

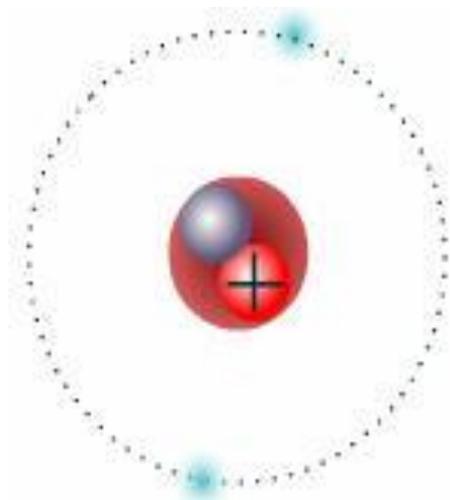
Основы молекулярно-кинетической теории

КПК "Теория и методика обучения физики в
общеобразовательных учреждениях"

Основные положения МКТ

Молекула – наименьшая устойчивая частица какого-либо вещества, обладающая его химическими свойствами.

Планетарная модель строения атома:



Основные положения МКТ

- Все макроскопические тела состоят из частиц – атомов и молекул.
- Частицы вещества взаимодействуют между собой: притягиваются и отталкиваются.
- Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.



Экспериментальное обоснование положений МКТ

Доказательства:

- механическое дробление тел
- растворение
- диффузия
- давление газов
- способность газов неограниченно расширяться
- упругость газов, жидкостей, твёрдых тел
- броуновское движение
- испарение и конденсация

и т. д.



Экспериментальное обоснование положений МКТ

Диффузией называется самопроизвольное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга. В этом случае причиной перемешивания веществ является тепловое движение их частиц.

Можно рассматривать диффузию собственных частиц какого-либо тела, т.е. самодиффузию.



[Ресурсы по физике заочной физико-математической школы Томского государственного университета](#)

Молекулярная физика, термодинамика [Диффузия](#)



Экспериментальное обоснование положений МКТ

- ▣ **Испарение** – переход вещества из жидкого состояния в газообразное со свободной поверхности жидкости.
 - ▣ **Конденсация** – переход вещества из газообразного состояния в жидкое.
 - ▣ **Давление газа** как явление проявляется в перемещении некоторой массы газа (ветер), деформации мембран и стенок сосудов. Трактуются как совокупность ударов невидимых частиц, которые действуют на препятствие как поток камней или брызги воды.
-



Опыт Штерна

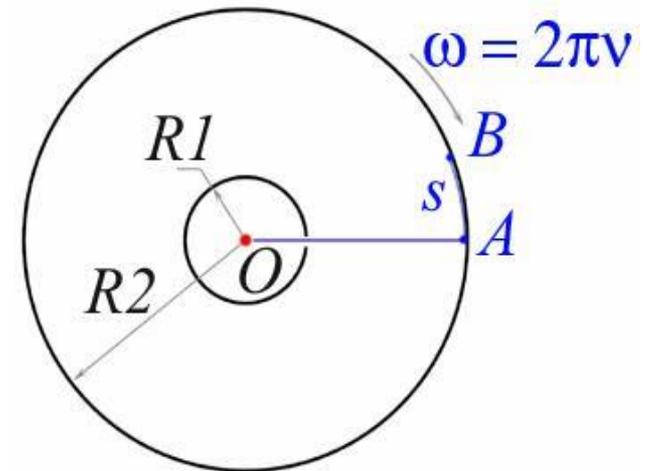
частота вращения: $\nu = 1500 \text{ с}^{-1}$

угол поворота внешнего цилиндра: $j = 2\pi \nu t$

смещение точек А и В: $s = R_2 j = 2\pi \nu R_2 t$

$$v = \frac{2\pi \nu R_2 (R_2 - R_1)}{s}$$

Опыт Штерна



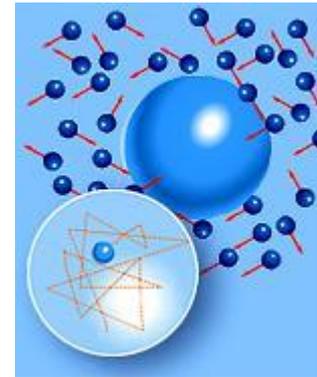
Распределение Больцмана

- Демонстрационная модель "Распределение Больцмана" может использоваться как в традиционном, так и в углубленном курсе физики при рассмотрении тем, посвященных распределению молекул по скоростям и, в частности, распределению Больцмана. В модели условно представлен процесс движения молекул в поле силы тяжести.



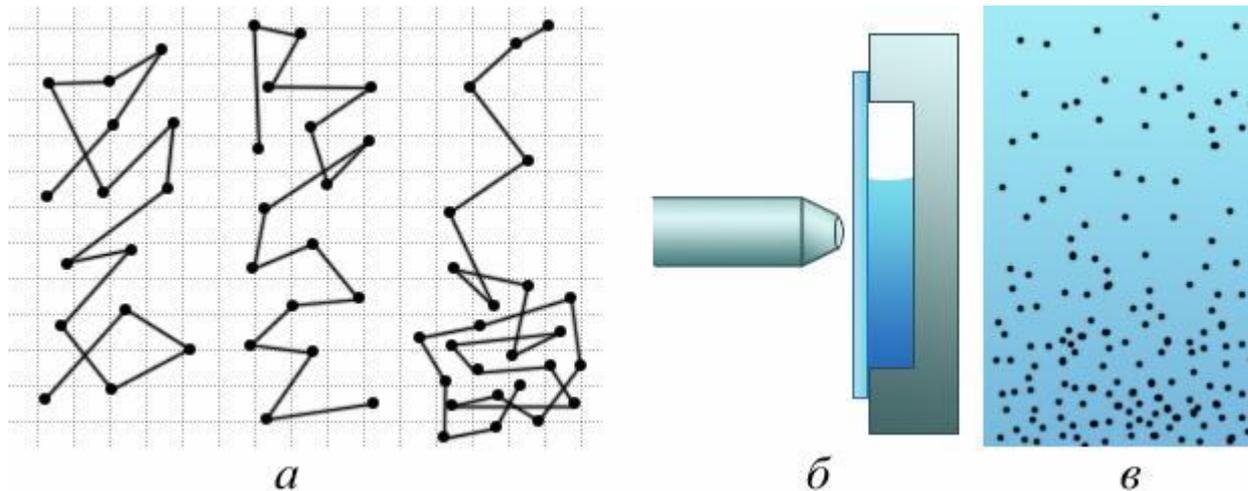
Броуновское движение

- Р. Броун в 1827 г. наблюдал под микроскопом беспорядочное движение мелких частиц цветочной пыльцы, взвешенных в жидкости.
- Современная теория объясняет броуновское движение – беспорядочное движение мелких частиц, взвешенных в жидкости или газе, непрерывными беспорядочными соударениями этих частиц с молекулами жидкости (газа).
- Демонстрационная модель
"Броуновское движение"
- Лабораторная работа



Опыт Перрена

- Изучение движения таких частиц нерастворимых в воде и их распределения под действием силы тяжести в узкой вертикальной кювете полностью подтвердило выводы теории о закономерностях броуновского движения и позволило экспериментально определить число Авогадро N_A .



Количество вещества, число Авогадро, молярная масса

- ▣ **Количество вещества** – это физическая величина, характеризующая число структурных единиц в теле (атомов в атомарном веществе, молекул – в молекулярном)
- ▣ Единицей количества вещества в СИ является моль. Один моль (1 моль) равен количеству вещества, в котором содержится столько же атомов или молекул, сколько атомов содержится в чистом углероде массой 0,012 кг. Такое число атомов называется числом Авогадро. Оно равно

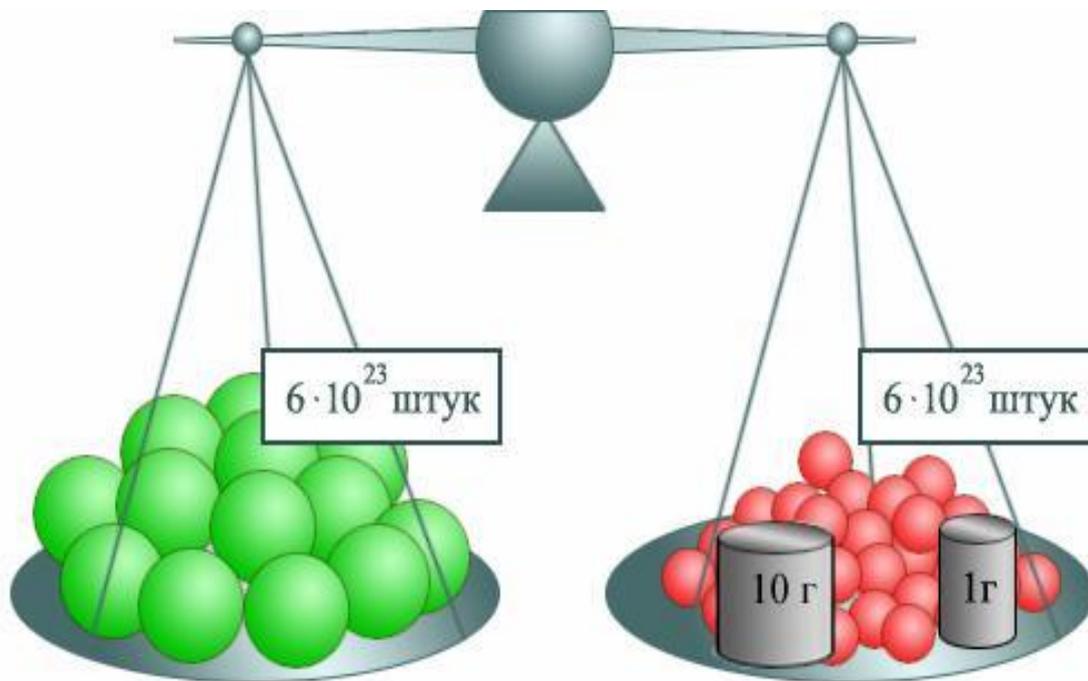
$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

- ▣ **Количество вещества** равно отношению числа частиц в теле (атомов – в атомарном веществе, молекул – в молекулярном) к числу молекул в одном моле вещества, т. е. к числу Авогадро:

$$\nu = N/N_A$$



Количество вещества, число Авогадро, молярная масса



Молярная масса

▣ **Молярная масса M** равна массе вещества, взятого в количестве одного моля.

▣ Единица молярной массы – кг/моль.

▣ $M = 0,012 + 0,016 \cdot 2 = 0,044$ кг/моль

▣ $M = m_0 N_A$

▣ Масса m любого количества вещества, содержащего N молекул, равна

$$m = m_0 N = (N/N_A) m_0 N_A = \nu M,$$

где количество вещества (в молях) $\nu = m / M$.

С	6
	12,011
УГЛЕРОД	



Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева

периоды	ГРУППЫ															
	A I Б		A II Б		A III Б		A IV Б		A V Б		A VI Б		A VII Б		A VIII Б	
1	H 1 ВОДОРОД												He 2 ГЕЛИЙ			
2	Li 3 ЛИТИЙ	Be 4 БЕРИЛЛИЙ	B 5 БОР	C 6 УГЛЕРОД	N 7 АЗОТ	O 8 КИСЛОРОД	F 9 ФТОР	Ne 10 НЕОН								
3	Na 11 НАТРИЙ	Mg 12 МАГНИЙ	Al 13 АЛЮМИНИЙ	Si 14 КРЕМНИЙ	P 15 ФОСФОР	S 16 СЕРА	Cl 17 ХЛОР	Ar 18 АРГОН								
4	K 19 КАЛИЙ	Ca 20 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 СКАНДИЙ		Ti 22 ТИТАН	V 23 ВАНАДИЙ	Cr 24 ХРОМ	Mn 25 МАРГАНЕЦ	Fe 26 ЖЕЛЕЗО	Co 27 КОБАЛЬТ	Ni 28 НИКЕЛЬ					
	Cu 29 МЕДЬ	Zn 30 ЦИНК	Ga 31 ГАЛЛИЙ	Ge 32 ГЕРМАНИЙ	As 33 МЫШЬЯК	Se 34 СЕЛЕН	Br 35 БРОМ	Kr 36 КРИПТОН								
5	Rb 37 РУБИДИЙ	Sr 38 СТРОНЦИЙ	Y 39 ИТРИЙ		Zr 40 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 НИОБИЙ	Mo 42 МОЛИБДЕН	Tc 43 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 РУТЕНИЙ	Rh 45 РОДИЙ	Pd 46 ПАЛЛАДИЙ					
	Ag 47 СЕРЕБРО	Cd 48 КАДМИЙ	In 49 ИНДИЙ	Sn 50 ОЛОВО	Sb 51 СУРЬМА	Te 52 ТЕЛЛУР	I 53 ЙОД	Xe 54 КСЕНОН								
6	Cs 55 ЦЕЗИЙ	Ba 56 БАРИЙ	La 57 * ЛАНТАН		Gf 72 ГАФИЙ	Ta 73 ТАНТАЛ	W 74 ВОЛЬФРАМ	Re 75 РЕНИЙ	Os 76 ОСМИЙ	Ir 77 ИРИДИЙ	Pt 78 ПЛАТИНА					
	Au 79 ЗОЛОТО	Hg 80 РТУТЬ	Tl 81 ТАЛЛИЙ	Pb 82 СВИНЕЦ	Bi 83 ВИСМУТ	Po 84 ПОЛОНИЙ	At 85 АСТАТ	Rn 86 РАДОН								
7	Fr 87 ФРАНЦИЙ	Ra 88 РАДИЙ	Ac 89 ** АКТИНИЙ		Rf 104 РЕЗЕРФОРДИЙ	Db 105 ДУБИНИЙ	Sg 106 СИБОРГИЙ	Bh 107 БОРИЙ	Hs 108 ХАССИЙ	Mt 109 МЕЙТНЕРИЙ	Dr 110 ДАРМШТАДИЙ					

* Лантаноиды ** Actinoиды Высшие окислы Летучие водородные соединения

58 Ce 140,12 ЦЕЗИЙ	59 Pr 140,9077 ПРАЗЕОДИЙ	60 Nd 144,24 НЕОДИМ	61 Pm [145] ПРОМЕТИЙ	62 Sm 150,36 САМАРИЙ	63 Eu 151,96 ЕВРОПИЙ	64 Gd 157,25 ГАДОЛИНИЙ	65 Tb 158,9254 ТЕБЕРИЙ	66 Dy 162,50 ДИСПРОЗИЙ	67 Ho 164,9304 ГОЛЬМИЙ	68 Er 167,26 ЭРБИЙ	69 Tm 168,9342 ТУЛИЙ	70 Yb 173,04 ИТТЕРБИЙ	71 Lu 174,967 ЛУТЦИЙ
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

Масса и размер молекул

▣ *Масса молекулы* может быть рассчитана на основе молярной массы и числа Авогадро:

$$m_0 = M / N_A$$

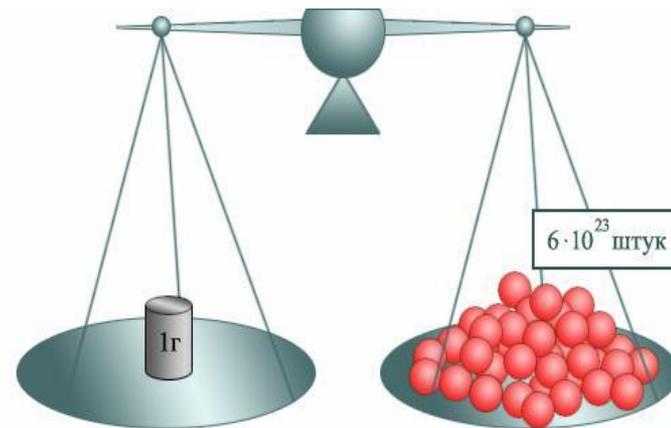
Масса одного атома водорода - $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг,

молекулы водорода H_2 в 2 раза больше

масса атома углерода в 12 раз

молекулы кислорода в 32 раза

больше массы атома водорода.



Агрегатные состояния вещества

- Агрегатные состояния вещества – это состояния одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением плотности и других физических характеристик.
- Внешними отличительные : сжимаемость (изменение объема) и текучесть (сохранение формы).
- С точки зрения МКТ различаются:
 - ❖ по значению среднего расстояния между молекулами
 - ❖ характеру движения молекул друг относительно друга.



Методические указания по решению задач

Задачи этой темы можно условно разделить на следующие группы:

- а) определение и сравнение размеров молекул и расстояний между ними
- б) вычисление массы молекул, молярной массы вещества, количества вещества



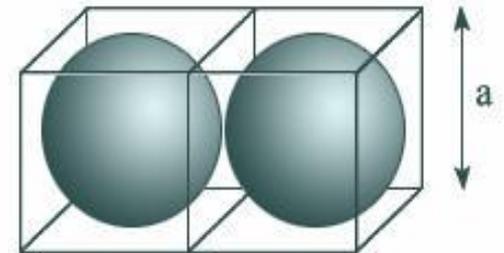
Масса и размер молекул

- Размер молекулы a может быть оценен как размер кубика в котором содержится одна молекула
- исходя из плотности твердых или жидких веществ и массы одной молекулы:

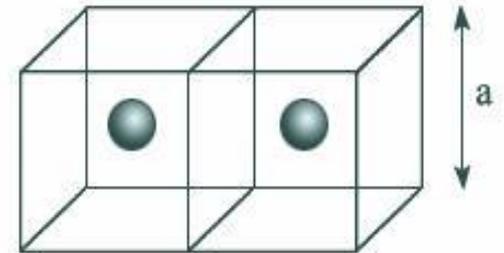
$$\rho = \frac{m_0}{V} = \frac{m_0}{a^3}$$

$$a = \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{\frac{m_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{M}{N_A \rho}}$$

а) твердое тело,
жидкость



б) газ



Примеры решения задач

□ **Задача I**

- В стакане находится 100 г воды. Предполагая, что каждую секунду из стакана вылетает 1 млрд. молекул, определите через сколько времени из стакана вылетят все молекулы?



Задача 1

Решение.

СИ

$$m = 100\text{г} = 0,1\text{кг}$$

$$n = 10^9\text{с}^{-1}$$

$$t = ?$$

Очевидно, что $t = N/n$, где N – число молекул воды, масса которой m : $N = \frac{m}{M} N_A$, где

M – молярная масса воды, N_A – постоянная

Авогадро. Таким образом, $t = \frac{m}{M} \frac{N_A}{n}$,

то есть

$$t = \frac{0,1\text{кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль} \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}} = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ с.}$$

Учитывая, что в сутках $(365 \cdot 24 \cdot 3600)$ с, получим: $t = 10^8 \text{ лет} = 100 \text{ млн. лет.}$

Ответ: $t = 100 \text{ млн. лет.}$



Задача 2

- Считая, что в жидкости молекулы расположены вплотную друг к другу, оцените объём молекулы воды и её линейные размеры.



Задача 2

Решение.

Считаем, исходя из условия задачи, что в жидкости молекулы расположены вплотную друг к другу. Это значит, что объём одной молекулы можно найти, разделив объём одного моля на число молекул в нём (постоянная Авогадро):

$V = \frac{V_v}{N_A}$. Объём одного моля можно найти, разделив молярную массу

вещества на его плотность: $V_v = \frac{M}{\rho}$. Тогда окончательный результат имеет

вид:

$$V = \frac{M}{\rho \cdot N_A}.$$

Вычислим искомый объём V :

$$V = \frac{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}}{10^3 \text{ кг / м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3.$$

Считая для простоты вычислений, что молекула воды имеет форму куба,

оценим её линейные размеры: $r = \sqrt[3]{V}$,

то есть $r = \sqrt[3]{3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3} \approx 0,3 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 0,3 \text{ нм}$.

Ответ: $V = 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$; $r \approx 0,3 \text{ нм}$.



Задача 3

- Определите число молекул, содержащихся в 1 м^3 кислорода при нормальных условиях ($p = 10^5\text{ Па}$; $T = 273\text{ К}$). Плотность кислорода при нормальных условиях $1,43\text{ кг/м}^3$. Решите задачу двумя способами.



Задача 3

Решение.

СИ

O₂

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$p = 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$\rho_0 = 1,43 \text{ кг/м}^3$$

$$n_0 = ?$$

1) Концентрация молекул равна: $n = \frac{N}{V} = \frac{m}{M} \frac{N_A}{V}$,

а для нормальных условий $n_0 = \frac{m}{V_0} \frac{N_A}{M}$,

где V_0 – молярный объём при нормальных условиях.

Так как $\rho_0 = \frac{m}{V_0}$, то $n_0 = \frac{\rho_0 N_A}{M}$.

Вычислим: $n_0 = \frac{1,43 \text{ кг/м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

$n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ – число частиц, содержащихся в 1 м^3 газа при нормальных условиях – число *Лосмидта*.

2) Второй способ нахождения концентрации молекул состоит в следующем:

концентрация молекул при нормальных условиях равна $n_0 = \frac{N_A}{V_{M_0}}$, где V_{M_0} –

объём одного моля при н. у. Так как $V_{M_0} = \frac{M}{\rho_0}$, то $n_0 = \frac{\rho_0 N_A}{M}$.

Ответ: $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

