

## Основные положения МКТ. Масса и размеры молекул.

### ***Основные положения молекулярно-кинетической теории.***

Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) занимается изучением свойств веществ, основываясь при этом на представлениях о частицах вещества.

МКТ базируется на трех основных положениях:

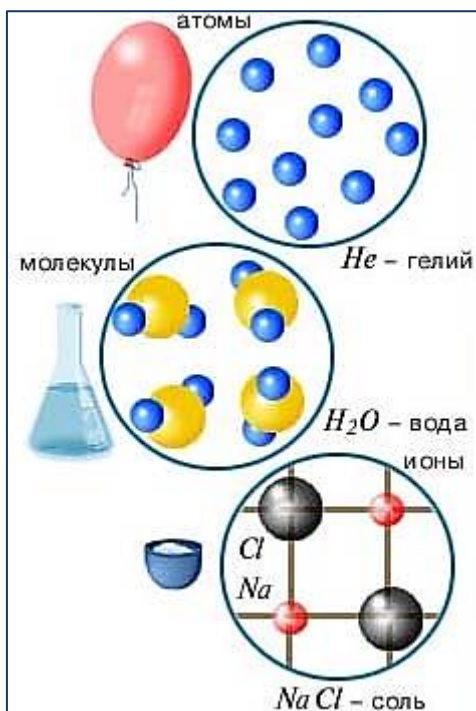
***1.*** Все вещества состоят из частиц - молекул, атомов и ионов.

#### ***Частицы вещества***

Все вещества и тела в природе состоят из атомов и молекул - групп атомов. Такие большие тела называются макроскопическими. Атомы и молекулы относятся к микроскопическим телам. О том, что все вещества и тела состоят из мельчайших неделимых частиц догадывались ещё древнегреческие философы Демокрит и Левкипп. Теперь эти догадки являются установленными фактами. Современные приборы (ионные проекторы, туннельные микроскопы) позволяют видеть изображения отдельных атомов и молекул.

***Основа строения вещества*** - атомы. Атомы тоже имеют сложную структуру, они состоят из элементарных частиц - протонов, нейтронов, входящих в состав ядра атома, электронов, а также других элементарных частиц.

Атомы могут объединяться в молекулы, а могут быть вещества, состоящие только из атомов. Атомы в целом электронейтральны. Атомы, имеющие избыток или недостаток электронов называются ионами. Бывают положительные и отрицательные ионы. Атомы могут находиться в состоянии ионов. Есть вещества, состоящие из ионов. На иллюстрации показаны примеры разных веществ, имеющих строение соответственно в виде атомов, молекул и ионов.



Частицы вещества - атомы, молекулы, ионы.

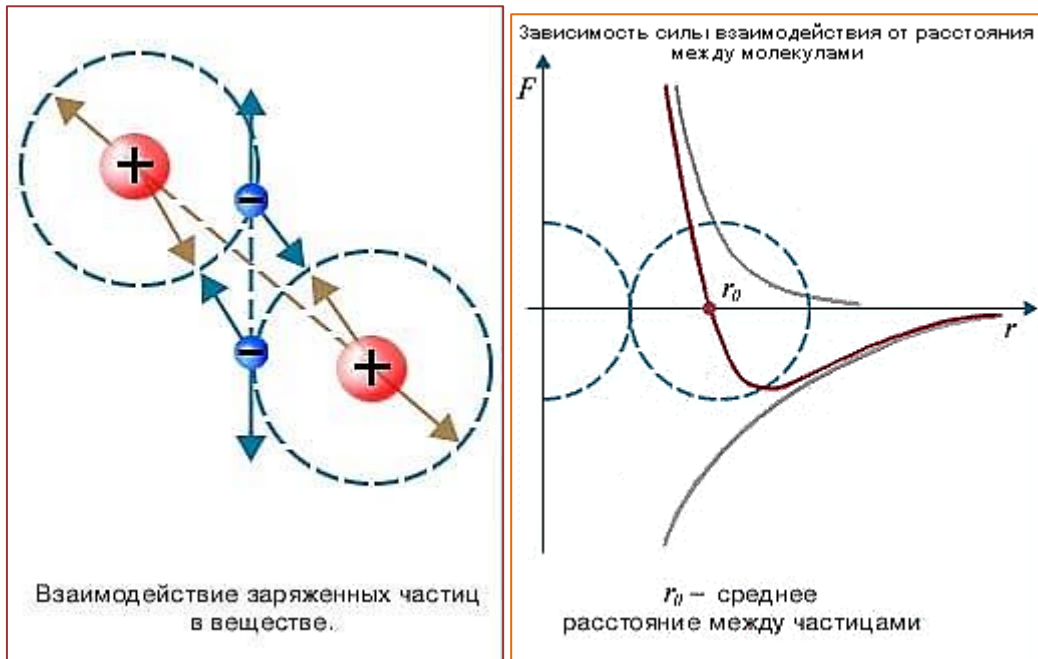
**2.** Частицы вещества непрерывно и беспорядочно движутся.

**3.** Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

### ***Силы взаимодействия между молекулами.***

Если бы между молекулами не существовало сил притяжения, то все тела при любых условиях находились бы только газообразном состоянии. Но одни силы притяжения не могут обеспечить существования устойчивых образований из атомов и молекул. На очень малых расстояниях между молекулами обязательно действуют силы отталкивания. Благодаря этому молекулы не проникают друг в друга и куски вещества никогда не сжимаются до размеров одной молекулы. Молекула - это сложная система, состоящая из отдельных заряженных частиц: электронов и атомных ядер. Хотя в целом молекулы электрически нейтральны, тем не менее между ними на малых расстояниях действуют значительные электрические силы: происходит взаимодействие электронов и атомных ядер соседних молекул. Если молекулы находятся на расстояниях, превышающих их размеры в несколько раз, то силы взаимодействия практически не сказываются. Силы между электрически нейтральными молекулами являются короткодействующими. На расстояниях, превышающих 2 - 3 диаметра молекул, действуют силы притяжения. По мере уменьшения расстояния между молекулами сила притяжения сначала увеличивается, а затем

начинает убывать и убывает до нуля, когда расстояние между двумя молекулами становится равным сумме радиусов молекул. При дальнейшем уменьшении расстояния электронные оболочки атомов начинают перекрываться, и между молекулами возникают быстро нарастающие силы отталкивания. Данные рассуждения иллюстрируются приведенными рисунками.



Взаимодействие заряженных частиц в веществе и зависимость силы от расстояния.

Беспорядочное (хаотичное) движение атомов и молекул в веществе называют тепловым движением, потому что скорость движения частиц увеличивается с ростом температуры.

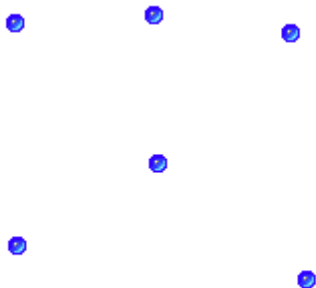


Рис. 1. Тепловое движение молекул в газе.

Молекулы в газе движутся хаотично (беспорядочно). В газах расстояние между атомами или молекулами в среднем во много раз больше размеров самих молекул. Молекулы в газе движутся с большими скоростями (сотни м/с). Сталкиваясь, они отскакивают друг от друга как абсолютно упругие

шарики, изменяя величину и направление скоростей. При больших расстояниях между молекулами силы притяжения малы и не способны удерживать молекулы газа друг возле друга. Поэтому газы могут неограниченно расширяться. Газы легко сжимаются, среднее расстояние между молекулами при этом уменьшается, но все равно остается большим их размеров. Газы не сохраняют ни формы, ни объема, их объем и форма совпадают с объемом и формой сосуда, который они заполняют. Многочисленные удары молекул о стенки сосуда создают давление газа.



Рис. 1а. Тепловое движение молекул в жидкости.

Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу. Поэтому жидкости очень плохо сжимаются и сохраняют свой объем. Молекулы жидкости совершают колебания около положения равновесия. Время от времени молекула совершает переходы из одного оседлого состояния в другое, как правило, в направлении действия внешней силы. Время оседлого состояния молекулы мало и с ростом температуры уменьшается, а время перехода молекулы в новое оседлое состояние еще меньше. Поэтому жидкости текучи, не сохраняют своей формы и принимают форму сосуда, в который налиты. Теория жидкого состояния вещества впервые была разработана крупным советским физиком-теоретиком Я.И. Френкелем.

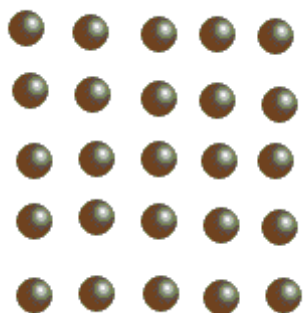


Рис. 1б. Тепловое движение атомов в твердых телах.

Атомы и молекулы твердых тел колеблются около определенных положений равновесия. Поэтому твердые тела сохраняют и объем, и форму. Если мысленно соединить центры положений равновесия атомов или ионов твердого тела, то получится кристаллическая решетка.

Экспериментальным подтверждением непрерывного движения атомов и молекул в веществе является **броуновское движение** и **диффузия**.

### Броуновское движение.

**Броуновское движение** - это тепловое движение мельчайших частиц, взвешенных в жидкости или газе. Оно было открыто английским ботаником Броуном (1827 г.) и явилось наглядным доказательством хаотичного молекулярного движения. Броуновские частицы движутся под влиянием ударов молекул. Из-за хаотичности теплового движения молекул, эти удары никогда не уравниваются друг друга. В результате скорость броуновской частицы беспорядочно меняется по величине и направлению, а ее траектория представляет собой сложную зигзагообразную линию. Молекулярно-кинетическая теория броуновского движения была создана А.Эйнштейном (1905 г.).

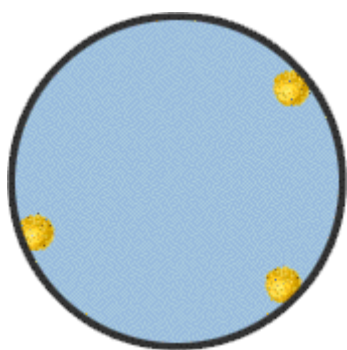


Рис. 2. Броуновское движение.

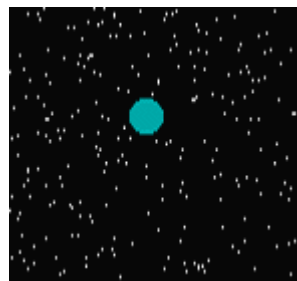


Рис. 3. Броуновская частица среди молекул.

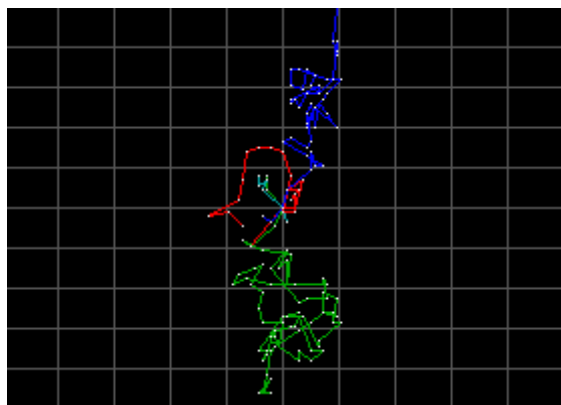


Рис. 4. Траектория движения 3-х броуновских частиц.

### Диффузия.

Явление самопроизвольного проникновения частиц одного вещества в другое вещество принято называть диффузией. При этом вещества перемешиваются. Почему же газы или жидкости перемешиваются, хотя их никто специально не перемешивает? Это можно объяснить, если вспомнить, что все вещества состоят из частиц, и между частицами есть промежутки. Раз газы или жидкости перемешиваются сами собой, значит частицы вещества все время движутся, движутся беспорядочно, во всех направлениях. Это движение частиц и есть причина перемешивания двух веществ. Диффузией также называется процесс самопроизвольного выравнивания концентраций молекул жидкости или газа в различных частях объема. Диффузия стремится приблизить систему к состоянию термодинамического равновесия. Если в двух половинах сосуда находятся разные газы (при одинаковых температурах и давлениях) и между ними нет разделяющей перегородки, то вследствие теплового движения молекул возникает процесс взаимопроникновения газов. Этот процесс и называется диффузией. Скорость диффузии сильно зависит от длины свободного пробега молекул, то есть от среднего расстояния, которое пролетают молекулы между двумя последовательными соударениями с другими молекулами. Диффузия может происходить не только в газах, но и в жидкостях, и в твердых телах. Причем, диффузия газов происходит очень быстро, а диффузия твердых тел очень медленно. Опыты показывают: чем выше температура, тем диффузия происходит быстрее. Мы ощущаем запахи, благодаря диффузии пахучего вещества в воздухе.

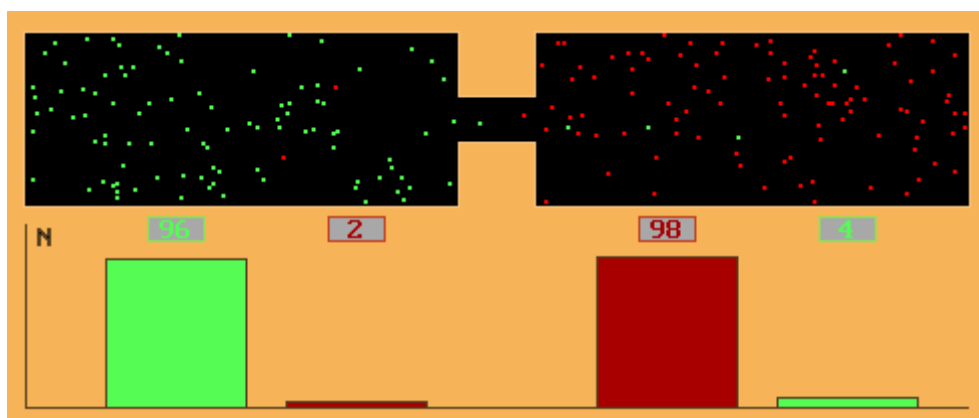


Рис. 5. Диффузия (начало процесса).

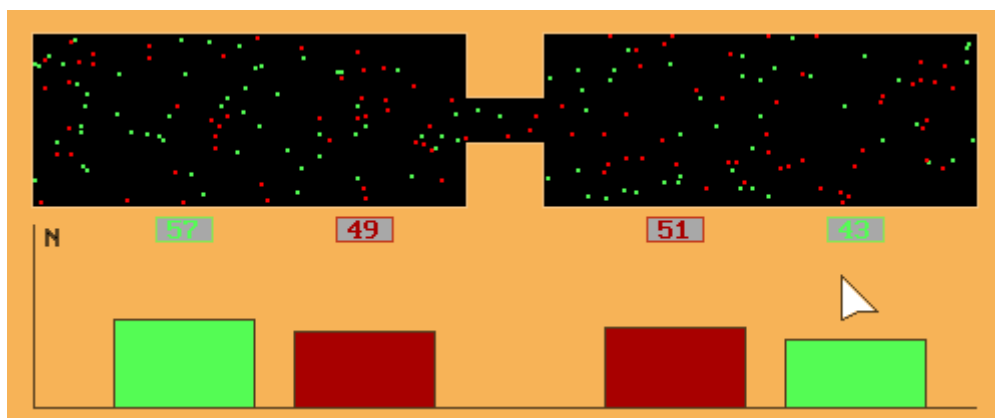
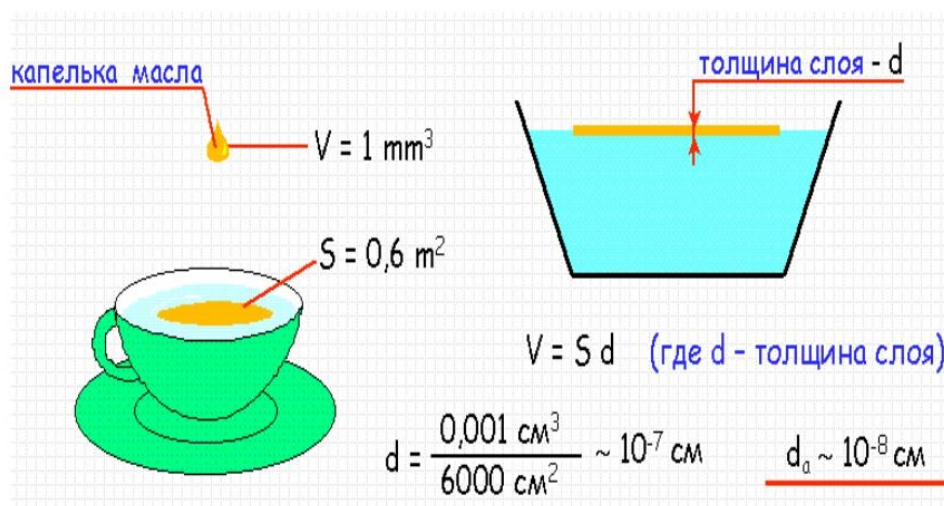


Рис. 6. Диффузия (установившееся положение).

### Размеры и масса молекул

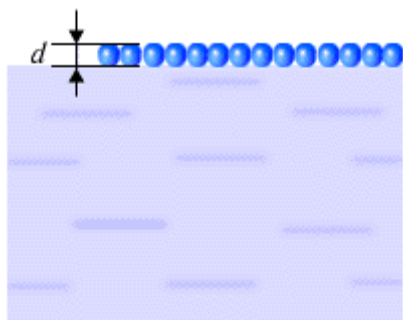
## Оценка размеров молекул



Свойства и поведение тел, в процессах передачи и превращения энергии, определяются движением взаимодействующих друг с другом частиц, из которых состоит тело: атомов, молекул и ионов. Каков размер этих частиц? Как его измерить? Если высыпать горошины из стакана на стол, то толщина образованного ими на столе слоя окажется равной диаметру горошины. Подобный способ можно использовать для определения размеров частиц вещества. Конечно же, реальная форма частиц вещества не шарообразная, а гораздо более сложная. Но указанный способ позволяет, с известной



точностью, оценить размеры частиц вещества. Частицы в жидкости располагаются достаточно плотно (см. рисунок ниже).



$d$  – диаметр частицы вещества

Можно считать, что на каждую частицу вещества приходится объем, равный объему куба, сторона которого равна диаметру частицы. Тогда, зная плотность жидкости и диаметр частицы вещества, а стало быть, и объем частицы, можно оценить массу частицы вещества. Оценки размера и массы молекулы сделаны ниже на рисунках для капли нефти.

$S = 3M^2$

$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ м}^3}{3 \text{ м}^2} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

$V_0$  – объём частицы вещества  
 $\rho$  – плотность  
 $m_0$  – масса частицы вещества

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

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

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

Рис. 7. Оценка размера молекулы.    Рис. 8. Оценка массы молекулы.

В силу того, что массы частиц вещества крайне малы, удобно пользоваться не абсолютными, а относительными единицами массы. Для этого используется так называемая атомная единица массы (а.е.м.), равная 1/12 массы атома углерода. Массу частицы, измеренную в а.е.м. принято называть относительной атомной (или молекулярной) массой. Значения относительных атомных масс приведены в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. Относительная молекулярная масса молекулы вещества равна сумме относительных атомных масс атомов, составляющих данную молекулу. Экспериментально установлено, что 1 а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг. В Международной системе СИ для измерения



количества вещества ( $v$ ) введена специальная единица - моль. 1 моль - это количество вещества, в котором содержится столько же частиц, сколько атомов содержится в 12 граммах углерода. Постоянная Авогадро численно равна количеству частиц, содержащихся в 1 моле любого вещества:  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>. Масса 1 моля вещества называется молярной массой ( $M$ ). Численное значение молярной массы, выраженной в г/моль, равно значению относительной атомной или молекулярной массы. Количество вещества, постоянная Авогадро, молярная масса, масса молекулы - эти величины связаны между собой соотношениями, которые приведены ниже на рисунках. Часто при решении той или иной задачи важнее знать не число частиц вещества, а их концентрацию. Концентрация ( $n$ ) показывает, сколько частиц содержится в единице объема (чаще всего - в одном кубическом метре) данного вещества. Ниже на рисунках приведены формулы для массы молекулы  $m_0$ , молярной массы  $M$ , количества вещества  $v$ , числа молекул  $N$  и концентрации молекул  $n$ . ( $V$  - объем вещества).

$$M = m_0 \cdot N_A$$

$$m = m_0 \cdot N$$

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

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

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

$M$  – молярная масса

$[M] = \text{кг/моль}$

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

$$M = m_0 N_A$$

$n$  – концентрация

$$n = \frac{N}{V}$$

$$[n] = \frac{1}{\text{м}^3} = \text{м}^{-3}$$

за атомную единицу массы (1 а.е.м.) принимается 1/12 массы атома углерода (1 а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг).

Относительной атомной массой  $M_r$  вещества (массовым числом) называют безразмерное число, равное отношению массы атома данного вещества к атомной единице массы.

$$M_r = \frac{m_a}{1 \text{ а. е. м}}$$

*А как можно вычислить относительную молекулярную массу и абсолютное значение массы одной молекулы?*

Зная химическую формулу вещества, можно приближенно вычислить его относительную молекулярную массу и абсолютное значение массы одной молекулы.

Например, относительная масса углекислого газа  $\text{CO}_2 = 12 + 2 \cdot 16 = 44$ . Таким образом, можно рассчитать массу молекулы углекислого газа в кг.:

$$m_{\text{CO}_2} = 44 \times 1 \text{ а. е. м.} = 44 \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ кг} = 73,5 \times 10^{-27} \text{ кг}$$

Для характеристики количества вещества в макроскопических телах удобно использовать число молекул и атомов в нем, однако это число очень велико, поэтому более удобно использовать не абсолютное, а относительное число молекул или атомов. В СИ единицей количества вещества является моль:

1 моль – количество вещества, в котором содержится столько же атомов и молекул, сколько их в 0,012 кг углерода.

Таким образом в 1 моле любого вещества содержится одинаковое число частиц, это число называется числом Авогадро ( $N_A$ ). Найдем его значение, разделив массу одного моля углерода (0,012кг) на массу одного атома углерода:

$$N_A = \frac{0,012 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{12 \times 1,66 \times 10^{-27} \text{кг}} = 6,02 \times 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

Для решения многих физических задач необходимо знать количество вещества (количество моль вещества). Что же это такое?

Количество вещества  $\nu$  - число молей в данной порции вещества – равно отношению числа молекул  $N$  в веществе к постоянной Авогадро  $N_A$ .

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

В физике и химии широко используется понятие молярной массы  $M$ . Молярной массой называют массу некоторого вещества, взятого в количестве одного моля:  $M = m_0 N_A$ .

Где  $m_0$  – масса одной молекулы или атома вещества.

Оценим массу молекулы  $m_0$  вещества с молярной массой  $M$ . Если масса тела  $m$ , а число молекул в нем  $N$ , то :

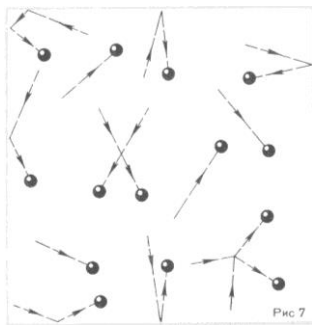
$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m}{\nu N_A} = \frac{M}{N_A}$$

## Газы

*Почему газы легко сжимаемы?*

Поскольку расстояния между молекулами достаточно велики (межмолекулярные расстояния много больше диаметра молекул). Следовательно, между молекулами действуют очень слабые силы притяжения, не способные удерживать молекулы рядом друг с другом, поэтому газы:

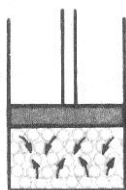
1. неограниченно расширяются
2. не сохраняют формы и объема
3. ударяются о стенки сосуда и создают давление газа.



## Жидкости

*Все ли согласны, что свойства жидкости отличаются от свойств газа? Почему существуют такие различия?*

Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу, поэтому молекула жидкости ведет себя иначе чем молекула газа.



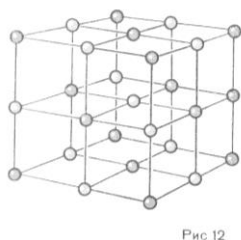
Зажатая как в клетке, другими молекулами, она совершает «бег на месте» (колеблется около положения равновесия, сталкиваясь с соседними молекулами). Лишь время от времени она совершает прыжок, прорываясь внутрь новой клетки. Жидкости:

1. мало сжимаемы
2. жидкости текучи, не сохраняют своей формы

## Твердые тела

Атомы или молекулы твердых тел в отличие от атомов и молекул жидкостей колеблются около определенного положения равновесия.

Есть еще одно важное различие между жидкостями и твердыми телами, существование в них кристаллической решетки.



### Твердые тела:

1. сохраняют не только объем, но и форму
2. имеют кристаллическую решетку.

## Решение задач

1. Каковы молярные массы поваренной соли NaCl, сульфата меди CuSO<sub>4</sub> и аммиака NH<sub>3</sub>? И массу одной молекулы поваренной соли NaCl, сульфата меди CuSO<sub>4</sub> и аммиака NH<sub>3</sub> ?

Решение:

Чтобы определить молярную массу необходимо рассчитать молекулярную массу вещества

$$M = M_r * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Воспользуемся периодической системой элементов Менделеева

$$M_r(\text{NaCl}) = 23 + 35 = 58$$

$$M(\text{NaCl}) = 58 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

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

$$m_0 = \frac{58 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{6,02 * 10^{23} \text{моль}^{-1}} = 9,6 * 10^{-26} \text{кг}$$

$$M(\text{CuSO}_4) = (64 + 32 + 16 * 4) * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 1,6 * 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$m_0 = \frac{1,6 * 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{6,02 * 10^{23} \text{моль}^{-1}} = 0,26 * 10^{-28} \text{кг} = 2,6 * 10^{-26} \text{кг}$$

$$M(\text{NH}_3) = (14 + 3 * 1) * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 17 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$m_0 = \frac{17 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{6,02 * 10^{23} \text{моль}^{-1}} = 2,8 * 10^{-26} \text{кг}$$

2. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой 5,4 кг?

$$m = 5,4 \text{кг}$$

$$\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$$

$$V = ?$$

Количество вещества можно вычислить по формуле

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

где m – масса алюминиевой отливки

M- молярная масса алюминия  $M = 27 * 10^{-3} \text{ кг/моль}$

$$\nu = \frac{5,4 \text{кг}}{27 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,2 * 10^3 \text{моль} = 200 \text{моль}$$

3. . В сосуде находится 0,5 моль водорода H<sub>2</sub>. Сколько молекул водорода в сосуде?

$$\nu = 0,5 \text{ моль}$$



N-?

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

$$N = \nu N_A$$

$$N = 0,5 \text{ моль} * 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 3,01 * 10^{23}$$

4. Какова масса 500 моль углекислого газа?

$$\nu = 500 \text{ моль}$$

CO<sub>2</sub>

m-?

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

$$m = \nu M = 500 \text{ моль} * (12 + 16 * 2) * \frac{10^{-3} \text{ кг}}{\text{моль}} = 22 \text{ кг}$$

5. Определите количество вещества, содержащееся в 0,5 см<sup>3</sup> золота. Чему равно число молекул в этом объеме золота?

$$V = 0,5 \text{ см}^3 = 5 * 10^{-7} \text{ м}^3$$

$$\rho = 19\,300 \text{ кг/м}^3$$

v-?

N-?

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

$$m = \rho V$$

$$\nu = \frac{\rho V}{M}$$

$$\nu = \frac{19300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * 5 * 10^{-7} \text{ м}^3}{197 * 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 490 * 10^{-4} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}$$

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

$$N = \nu * N_A$$

$$N = 0,05 \text{ моль} * 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 0,3 * 10^{23} = 3 * 10^{22}$$

6. Сравните количество молекул в железном и алюминиевом брусках одинаковой массы.

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1(\text{Fe}) = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2(\text{Al}) = 2700 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{N_1}{N_2} = ?$$

$$N = \nu N_A$$

$$\nu = m/M$$

$$N_1 = \frac{m}{M_1} N_A$$

$$N_2 = \frac{m}{M_2} N_A$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{56 * 10^{-3} \text{ кг/моль}}{27 * 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 2$$

#### Условия задач

1. Каковы молярные массы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ? И массу одной молекулы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ?
2. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой 5,4 кг?
3. В сосуде находится 0,5 моль водорода  $\text{H}_2$ . Сколько молекул водорода в сосуде?
4. Какова масса 500 моль углекислого газа?

5. Определите количество вещества, содержащееся в  $0,5 \text{ см}^3$  золота. Чему равно число молекул в этом объеме золота?
6. Сравните количество молекул в железном и алюминиевом брусках одинаковой массы.

1. Каковы молярные массы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ? И массу одной молекулы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ?
2. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой  $5,4 \text{ кг}$ ?
3. В сосуде находится  $0,5$  моль водорода  $\text{H}_2$ . Сколько молекул водорода в сосуде?
4. Какова масса  $500$  моль углекислого газа?
5. Определите количество вещества, содержащееся в  $0,5 \text{ см}^3$  золота. Чему равно число молекул в этом объеме золота?
6. Сравните количество молекул в железном и алюминиевом брусках одинаковой массы.

1. Каковы молярные массы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ? И массу одной молекулы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ?
2. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой  $5,4 \text{ кг}$ ?
3. В сосуде находится  $0,5$  моль водорода  $\text{H}_2$ . Сколько молекул водорода в сосуде?
4. Какова масса  $500$  моль углекислого газа?
5. Определите количество вещества, содержащееся в  $0,5 \text{ см}^3$  золота. Чему равно число молекул в этом объеме золота?
6. Сравните количество молекул в железном и алюминиевом брусках одинаковой массы.

1. Каковы молярные массы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ? И массу одной молекулы поваренной соли  $\text{NaCl}$ , сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ ?
2. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой  $5,4 \text{ кг}$ ?
3. В сосуде находится  $0,5$  моль водорода  $\text{H}_2$ . Сколько молекул водорода в сосуде?
4. Какова масса  $500$  моль углекислого газа?
5. Определите количество вещества, содержащееся в  $0,5 \text{ см}^3$  золота. Чему равно число молекул в этом объеме золота?
6. Сравните количество молекул в железном и алюминиевом брусках одинаковой массы.