

Молекулярная физика

Создать ссылки на слайды
с соответствующими
заголовками

ОСНОВЫ МКТ

- Молекулярно-кинетическая теория
- Масса и размеры молекул
- Количество вещества
- Строение газов, жидкостей и твердых тел
- Идеальный газ
- Среднее значение квадрата скорости молекул
- Основное уравнение мкт

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**

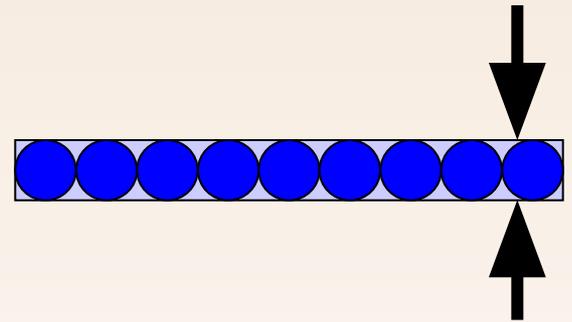
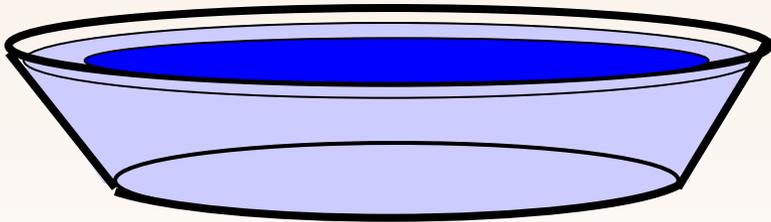


Масса и размеры молекул



$$V = 1 \text{ мм}^3$$

$$S = 0,6 \text{ м}^2$$



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

$$d = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$



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.

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

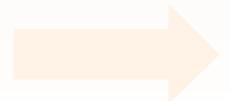
**Свойства газов, жидкостей и
твёрдых тел**



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>			

В каждой ячейке создать ссылку на
соответствующий слайд



Свойства

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

Свойства

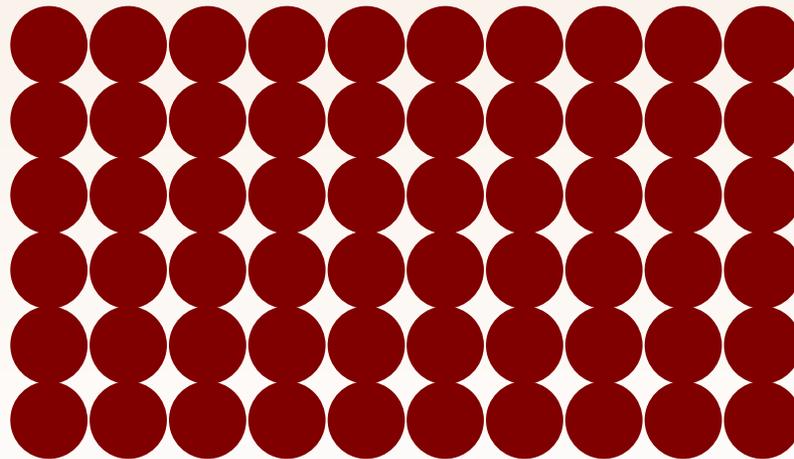
- **Жидкости сохраняют объем и принимают форму сосуда.**
- **Обладают текучестью.**

Свойства

- Газы не имеют формы, занимают весь предоставленный объем.

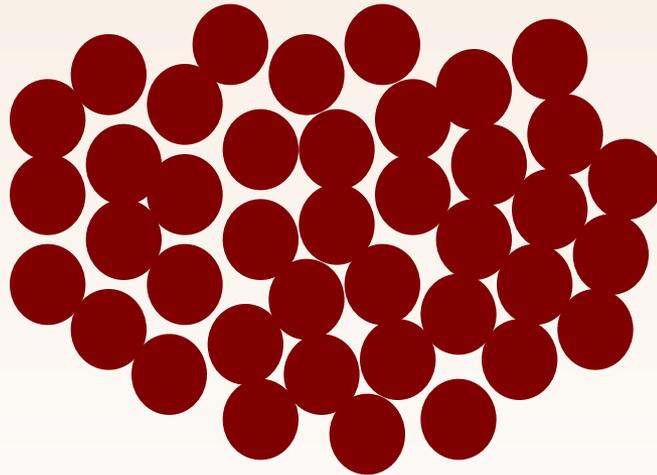
Расположение частиц

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



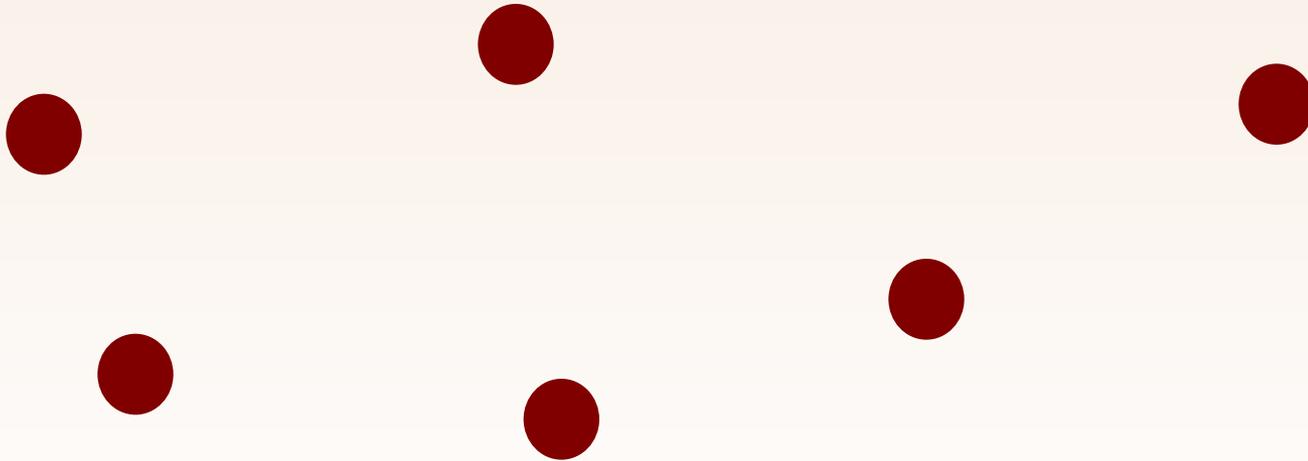
Расположение частиц

- **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. Время оседлой жизни молекулы воды при комнатной температуре 10-12с. С ростом температуры время оседлой жизни уменьшается.**
- **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

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

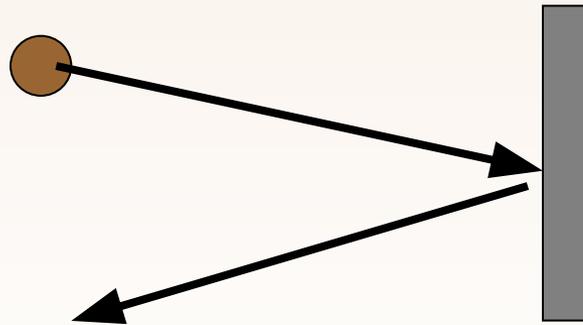
$$\overline{v}^2 = \overline{v_x}^2 + \overline{v_y}^2 + \overline{v_z}^2$$

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

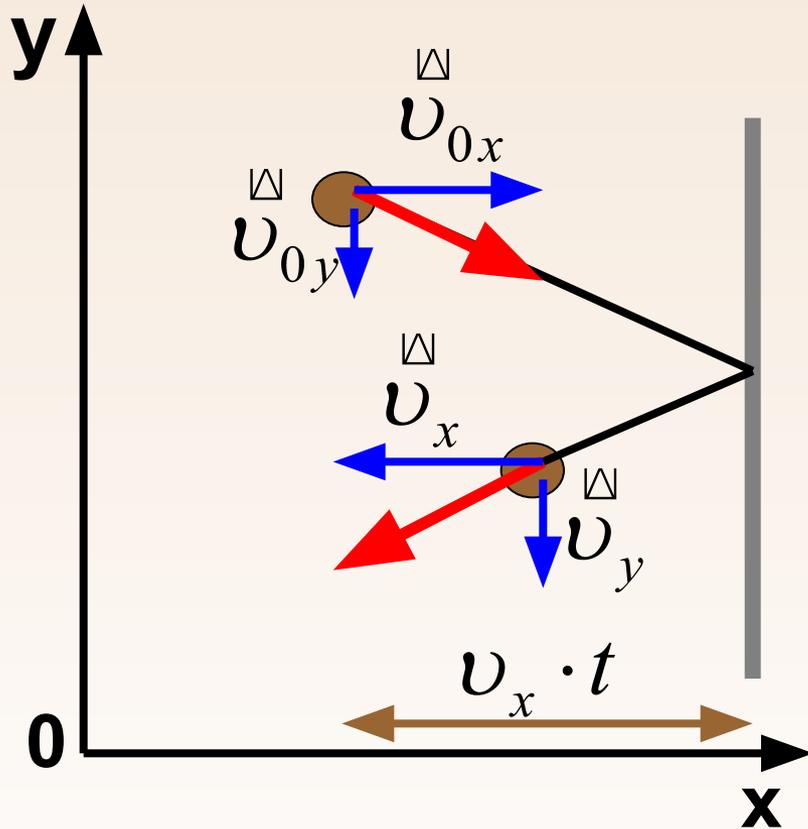
$$\overline{v_x}^2 = \frac{1}{3} \overline{v}^2$$

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

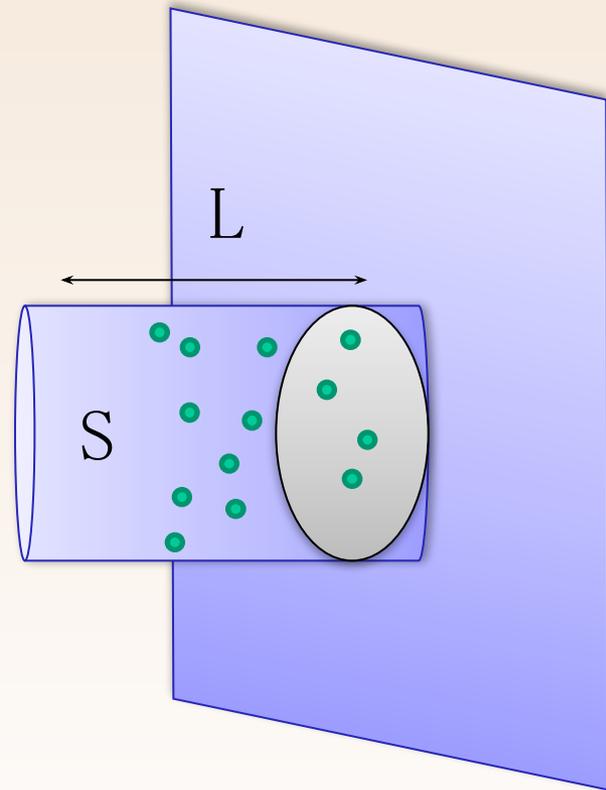


$$F_0 \Delta t = 2m_0 u_x$$

$$F_0 = \frac{2m_0 u_x}{\Delta t}$$



Число ударов и общая сила



$$N = \frac{1}{2} nV \quad ,$$

$$V = SL = Sv_x \Delta t$$

$$N = \frac{1}{2} nSv_x \Delta t$$

$$F_x = N \cdot F_0$$

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

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

Основное уравнение МКТ

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

Воспользуйтесь таблицей Менделеева и определите молярную массу ацетилену C_2H_2 . Чему равна масса одной молекулы ацетилену в единицах СИ?

Д а н о :	$M = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 1 = 26 \text{ кг / моль}$
C_2H_2	$m_0 = \frac{M}{N_A}$
<hr/>	
M - ?	$m_0 = \frac{26}{6 \cdot 10^{23}} = 4,3 \cdot 10^{-23} \text{ к г}$
m_0 - ?	

Ответ: 26 кг/моль; $4,3 \cdot 10^{-23}$ кг

Сколько молекул содержится в 10 г углекислого газа?

Дано:	СИ	$N = N_A \frac{m}{M}$
CO ₂ m=10 г	1·10 ⁻² кг	
<hr/>		
N - ?		$N = 6 \cdot 10^{23} \frac{10^{-2}}{44 \cdot 10^{-3}} = 1,34 \cdot 10^{23}$

Ответ: $1,34 \cdot 10^{23}$

458. На изделие, поверхность которого 20 см^2 , нанесен слой серебра толщиной 1 мкм . Сколько атомов серебра содержится в покрытии?

Решение. Первым шагом при решении задачи является вычисление объема слоя серебра. Умножая площадь слоя на его толщину, находим:

$$V = 0,002 \text{ м}^2 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Умножив полученный объем на плотность серебра

$$\rho_{\text{Ag}} = 10\,500 \text{ кг/м}^3,$$

найдем массу слоя:

$$m = V\rho_{\text{Ag}} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot 10\,500 \text{ кг/м}^3 = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ кг}.$$

Зная, чему равна 1 а. е. м. , и определяя из таблицы Менделеева атомную массу серебра (108 а. е. м.), находим:

$$m_{\text{Ag}} = 108 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,8 \cdot 10^{-25} \text{ кг}.$$

Число атомов серебра, содержащееся в покрытии, можно теперь вычислить по формуле

$$N = \frac{m}{m_{\text{Ag}}}.$$

Вычисления:

$$N = \frac{2,1 \cdot 10^{-5} \text{ кг}}{1,8 \cdot 10^{-25} \text{ кг}} \approx 1,2 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $N = 1,2 \cdot 10^{20}$ атомов.

462. Находившаяся в стакане вода массой 200 г полностью испарилась за 20 сут. Сколько в среднем молекул воды вылетало с ее поверхности за 1 с?

Решение. Молярная масса воды $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, поэтому в стакане находится N молекул:

$$N = N_A \frac{m}{M} =$$
$$= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot \frac{0,2 \text{ кг}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 6,69 \cdot 10^{24}.$$

Так как

$$20 \text{ сут} = 20 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 1,73 \cdot 10^6 \text{ с},$$

то за 1 с в среднем вылетало

$$n/t = 3,87 \cdot 10^{18} \text{ молекул/с.}$$

Ответ: $3,87 \cdot 10^{18}$ молекул/с.

468. Каково давление газа, если средняя квадратическая скорость его молекул 500 м/с, а его плотность 1,35 кг/м³?

Решение. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории имеет вид

$$p = n \frac{m \overline{v^2}}{3},$$

поэтому

$$p = \rho \frac{\overline{v^2}}{3},$$

где $\rho = nm$ — плотность газа.

Вычисления:

$$p = 1,35 \text{ кг/м}^3 \frac{(500 \text{ м/с})^2}{3} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ: $p = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

469. Какова средняя квадратическая скорость движения молекул газа, если, имея массу 6 кг, он занимает объем 5 м³ при давлении 200 кПа?

Решение. Плотность газа определяется из уравнения

$$\rho = m/V.$$

Из решения задачи 468 получим:

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

поэтому

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}.$$

Вычисления:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 5}{6}} \text{ (м/с)} \approx 710 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\bar{v} \approx 710 \text{ м/с.}$

470. Найти концентрацию молекул кислорода, если давление его 0,2 МПа, а средняя квадратическая скорость молекул равна 700 м/с.

Решение. Концентрацию кислорода определим с помощью первого уравнения в решении задачи 468:

$$n = \frac{3p}{mv^2}.$$

Вычисления:

$$n = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Па}}{2 \cdot 16 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (700 \text{ м/с})^2} = 2,29 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Мы учли, что относительная атомная масса кислорода равна 16 а. е. м., а в молекуле кислорода два атома.

Ответ: $n = 2,29 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

471. Используя табличные данные, найти средние квадратические скорости молекул азота и кислорода при нормальных условиях

Решение. Используем для решения задачи основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов:

$$p = \frac{1}{3} n m \bar{v}^2, \quad (1)$$

где p — давление газа, n — концентрация молекул, m — масса молекул, \bar{v} — их средняя квадратическая скорость. Учитывая, что плотность газа $\rho = n m$, из уравнения (1) находим формулу для средней квадратической скорости молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}. \quad (2)$$

Учитывая, что при нормальных условиях давление $p \approx 101\,325$ Па и подставляя в формулу (2) табличные значения плотностей азота и кислорода, получаем, что средняя квадратическая скорость азота равна:

$$\bar{v}_{\text{N}_2} = \sqrt{\frac{3 \cdot 101\,325 \text{ Па}}{1,25 \text{ кг/м}^3}} \approx 493 \text{ м/с},$$

а кислорода

$$\bar{v}_{\text{O}_2} = \sqrt{\frac{3 \cdot 101\,325 \text{ Па}}{1,43 \text{ кг/м}^3}} \approx 461 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\bar{v}_{\text{N}_2} = 493$ м/с, $\bar{v}_{\text{O}_2} = 461$ м/с.

472. Найти среднюю кинетическую энергию молекулы одноатомного газа при давлении 20 кПа. Концентрация молекул этого газа при указанном давлении составляет $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

Решение. Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории газов, давление p газа связано со средней кинетической энергией \overline{E} молекул формулой

$$p = \frac{1}{3} n m \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{E},$$

где n — концентрация молекул газа, m — масса одной молекулы. Отсюда получаем необходимую формулу для средней кинетической энергии молекул при заданном давлении и концентрации:

$$\overline{E} = \frac{2p}{3n}.$$

Вычисления:

$$\overline{E} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ Па}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}} \approx 10^{-21} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\overline{E} = 10^{-21} \text{ Дж.}$

473. Во сколько раз изменится давление одноатомного газа в результате уменьшения его объема в 3 раза и увеличения средней кинетической энергии его молекул в 2 раза?

Решение. Как следует из основного уравнения молекулярно-кинетической теории,

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

т. е. давление газа пропорционально его концентрации N/V , где N — полное число молекул и, следовательно, обратно пропорционально занимаемому объему. Давление также прямо пропорционально средней кинетической энергии молекул газа. Поэтому при уменьшении объема газа в 3 раза и увеличении средней кинетической энергии в 2 раза его давление возрастает в $3 \cdot 2 = 6$ раз.

Ответ: увеличится в 6 раз.

