сложного вещества — может состоять из одинаковых или различных атомов. Причем число атомов в ней бывает от двух до десятков тысяч. Например, в молекулах газа водорода два атома водорода, а в молекуле глюкозы (фруктовый сахар) 24 атома (12 атомов водорода, по 6 атомов углерода и кислорода)

Главной молекулой живой природы по праву считают молекулу ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). Она передает из поколения в поколение наследственные признаки.



# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

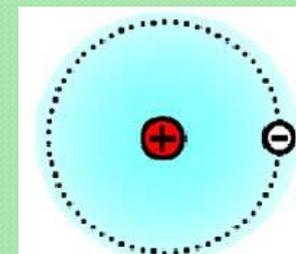
## 1. ВСЕ ТЕЛА СОСТОЯТ ИЗ МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ – АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

Демокрит (IV-V вв. до н.э.) был первым из тех, кто догадался о существовании атомов

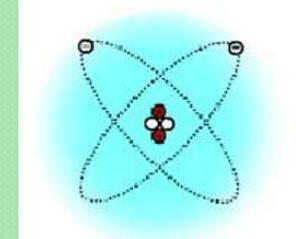
В 1910 году английский физик Эрнест Резерфорд предложил планетарную модель атома.

Размеры атомов — примерно стомиллионная доля сантиметра ( $10^{-8}$  см). Ядро атома в десятки тысяч раз меньше самого атома.

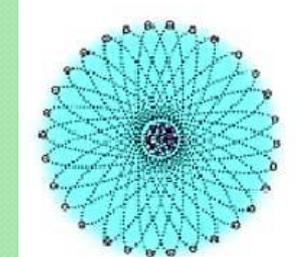
Чтобы представить разницу в размерах атома и его ядра, мысленно увеличим диаметр ядра атома водорода до 1 см. Размер всего атома в 100 000 раз больше, поэтому в нашем примере диаметр атома будет 100 000 сантиметров, или 1 километр! **Атом в основном пустой!** Но эта пустота в очень-очень малом объеме.



Атом водорода



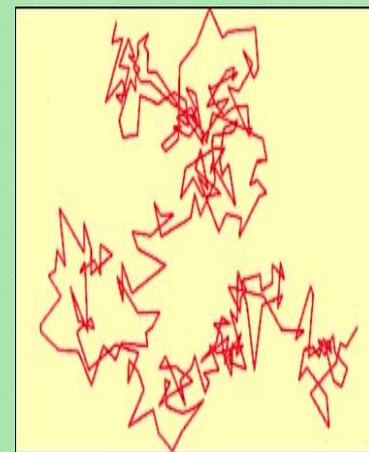
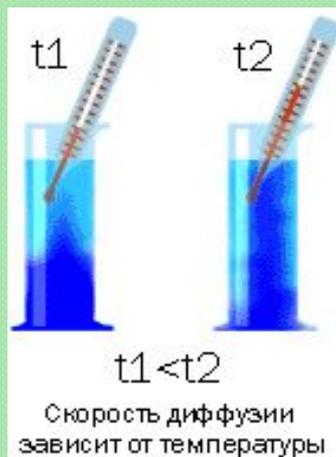
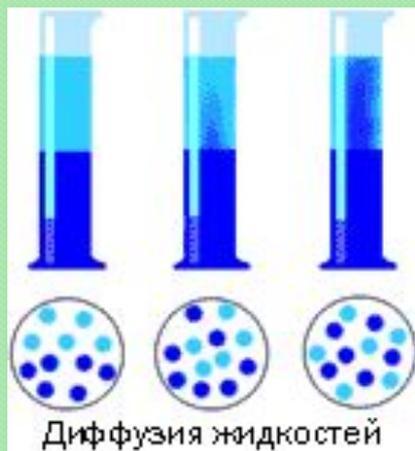
Атом гелия



Атом урана

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## 2. ЧАСТИЦЫ НАХОДЯТСЯ В ПОСТОЯННОМ ХАОТИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ



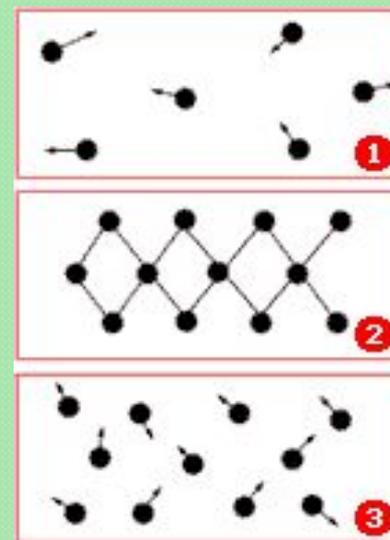
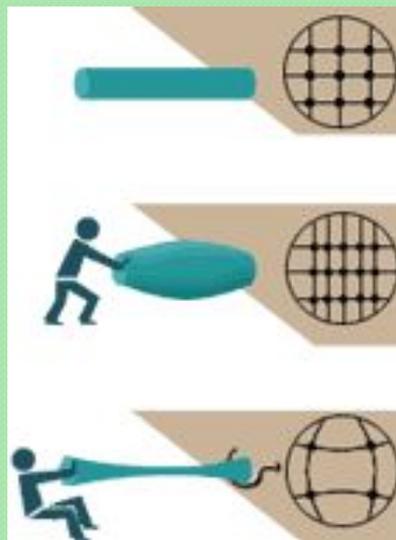
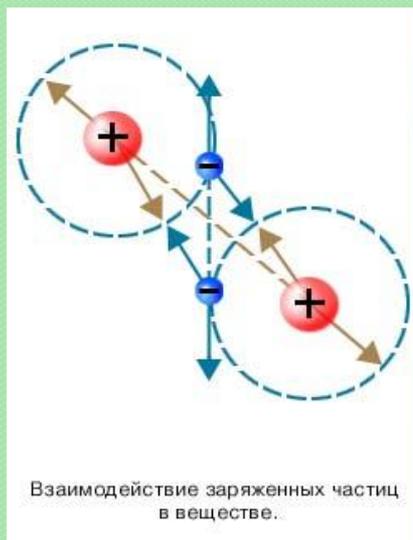
**Диффузия** – явление, когда соприкасающиеся вещества перемешиваются сами собой.

С ростом температуры скорость частиц вещества увеличивается, поэтому хаотическое движение частиц принято называть тепловым.

**Броуновское движение** – скачкообразное перемещение взвешенных в воде мелких крупинок под ударами молекул воды.

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## 3. ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ДРУГ С ДРУГОМ



Частицы вещества одновременно и притягиваются, и отталкиваются друг от друга и по этой причине располагаются на определенных расстояниях.

Силы взаимодействия частиц вещества принято называть молекулярными. Молекулярные силы у разных веществ различны, этим объясняются различия многих свойств веществ.

Действие молекулярных сил возможно лишь на очень малых расстояниях, сравнимых с размерами самих частиц вещества.

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

---

1. ВСЕ ТЕЛА СОСТОЯТ ИЗ МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ – АТОМОВ И МОЛЕКУЛ
2. ЧАСТИЦЫ НАХОДЯТСЯ В ПОСТОЯННОМ ХАОТИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ
3. ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ДРУГ С ДРУГОМ

# АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА



В зависимости от условий одно и то же вещество находится в каком-либо из них. Например, лед, вода и водяной пар. Воздух в вашей комнате — газ, но если его охладить до  $-193^{\circ}\text{C}$ , он станет жидкостью, а если охладить до  $-213^{\circ}\text{C}$  — твердым телом



Вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях – твердом, жидком, газообразном.

Молекулярные силы в различных агрегатных состояниях различны: в твердом состоянии они наибольшие, а в газообразном – наименьшие.

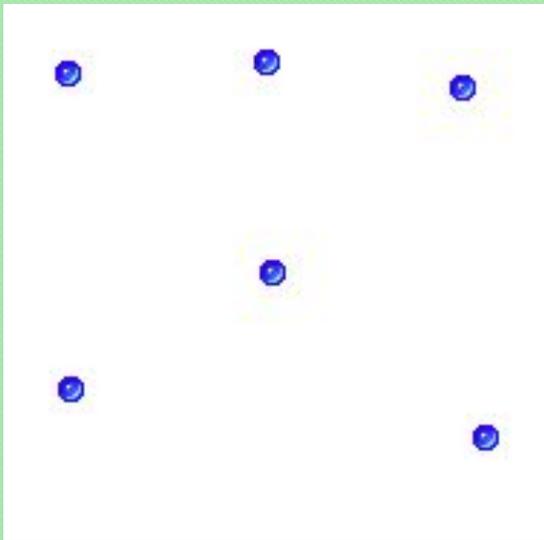
Различием молекулярных сил объясняются свойства, которые проявляются в разных агрегатных состояниях:

твердые тела сохраняют объем и форму,

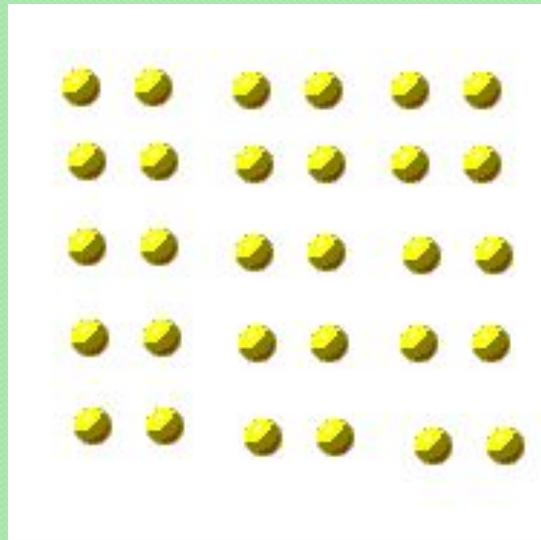
жидкости текучи, но сохраняют объем,

газы полностью занимают весь предоставленный им объем.

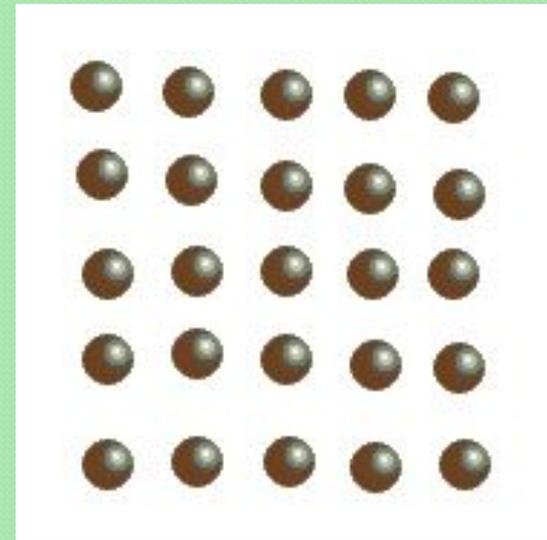
# АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА



В газах частицы (молекулы, атомы) находятся далеко друг от друга и поэтому друг на друга практически не влияют. Двигутся они беспорядочно, как ученики на перемене



В жидкостях частицы расположены ближе и взаимодействуют сильнее, постепенно перемещаясь с места на место



В твердых телах частицы находятся близко друг к другу. Между ними большие силы взаимодействия. Это не дает частицам свободно перемещаться. Они только покачиваются, подобно маятнику

# СКОРОСТЬ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА

**1920 год - впервые были экспериментально определены скорости частиц вещества**



**Отто Штерн (1888-1969)**



$l$  – смещение  
 $\omega$  – угловая скорость

**Опыт Штерна**

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

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

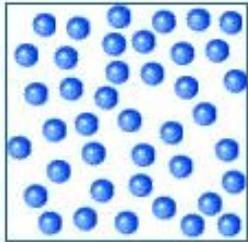
$$l = \varphi \cdot R_2 = \omega \cdot R_2 \cdot \frac{R_2 - R_1}{v}$$

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

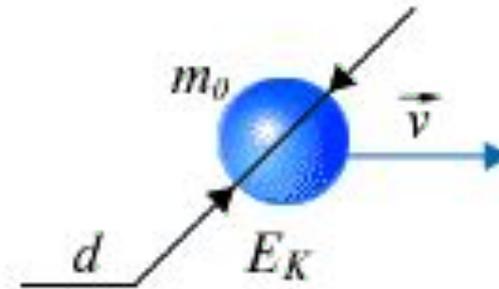
Скорости молекул некоторых газов при 0° С

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

# МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ И МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ



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



Каждая частица газа обладает  
микроскопическими параметрами.

Величины, характеризующие  
состояния макроскопических  
тел в целом –  
макроскопические  
параметры.

**Основная задача МКТ** – вывести уравнение состояния вещества,  
установив связь между макроскопическими и микроскопическими  
параметрами.

Величины, характеризующие  
свойства отдельных молекул  
вещества – микроскопические  
параметры.

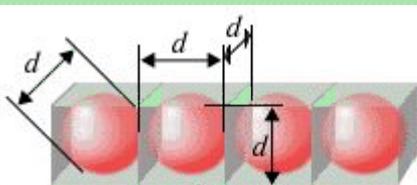
**1 моль** - это количество вещества, в котором содержится столько же частиц, сколько атомов содержится в 12 граммах углерода

Масса 1 моля вещества называется **молярной массой (M)**.

Численное значение молярной массы, выраженной в г/моль, равно значению относительной атомной или молекулярной массы

**Постоянная Авогадро** численно равна количеству частиц, содержащихся в 1 моле любого вещества:  $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

**Концентрация (n)** показывает, сколько частиц содержится в единице объема (чаще всего - в одном кубическом метре) данного вещества



$V_0$  - объём частицы вещества

$\rho$  - плотность

$m_0$  - масса частицы вещества

$$m_0 = \rho \cdot V_0 = \rho \cdot d^3$$

$$m_0 = 800 \text{ кг/м}^3 \cdot (3 \cdot 10^{-10} \text{ м})^3$$

$$m_0 \approx 2 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

$$M = m_0 \cdot N_A$$

$$m = m_0 \cdot N$$

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

$$N = N_A \cdot v = N_A \cdot \frac{m}{M}$$

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

$M$  - молярная масса

$[M] = \text{кг/моль}$

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m}{v N_A} = \frac{M}{N_A}$$

$$M = m_0 N_A$$

## Микропараметры состояния

Параметр	Обозначение	Единицы в СИ
Масса молекулы	$m_0$	кг
Скорость молекулы	$v$	м/с
Средняя квадратичная скорость движения молекул	$\bar{v}_{\text{кв}}$	м/с
Средняя кинетическая энергия поступательного движения	$\bar{E}_k$	Дж Таблица. Макропараметры состояния

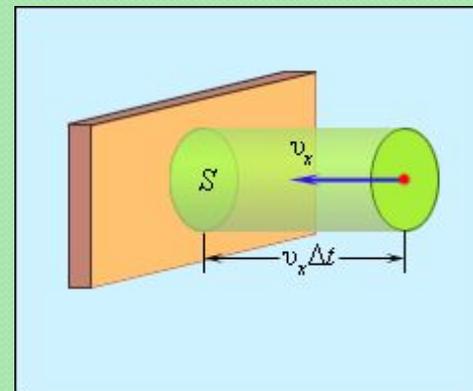
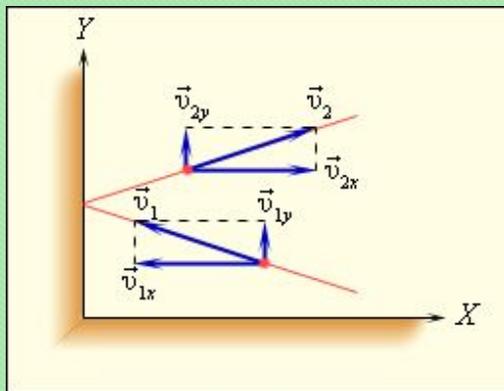
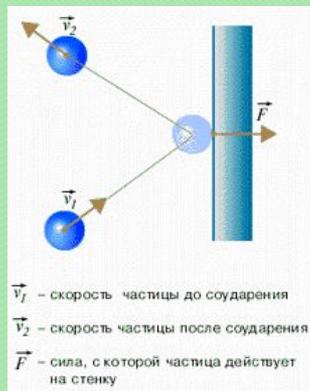
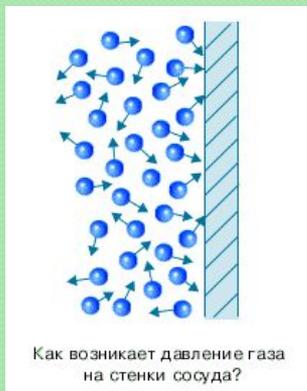
## Макропараметры состояния

Параметр	Обозначение	Единицы в СИ	Способ измерения (косвенный способ)
Масса газа	$m$	кг	Весы
Объем сосуда	$V$	м <sup>3</sup>	Мерный цилиндр с водой; измерение размеров и расчет по формулам геометрии
Давление	$p$	Па	Манометр
Температура	$T$	К	Термометр
Плотность	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	Измерение массы, объема и расчет
Концентрация	$n$	1/м <sup>3</sup> = м <sup>-3</sup>	Измерение плотности и расчет с учетом молярной массы
Состав (молярная масса и соотношение количеств )	$M_1, M_2,$ $\lambda_1: \lambda_2$	кг/моль безразмерная	Приготовление газа смешением заданных масс или объемов

# Идеальный газ. Основное уравнение МКТ

## Основные отличия идеального газа от реального газа:

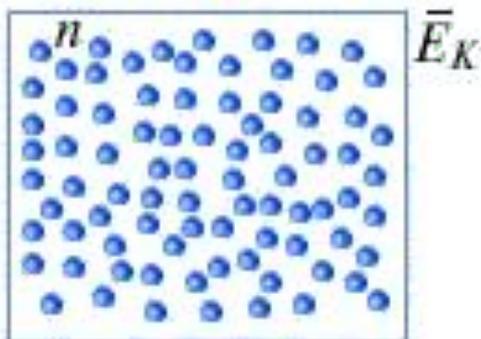
1. Частицы идеального газа - сферические тела очень малых размеров, практически материальные точки.
2. Между частицами отсутствуют силы межмолекулярного взаимодействия.
3. Соударения частиц являются абсолютно упругими.



$$p = \bar{p} = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

Это уравнение устанавливает связь между давлением идеального газа, массой молекулы, концентрацией молекул, средним значением квадрата скорости и средней кинетической энергией - **основное уравнение** молекулярно-кинетической теории газов.

# Идеальный газ. Основное уравнение МКТ



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

Основное уравнение МКТ  
идеального газа

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

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

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

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

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

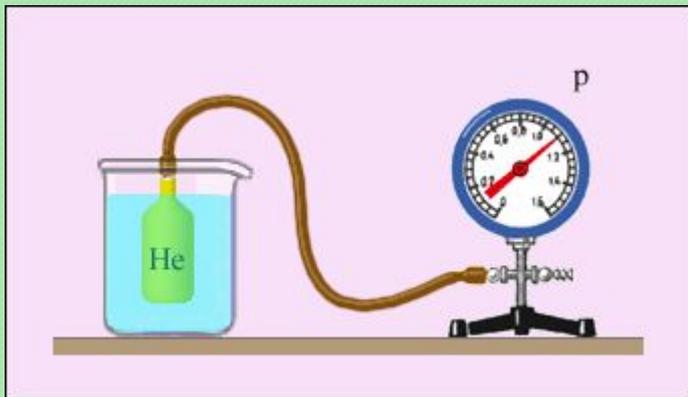
$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$$

# ТЕМПЕРАТУРА

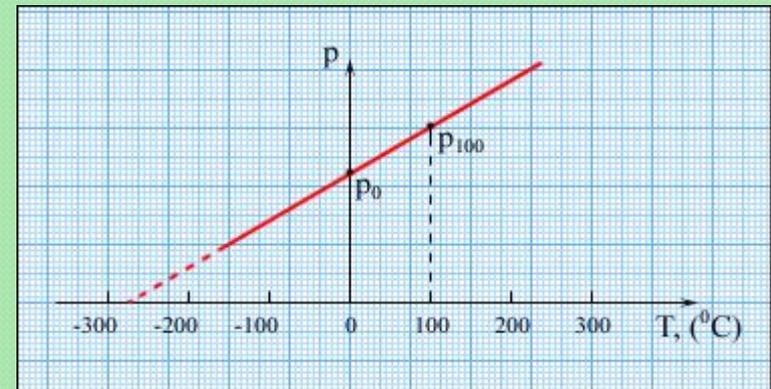
**Тепловым** или **термодинамическим равновесием** называют такое состояние, при котором все макроскопические параметры в системе сколь угодно долго остаются неизменными.

При тепловом равновесии: меняются положения молекул, их скорости при столкновениях. В системе тел, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, объемы и давления могут быть различными, а **температуры обязательно одинаковы**.

**Температура характеризует состояние термодинамического равновесия изолированной системы тел**

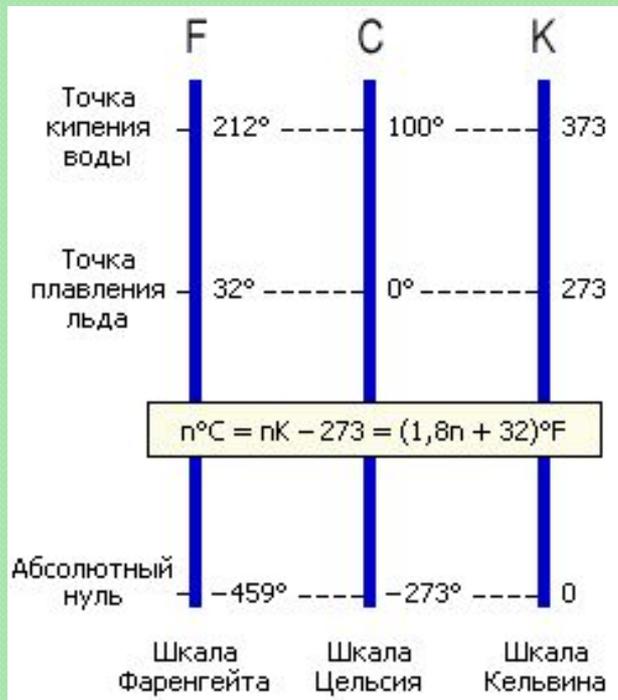


Газовый термометр с постоянным объемом



Зависимость давления газа от температуры при  $V = \text{const}$ .

# ТЕМПЕРАТУРА



$p = nkT$

из экспериментов получено значение  $k$ :

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

$k$  – постоянная Больцмана

**Зависимость скорости движения молекул от температуры**

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

**Постоянная Больцмана связывает** температуру со средней кинетической энергией движения молекул в веществе.

**Температура** -- мера средней кинетической энергии частиц, характеризующей интенсивность теплового движения молекул.

$$p = nkT \qquad p = \frac{2}{3} n\bar{E}_K$$
$$nkT = \frac{2}{3} n\bar{E}_K$$
$$T = \frac{1}{k} \cdot \frac{2}{3} \cdot \bar{E}_K$$

$p = \frac{1}{3} nm_0 \overline{v^2}$	$m_0 =$ $n =$ $\overline{v^2} =$
$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$	$\rho =$
$p = nkT$	$T =$
$p = \frac{2}{3} n\overline{E}$	$n =$ $\overline{E} =$
$\overline{E} = \frac{3}{2} kT$	$T =$
$U = \frac{3}{2} \nu RT$	$T =$ $\nu =$

$p = \frac{1}{3} nm_0 \overline{v^2}$	$m_0 = \frac{3p}{n \overline{v^2}}$	$n = \frac{3p}{m_0 \overline{v^2}}$	$\overline{v^2} = \frac{3p}{nm_0}$
$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$		$\rho = \frac{3p}{\overline{v^2}}$	
$p = nkT$		$T = \frac{p}{nk}$	
$p = \frac{2}{3} n \overline{E}$	$n = \frac{p}{Tk}$		$\overline{E} = \frac{3p}{2n}$
$\overline{E} = \frac{3}{2} kT$		$T = \frac{2\overline{E}}{3k}$	
$U = \frac{3}{2} \nu RT$	$T = \frac{2U}{3R\nu}$		$\nu = \frac{2U}{3RT}$

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

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}};$$

$$T = (t + 273)\text{K}$$