

вторник, 13 августа 2024 г.



# ВВЕДЕНИЕ В СОВРЕМЕННУЮ ХИМИЮ



**Лямин Алексей Николаевич**

доцент, кандидат педагогических наук,  
Почётный работник общего образования РФ,  
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России

[www.lyaminchemistry.ucoz.ru](http://www.lyaminchemistry.ucoz.ru)

**Всё должно быть изложено так просто, как только возможно, но не проще.**

**Альберт Эйнштейн**



***Введение. Из истории. Жизнь ;***



***Материя, энергия, вещество, поле ;***



***Биосистемы, энергоэнтропика ;***



***Химическая статика .***



**сфера человеческой деятельности, направленная на выработку и теоретическую систематизацию объективных знаний о действительности;**

**канадский философ Уильям Хетчер определяет современную науку, как способ познания реального мира, включающего в себя как ощущаемую органами чувств человека реальность, так и реальность невидимую, способ познания, основанный на построении проверяемых моделей этой реальности;**

**в научных моделях мира следует выделять три уровня:**

- I. Идеализированные образы (физические модели);**
- II. Эмпирический материал (экспериментальные данные);**
- III. Математическое описание (формулы и уравнения)**



# МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ КУРСА ХИМИИ





# ИЗ ИСТОРИИ

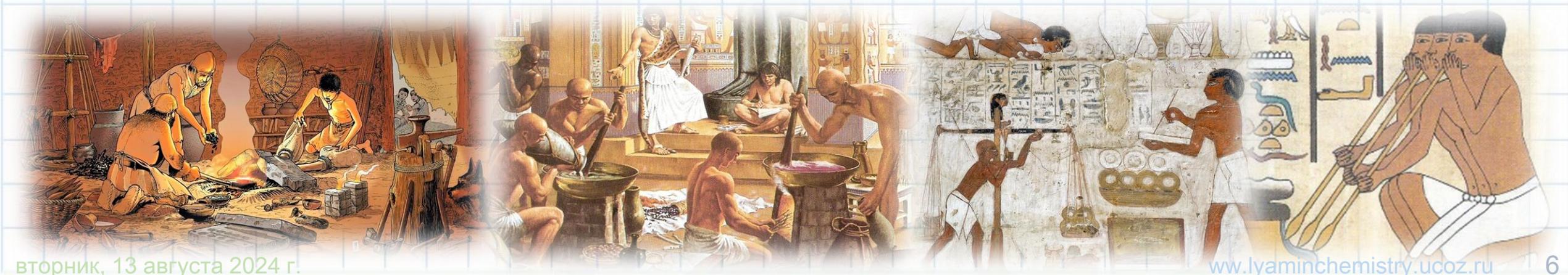
вторник, 13 августа 2024 г.

[www.lyaminchemistry.ucoz.ru](http://www.lyaminchemistry.ucoz.ru)

# ДРЕВНЯЯ ХИМИЯ

наука о веществах зародилась в Египте; керамика, крашение, стекловарение, металлургия, косметика и парфюмерия достигли там значительного развития задолго до новой эры; по Плутарху термин «Химия» произошёл от одного из древних названий Египта «Хеми – чёрная земля», и означал — египетское искусство;

позже химия определялась как искусство изготовления золота и серебра; есть и иная точка зрения, связанная с древнегреческим *χυμος* – сок, эссенция, влага, вкус; *χυμα* – сплав металлов, литьё; *χυμεισις* – смешивание; существует также весьма распространённое мнение, что термин «Химия» в приблизительно современном произношении «Химейя» — использовал греческий философ естествоиспытатель Зосима Панополитанский, родившийся в египетском городе Панополисе во второй половине IV века.





# ХИМИЯ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

*на арабском Востоке впервые появился термин «Алхимия»; цель алхимиков заключалась, главным образом, в создании «Философского камня», способного все металлы превращать в золото; в основе этого лежал практический заказ: золото в Европе было необходимо для торговли, а месторождений было мало; и создание эликсира бессмертия, панацеи способной вылечить любую болезнь; в это время открыты многие химические элементы и лабораторно получены вещества;*

*научные открытия XVI–XVIII в.в. определили становление естествознания; работы Галилея, Кеплера, Декарта, Ломоносова и др. заложили основы механистической научной картины мира на базе экспериментально-математического естествознания; фундаментальными понятиями этой картины мира стали: материя, движение, пространство, время, энергия; работы английских учёных: Роберта Бойля (1627-1691), Роберта Гука (1635-1703), Исаака Ньютона (1643-1727); это время в развитии науки и общества принято называть — **первой научной революцией**.*



# ХИМИЯ НОВОГО ВРЕМЕНИ

период конца XVIII в. и начала XIX в. ознаменован **революцией в химии** в связи с открытиями французских химиков: Антуана Лорана Лавуазье (1743-1794) — закон сохранения массы и элементов, кислородная теория горения и дыхания; Клода Луи Бертолле (1748-1822) — закон химического сродства и действия масс; Жозефа Луи Пруста (1754-1826) — закон постоянства состава; английского химика Джона Дальтона (1766-1844) — атомная теория строения и химическая символика;

в конце XVIII в. — первой половине XIX в. произошёл переход от классической науки, ориентированной на изучение механических явлений, к дисциплинарно организованной науке — **вторая научная революция**, которая привела к провозглашению принципа всеобщей связи явлений и процессов, существующих в природе; учёные открыли закон сохранения энергии и доказали клеточную теорию строения организмов; естествознание стало сутью научной революции, позволившей по-новому понять физическую реальность.

JOHN DALTON



*John Dalton F.R.S.*



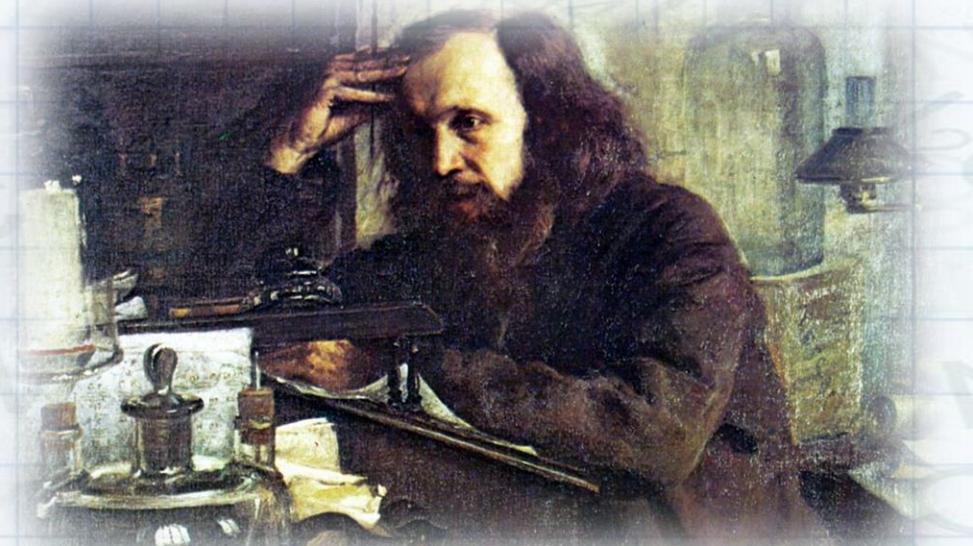


# НАУКА ХИМИЯ

*шведский химик Йёнс Якоб Берцелиус (1779-1848) — ввёл современную химическую нотацию и предложил химическую классификацию минералов; основатель органической химии;*

*русский химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834-1907) — создатель периодической системы химических элементов; русский химик Александр Михайлович Бутлеров (1828-1886) — автор теории химического строения;*

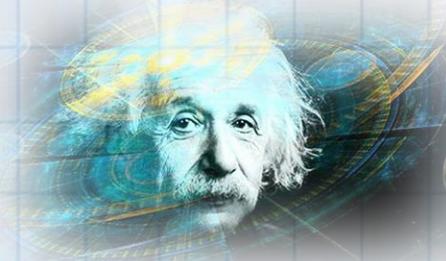
*латышский химик Вильгельм Фридрих Оствальд (1853-1932) — автор концепции энергетизма в онтологии; нидерландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф (1852-1911) — один из основателей стереохимии и физической химии.*



# СОВРЕМЕННАЯ ХИМИЯ

период конца XIX в. до середины XX в. характеризуется появлением неклассического естествознания — **третья глобальная научная революция**; специфика микромира потребовала переосмысления классических норм и идеалов научного познания, связанных с появлением теории относительности Альберта Эйнштейна (1879-1955), т.е. релятивистской теории пространства, времени и гравитации;

в основе **четвёртой глобальной научной революции** лежит синтез общей теории относительности с квантовыми представлениями о строении материи в единую физическую теорию наподобие единой теории фундаментальных физических взаимодействий; фундаментом этой теории стало определение самоорганизующихся систем; такие объекты начинают определять и характер предметных областей основных фундаментальных наук, детерминируя облик постнеклассической науки; среди самоорганизующихся систем важное место занимают природные комплексы, в которые в качестве компонента входит сам человек; внутренняя этика науки, стимулирующая поиск истины и ориентацию на приращение нового знания, постоянно соотносится в этих условиях с общегуманистическими принципами и ценностями.





www.lyaminchemistry.ucoz.ru

**МАТЕРИЯ**

вторник, 13 августа 2024 г.

*философское воззрение, в соответствии с которым материя является онтологически первичным началом, а идеальное — понятия, дух и т.п. — вторичным;*

*материализм утверждает существование единственной «абсолютной» субстанции бытия — материи, т.е. все сущности образованы материей, а идеальные явления, в т.ч. сознание, — являются процессами взаимодействия материальных сущностей;*

*законы материального мира распространяются на весь мир; материализм конца XX и начала XXI в. представлен философским направлением «онтологической философии», лидером которого является американский философ Барри Смит*

*термин «материализм» был введён Готфридом Лейбницем; словом «материалисты» он характеризовал своих идейных противников*





# ДИАЛЕКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛИЗМ

*от древнегреческого  $\delta\iota\alpha\lambda\epsilon\kappa\tau\iota\kappa\acute{\eta}$  — искусство вести спор, рассуждение*  
**направление в философии, материалистически интерпретированная диалектика Гегеля, утверждающее первичность материи и постулирующее три основных закона её движения и развития во времени:**

- закон единства и борьбы противоположностей;
- закон перехода количественных изменений в качественные;
- закон отрицания отрицания;

**согласно диалектическому материализму:**

- материя — единственная основа мира;
- мышление — неотъемлемое свойство материи;
- движение и развитие мира — результат преодоления его внутренних противоречий





# ДИАЛЕКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛИЗМ

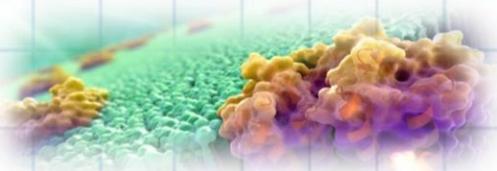
*диалектический материализм стремится к творческому соединению в едином целостном учении всех достижений философского материализма и диалектики как метода познания и преобразования действительности;*

*он отличается от всех предшествующих форм материализма тем, что распространяет принципы философского материализма на понимание развития и функционирования общества,*

*тем самым материализм впервые достраивается доверху, охватывая не только отношения природы и мышления, но и все формы общественной деятельности, материальное и духовное производство;*



*методологическая функция заключается в целостном миропонимании и обосновывает систему норм, стандартов и правил познавательной и предметно-практической деятельности в современных условиях в целях наиболее эффективного и адекватного познания мира*



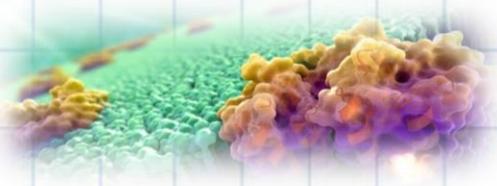
# МАТЕРИЯ

*от латинского materialis – вещественный*

**философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них;**

**МАТЕРИЯ — ВЕЧНА!**

**Атрибутами материи, всеобщими формами её бытия являются движение, пространство и время, которые не существуют вне материи; так же не может быть и материальных объектов, которые не обладали бы пространственно-временными свойствами**



# КАТЕГОРИИ МАТЕРИИ

гравитационное

электромагнитное

сильное

слабое

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

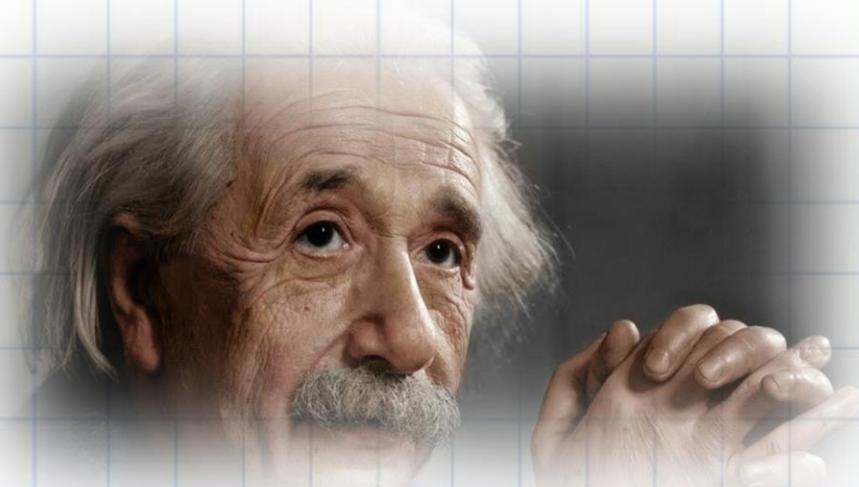


# ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

**ПРОСТРАНСТВО** — форма существования материи, выражающая порядок расположения одновременно сосуществующих объектов;

**ВРЕМЯ** — форма существования материи, выражающая порядок изменения объектов и явлений действительности;

*время необратимо, т.е. любой материальный процесс развивается в одном направлении — от прошлого к будущему; время и пространство существуют не сами по себе в отрыве от материи, а находятся в такой универсальной взаимосвязи, в которой они теряют самостоятельность и выступают как стороны единого и многообразного целого;*



*Альберт Эйнштейн, Германия  
специальная теория относительности 1905 г.,  
Нобелевская премия по физике 1921 г.*



**совокупность всех форм существования материи; Вселенная во всём её многообразии:**

**МЕГА...**, от греческого μέγας – большой: пространственная протяжённость — за границами Солнечной системы; основные типы взаимодействия — гравитационное и тёмная энергия; основные структурные уровни материи — звёзды, межзвёздная материя, галактики, квазары, чёрные дыры, тёмная материя, тёмная энергия; описывается законами общей теории относительности;

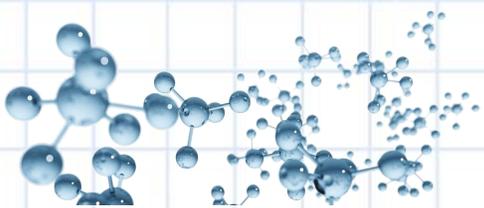
**МАКРО...**, от греческого μακρός – длинный: пространственная протяжённость от размера молекулы до размеров Солнечной системы; основные типы взаимодействия — электромагнитное и гравитационное; основные структурные уровни материи — макромолекулы, макрополя, совокупности от  $10^{18}$  частиц, планеты солнечной системы и их спутники; описывается законами классической механики и при высоких скоростях — законами теории относительности;

**МИКРО...**, от греческого μικρός – малый: пространственная протяжённость от размера ядра атома до размера мелких вирусов; основные типы взаимодействия — электромагнитное, сильное, слабое; основные структурные уровни материи — атомы, ионы, ядра атомов, элементарные частицы; описывается законами квантовой механики



# СТРУКТУРА ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Область пространства	Протяжённость области, м	Объекты, структурные единицы деления материи	Размеры объекта, м	Состав объекта	Движение внутри объекта составляющих его частей
мегамир	$10^{20} - 10^{25}$	галактики	$> 10^{20}$	звёзды	звёзд
		планетные системы звёзд	$10^{13}$	планеты	планет
макромир	$10^{-4} - 10^{20}$	планеты и окружающие нас тела	$10^{-4} - 10^6$	молекулы, атомы и ионы	молекул, атомов и ионов
		молекулы и атомы	$10^{-10} - 10^{-6}$	ядра и электроны	электронов и ядер
микромир	$10^{-18} - 10^{-4}$	ядра атомов	$10^{-15}$	нуклоны	нуклонов
		элементарные частицы	$< 10^{-15}$	—	элементарных частиц



# ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИИ

***важнейший атрибут, способ существования материи, её коренное свойство;***

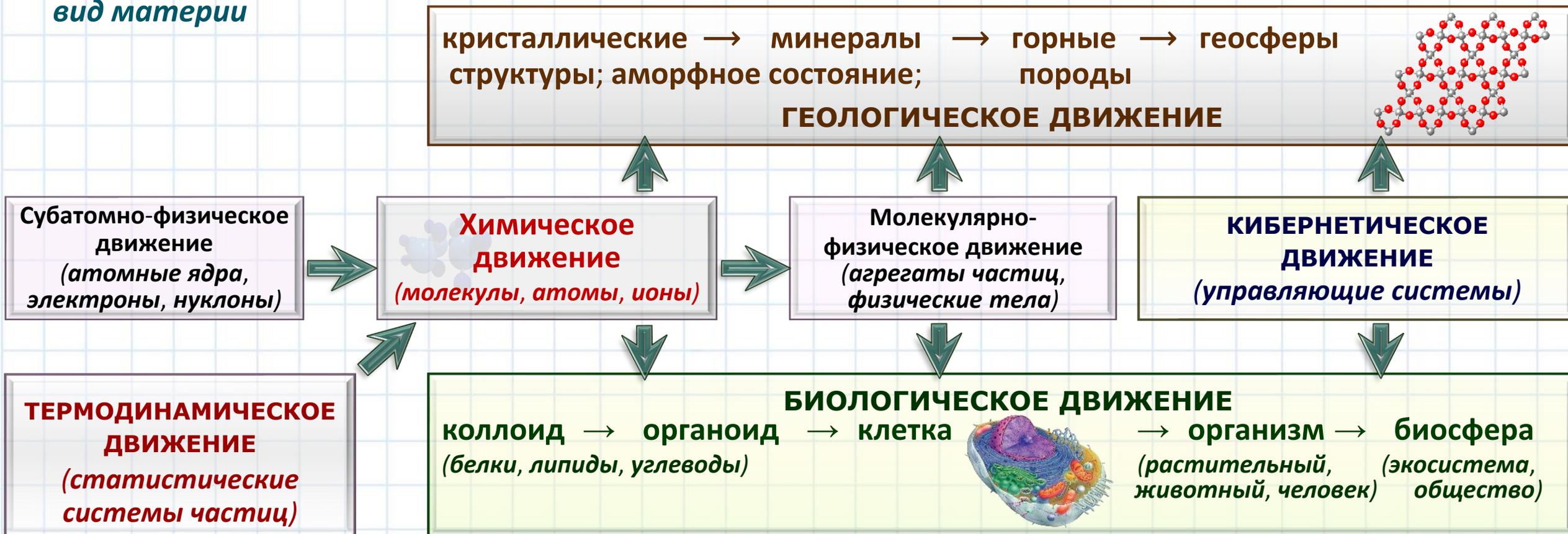
- ✓ ***в самом общем виде движение это изменение вообще, любое взаимодействие материальных объектов и смена их состояний;***
- ✓ ***движение включает в себя все процессы, происходящие в природе и обществе;***
- ✓ ***в мире нет движения без материи, как и не может быть материи без движения***
- ✓ ***движение материи абсолютно, тогда как всякий покой относителен и представляет собой один из моментов движения***





# МАТЕРИАЛЬНЫЙ НОСИТЕЛЬ

**совокупность структурных элементов, взаимодействие которых определяет форму движения материи: определённому виду материи отвечает своя особая форма движения и, наоборот, определённой форме движения соответствует свой особый материальный носитель — вид материи**





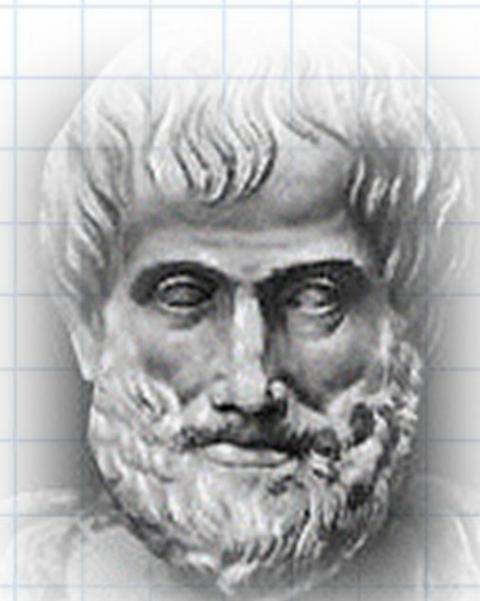
от древнегреческого *ἐνέργεια* – действие, деятельность, сила, мощь

**общая количественная мера различных форм движения материи,  $E$  Дж;**

термин впервые появился в работах Аристотеля, а в науку ввёл в 1807 г. Томас Юнг, часто, Янг, *англ. Thomas Young*; 13.06.1773, Милвертон, графство Сомерсет — 10.05.1829, Лондон — английский физик, механик, врач, астроном и востоковед, один из создателей волновой теории света;

в СИ энергия обозначается  $E$ , измеряется в Дж  
и имеет размерность:  $ML^2T^{-2}$ , равную:

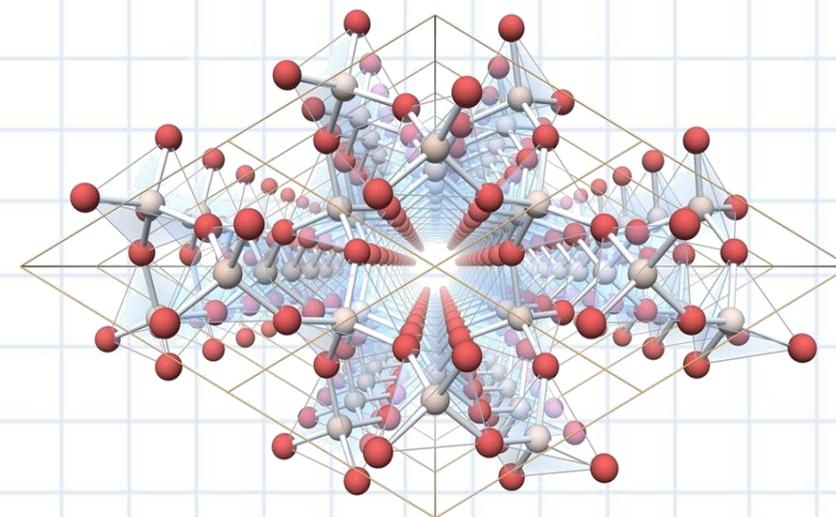
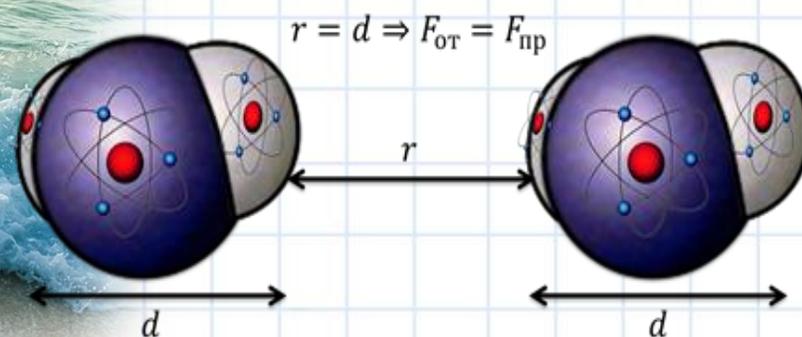
- силе умноженной на длину:  $E = F \cdot l$
- давлению умноженному на объём:  $E = p \cdot V$
- импульсу умноженному на скорость:  $E = p \cdot v$
- массе умноженной на квадрат скорости:  $E = m \cdot v^2$
- заряду умноженному на напряжение:  $E = q \cdot U$
- мощности умноженной на время:  $E = N \cdot \tau$



*материальное образование, частицы которого обладают массой покоя и характеризуются внутренней энергией:*

$$E_0 = m_0 c^2; \quad \Delta E = \Delta m c^2$$

где:  $m_0$  – масса покоя, собственная масса тела, Кг;  $c$  – скорость света,  $3 \times 10^8$  м·с<sup>-1</sup>



*масса,  $m$ , Кг — мера гравитационного взаимодействия и инертности тел; при этом масса не переходит в энергию или энергия в массу, а определённой массе соответствует эквивалентный запас внутренней энергии!*

# СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

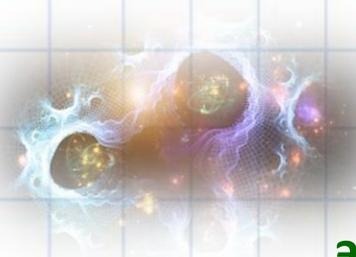


**первая теория строения вещества, дошедшая до нас, была создана древнегреческими философами примерно в V – IV в.в. до н.э.;**

**в V в. до н. э. древнегреческим учёным Левкиппом и его учеником из города Абдера Демокритом была выдвинута атомистическая гипотеза, в соответствии с которой всё в мире состоит из атомов, от древнегреческого ἄτομος – неделимый, различающихся своей формой, порядком и ориентацией в теле, а между атомами пустота;**

**через несколько десятилетий после смерти Демокрита атомизм был подвергнут серьёзной критике со стороны Аристотеля из Стагиры; согласно Аристотелю, основу мира составляет некая первичная непрерывная материя, в которой не существует ни атомов, ни пустоты; первичная материя может принимать форму какой-либо из четырёх стихий — огня, воздуха, воды или земли; впоследствии Католическая церковь превратила учение Аристотеля в догму;**

**взгляды Демокрита вновь стали распространяться в Европе в эпоху Возрождения в XIII и XIV в.в., но учебник Иоганна Шперлинга «Наставления физики», с утверждением: «Учение об атомах не столь ужасно, как это кажется многим... Ничего не стоит сказать, что Эпикур бредил, что Демокрит безумствовал, что древние были дураки», появился только в 1638 г.**



# СУБАТОМНЫЕ ЧАСТИЦЫ

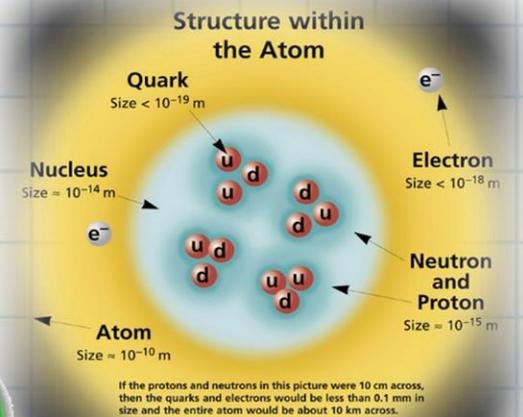
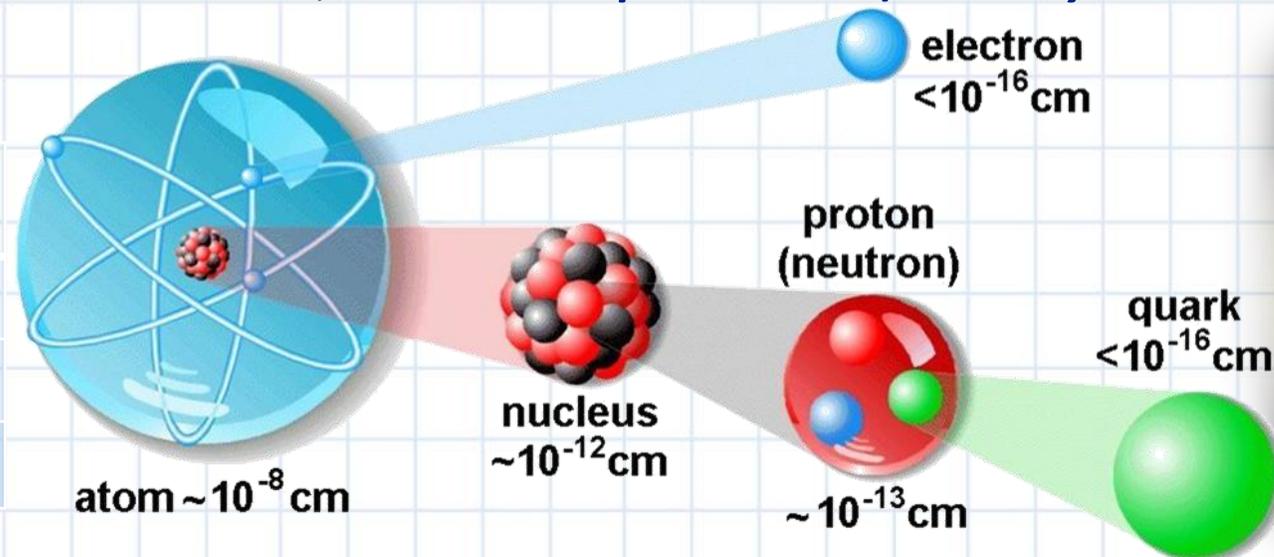
**электрон,  $e$ ;  $e^-$** , от греческого ἤλεκτρον – янтарь — **стабильная элементарная частица, имеющая массу покоя  $9,109534 \times 10^{-31}$  кг и несущая элементарный отрицательный заряд**

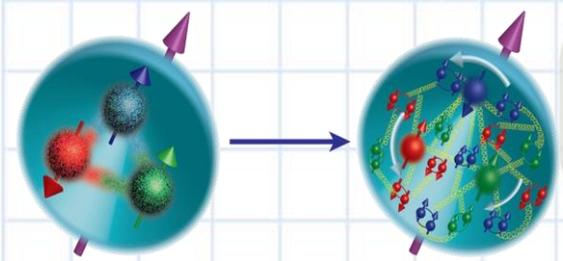
$1,6021892 \times 10^{-19}$  Кл;

**протон,  $p$** , от греческого πρῶτος – первый — **стабильная элементарная частица, являющаяся составной частью ядер атомов всех химических элементов, обладает массой покоя  $1,672 \times 10^{-27}$  кг и элементарным положительным электрическим зарядом  $1,6021892 \times 10^{-19}$  Кл;**

**нейтрон,  $n$** , от английского neutron, от латинского neuter – ни тот, ни другой — **электрически нейтральная элементарная частица с массой покоя, несколько превышающей массу покоя протона  $1,675 \times 10^{-27}$  кг**

название	Масса Da	Заряд у.е.
Электрон ${}_{-1}^0e$	$\cong 0$	-1
Протон ${}_{1}^1p$	$\cong 1$	1
Нейтрон ${}_{0}^1n$	$\cong 1$	0





**барионы — нейтроны и протоны;**

**образуют ядро и называются нуклонами, от латинского *nucleus* – ядро;**

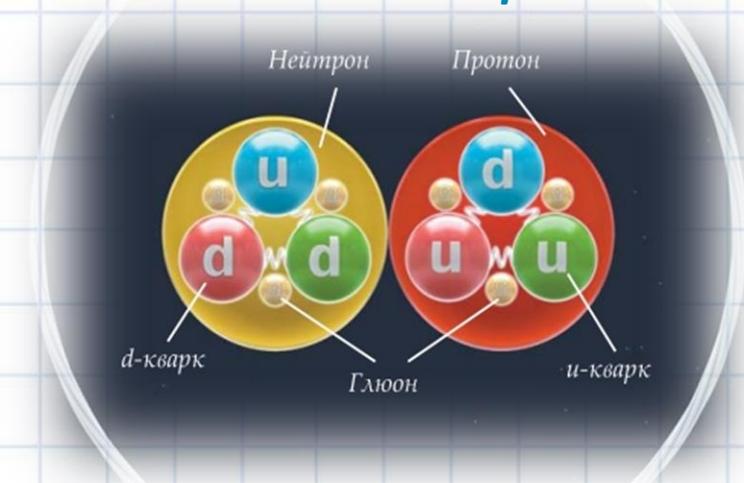
**масса нейтрона, равно как и протона, примерно в 1840 раз превосходит массу электрона, поэтому практически вся атомная масса сосредоточена в ядре.**

**ядерные силы — силы, удерживающие нуклоны в ядре; по своей величине ядерные силы огромны и значительно превосходят силы взаимного отталкивания протонов; в силу большой величины ядерных сил плотность ядерного вещества огромна и составляет величину порядка  $10^{17}$  кг·м<sup>-3</sup>; шар диаметром 0,5 км, состоящий из ядерного вещества, имел бы массу равную массе нашей планеты;**

**нуклид — ядро конкретной частицы, характеризуется определённым количеством нейтронов и протонов — массовым числом;**

**радиоактивный нуклид называют — радионуклидом;**  
**не следует путать понятия — нуклид и изотоп!**

**изотопы, от греческого *ισος* – равный, одинаковый и *τόπος* – место — разновидность одноядерных частиц, характеризующихся одинаковым зарядом ядра и разным массовым числом**

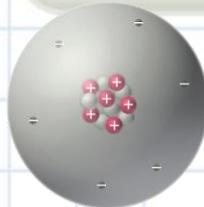




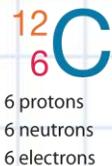
# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **период** — горизонтально расположенная последовательность элементов;
- **группа** — вертикально расположенная последовательность элементов;
- **подгруппа** — часть группы элементов

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																	
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	B	VIII				A					
1	1	<b>H</b> 1,01 ВОДОРОД															<b>(H)</b>	 <b>МЕНДЕЛЕЕВ</b> Дмитрий Иванович (08.02.1834–02.02.1907) Русский ученый-энциклопедист. В 1869–1871 гг. изложил основы учения о периодичности, открыл периодический закон и разработал периодическую систему химических элементов. На основе системы впервые предсказал (1870) существование и свойства нескольких ещё не открытых элементов.	<b>He</b> 4,00 ГЕЛИЙ
2	2	<b>Li</b> 6,94 ЛИТИЙ	<b>Be</b> 9,01 БЕРИЛЛИЙ	<b>B</b> 10,81 БОР	<b>C</b> 12,01 УГЛЕРОД	<b>N</b> 14,01 АЗОТ	<b>O</b> 16,00 КИСЛОРОД	<b>F</b> 19,00 ФТОР										<b>Ne</b> 20,18 НЕОН	
3	3	<b>Na</b> 22,99 НАТРИЙ	<b>Mg</b> 24,31 МАГНИЙ	<b>Al</b> 26,98 АЛЮМИНИЙ	<b>Si</b> 28,09 КРЕМНИЙ	<b>P</b> 30,97 ФОСФОР	<b>S</b> 32,06 СЕРА	<b>Cl</b> 35,45 ХЛОР										<b>Ar</b> 39,95 АРГОН	
4	4	<b>K</b> 39,10 КАЛИЙ	<b>Ca</b> 40,08 КАЛЬЦИЙ	21 44,96 СКАНДИЙ	<b>Sc</b>	22 47,90 ТИТАН	<b>Ti</b>	23 50,94 ВАНАДИЙ	<b>V</b>	24 52,00 ХРОМ	<b>Cr</b>	25 54,94 МАРТАНЕЦ	<b>Mn</b>	26 55,85 ЖЕЛЕЗО	<b>Fe</b>	27 58,93 КОБАЛЬТ	28 58,69 НИКЕЛЬ	<b>Ni</b>	
	5	29 63,55 МЕДЬ	<b>Cu</b>	30 65,39 ЦИНК	<b>Zn</b>	31 69,72 ГАЛЛИЙ	<b>Ga</b>	32 72,59 ГЕРМАНИЙ	<b>Ge</b>	33 74,92 МЫШЬЯК	<b>As</b>	34 78,96 СЕЛЕН	<b>Se</b>	35 79,90 БРОМ	<b>Br</b>				<b>Kr</b> 83,80 КРИПТОН
5	6	<b>Rb</b> 85,47 РУБИДИЙ	<b>Sr</b> 87,62 СТРОНЦИЙ	39 88,91 ИТРИЙ	<b>Y</b>	40 91,22 ЦИРКОНИЙ	<b>Zr</b>	41 92,91 НИОБИЙ	<b>Nb</b>	42 95,96 МОЛИБДЕН	<b>Mo</b>	43 97,91 ТЕХНЕЦИЙ	<b>Tc</b>	44 101,07 РУТЕНИЙ	<b>Ru</b>	45 102,91 РОДИЙ	46 106,42 ПАЛЛАДИЙ	<b>Pd</b>	
	7	47 107,87 СЕРЕБРО	<b>Ag</b>	48 112,41 КАДМИЙ	<b>Cd</b>	49 114,82 ИНДИЙ	<b>In</b>	50 118,71 ОЛОВО	<b>Sn</b>	51 121,76 СУРЬМА	<b>Sb</b>	52 127,60 ТЕЛЛУР	<b>Te</b>	53 126,90 ЙОД	<b>I</b>				<b>Xe</b> 131,30 КСЕНОН
6	8	<b>Cs</b> 132,91 ЦЕЗИЙ	<b>Ba</b> 137,33 БАРИЙ	57 138,91 ЛАНТАН	<b>La*</b>	72 178,49 ГАФНИЙ	<b>Hf</b>	73 180,95 ТАНТАЛ	<b>Ta</b>	74 183,84 ВОЛЬФРАМ	<b>W</b>	75 186,21 РЕНИЙ	<b>Re</b>	76 190,2 ОСМИЙ	<b>Os</b>	77 192,22 ИРИДИЙ	78 195,08 ПЛАТИНА	<b>Pt</b>	
	9	79 196,97 ЗОЛОТО	<b>Au</b>	80 200,59 РУТУТЬ	<b>Hg</b>	81 204,38 ТАЛЛИЙ	<b>Tl</b>	82 207,20 СВИНЕЦ	<b>Pb</b>	83 208,98 ВИСМУТ	<b>Bi</b>	84 [209] ПОЛОНИЙ	<b>Po</b>	85 [210] АСТАТ	<b>At</b>				<b>Rn</b> [222] РАДОН
7	10	<b>Fr</b> [223] ФРАНЦИЙ	<b>Ra</b> [226] РАДИЙ	89 [227] АКТИНИЙ	<b>Ac**</b>	104 [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	<b>Rf</b>	105 [262] ДУБИНИЙ	<b>Db</b>	106 [263] СИБЕРГОИЙ	<b>Sg</b>	107 [262] БОРИЙ	<b>Bh</b>	108 [265] ХАССИЙ	<b>Hs</b>	109 [266] МЕЙТНЕРИЙ	110 [271] ДАРМШТАДИЙ	<b>Ds</b>	
	11	111 [272] РЕНТГЕНИЙ	<b>Rg</b>	112 [285] КОПЕРНИЦИЙ	<b>Cn</b>	113 [284] НИХОНИЙ	<b>Nh</b>	114 [289] ФЛЕРОВИЙ	<b>Fl</b>	115 [288] МОСКОВИЙ	<b>Mc</b>	116 [292] ЛИВЕРМОРИЙ	<b>Lv</b>	117 [294] ТЕННЕСИЙ	<b>Ts</b>				<b>Og</b> [294] ОГАНЕСОН
<b>ВЫШНИЕ ОКСИДЫ</b>		R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>			
<b>ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ</b>						RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR							
<b>*ЛАНТАНОИДЫ</b>		<b>Ce</b> 58 140,12 ЦЕРИЙ	<b>Pr</b> 59 140,91 ПРАЗЕОДИМ	<b>Nd</b> 60 144,24 НЕОДИМ	<b>Pm</b> 61 [144,91] ПРОМЕТИЙ	<b>Sm</b> 62 150,36 САМАРИЙ	<b>Eu</b> 63 151,96 ЕВРОПИЙ	<b>Gd</b> 64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	<b>Tb</b> 65 158,93 ТЕРБИЙ	<b>Dy</b> 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	<b>Ho</b> 67 164,93 ГОЛЬМИЙ	<b>Er</b> 68 167,26 ЭРБИЙ	<b>Tm</b> 69 168,93 ТУЛИЙ	<b>Yb</b> 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	<b>Lu</b> 71 174,97 ЛЮТЕЦИЙ				
<b>**АКТИНОИДЫ</b>		<b>Th</b> 90 232,04 ТОРИЙ	<b>Pa</b> 91 231,04 ПРОТАКТИНИЙ	<b>U</b> 92 238,03 УРАН	<b>Np</b> 93 [237] НЕПТУНИЙ	<b>Pu</b> 94 [244] ПЛУТОНИЙ	<b>Am</b> 95 [243] АМЕРИЦИЙ	<b>Cm</b> 96 [247] КЮРИЙ	<b>Bk</b> 97 [247] БЕРКЛИЙ	<b>Cf</b> 98 [251] КАЛИФОРНИЙ	<b>Es</b> 99 [252] ЭЙНШТЕЙНИЙ	<b>Fm</b> 100 [257,1] ФЕРМИЙ	<b>Md</b> 101 [258,1] МЕНДЕЛЕВИЙ	<b>No</b> 102 [259,1] НОБЕЛИЙ	<b>Lr</b> 103 [260,1] ЛОУРЕНСИЙ				



**Mass number**  
Number of protons  
and neutrons in atom

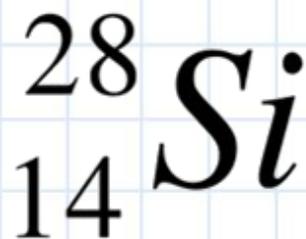


*nuclide notation*



**Atomic symbol**  
Abbreviation used  
to represent atom  
in chemical  
formulas

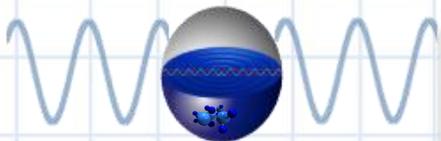
**Atomic number**  
Number of protons  
in atom



**ядро кремния,**  
*в состав которого*  
*входят 14 протонов и*  
*14 нейтронов (28–14)*

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																					
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	B	VIII	A												
1	1	<b>H</b> 1,01 ВОДОРОД																				<b>He</b> 4,00 ГЕЛИЙ	
2	2	<b>Li</b> 6,94 ЛИТИЙ	<b>Be</b> 9,01 БЕРИЛЛИЙ	<b>B</b> 10,81 БОР	<b>C</b> 12,01 УГЛЕРОД	<b>N</b> 14,01 АЗОТ	<b>O</b> 16,00 КИСЛОРОД	<b>F</b> 19,00 ФТОР														<b>Ne</b> 20,18 НЕОН	
3	3	<b>Na</b> 22,99 НАТРИЙ	<b>Mg</b> 24,31 МАГНИЙ	<b>Al</b> 26,98 АЛЮМИНИЙ	<b>Si</b> 28,09 КРЕМНИЙ	<b>P</b> 30,97 ФОСФОР	<b>S</b> 32,06 СЕРА	<b>Cl</b> 35,45 ХЛОР														<b>Ar</b> 39,95 АРГОН	
4	4	<b>K</b> 39,10 КАЛИЙ	<b>Ca</b> 40,08 КАЛЬЦИЙ	21 44,96 КАЛЬЦИЙ	<b>Sc</b> 44,96 СКАНДИЙ	22 47,90 ТИТАН	<b>Ti</b> 47,90 ТИТАН	23 50,94 ВАНАДИЙ	<b>V</b> 50,94 ВАНАДИЙ	24 52,00 ХРОМ	<b>Cr</b> 52,00 ХРОМ	25 54,94 МАРГАНЕЦ	<b>Mn</b> 54,94 МАРГАНЕЦ	26 55,85 ЖЕЛЕЗО	<b>Fe</b> 55,85 ЖЕЛЕЗО	27 58,93 КОБАЛЬТ	<b>Co</b> 58,93 КОБАЛЬТ	28 58,69 НИКЕЛЬ	<b>Ni</b> 58,69 НИКЕЛЬ				
	5	29 63,55 МЕДЬ	<b>Cu</b> 63,55 МЕДЬ	30 65,39 ЦИНК	<b>Zn</b> 65,39 ЦИНК	31 69,72 ГАЛЛИЙ	<b>Ga</b> 69,72 ГАЛЛИЙ	32 72,59 ГЕРМАНИЙ	<b>Ge</b> 72,59 ГЕРМАНИЙ	33 74,92 МЫШЬЯК	<b>As</b> 74,92 МЫШЬЯК	34 78,96 СЕЛЕН	<b>Se</b> 78,96 СЕЛЕН	35 79,90 БРОМ	<b>Br</b> 79,90 БРОМ								<b>Kr</b> 83,80 КРИПТОН
5	6	37 85,47 РУБИДИЙ	<b>Rb</b> 85,47 РУБИДИЙ	38 87,62 СТРОНЦИЙ	<b>Sr</b> 87,62 СТРОНЦИЙ	39 88,91 ИТРИЙ	<b>Y</b> 88,91 ИТРИЙ	40 91,22 ЦИРКОНИЙ	<b>Zr</b> 91,22 ЦИРКОНИЙ	41 92,91 НИОБИЙ	<b>Nb</b> 92,91 НИОБИЙ	42 95,96 МОЛИБДЕН	<b>Mo</b> 95,96 МОЛИБДЕН	43 97,91 ТЕХНЕЦИЙ	<b>Tc</b> 97,91 ТЕХНЕЦИЙ	44 101,07 РУТЕНИЙ	<b>Ru</b> 101,07 РУТЕНИЙ	45 102,91 РОДИЙ	<b>Rh</b> 102,91 РОДИЙ	46 106,42 ПАЛЛАДИЙ	<b>Pd</b> 106,42 ПАЛЛАДИЙ		
	7	47 107,87 СЕРЕБРО	<b>Ag</b> 107,87 СЕРЕБРО	48 112,41 КАДМИЙ	<b>Cd</b> 112,41 КАДМИЙ	49 114,82 ИНДИЙ	<b>In</b> 114,82 ИНДИЙ	50 118,71 ОЛОВО	<b>Sn</b> 118,71 ОЛОВО	51 121,76 СУРЬМА	<b>Sb</b> 121,76 СУРЬМА	52 127,60 ТЕЛЛУР	<b>Te</b> 127,60 ТЕЛЛУР	53 126,90 ЙОД	<b>I</b> 126,90 ЙОД								<b>Xe</b> 131,30 КСЕНОН
6	8	55 132,91 ЦЕЗИЙ	<b>Cs</b> 132,91 ЦЕЗИЙ	56 137,33 БАРИЙ	<b>Ba</b> 137,33 БАРИЙ	57 138,91 ЛАНТАН	<b>La*</b> 138,91 ЛАНТАН	72 178,49 ГАФНИЙ	<b>Hf</b> 178,49 ГАФНИЙ	73 180,95 ТАНТАЛ	<b>Ta</b> 180,95 ТАНТАЛ	74 183,84 ВОЛЬФРАМ	<b>W</b> 183,84 ВОЛЬФРАМ	75 186,21 РЕНИЙ	<b>Re</b> 186,21 РЕНИЙ	76 190,2 ОСМИЙ	<b>Os</b> 190,2 ОСМИЙ	77 192,22 ИРИДИЙ	<b>Ir</b> 192,22 ИРИДИЙ	78 195,08 ПЛАТИНА	<b>Pt</b> 195,08 ПЛАТИНА		
	9	79 196,97 ЗОЛОТО	<b>Au</b> 196,97 ЗОЛОТО	80 200,59 РУТУТЬ	<b>Hg</b> 200,59 РУТУТЬ	81 204,38 ТАЛЛИЙ	<b>Tl</b> 204,38 ТАЛЛИЙ	82 207,20 СВИНЕЦ	<b>Pb</b> 207,20 СВИНЕЦ	83 208,98 ВИСМУТ	<b>Bi</b> 208,98 ВИСМУТ	84 [209] ПОЛОНИЙ	<b>Po</b> [209] ПОЛОНИЙ	85 [210] АСТАТ	<b>At</b> [210] АСТАТ								<b>Rn</b> [222] РАДОН
7	10	87 [223] ФРАНЦИЙ	<b>Fr</b> [223] ФРАНЦИЙ	88 [226] РАДИЙ	<b>Ra</b> [226] РАДИЙ	89 [227] АКТИНИЙ	<b>Ac**</b> [227] АКТИНИЙ	104 [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	<b>Rf</b> [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	105 [262] ДУБИНИЙ	<b>Db</b> [262] ДУБИНИЙ	106 [263] СИБОРГИЙ	<b>Sg</b> [263] СИБОРГИЙ	107 [262] БОРИЙ	<b>Bh</b> [262] БОРИЙ	108 [265] ХАССИЙ	<b>Hs</b> [265] ХАССИЙ	109 [266] МЕЙТТЕРИЙ	<b>Mt</b> [266] МЕЙТТЕРИЙ	110 [271] ДАРМШТАДТИЙ	<b>Ds</b> [271] ДАРМШТАДТИЙ		
	11	111 [272] РЕНТГЕНИЙ	<b>Rg</b> [272] РЕНТГЕНИЙ	112 [285] КОПЕРНИЦИЙ	<b>Cn</b> [285] КОПЕРНИЦИЙ	113 [284] НИХОНИЙ	<b>Nh</b> [284] НИХОНИЙ	114 [289] ФЛЕРОВИЙ	<b>Fl</b> [289] ФЛЕРОВИЙ	115 [288] МОСКОВИЙ	<b>Mc</b> [288] МОСКОВИЙ	116 [292] ЛИВЕРМОРИЙ	<b>Lv</b> [292] ЛИВЕРМОРИЙ	117 [294] ТЕННЕСИЙ	<b>Ts</b> [294] ТЕННЕСИЙ								<b>Og</b> [294] ОГАНЕСОН
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>							
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ								RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR									
*ЛАНТАНОИДЫ		<b>Ce</b> 58 140,12 ЦЕРИЙ	<b>Pr</b> 59 140,91 ПРАЗЕОДИМ	<b>Nd</b> 60 144,24 НЕОДИМ	<b>Pm</b> 61 [144,91] ПРОМЕТИЙ	<b>Sm</b> 62 150,36 САМАРИЙ	<b>Eu</b> 63 151,96 ЕВРОПИЙ	<b>Gd</b> 64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	<b>Tb</b> 65 158,93 ТЕРБИЙ	<b>Dy</b> 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	<b>Ho</b> 67 164,93 ГОЛЬМИЙ	<b>Er</b> 68 167,26 ЭРБИЙ	<b>Tm</b> 69 168,93 ТУЛИЙ	<b>Yb</b> 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	<b>Lu</b> 71 174,97 ЛЮТЕЦИЙ								
**АКТИНОИДЫ		<b>Th</b> 90 232,04 ТОРИЙ	<b>Pa</b> 91 231,04 ПРОТАКТИНИЙ	<b>U</b> 92 238,03 УРАН	<b>Np</b> 93 [237] НЕПТУНИЙ	<b>Pu</b> 94 [244] ПЛУТОНИЙ	<b>Am</b> 95 [243] АМЕРИЦИЙ	<b>Cm</b> 96 [247] КЮРИЙ	<b>Bk</b> 97 [247] БЕРКЛИЙ	<b>Cf</b> 98 [251] КАЛИФОРНИЙ	<b>Es</b> 99 [252] ЭЙНШТЕЙНИЙ	<b>Fm</b> 100 [257,1] ФЕРМИЙ	<b>Md</b> 101 [258,1] МЕНДЕЛЕВИЙ	<b>No</b> 102 [259,1] НОБЕЛИЙ	<b>Lr</b> 103 [260,1] ЛОУРЕНСИЙ								

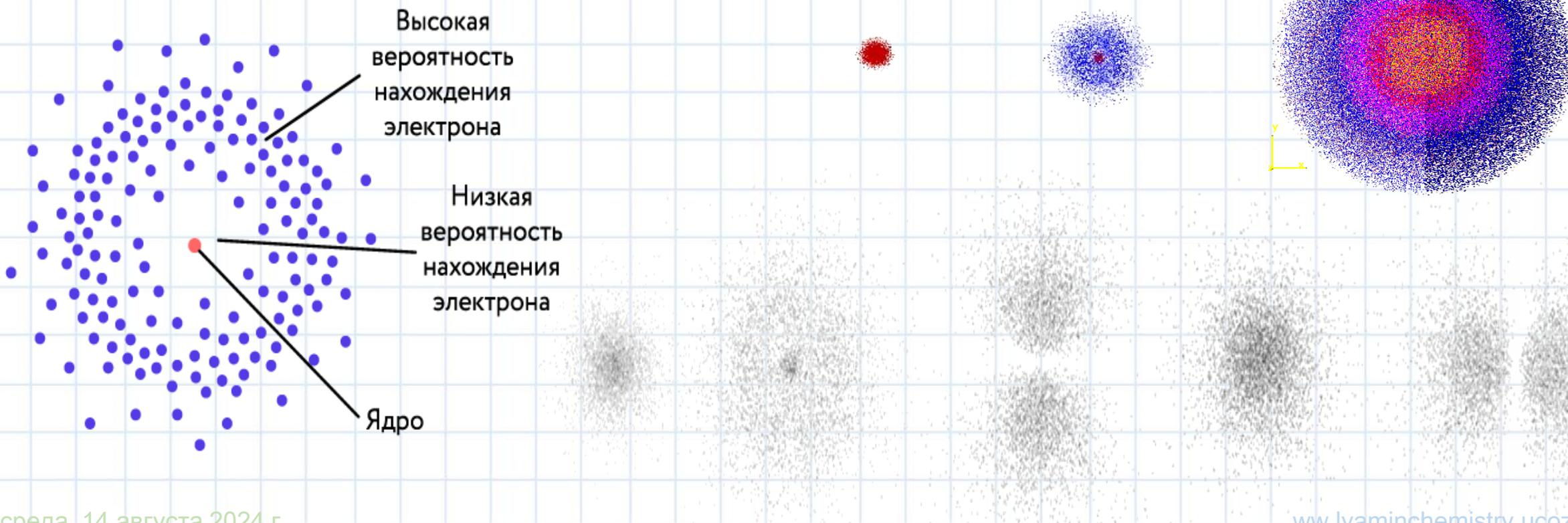
$$E=mc^2$$



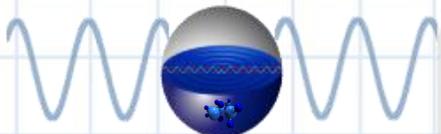
Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_r$ )

# ЭЛЕКТРОННАЯ ОРБИТАЛЬ

**функция описания энергии электрона, формы и расположения электронного облака; поверхность, охватывающая ядро атома, за пределами которой вероятность пребывания электрона исчезающе мала, называется граничной поверхностью электронного облака:**



$E=mc^2$

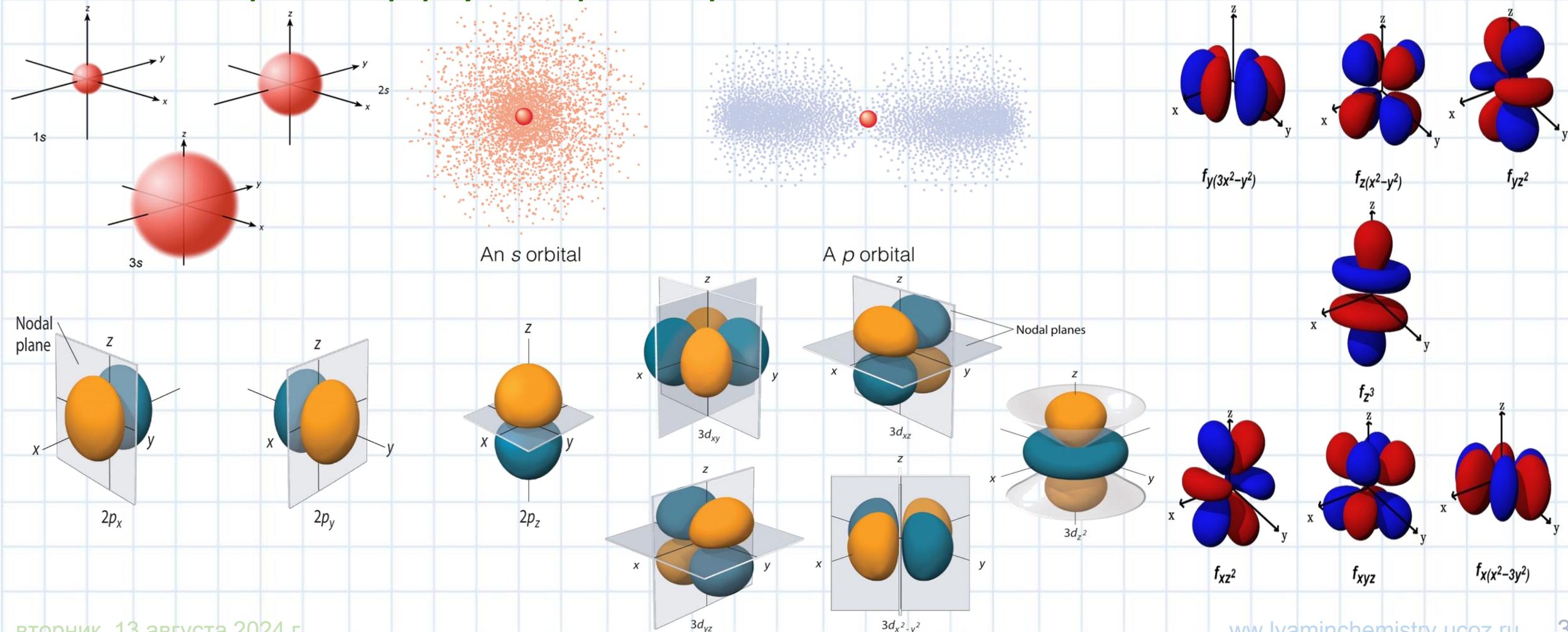


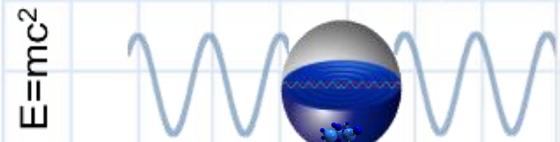
Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_L$ )

# ФОРМА ЭЛЕКТРОННОЙ ОРБИТАЛИ

Mass-Energy Equivalence  $V = 0$

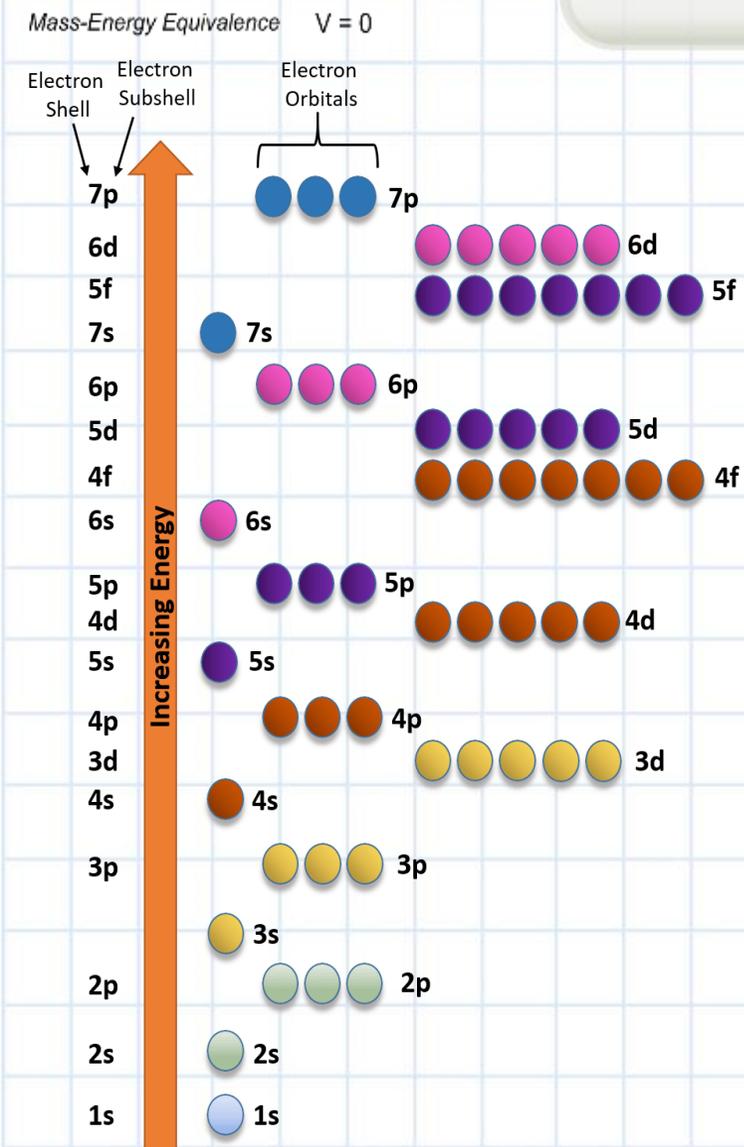
**границная поверхность электронного облака охватывает более 90 % заряда электрона и отражает форму электронной орбитали:**





Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_1$ )

# ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМА



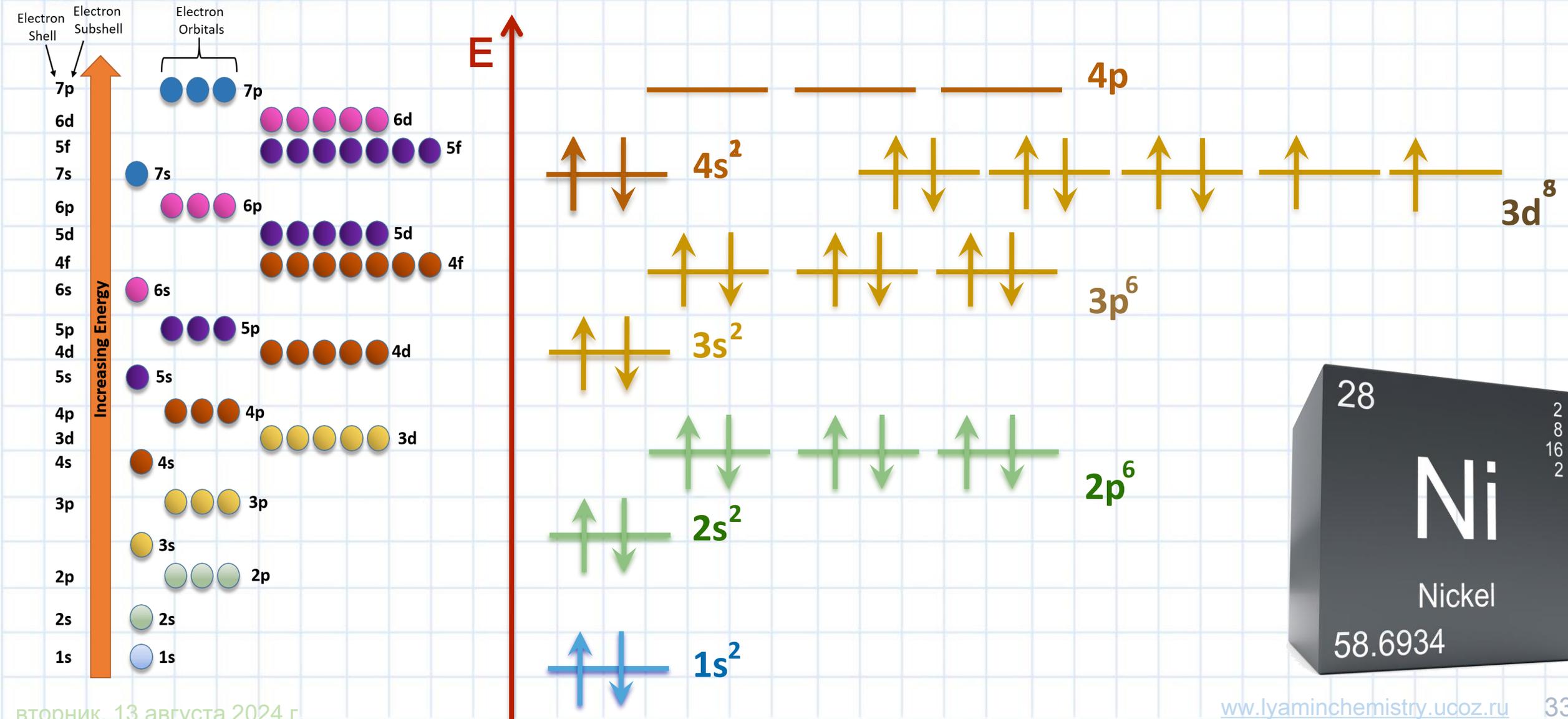
**электронный энергетический уровень** — совокупность электронов с одинаковым размером, но разной формой электронного облака;

электронные уровни в частице нумеруют порядковым целым числом; энергетический уровень включает в себя электронные энергетические подуровни;

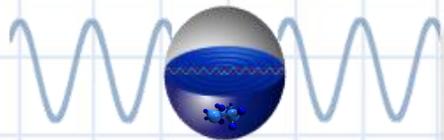
**электронный энергетический подуровень** — совокупность электронов с одинаковой энергией и формой электронного облака, но разной ориентацией этого облака в пространстве; электронные подуровни в частице обозначают буквами; количество энергетических подуровней, входящих в состав энергетического уровня, численно равно номеру данного энергетического уровня; каждый энергетический уровень включает электронные орбитали;

**атомная орбиталь** — состояние электрона, определяющее его энергию, форму и ориентацию в пространстве; в одной частице не могут находиться два абсолютно одинаковых электрона, т.о. одну атомную орбиталь могут занимать только два электрона с разным направлением собственного вращения;

# ЭЛЕКТРОННОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ



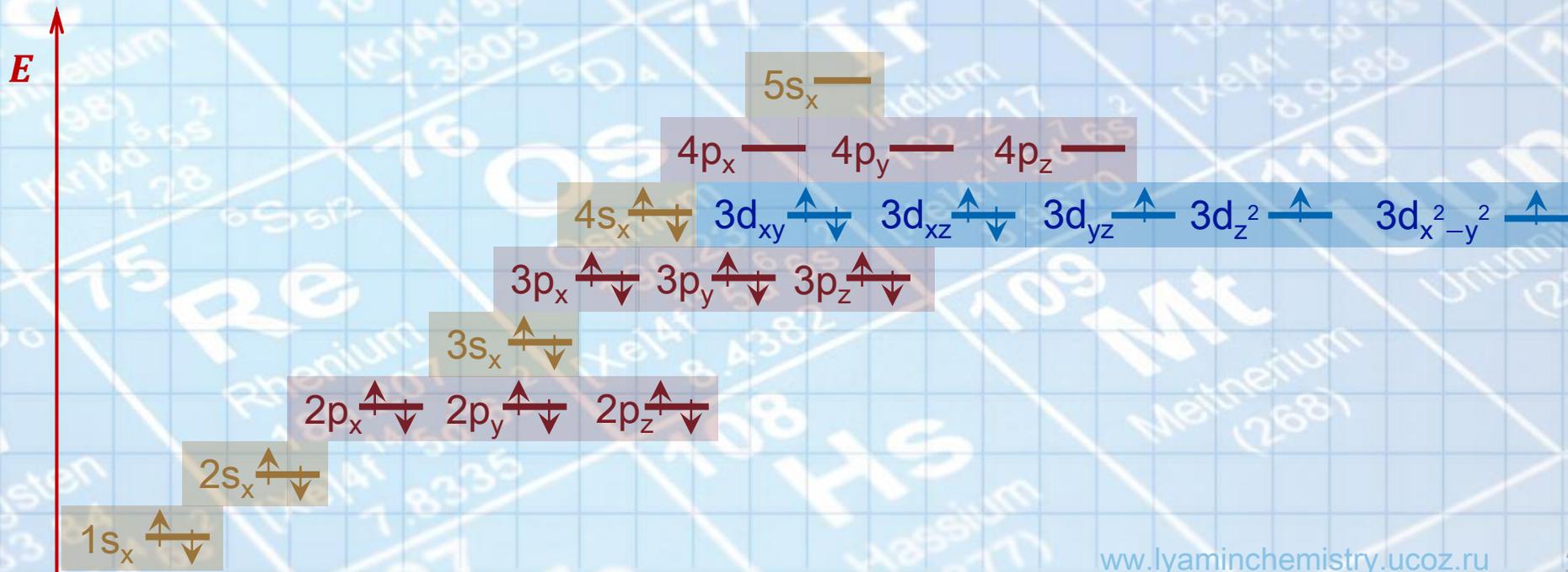
$E=mc^2$



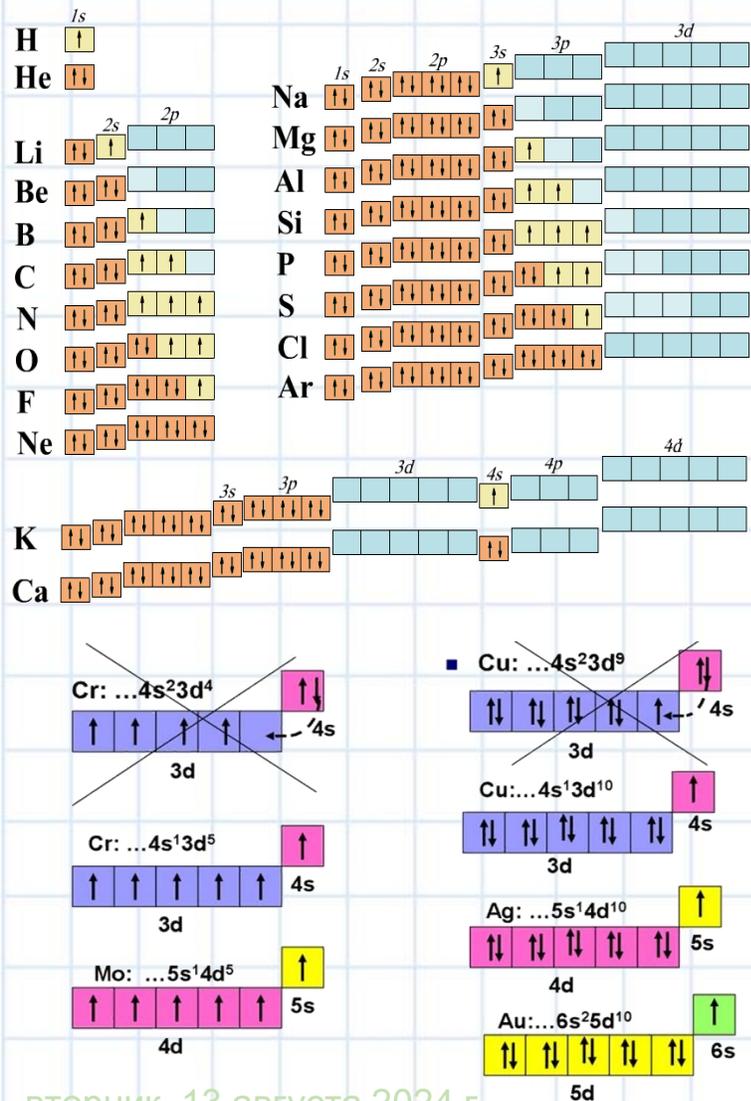
Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_L$ )

# ЭЛЕКТРОННАЯ ФОРМУЛА И ДИАГРАММА

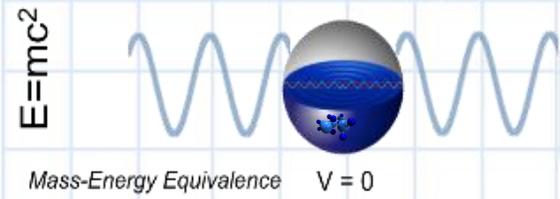
Mass-Energy Equivalence  $V = 0$



# «ПРОВАЛ» ЭЛЕКТРОНА



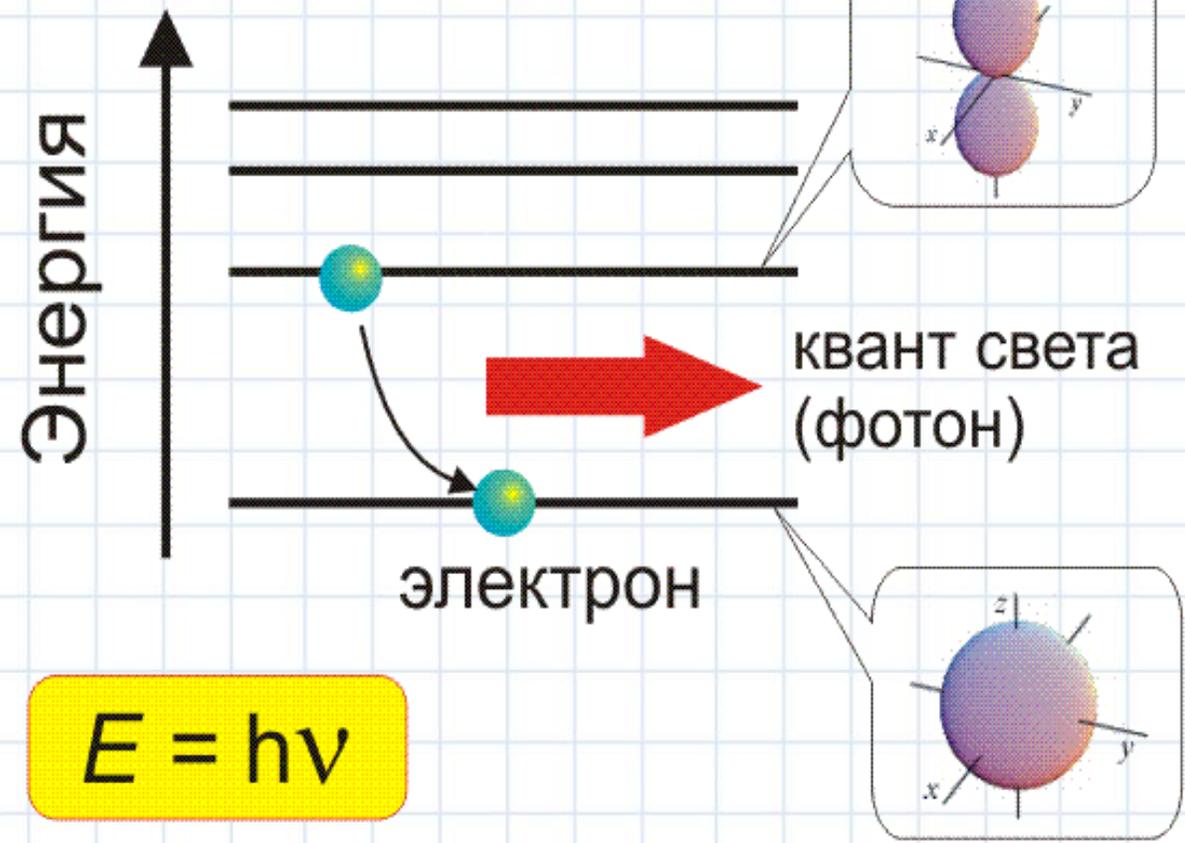
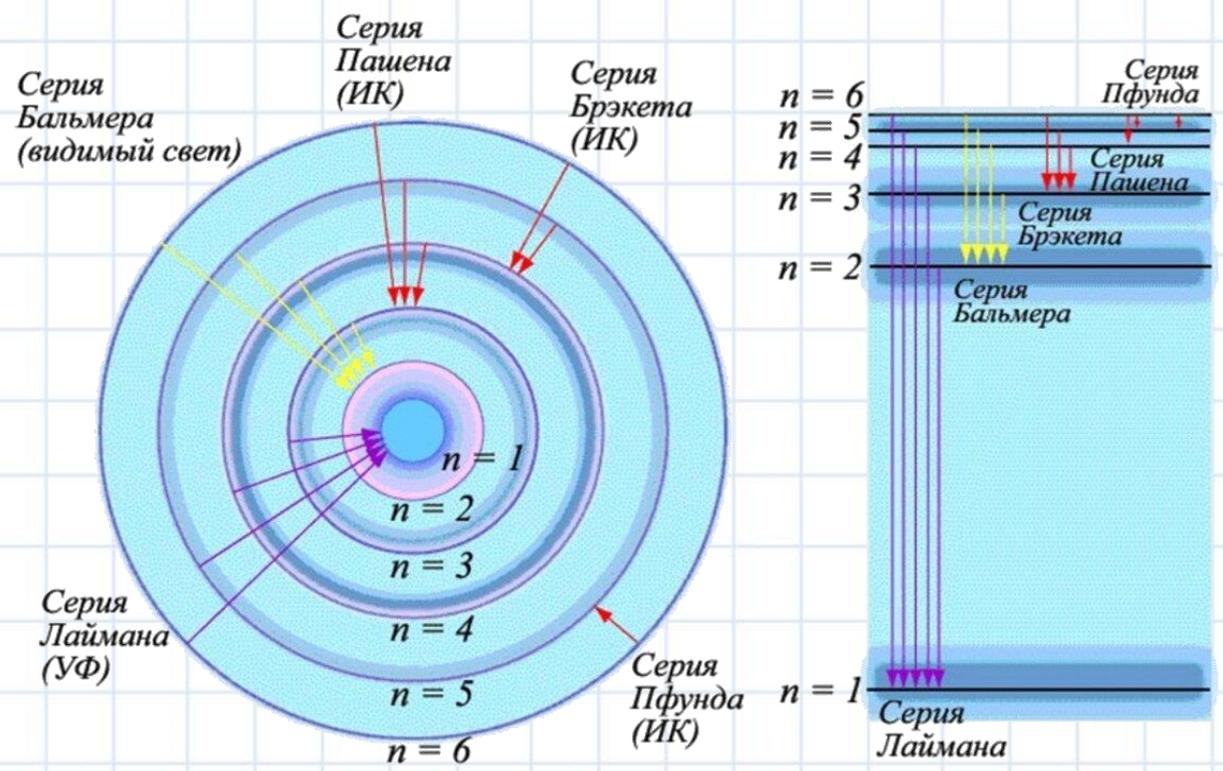
ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ													
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	B	VIII	A				
1	1	<b>H</b> 1,01 ВОДОРОД						<b>(H)</b>				 <b>МЕНДЕЛЕЕВ</b> Дмитрий Иванович (08.02.1834-02.02.1907) Русский ученый-энциклопедист. В 1869-1871 гг. изложил основы учения о периодичности, открыл периодический закон и разработал периодическую систему химических элементов. На основе системы впервые предсказал (1870) существование и свойства нескольких ещё не открытых элементов.	<b>He</b> 4,00 ГЕЛИЙ		
2	2	<b>Li</b> 6,94 ЛИТИЙ	<b>Be</b> 9,01 БЕРИЛЛИЙ	<b>B</b> 10,81 БОР	<b>C</b> 12,01 УГЛЕРОД	<b>N</b> 14,01 АЗОТ	<b>O</b> 16,00 КИСЛОРОД	<b>F</b> 19,00 ФТОР					<b>Ne</b> 20,18 НЕОН		
3	3	<b>Na</b> 22,99 НАТРИЙ	<b>Mg</b> 24,31 МАГНИЙ	<b>Al</b> 26,98 АЛЮМИНИЙ	<b>Si</b> 28,09 КРЕМНИЙ	<b>P</b> 30,97 ФОСФОР	<b>S</b> 32,06 СЕРА	<b>Cl</b> 35,45 ХЛОР					<b>Ar</b> 39,95 АРГОН		
4	4	<b>K</b> 39,10 КАЛИЙ	<b>Ca</b> 40,08 КАЛЬЦИЙ	<b>Sc</b> 44,96 СКАНДИЙ	<b>Ti</b> 47,90 ТИТАН	<b>V</b> 50,94 ВАНАДИЙ	<b>Cr</b> 52,00 ХРОМ	<b>Mn</b> 54,94 МАРГАНЕЦ	<b>Fe</b> 55,85 ЖЕЛЕЗО	<b>Co</b> 58,93 КОБАЛЬТ	<b>Ni</b> 58,69 НИКЕЛЬ				
	5	<b>Cu</b> 63,55 МЕДЬ	<b>Zn</b> 65,39 ЦИНК	<b>Ga</b> 69,72 ГАЛЛИЙ	<b>Ge</b> 72,59 ГЕРМАНИЙ	<b>As</b> 74,92 МЫШЬЯК	<b>Se</b> 78,96 СЕЛЕН	<b>Br</b> 79,90 БРОМ					<b>Kr</b> 83,80 КРИПТОН		
5	6	<b>Rb</b> 85,47 РУБИДИЙ	<b>Sr</b> 87,62 СТРОНЦИЙ	<b>Y</b> 88,91 ИТРИЙ	<b>Zr</b> 91,22 ЦИРКОНИЙ	<b>Nb</b> 92,91 НИОБИЙ	<b>Mo</b> 95,96 МОЛИБДЕН	<b>Tc</b> 97,91 ТЕХНЕЦИЙ	<b>Ru</b> 101,07 РУТЕНИЙ	<b>Rh</b> 102,91 РОДИЙ	<b>Pd</b> 106,42 ПАЛЛАДИЙ				
	7	<b>Ag</b> 107,87 СЕРЕБРО	<b>Cd</b> 112,41 КАДМИЙ	<b>In</b> 114,82 ИНДИЙ	<b>Sn</b> 118,71 ОЛОВО	<b>Sb</b> 121,76 СУРЬМА	<b>Te</b> 127,60 ТЕЛУР	<b>I</b> 126,90 ЙОД					<b>Xe</b> 131,30 КСЕНОН		
6	8	<b>Cs</b> 132,91 ЦЕЗИЙ	<b>Ba</b> 137,33 БАРИЙ	<b>La*</b> 138,91 ЛАНТАН	<b>Hf</b> 178,49 ГАФНИЙ	<b>Ta</b> 180,95 ТАНТАЛ	<b>W</b> 183,84 ВОЛЬФРАМ	<b>Re</b> 186,21 РЕНИЙ	<b>Os</b> 190,2 ОСМИЙ	<b>Ir</b> 192,22 ИРИДИЙ	<b>Pt</b> 195,08 ПЛАТИНА				
	9	<b>Au</b> 196,97 ЗОЛОТО	<b>Hg</b> 200,59 РУТУТЬ	<b>Tl</b> 204,38 ТАЛЛИЙ	<b>Pb</b> 207,20 СВИНЕЦ	<b>Bi</b> 208,98 ВИСМУТ	<b>Po</b> [209] ПОЛОНИЙ	<b>At</b> [210] АСТАТ					<b>Rn</b> [222] РАДОН		
7	10	<b>Fr</b> [223] ФРАНЦИЙ	<b>Ra</b> [226] РАДИЙ	<b>Ac**</b> [227] АКТИВИЙ	<b>Rf</b> [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	<b>Db</b> [262] ДУБИНИЙ	<b>Sg</b> [263] СИБОРГИЙ	<b>Bh</b> [264] БОРИЙ	<b>Hs</b> [265] ХАССИЙ	<b>Mt</b> [266] МЕЙТНЕРИЙ	<b>Ds</b> [271] ДАРМШТАДТИЙ				
	11	<b>Rg</b> [272] РЕНТЕНИЙ	<b>Cn</b> [285] КОПЕРНИЦИЙ	<b>Nh</b> [284] НИХОНИЙ	<b>Fl</b> [289] ФЛЕРОВИЙ	<b>Mc</b> [288] МОСКОВИЙ	<b>Lv</b> [292] ЛИВЕРМОРИЙ	<b>Ts</b> [294] ТЕННЕСИЙ					<b>Og</b> [294] ОГАНЕСОН		
<b>ВЫСШИЕ ОКСИДЫ</b>		$R_2O$	$RO$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$RO_4$						
<b>ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ</b>					$RH_4$	$RH_3$	$H_2R$	$HR$							
<b>*ЛАНТАНОИДЫ</b>		<b>Ce</b> 58 140,12 ЦЕРИЙ	<b>Pr</b> 59 140,91 ПРАЗЕОДИМ	<b>Nd</b> 60 144,24 НЕОДИМ	<b>Pm</b> 61 [144,91] ПРОМЕТИЙ	<b>Sm</b> 62 150,36 САМАРИЙ	<b>Eu</b> 63 151,96 ЕВРОПИЙ	<b>Gd</b> 64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	<b>Tb</b> 65 158,93 ТЕРБИЙ	<b>Dy</b> 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	<b>Ho</b> 67 164,93 ГОЛЬМИЙ	<b>Er</b> 68 167,26 ЭРБИЙ	<b>Tm</b> 69 168,93 ТУЛИЙ	<b>Yb</b> 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	<b>Lu</b> 71 174,97 ЛЮТЕЦИЙ
<b>**АКТИНОИДЫ</b>		<b>Th</b> 90 232,04 ТОРИЙ	<b>Pa</b> 91 231,04 ПРОТАКТИНИЙ	<b>U</b> 92 238,03 УРАН	<b>Np</b> 93 [237] НЕПТУНИЙ	<b>Pu</b> 94 [244] ПЛУТОНИЙ	<b>Am</b> 95 [243] АМЕРИЦИЙ	<b>Cm</b> 96 [247] КЮРИЙ	<b>Bk</b> 97 [247] БЕРКЛИЙ	<b>Cf</b> 98 [251] КАЛИФОРНИЙ	<b>Es</b> 99 [252] ЭЙНШТЕЙНИЙ	<b>Fm</b> 100 [257,1] ФЕРМИЙ	<b>Md</b> 101 [258,1] МЕНДЕЛЕВИЙ	<b>No</b> 102 [259,1] НОБЕЛИЙ	<b>Lr</b> 103 [260,1] ЛОУРЕНСИЙ



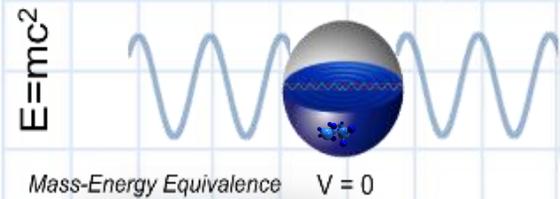
Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_1$ )

# КВАНТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В АТОМЕ

при переходе электронов свободных (слабосвязанных) атомов из состояния с большей энергии в состояние с меньшей энергией: излучается энергия кванта света  $h\nu$ , равная разности энергий этих состояний  $h\nu = E_{n1} - E_{n2}$ :



# ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА



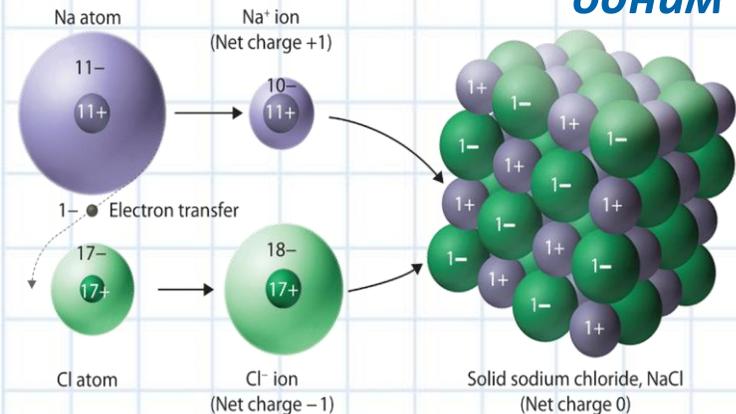
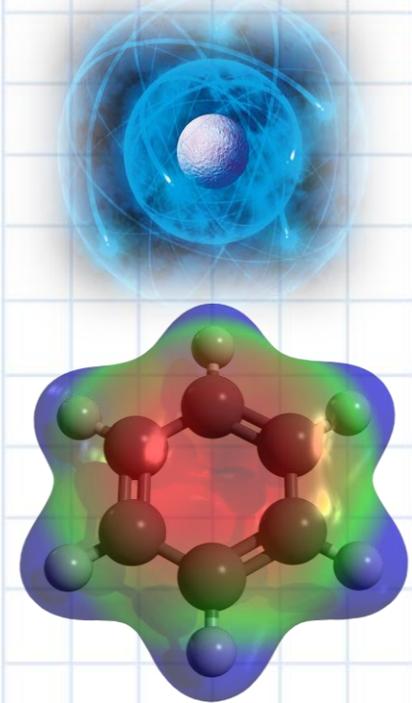
Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_l$ )

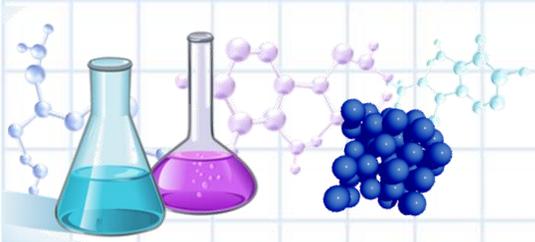
**атом**, от древнегреческого *ἄτομος* – неделимый, — электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц, образованная ядром и электронами;

**молекула**, от новолатинского *molecula* – уменьшительное от *moles* – масса, — электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц, образованная двумя и более ядрами и электронами;

**ион**, от древнегреческого *ἰόν* – идущий — положительно- или отрицательно-заряженная система взаимодействующих элементарных частиц, образованная одним или несколькими ядрами и избытком или недостатком электронов;

**радикал**, от латинского *radicalis* – коренной, — электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц, образованная одним или несколькими ядрами и электронами, в т.ч. неспаренными в возбуждённом состоянии.





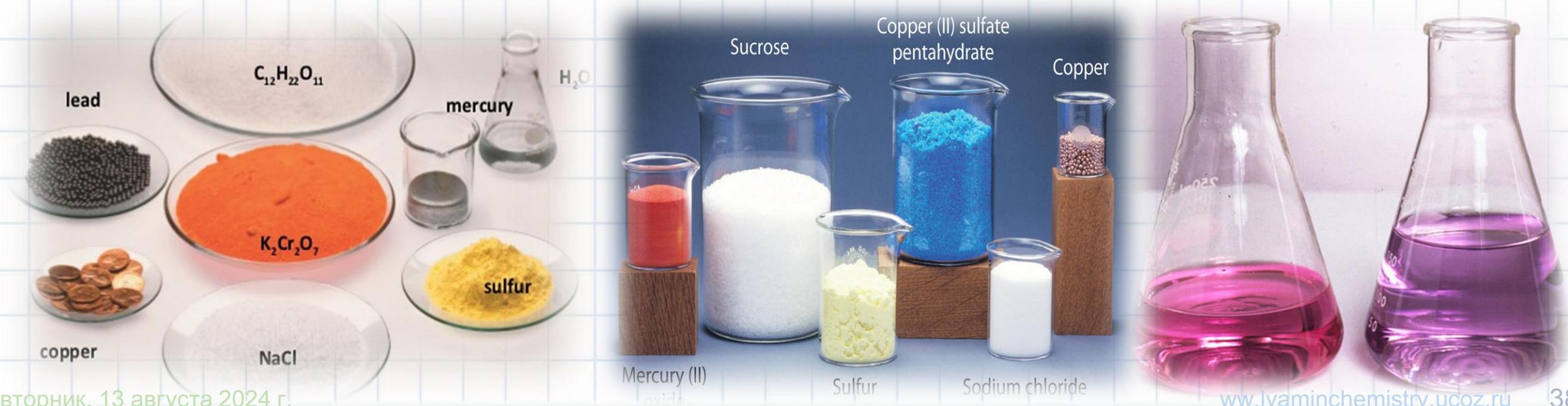
# КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

$n$ , моль — физическая величина, определяющая количество структурных единиц: атомов, молекул, ионов, образующих вещество;

1 моль, от латинского *moles* – масса, равен количеству вещества, содержащему столько же структурных элементов, сколько атомов содержит  $^{12}\text{C}$  массой 0,012 кг, т.е.  $6,022 \times 10^{23}$  — Авогадро число  $N_A$ ;

моль служит для образования производных единиц молярных величин:

молярной массы вещества  $M$ ,  $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ ; молярного объёма вещества  $V_m$ ,  $\text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$ ; молярной доли вещества  $\chi$ , безразмерная и др.





# ФИЗИЧЕСКОЕ ТЕЛО

*исконно русское слово общеславянского происхождения от древнерусского тѣло, общеславянское tělo – вещество, существо материальное как противоположность духу; образ, вид, изображение, идол, тело человека*

***форма организации вещества, характеризующаяся размерами, массой, объёмом и энергией***



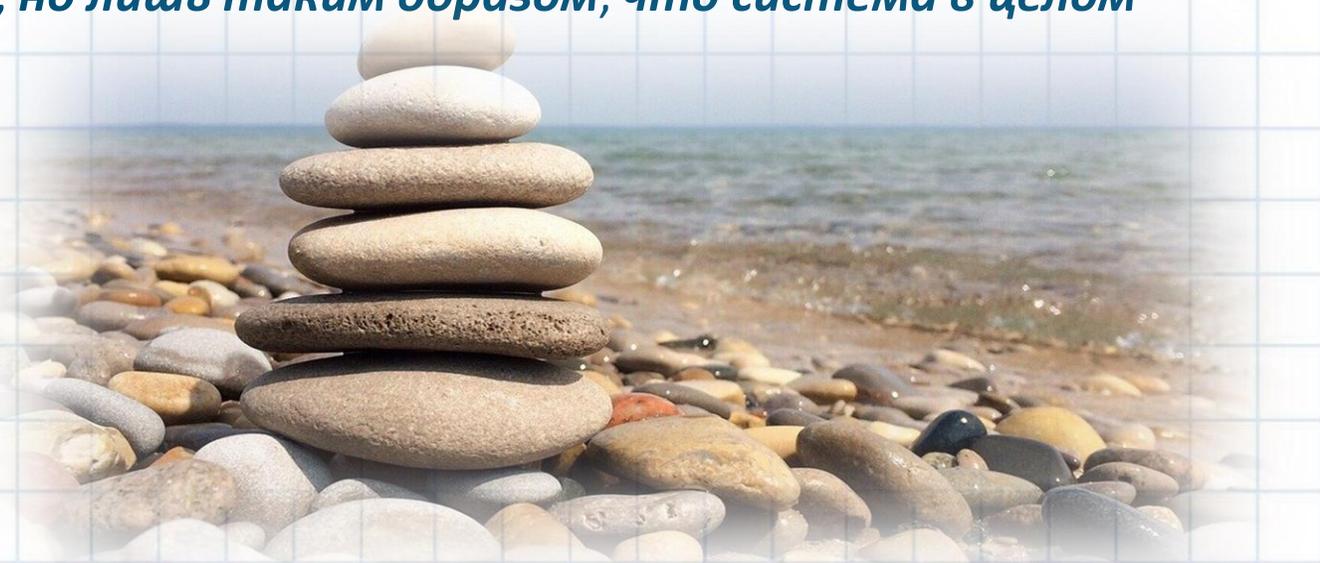


# I ЗАКОН НЬЮТОНА

**мерой инертности тел является масса; закон инерции:**

**в замкнутой системе не существует несбалансированных внутренних сил;**

**существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, т.е. центр масс замкнутой системы не может двигаться с ускорением; отдельные части системы могут ускоряться, но лишь таким образом, что система в целом остаётся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения; однако в том случае, если внешние силы подействуют на систему, то её центр масс начнёт двигаться с ускорением, пропорциональным внешней результирующей силе и обратно пропорциональным массе системы**



## II ЗАКОН НЬЮТОНА



**закон импульса;**

**действие несбалансированных сил приводит к изменению импульса материальной точки, т.о. приложенная к телу сила является причиной изменения его скорости или возникновения в нём деформаций:**

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{d\tau} = \frac{m d\vec{v}}{d\tau} = m \frac{d\vec{v}}{d\tau} = m\vec{a} ;$$

$$\vec{p} = m\vec{v} ;$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{d\tau} ; \quad \vec{v} = \omega R = 2\pi R\nu = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{d\tau} = \frac{d^2\vec{r}}{d\tau^2} ; \quad a_{\text{ц.с.}} = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$$





# III ЗАКОН НЬЮТОНА

**закон противодействия;**

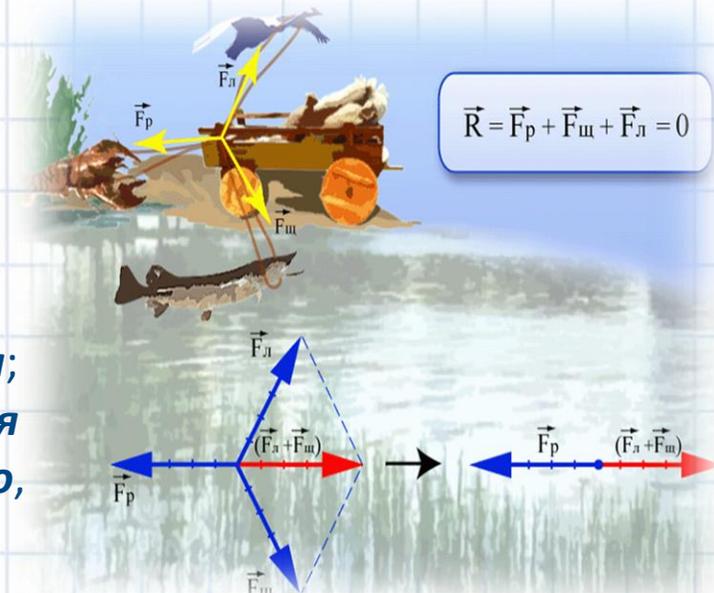
**сила действия тела 1 на тело 2, сопровождается появлением равной по модулю, но противоположной по направлению силы, действующей на тело 1 со стороны тела 2:**

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$$

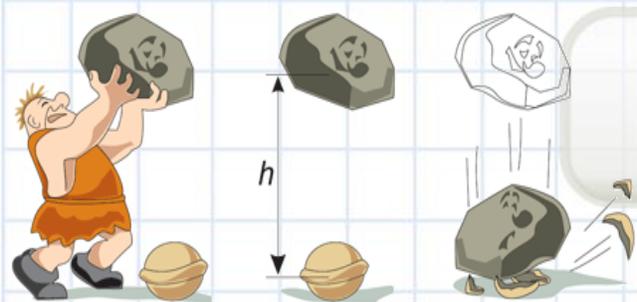
**это означает, что силы всегда двойственны «действие-противодействие»; если тело 1 и тело 2 находятся в одной системе, то суммарная сила в системе, обусловленная взаимодействием этих тел равна нулю:**

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} + \vec{F}_{2 \rightarrow 1} = 0$$

- ✓ **движение тел может происходить только относительно других тел и связанных с ними пространств;**
- ✓ **основными критериями движения тел являются масса и скорость;**
- ✓ **действие равно противодействию, при этом действие приложено к одному, а противодействие — к другому из двух взаимодействующих тел;**
- ✓ **действие и противодействие не уравниваются, а вызывают ускорения взаимодействующих тел, причём с большим ускорением движется то тело, масса которого меньше**



# ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ



от латинского *potentia* – сила

$E_p$ , Дж — часть энергии системы, зависящая только от взаимного расположения объектов и от их положения во внешнем силовом поле:



$$E_p = mgh; \quad W = -mg \int_{h_1}^{h_2} dh$$

$$W = \gamma m_1 m_2 \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r^2} dr; \quad W = \gamma m_1 m_2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

где:  $W$  – совершаемая работа, Дж;  $h$  – высота поднятия тела, м;  $m$  – масса тела, кг;

$g$  – ускорение свободного падения  $9,81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ ;

$r$  – расстояние между центрами масс тел, м;  $\gamma$  – гравитационная постоянная  $6,67 \cdot 10^{-11}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}^2$ ;

термин «Потенциальная энергия» ввёл в науку в 1853 г. англичанин **Уильям Джон Ренкин**



# КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

от греческого *κίνησις* – приводящий в движение

$E_k$ , Дж — часть энергии системы, зависящая от скоростей движения всех её компонентов:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}; W = m \int_{v_1}^{v_2} v dv$$

где:  $W$  – совершаемая работа, Дж;

$m$  – масса тела, кг;

$v$  – скорость тела, м/с;

термин «Кинетическая энергия» впервые использовал в 1829 г. **Гаспáр-Гюста́в де Кориоли́с**, Франция

$E_k, T, K$  — основная величина СИ, характеризующая среднюю кинетическую энергию частиц, образующих систему;

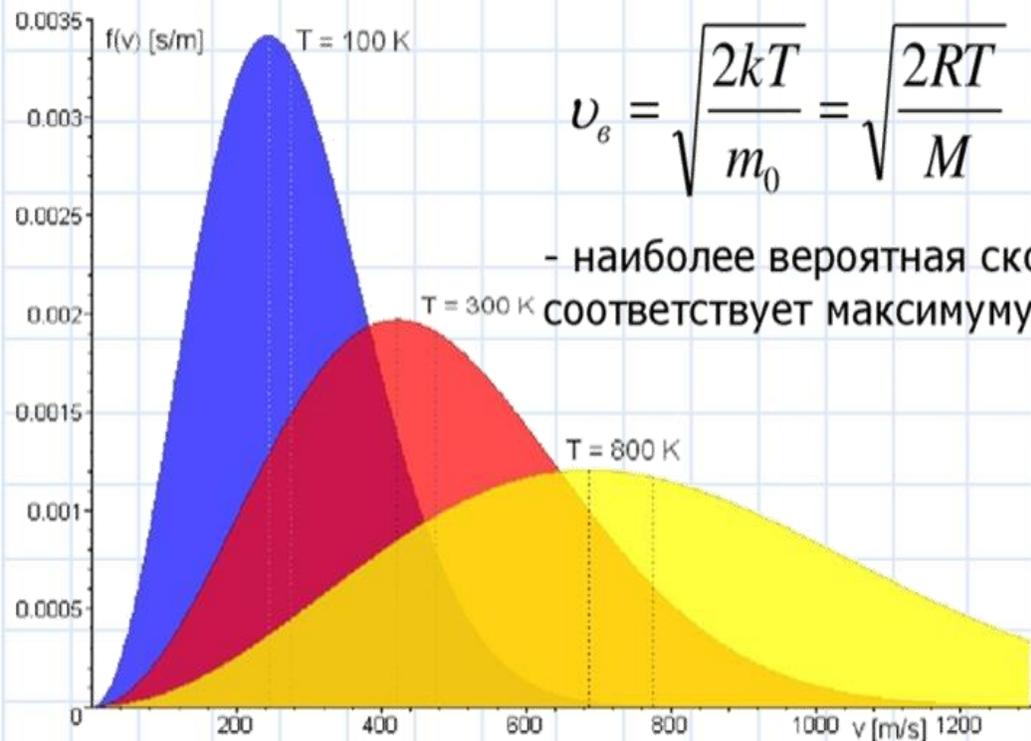
в однородном идеальном газе, находящемся при абсолютной температуре  $T$ , энергия, приходящаяся на каждую поступательную степень свободы частицы, равна, как следует из распределения Максвелла — Больцмана:

$$E = \frac{kT}{2}$$

где:  $k$  — постоянная Больцмана  $1,380658 \times 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>;

$$v_g = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

- наиболее вероятная скорость  
соответствует максимуму кривой



при 300 К эта энергия составляет  $2,07 \times 10^{-21}$  Дж, или 0,013 эВ; тогда средняя кинетическая энергия отдельной частицы составит:

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \cdot \sqrt{v}^2}{2}$$

# ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

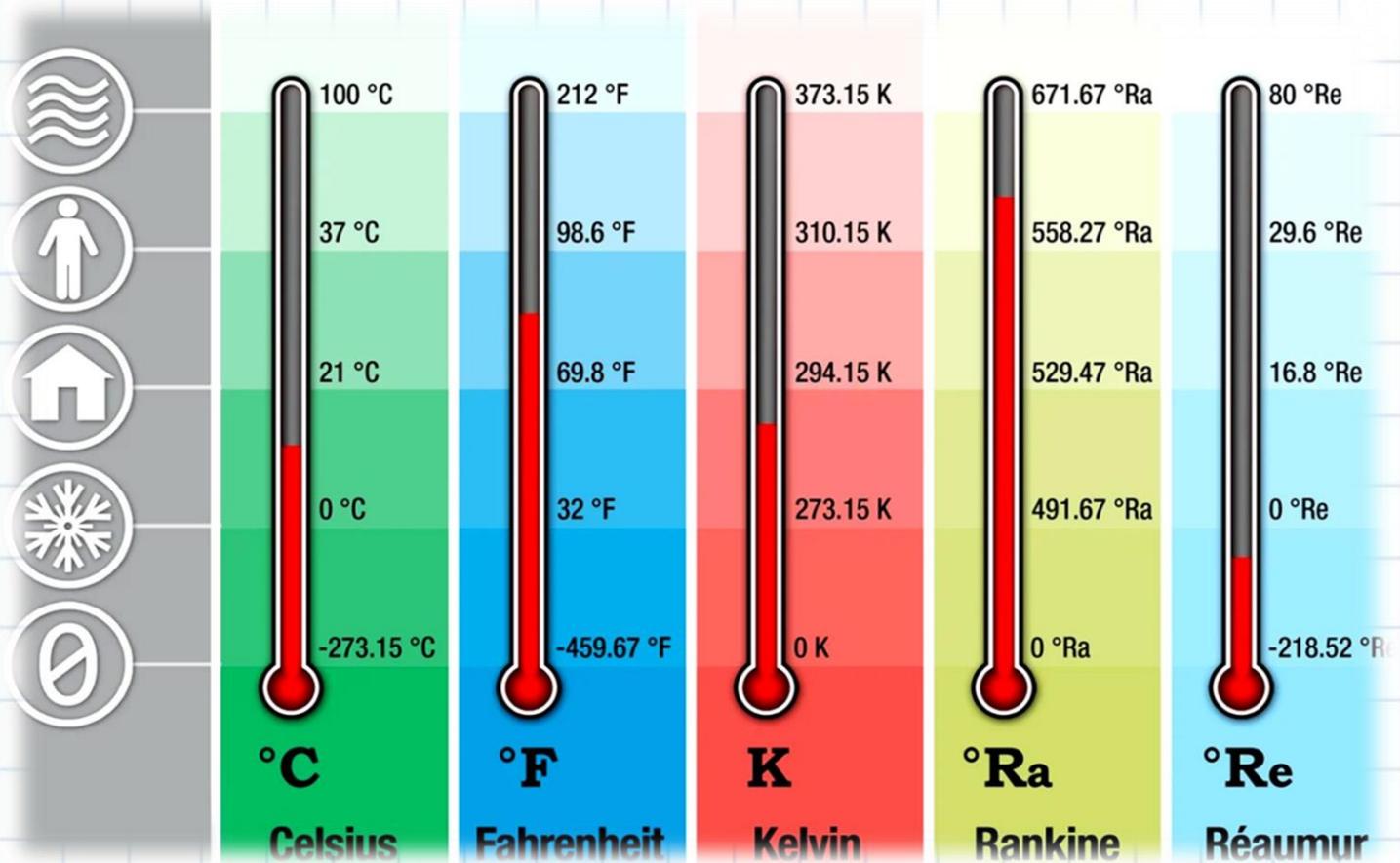
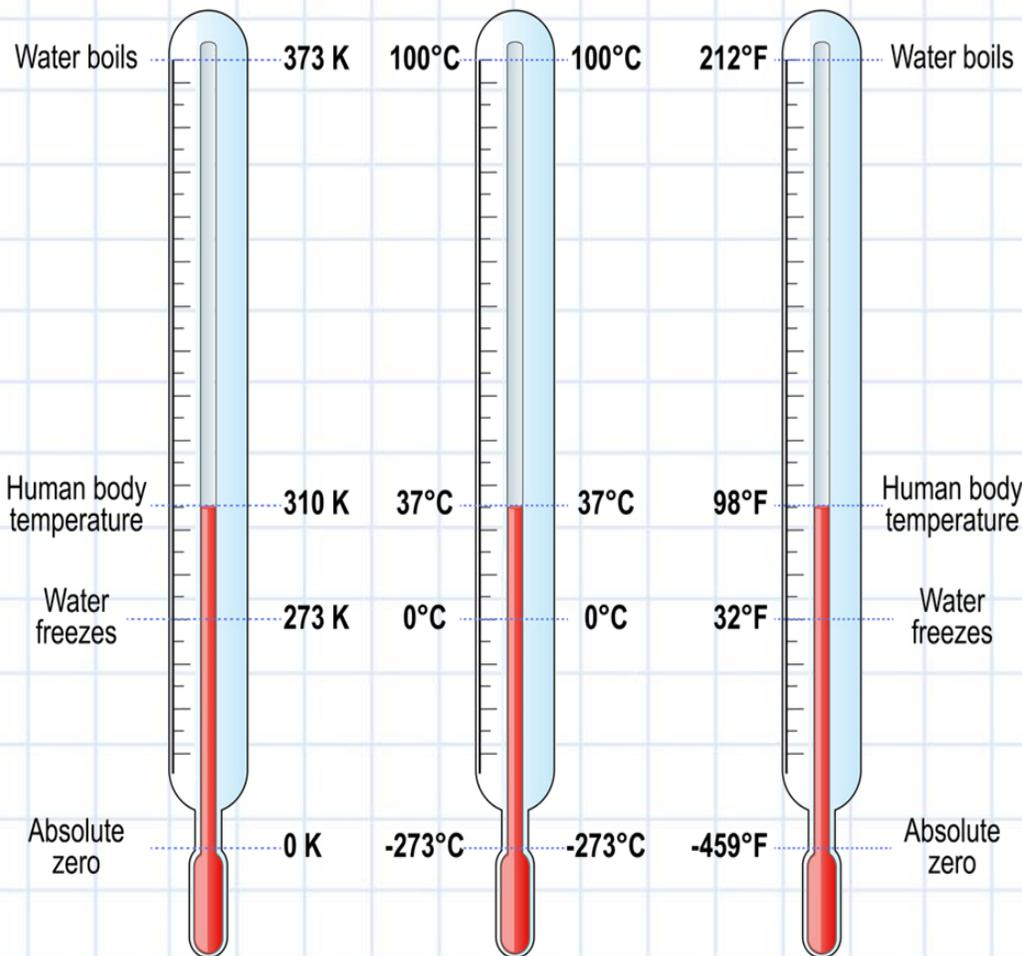
Kelvin

Celsius

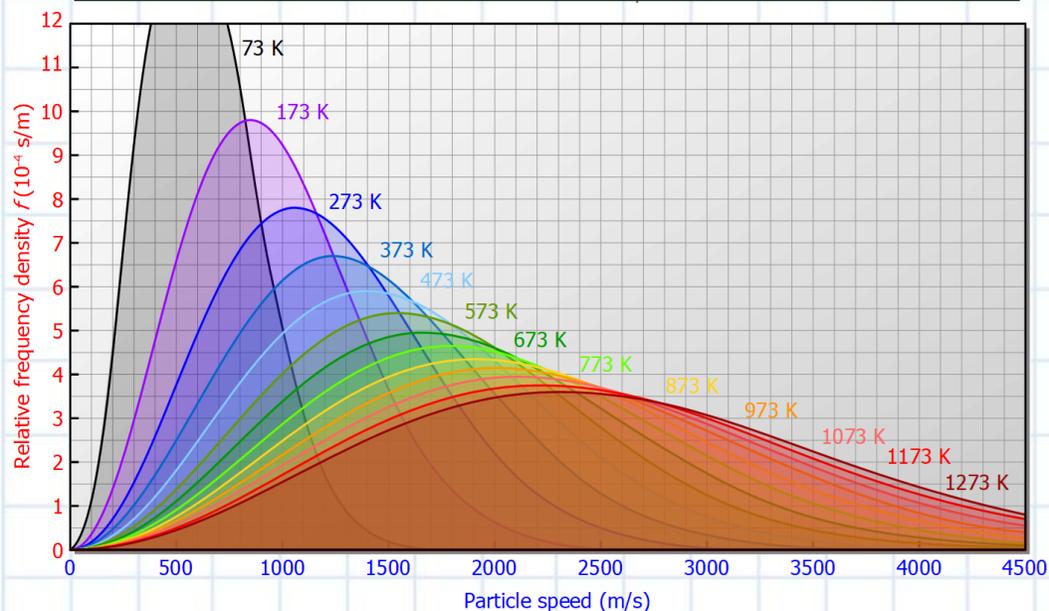
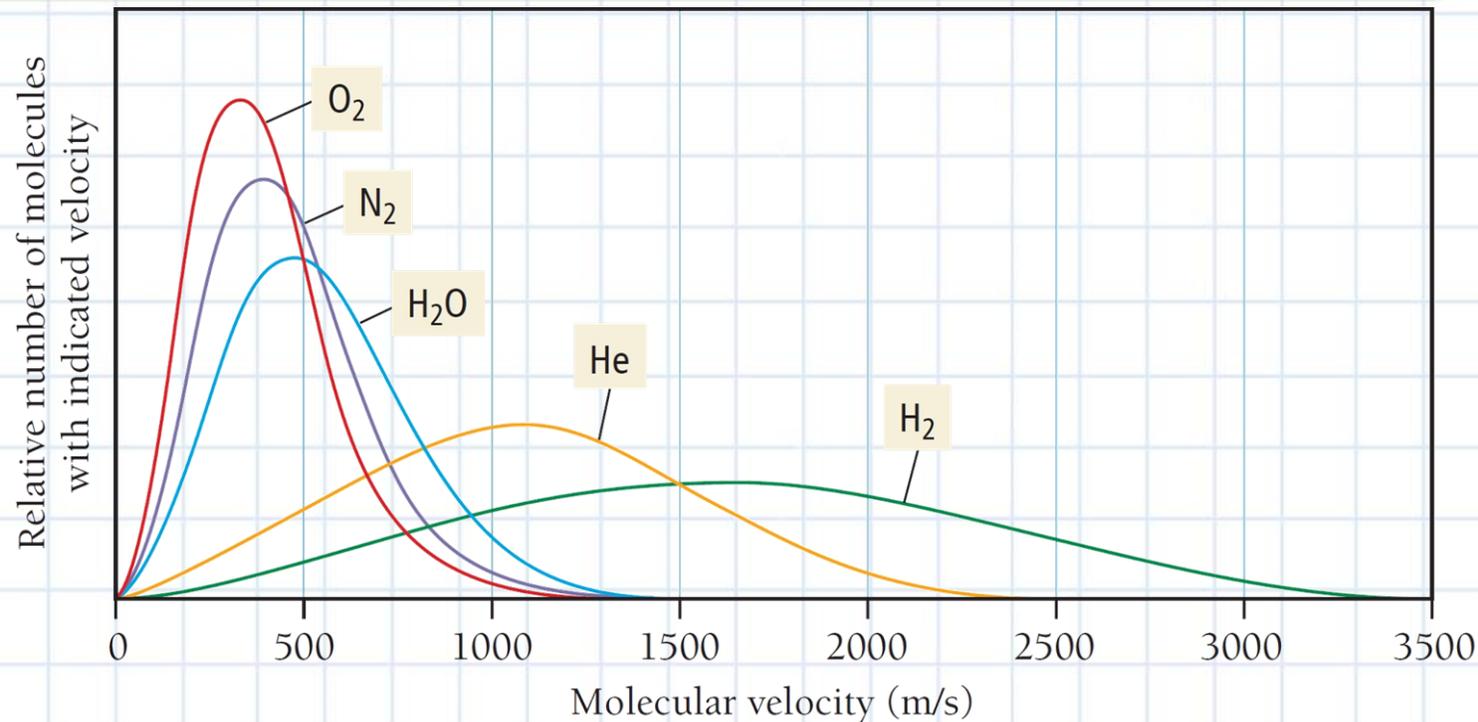
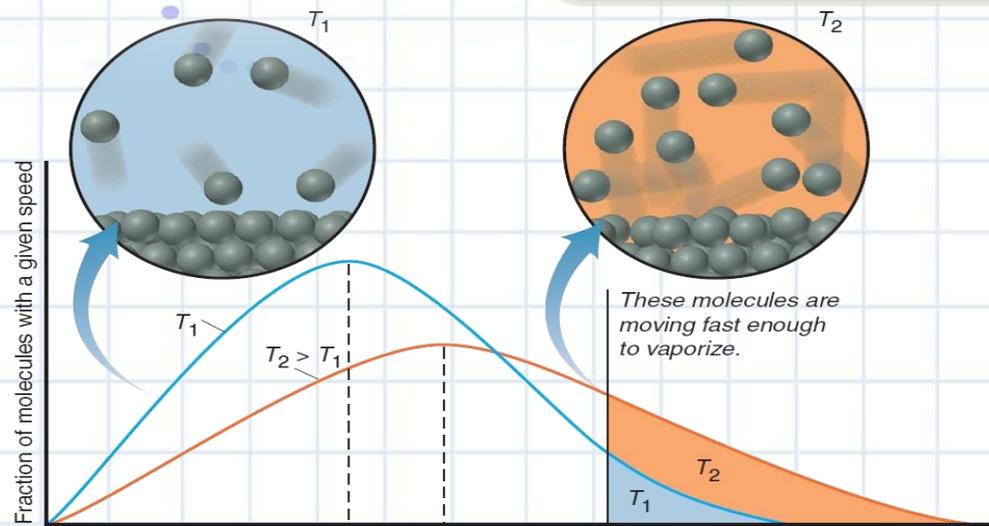
Fahrenheit

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15; \quad \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15;$$

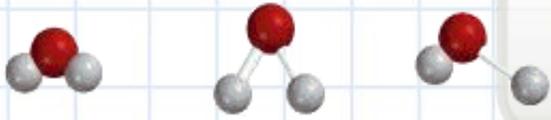
$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32); \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (\text{K} - 241,15);$$



# распределение Максвелла — Больцмана



**средняя квадратичная скорость при 25° С  
изменяется в пределах от 1370 м·с<sup>-1</sup> для гелия  
до 240 м·с<sup>-1</sup> для ксенона**



# ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

$U$ , Дж — совокупность кинетической энергии теплового, поступательного, колебательного, вращательного движений всех частиц системы и потенциальной энергии их взаимодействия:

$$U = \frac{f}{2} kTN; \quad U = \frac{f}{2} nRT$$

где:  $f$  — степень свободы частиц;  $k$  — постоянная Больцмана  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>;  $R$  — универсальная газовая постоянная  $8,314$  Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $n$  — количество вещества, моль;  $N$  — общее количество частиц;  $T$  — температура, К;

Вещество	Тип движения			Всего
	поступательное	вращательное	колебательное	
одноатомный газ	3	—	—	3
двухатомный газ и CO <sub>2</sub>	3	2	—	5
трёхатомный газ	3	3	—	6
твёрдое	—	—	6	6
жидкое	не определено			

термин «Внутренняя энергия» ввёл в науку в 1851 г. английский учёный **Уильям Томсон лорд Кельвин**

$Q, q, \text{Дж}$  — изменение внутренней энергии, характеризующее передачу хаотического поступательного, колебательного и вращательного движения частиц системы к частицам окружающей среды, или наоборот, путём теплообмена: теплопроводности, конвекции или теплового излучения;

теплоёмкость  $C, \text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$  — отношение подведённого к системе количества теплоты к достигнутой при этом разности температур:

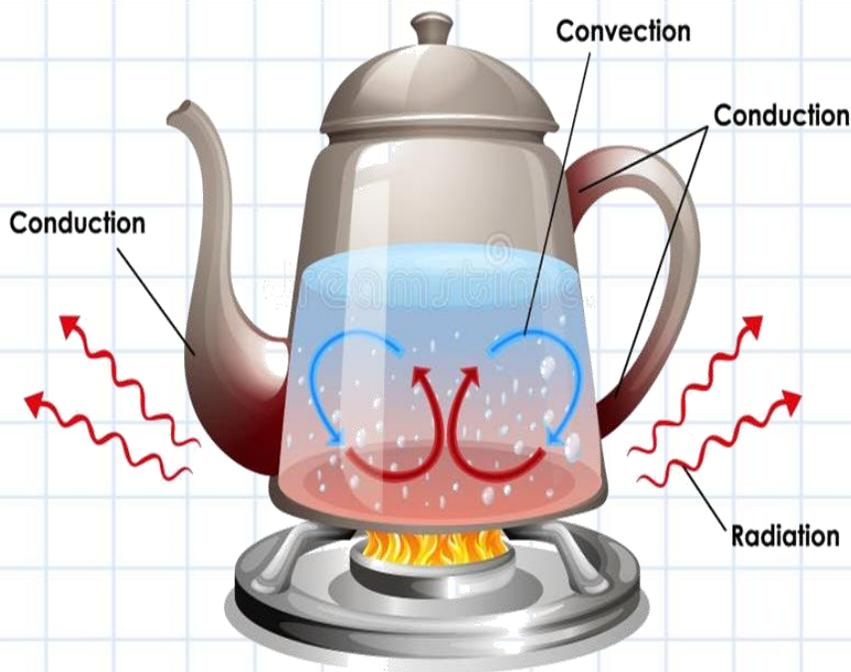
$$c = \frac{C}{m}; \quad c = \frac{\delta Q}{m dT}; \quad Q = \int_{T_1}^{T_2} c m dT;$$

удельная теплоёмкость  $c, \text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$  — количество теплоты необходимое для нагрева одного грамма вещества на один градус по шкале Кельвина;

уравнение Томпсона:

$$Q = c m (T_2 - T_1);$$

стандартная теплоёмкость  $C^\circ, \text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$  — теплоёмкость одного моль вещества при  $T = 298,15 \text{ К}$  и  $p = 1 \text{ атм}$ ;

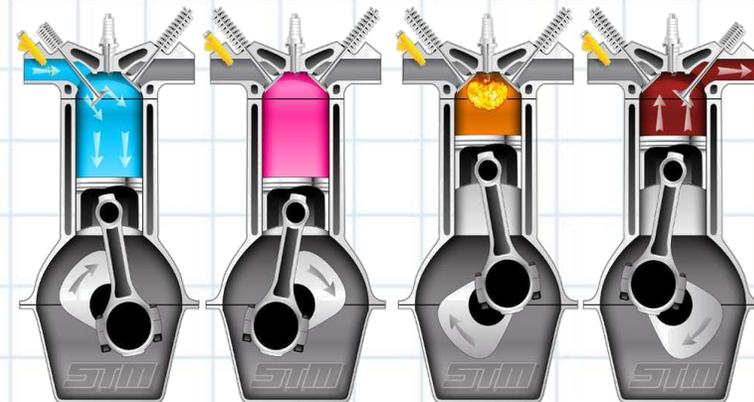
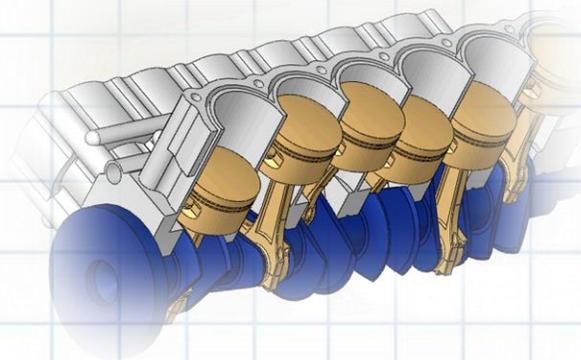
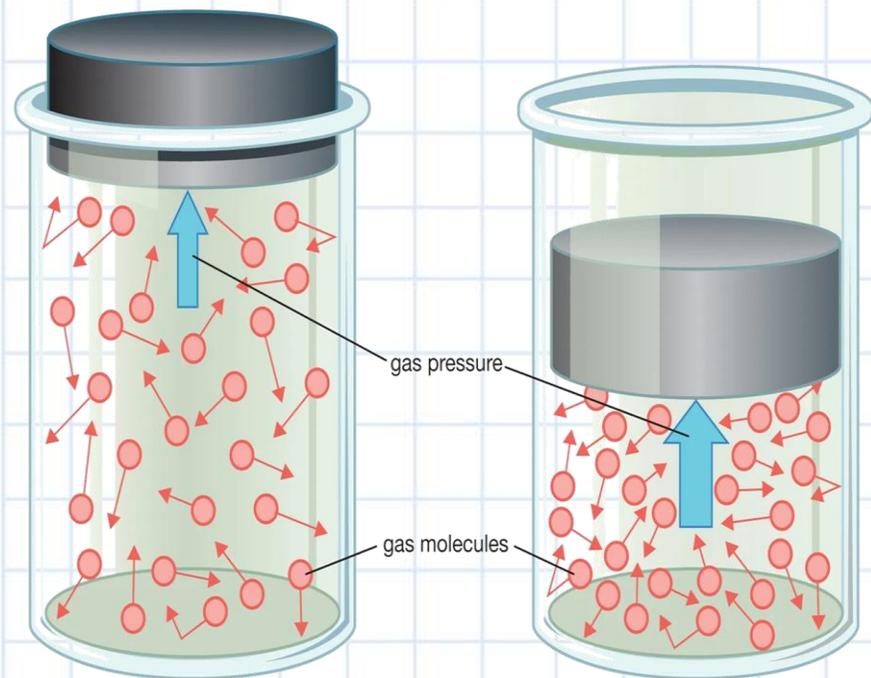


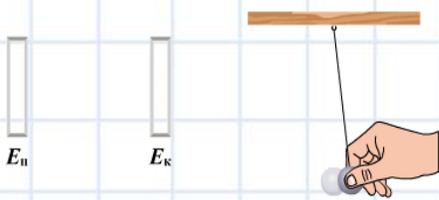
$W$ ,  $A$ , Дж — изменение внутренней энергии системы, характеризующее поступательное движение организованного потока частиц системы к частицам окружающей среды или, наоборот, создание в системе поступательного движения организованного потока частиц под действием частиц окружающей среды;

в природных процессах, чаще изменяется объём газов и совершается работа расширения или сжатия системы:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV; \quad W = p\Delta V; \quad W = nR\Delta T;$$

полезная работа  $W'$  Дж — сумма всех видов работы кроме работы расширения-сжатия системы;





**$E$ , Дж — сумма потенциальной энергии, кинетической энергии и внутренней энергии системы:**

$$E = E_p + E_k + U$$

**энергия системы, в отличие от температуры, определяет полную энергию частиц системы; айсберг обладает гораздо большей энергией, чем чашка горячего кофе, хотя температура айсберга намного ниже температуры кофе; чтобы нагреть 300 мл кофе на  $1^\circ\text{C}$ , потребуется порядка 1,254 кДж энергии, а для нагрева айсберга с размерами футбольного поля на  $1^\circ\text{C}$ , потребуется уже порядка  $4,18 \times 10^{11}$  кДж энергии; теплота и работа есть следствие обмена движением частиц системы и окружающей среды; теплота и работа характеризуют не систему, а временные процессы передачи движения, его преобразования; это функции перехода и их бесконечно малое изменение не является полным дифференциалом; внутри системы нет ни теплоты, ни работы; в ходе процесса в системе происходит диссипация энергии — необратимое преобразование части энергии упорядоченных процессов — механической энергии, энергии электричества и др., в энергию неупорядоченных процессов, в итоге — в теплоту; общее термодинамическое требование к устойчивости системы — принцип минимума энергии: максимуму устойчивости системы соответствует минимум её энергии!**

# ТЕПЛОВАЯ ЭНТРОПИЯ

от греческого *ἐντροπία* – поворот, превращение

$S$ , Дж·К<sup>-1</sup> **мера рассеяния энергии в окружающую среду;**

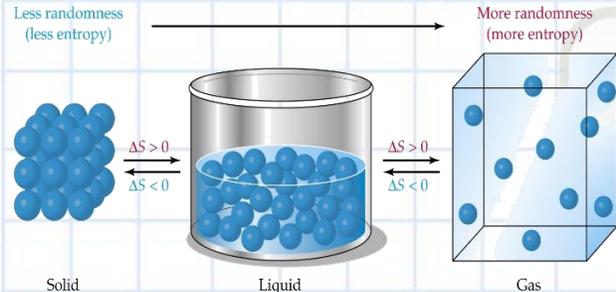
**изменение энтропии  $\Delta S$  выражает ту часть запаса энергии  $Q = T\Delta S$ , которая в реальных условиях при температуре окружающей среды  $T$  рассеивается в тепло, уменьшая величину действительной работы:**

$$W' = W_{max} - T\Delta S$$

где:  $W'$  – полезная работа;  $W_{max}$  – действительная работа;  $\Delta S$  – изменение энтропии Дж·К<sup>-1</sup>;  $T$  – температура, К;  
**поэтому энтропию, иногда, ассоциируют со скрытой энергией системы;**



**термин, впервые введён в 1865 г. для меры необратимого рассеяния энергии  
Рудольфом Юлиусом Эммануэлем Клаузиусом, Германия**



# СТРУКТУРНАЯ ЭНТРОПИЯ

от греческого *ἐντροπία* – поворот, превращение

**статистическая физика связывает энтропию с вероятностью осуществления данного макроскопического состояния системы:**

$$S = k \ln W$$

где:  $W$  – термодинамическая вероятность или число микросостояний, которые соответствуют данному макросостоянию системы;

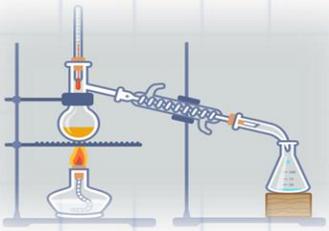
возрастание энтропии системы обусловлено её переходом из менее вероятного состояния в более вероятное состояние, иными словами, структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения систем — чем больше хаотичность в строении системы, тем выше её энтропия;

информация эквивалентна отрицательной энтропии или по Леону Бриллюэну, 1956 г. Франция «энтропии Шеннона», негэнтропии  $S_H$ ;



впервые связь энтропии с вероятностью состояния системы была установлена Людвигом Больцманом в 1872 г., Австрия;

**энтропия — внутреннее свойство системы**



# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**открытые системы** — свободно обменивающиеся энергией, веществом и информацией с окружающей средой; в таких системах могут происходить явления самоорганизации, усложнения или спонтанного упорядочивания;

**замкнутые системы** — обмен энергией, веществом и информацией с окружающей средой ограничен:

- **закрытые** — обмениваются только энергией, но не веществом;
- **адиабатные** — обмен энергией запрещён, обмениваются только веществом;
- **изолированные** — любой обмен исключён, идеализация, модель;

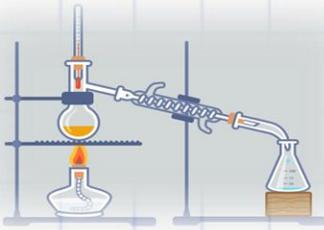
различают следующие состояния систем:

**равновесное** — состояние термодинамической системы, характеризующееся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров и отсутствием потоков вещества или энергии:

**стабильное** — состояние, при котором всякое бесконечно малое воздействие вызывает только бесконечно малое изменение состояния системы, а при снятии воздействия система самопроизвольно возвращается в исходное состояние;

**неравновесное** — состояние термодинамической системы, при котором всякое бесконечно малое воздействие вызывает конечное изменение системы...;

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ



**самопроизвольный** — процесс, не требующий направленных воздействий на систему за исключением тех, которые обеспечивают постоянство температуры и давления; процесс, проходящий при данных условиях без участия внешних сил; это процесс, при котором над системой не совершается никакой полезной работы, т.е. полезная работа которого положительна;

**несамопроизвольный** — процесс, проходящий при данных условиях под действием внешних сил; процесс, при котором над системой совершается полезная работа, т.е. процесс, полезная работа которого отрицательна;

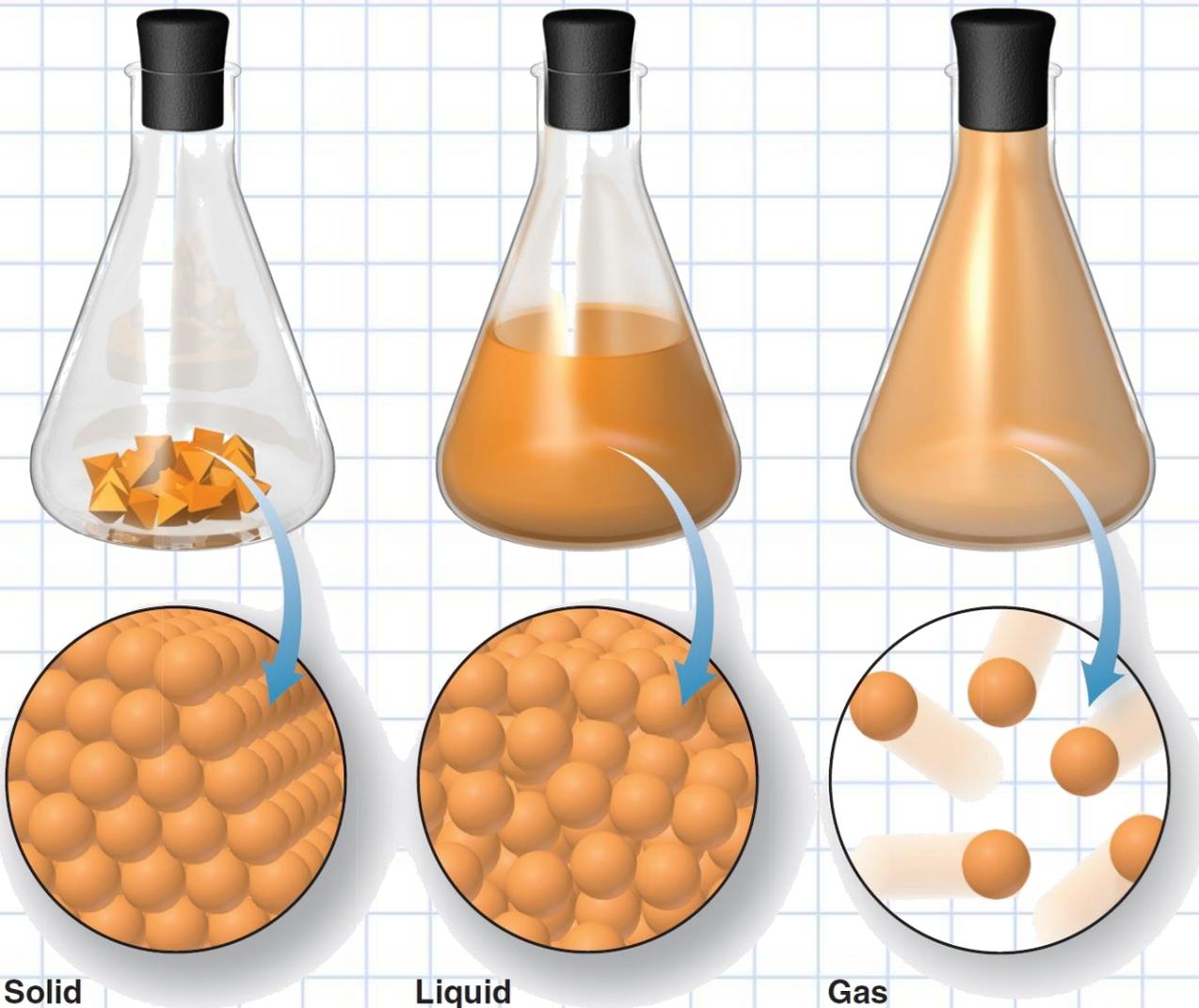
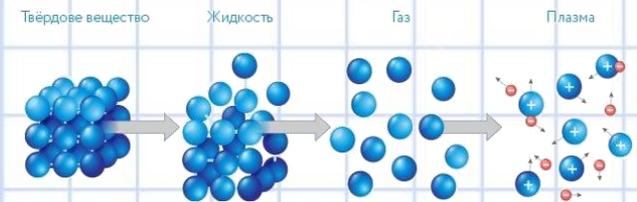
**равновесный** — процесс, представляющий собой непрерывную последовательность равновесных состояний;

**неравновесный** — процесс, представляющий собой последовательность состояний, среди которых не все являются равновесными состояниями;

**обратимый** — процесс, после которого система и окружающая среда могут возвратиться в начальное состояние без макроскопических изменений в системе и окружении; все равновесные процессы обратимы;

**необратимый** — процесс, после которого система и окружение не могут вернуться в начальное состояние;

# МАКРОСТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

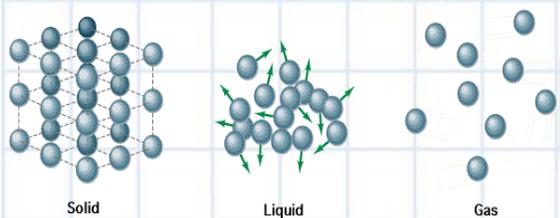


Solid

Liquid

Gas

*вещества и, следовательно, тела состоят из микрочастиц: молекул, атомов или ионов, которые находятся в непрерывном движении и взаимодействуют друг с другом, т.е. между ними существуют силы притяжения и отталкивания; диффузия — самопроизвольное перемещение частиц с установлением равновесной концентрации в данном объёме; структура вещества — пространственное расположение частиц разной степени дисперсности с совокупностью устойчивых взаимных связей и порядком сцепления их между собой; макроструктура в целом характеризуется фазовым составом, т.е. наличием элементов структуры в виде твёрдого тела, жидкости и газовой среды*

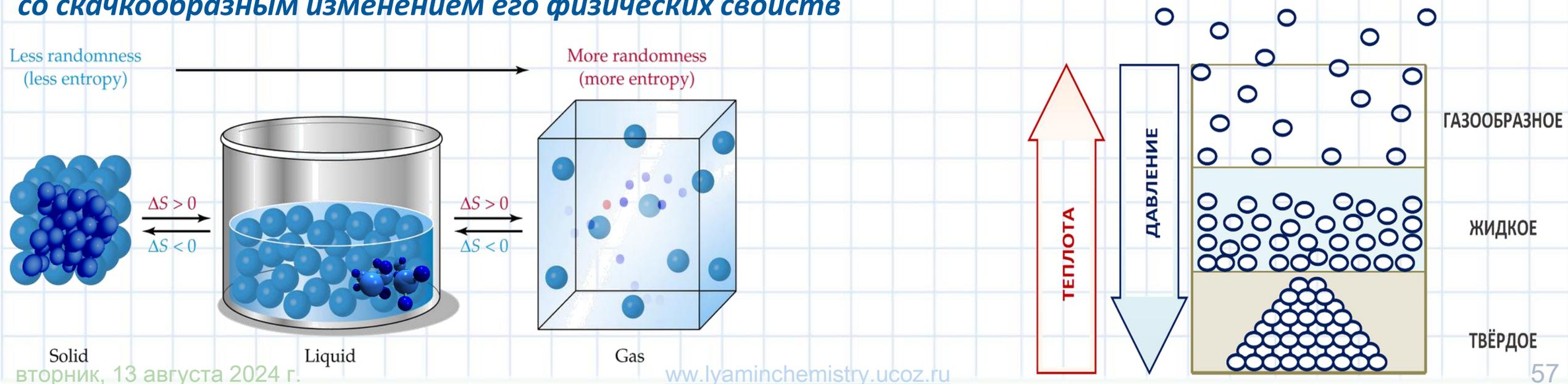


# ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

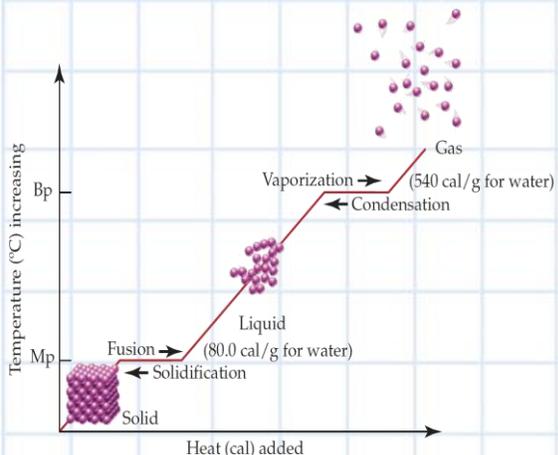
**фаза**, от древнегреческого *φάσις* – появление, — однородная по составу и свойствам часть системы, отделённая от других частей — фаз, имеющих иные свойства, границами раздела;

**фазовое (агрегатное) состояние вещества** — фаза, (состояние) вещества в различных интервалах температур и давлений, характеризующее взаимодействие и взаимное расположение структурных частиц;

**фазовый переход** — переход вещества из одной фазы в другую при определённых значениях интенсивных параметров системы: температуры, давления, магнитных и электрических полей и др., со скачкообразным изменением его физических свойств



# ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ВЕЩЕСТВА

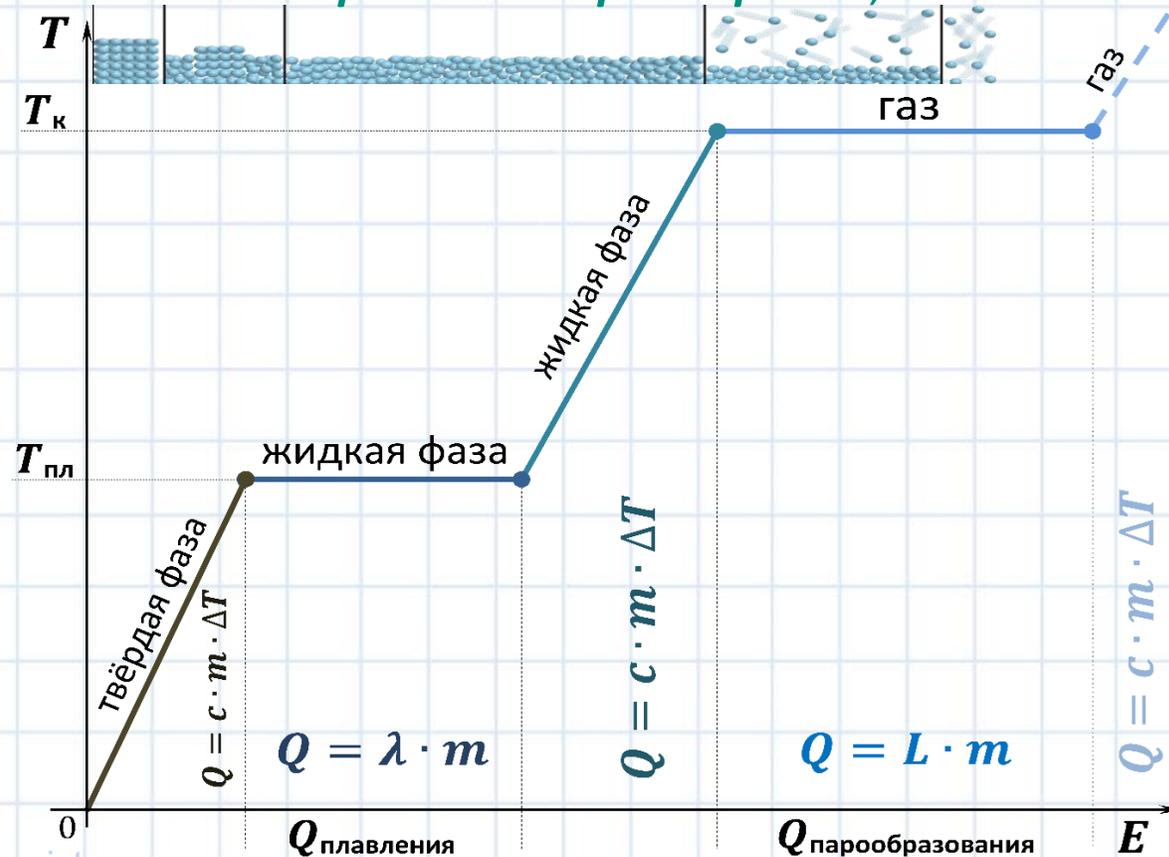


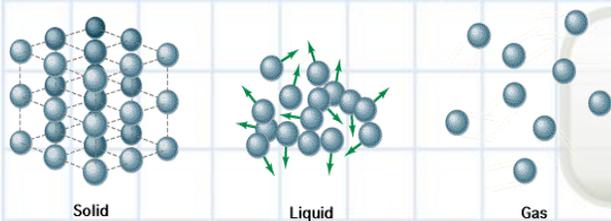
температура кипения,  $T_k$  — температура, при которой давление паров жидкости становится равным внешнему давлению;

температура плавления или замерзания,  $T_{пл}$  — температура, при которой давление пара над жидкостью становится равным давлению пара над твёрдой фазой;

процессы фазовых переходов вещества имеют собственные названия:

- из твёрдого в жидкое — плавление;
- из жидкого в газообразное — испарение, кипение, парообразование;
- из твёрдого в газообразное — сублимация, возгонка, парообразование;
- из газообразного в жидкое — конденсация, сжижение;
- из жидкого в твёрдое — кристаллизация, отверждение;
- из газообразного в твёрдое — десублимация, кристаллизация, отверждение

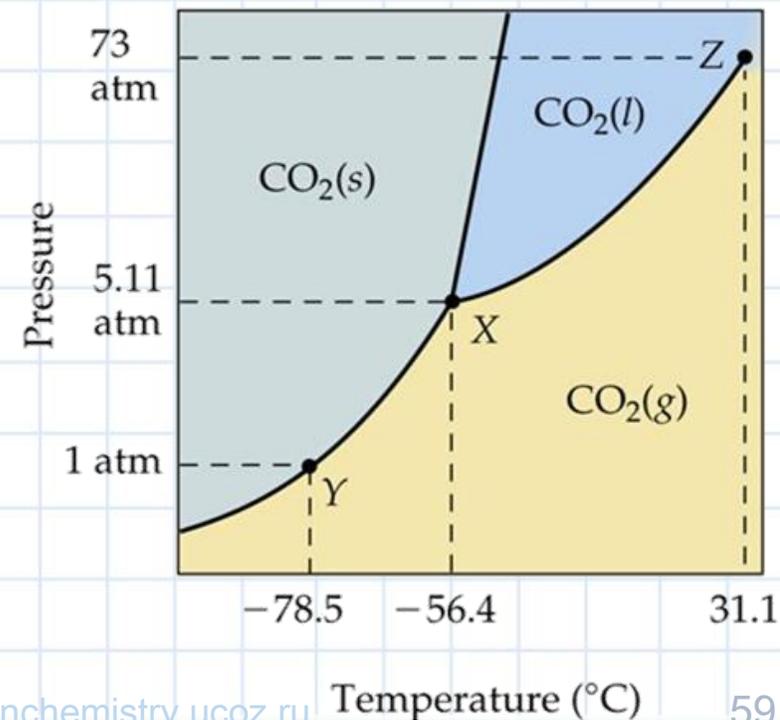
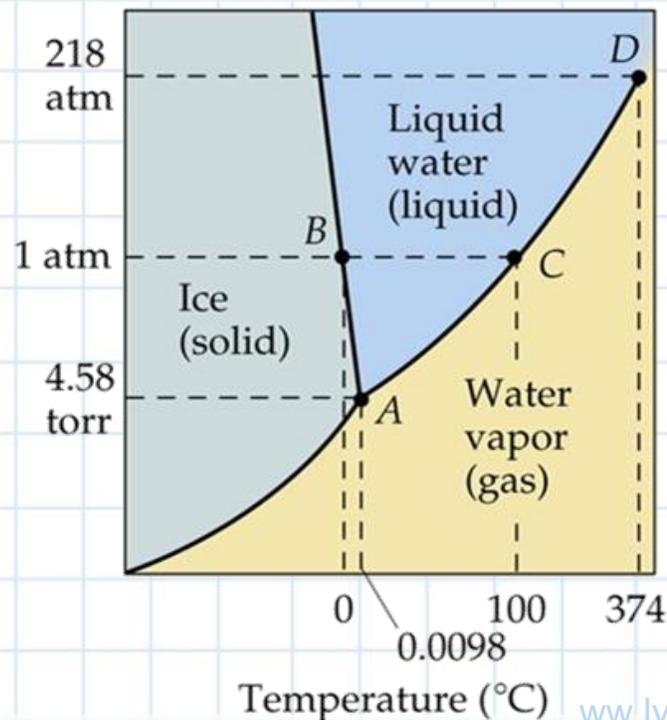
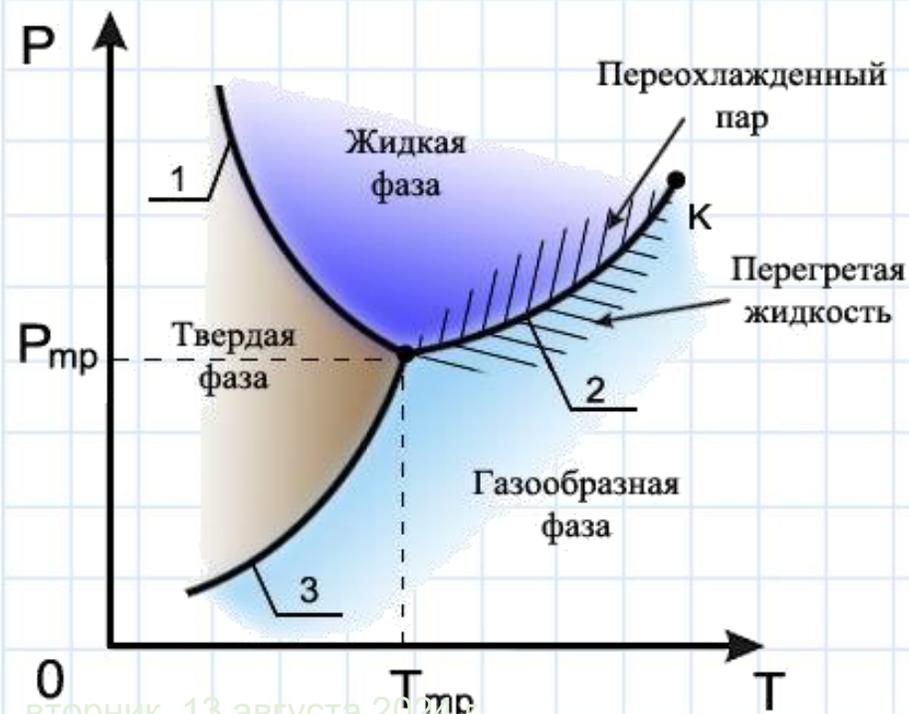


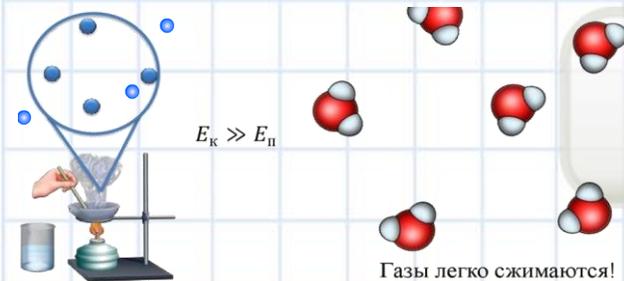


# ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ВЕЩЕСТВА

графическое отображение равновесного состояния макроскопической системы, выражающее зависимость фазовых состояний системы от её параметров;

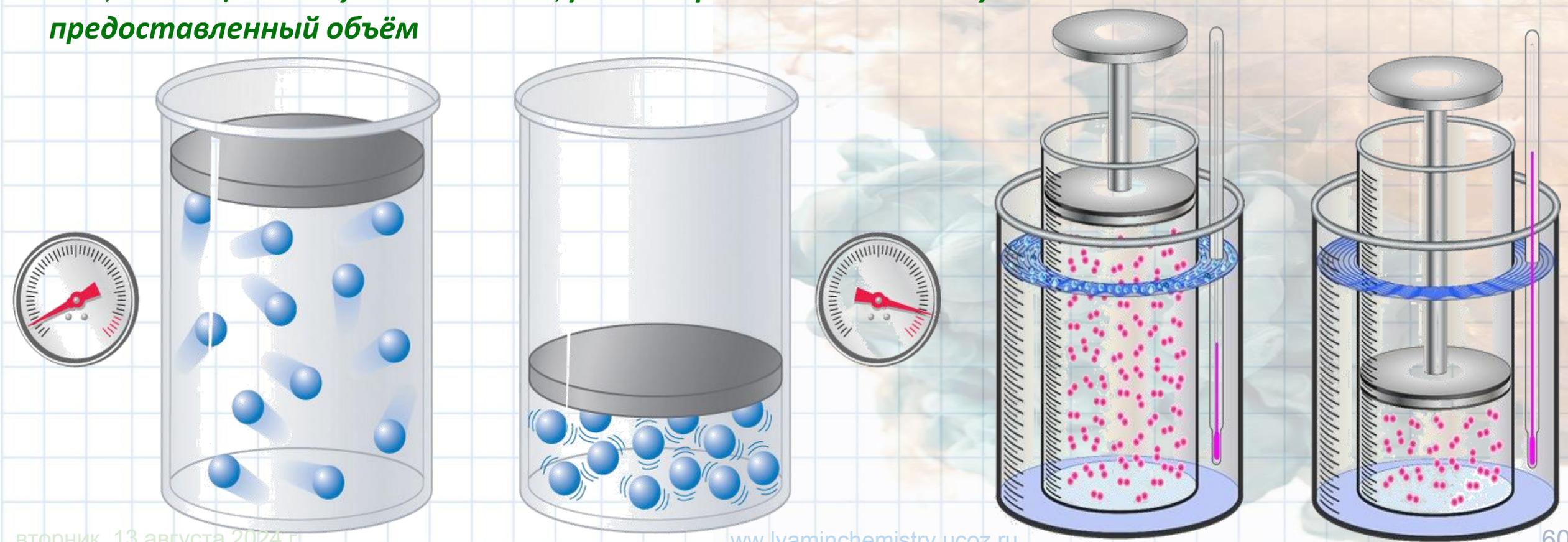
максимальное число фаз, находящихся в равновесии в однокомпонентных системах, равно трём и эти фазы могут сосуществовать лишь при строго фиксированных параметрах — давлении и температура; диаграммы состояния таких систем могут быть изображены на плоскости в координатах  $p-T$ ; на линиях диаграммы в равновесии находятся две фазы; каждая линия отражает зависимость температуры соответствующего фазового перехода от внешнего давления или давления насыщенных паров над жидкой или твёрдой фазами:





*от греческого χάος – хаос*

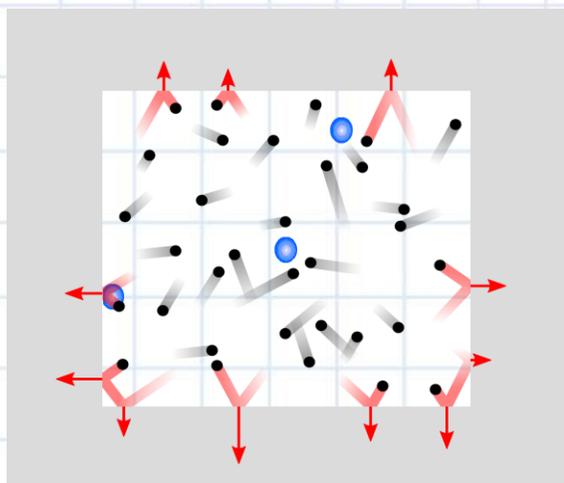
**агрегатное состояние вещества, при котором кинетическая энергия теплового движения частиц значительно превосходит потенциальную энергию взаимодействия между ними, в связи с чем, частицы движутся свободно, равномерно заполняя в отсутствие внешних полей весь предоставленный объём**



# МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

*математическая модель газа, в которой в рамках молекулярно-кинетической теории (МКТ) предполагается, что:*

- потенциальной энергией взаимодействия частиц, составляющих газ, можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией;*
- суммарный объём частиц газа пренебрежимо мал;*
- между частицами не действуют силы притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги;*
- время взаимодействия между частицами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями;*

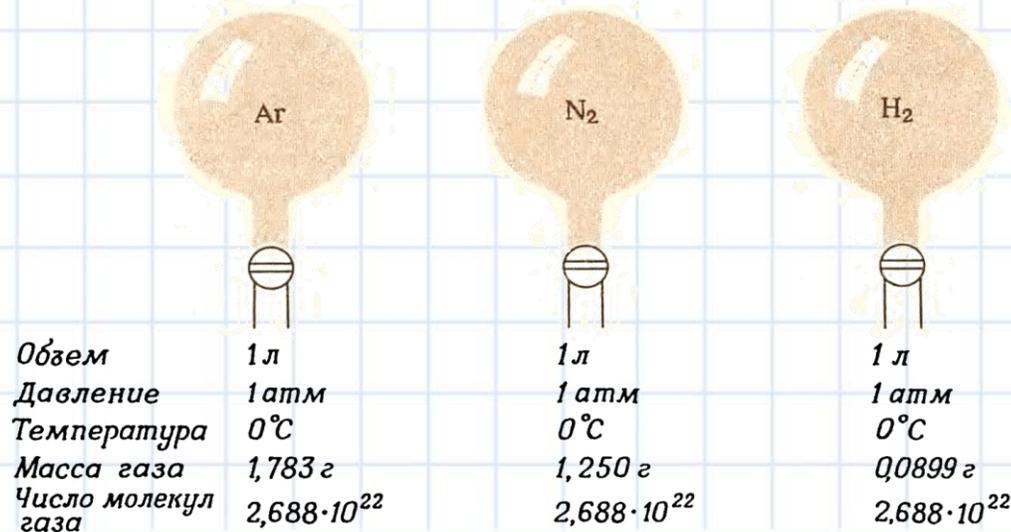
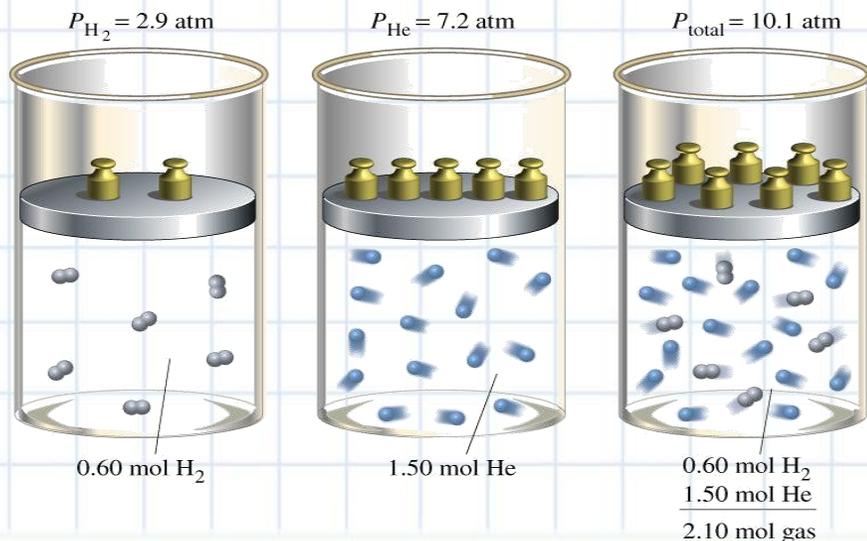


# АВОГАДРО ЗАКОН

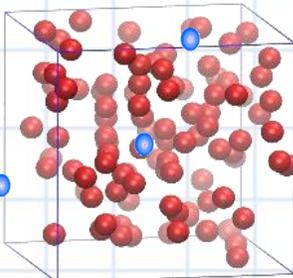
*в равных объёмах различных газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул*

- ✓ *один моль любого газа в идеальных условиях при постоянных температуре и давлении занимает один и тот же объём; при давлении 101325 Па, 1 атм, 760 мм рт. ст. и температуре 273 К, 0° С объём любого идеального газа равен 0,0224136 м<sup>3</sup>;*
- ✓ *плотности  $\rho_2$  и  $\rho_1$  двух газов в идеальных условиях при одних и тех же давлении и температуре прямо пропорциональны, а удельные объёмы  $V_1$  и  $V_2$  обратно пропорциональны их молярным массам  $M_2$  и  $M_1$ ;*

*число частиц в одном моль вещества называют числом Авогадро,  $N_A$ , моль<sup>-1</sup> —  $6,022 \times 10^{23}$*



# УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА



$$E_k = \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{fRT}{2N_A};$$

$$U = \frac{f}{2}kTN = \frac{f}{2}nRT;$$

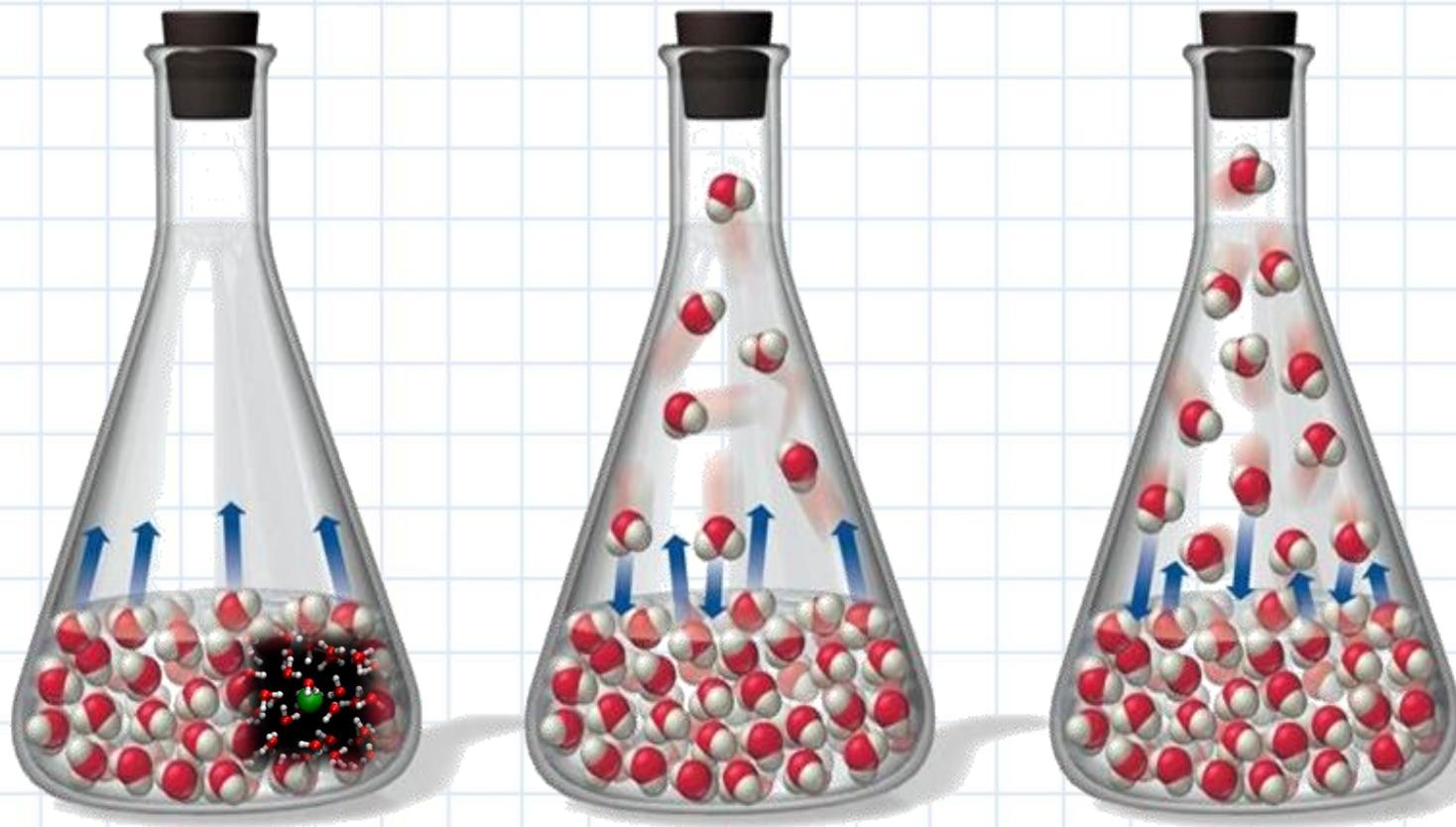
$$\bar{v} = \sqrt{\frac{fRT}{M}};$$

$$p = \frac{m\bar{v}^2}{3V} = \frac{\rho RT}{M};$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}; \quad pV = nRT$$

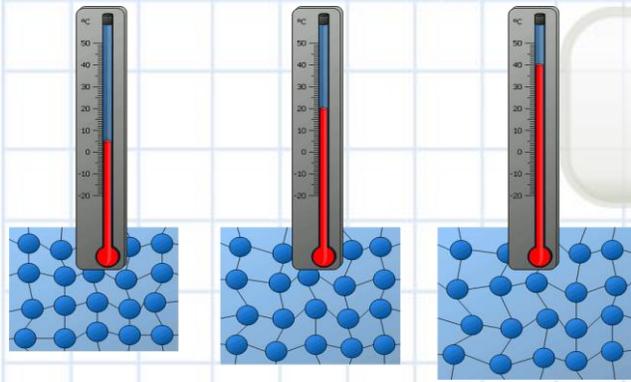
Постоянная Авогadro	$N_A$	$6,0221415(10) \times 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Постоянная Больцмана	$k$	$1,3806505(24) \times 10^{-23}$ Дж·К <sup>-1</sup>
Газовая постоянная	$R$	$8,314472(15)$ Дж·К <sup>-1</sup> ·моль <sup>-1</sup> $R = kN_A$
Число степеней свободы частицы	$f$	одноатомный газ — 3; двухатомный газ — 5; трёхатомный газ и твёрдое вещество — 6
Средняя кинетическая энергия отдельной частицы идеального газа		$\bar{E}_k = \frac{m_0\sqrt{\bar{v}^2}^2}{2}; \quad \bar{E}_k = \frac{fkT}{2}$
Наиболее вероятная скорость частиц идеального газа		$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$
Средняя арифметическая скорость частиц идеального газа		$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}; \quad \bar{v} = 1,128 \cdot v_m$
Средняя квадратичная скорость частиц идеального газа		$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 158 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}; \quad \sqrt{\bar{v}^2} = 1,225 \cdot v_m$
Средняя длина свободного пробега частиц идеального газа		$\bar{l} = \frac{RT}{d^2pN_A\pi\sqrt{2}} \approx 10^{-7}$ м
Среднее число соударений частиц идеального газа		$\bar{z} = \frac{d^2\bar{v}pN_A\pi\sqrt{2}}{RT} \approx 10^9 - 10^{10}$ с <sup>-1</sup>
Давление частиц идеального газа		$p = \frac{m\bar{v}^2}{3V}$

*агрегатное состояние вещества, отличающееся в расположении частиц ближним порядком — корреляцией, согласованностью на малых расстояниях, сравнимых с размерами самих частиц и малым различием в кинетической энергии теплового движения частиц и их потенциальной энергии взаимодействия;*



*из-за сохранения объёма жидкость способна образовывать свободную поверхность и т.о. возникают силы, стремящиеся уменьшить площадь поверхности раздела — силы поверхностного натяжения; поэтому мыльные пузыри и пузыри при кипении стремятся принять сферическую форму: при данном объёме минимальной поверхностью обладает шар; маленькие объекты способны «плавать» на поверхности жидкости*

# ТВЁРДАЯ ФАЗА



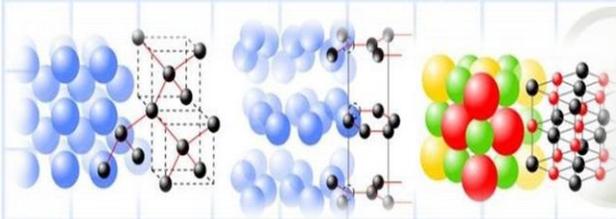
*агрегатное состояние вещества, отличающееся стабильностью формы:*

*потенциальная энергия взаимодействия частиц превосходит кинетическую энергию их движения; и характером теплового движения частиц, которые совершают малые колебания вблизи положений равновесия;*

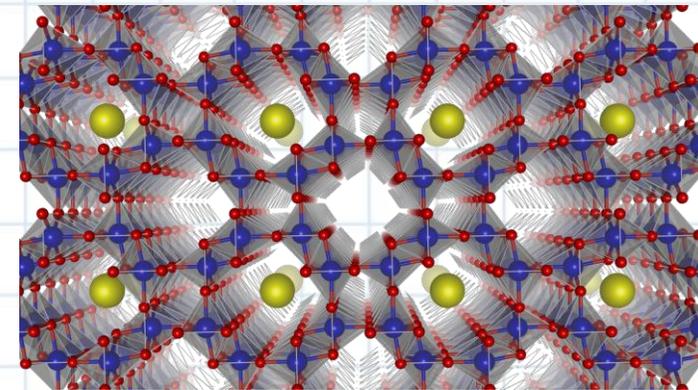
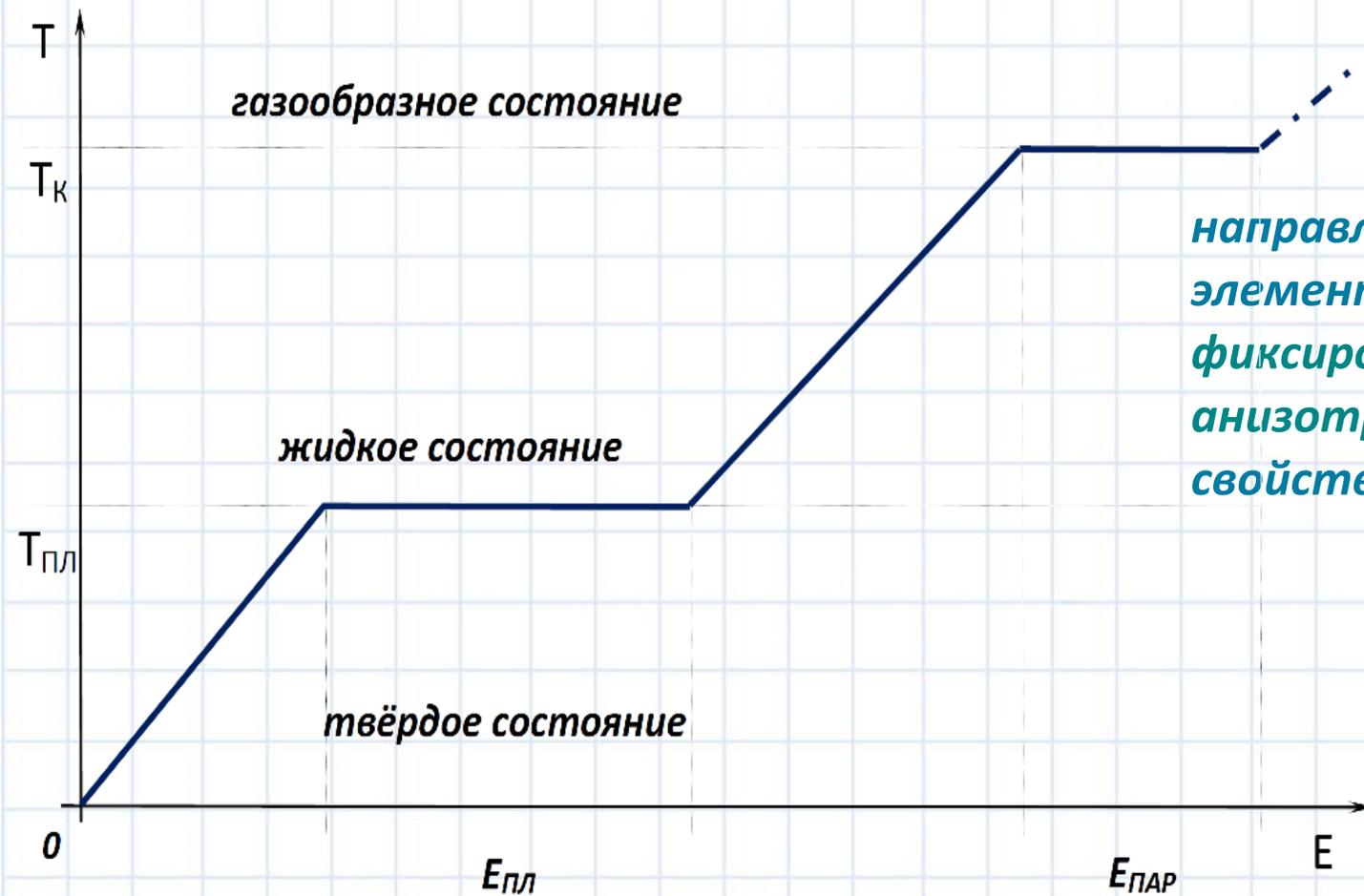
*в покое твёрдые тела сохраняют форму, но деформируются под воздействием внешних сил; в зависимости от величины приложенной силы различают: упругую деформацию, при которой тело возвращает себе первоначальную форму после снятия приложенных сил; пластическую деформацию, при которой начальная форма не сохраняется; твёрдое тело имеет присущий ему порог деформации, после которого наступает разрушение.*



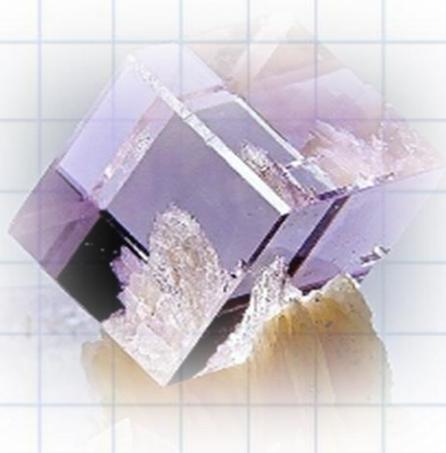
# КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ



от греческого *κρύσταλλος* — лёд, горный хрусталь, кристалл  
состояние вещества, характеризующееся  
кристаллической решёткой — строго  
упорядоченной структурой с дальним  
порядком (строгая повторяемость во всех  
направлениях одного и того же структурного  
элемента — группы частиц), постоянной строго  
фиксированной температурой плавления,  $T_{пл}$  и  
анизотропией (зависимость макроскопических  
свойств от направления)



# КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА ВЕЩЕСТВА

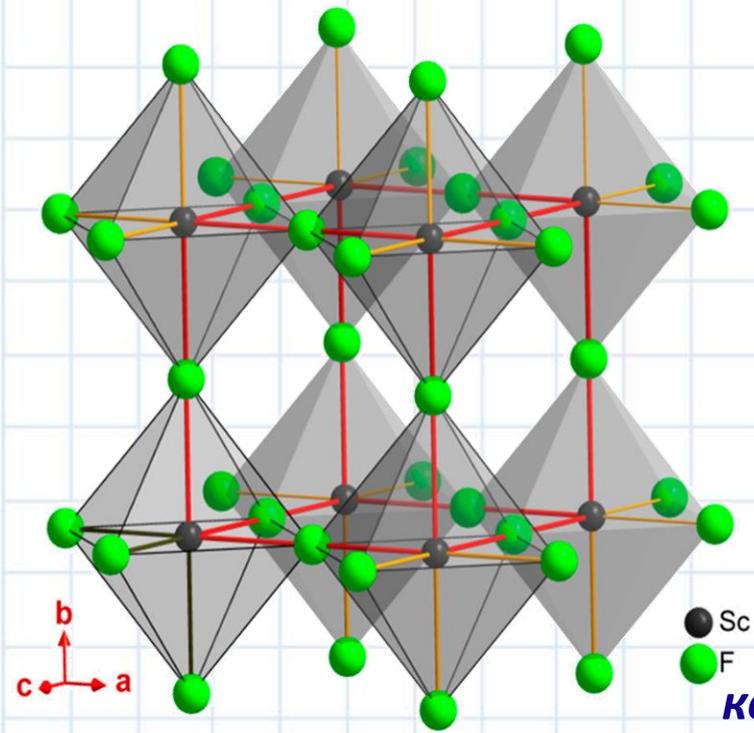


*математическая абстракция: пространственное периодическое расположение частиц в кристаллическом веществе;*

*узлы кристаллической решётки — идентичные точки кристаллической решётки, указывающие, но необязательно, на расположение частиц вещества;*

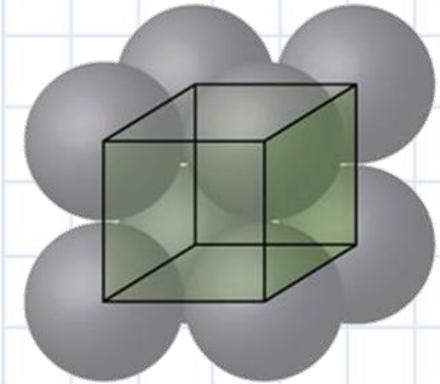
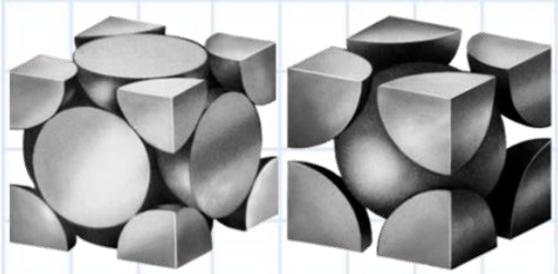
*элементарная ячейка — периодически повторяющаяся в пространстве часть кристалла: параллелепипед, построенный на узлах решётки с минимальным объёмом, отражающим все особенности структуры вещества, параллельные переносы которого в трёх измерениях позволяют построить всю кристаллическую решётку;*

*период (параметр) решётки,  $a$  — расстояние между центрами двух соседних частиц в элементарной ячейке решётки;*

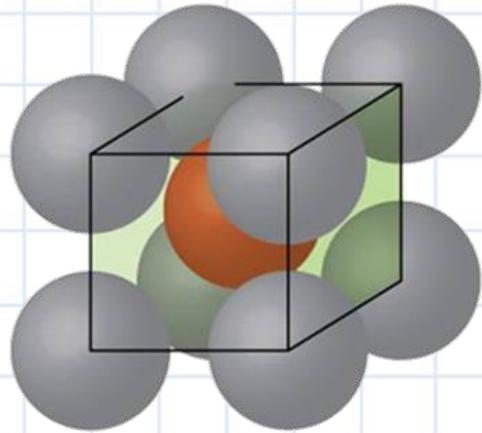
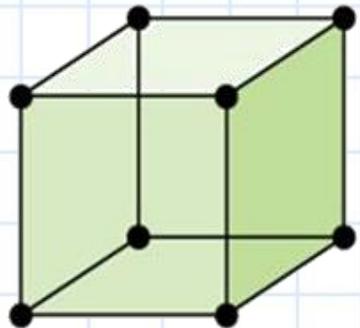


*координационное число — количество частиц, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от любой выбранной частицы в решётке.*

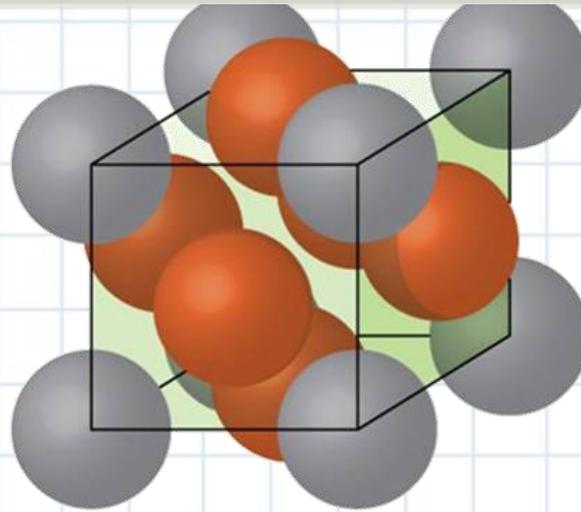
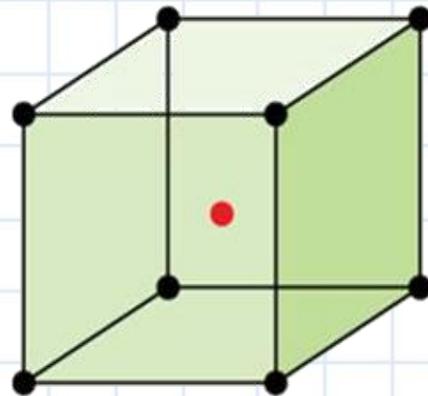
# ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЁТОК



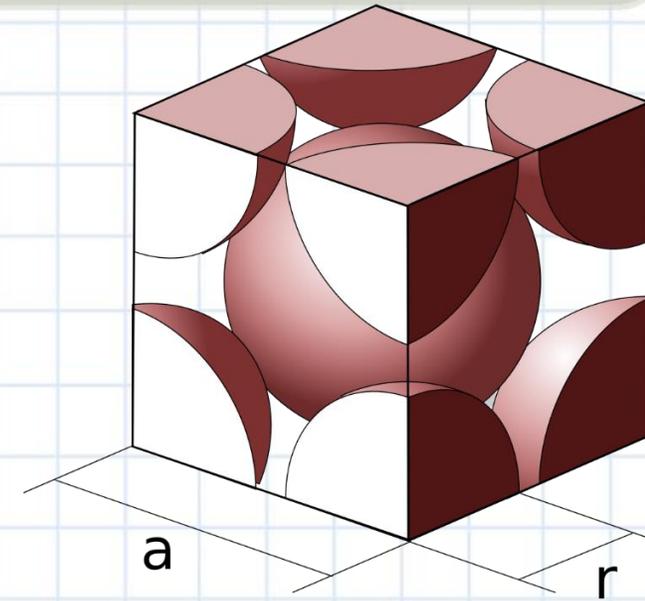
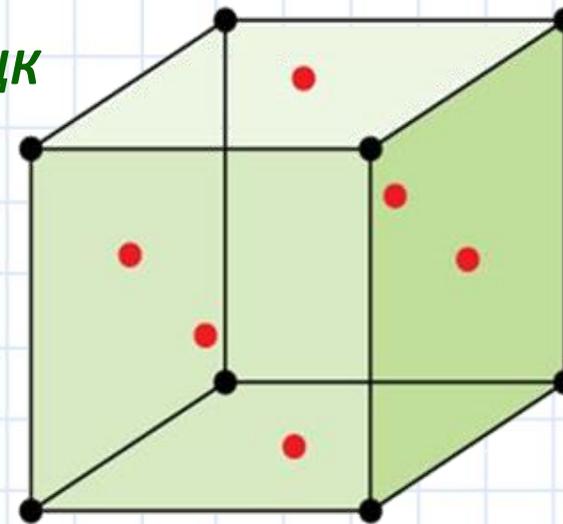
*примитивная  
кубическая  
решётка*



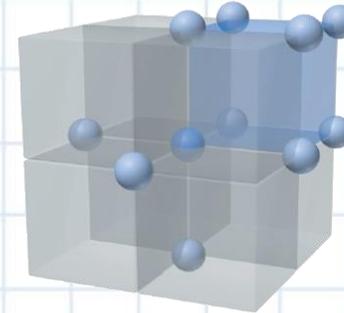
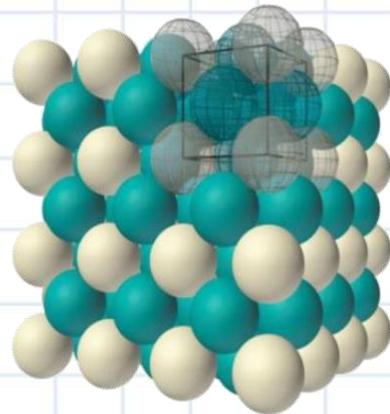
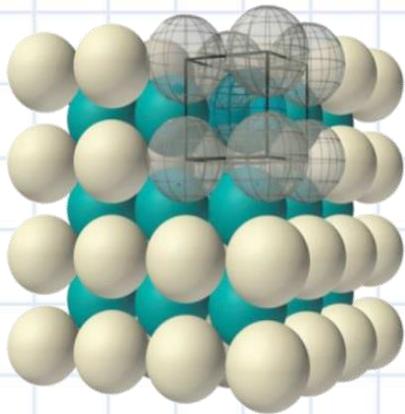
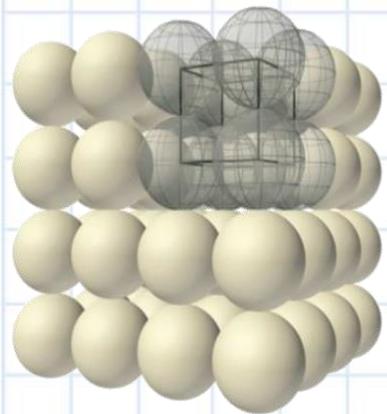
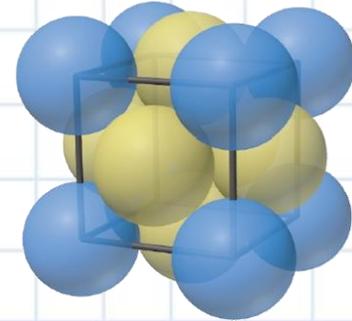
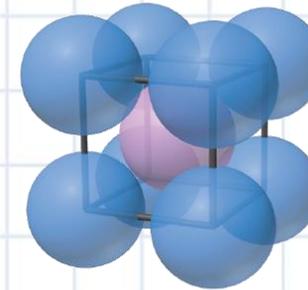
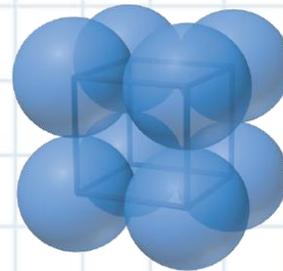
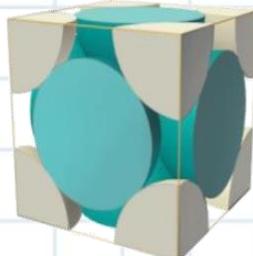
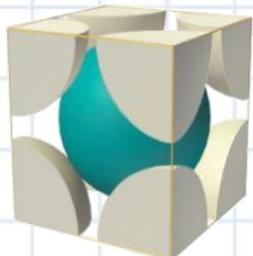
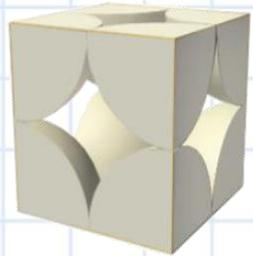
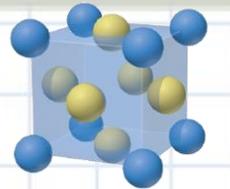
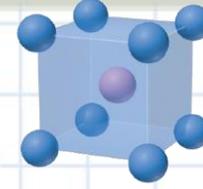
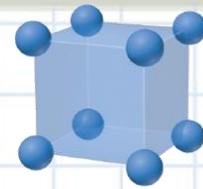
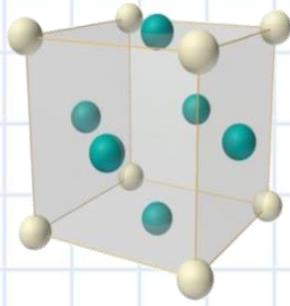
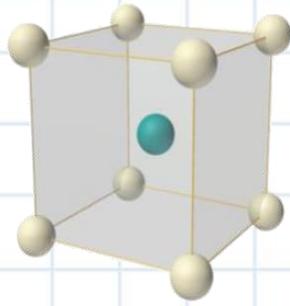
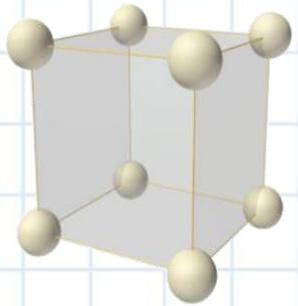
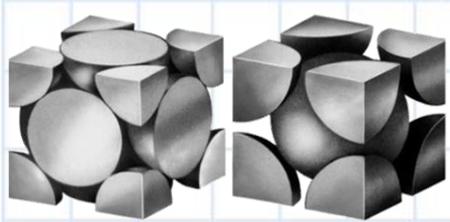
*объёмноцентрированная  
кубическая  
решётка ОЦК*



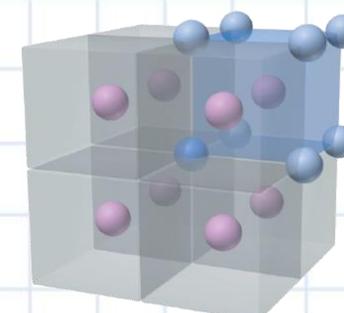
*гранецентрированная  
кубическая  
решётка ГЦК*



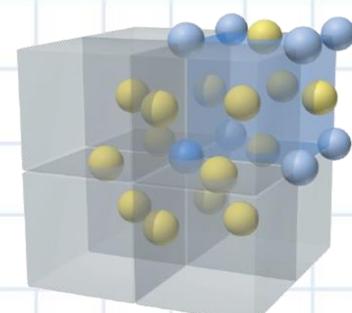
# ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЁТОК



Coordination number = 6

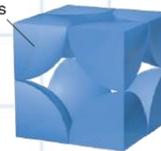


Coordination number = 8



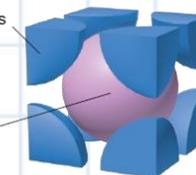
Coordination number = 12

$\frac{1}{8}$  atom  
at 8 corners



Atoms/unit cell =  $\frac{1}{8} \times 8 = 1$

$\frac{1}{8}$  atom  
at 8 corners

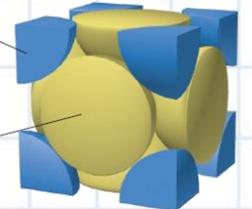


1 atom  
at center

Atoms/unit cell =  $(\frac{1}{8} \times 8) + 1 = 2$

$\frac{1}{8}$  atom  
at 8 corners

$\frac{1}{2}$  atom  
at 6 faces

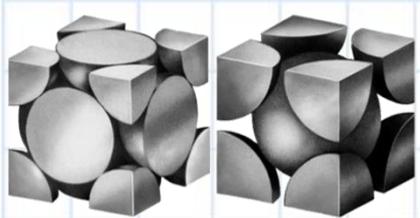


Atoms/unit cell =  $(\frac{1}{8} \times 8) + (\frac{1}{2} \times 6) = 4$

(a) Simple cubic

(b) Body-centered cubic

(c) Face-centered cubic



# ПОСТОЯННЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ ВЕЩЕСТВА

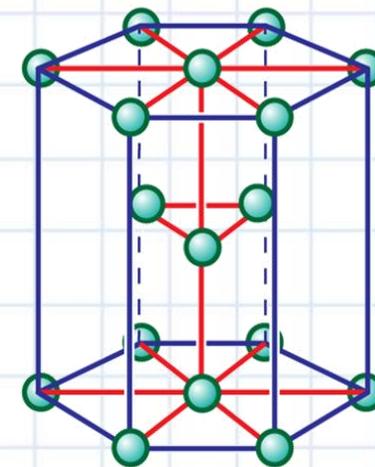
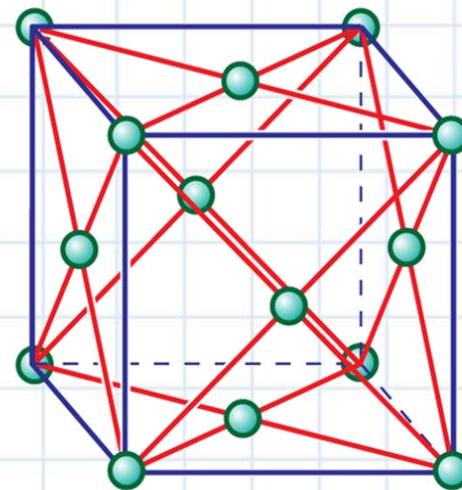
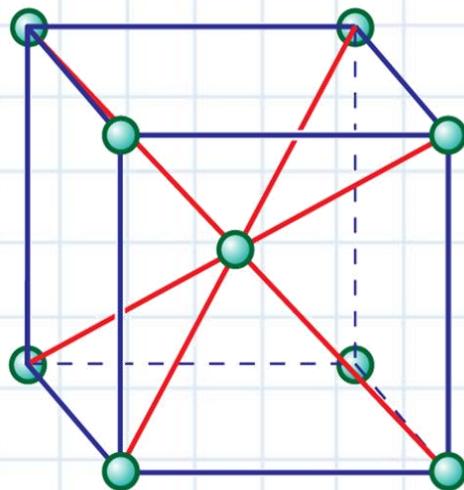
*базис решётки — количество частиц, приходящихся на одну элементарную ячейку;*

*коэффициент компактности решётки или плотность упаковки,  $\eta$  — отношение объёма, занимаемого частицами  $V_0$ , ко всему объёму решётки  $V_p$ , т. е.  $\eta = V_0/V_p$ ;*

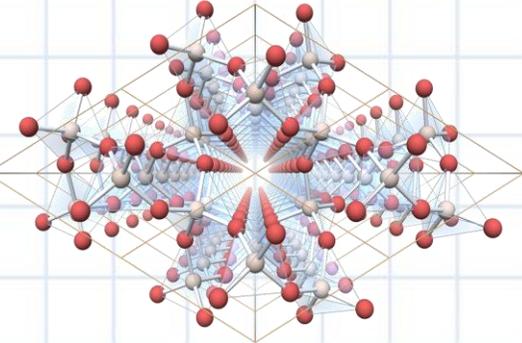
*коэффициент упаковки — доля пространства, занимаемого частицами элементарной ячейки от объёма ячейки:*

$$\eta = \frac{n \cdot V_0}{V_{\text{ячейки}}};$$

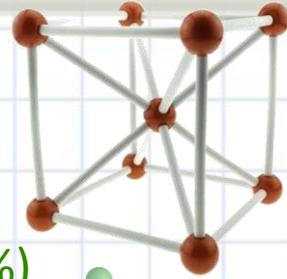
*энергия кристаллической решётки — энергия, выделяющаяся при образовании кристалла из частиц, исходно находящихся в состоянии идеального газа*



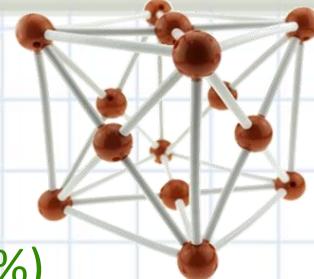
# КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВ



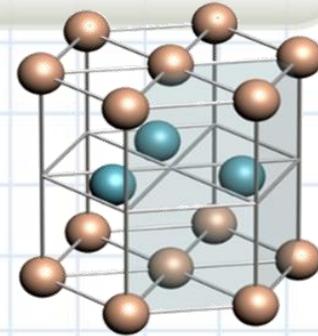
**металлы:** ОЦК (к.ч. 8, 68%)



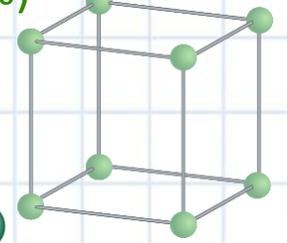
**ГЦК (к.ч. 12, 74%)**



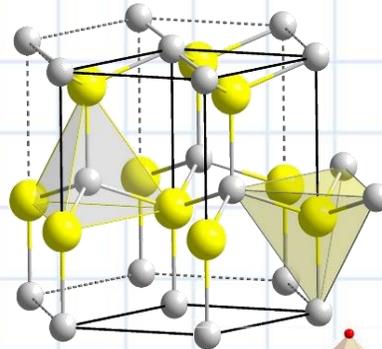
**ГПУ (к.ч. 12, 74%)**



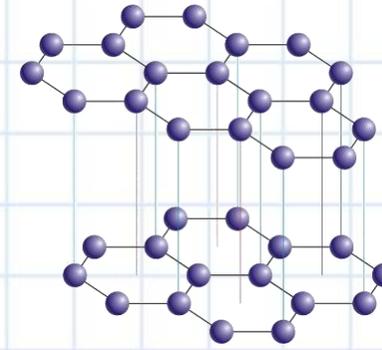
**неметаллы:** ПК (к.ч. 8, 52%)



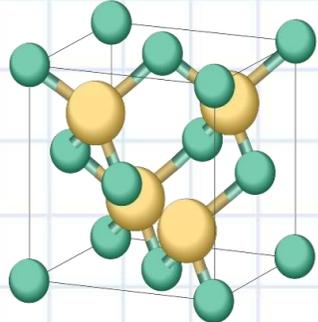
**алмаз (к.ч. 4, 34%)**



**графит**

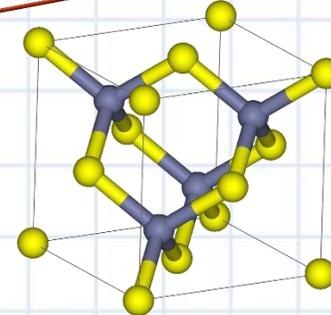


**ковалентные:**



**карборунд**

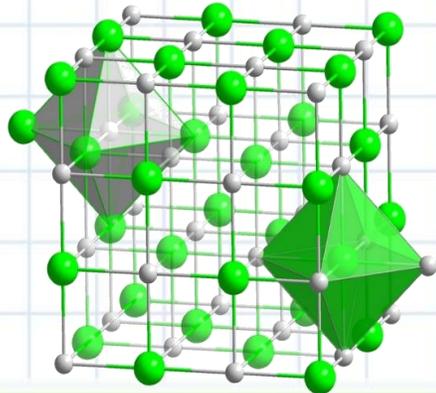
**вюрцит**



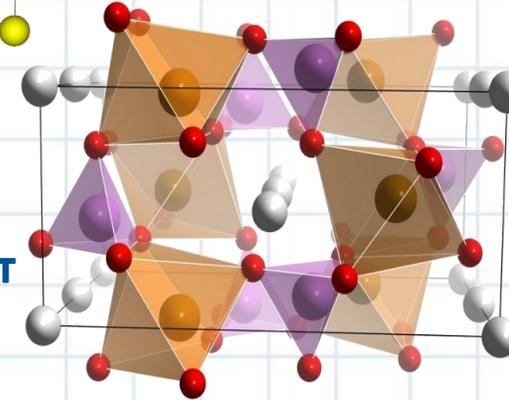
**сфалерит**

**ионные:**

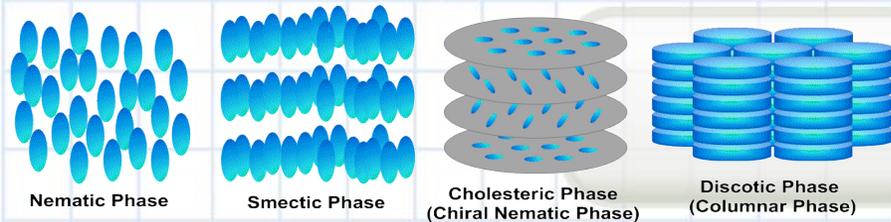
**галит**



**лития фосфат**



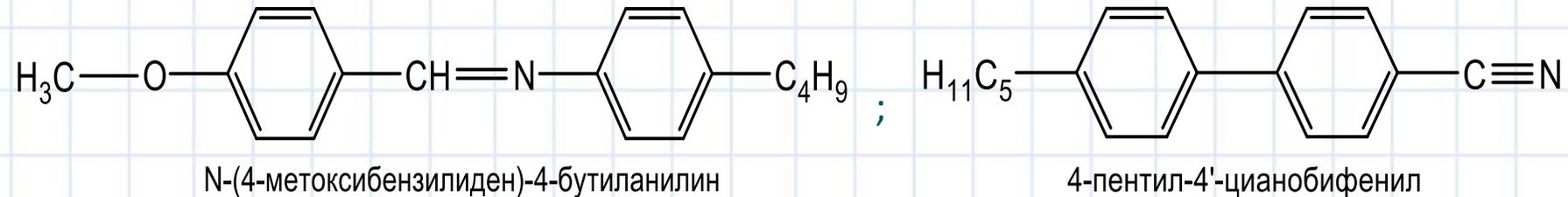
# ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ



**мезофазы, мезоморфное состояние вещества, анизотропная жидкость — вещества в состоянии, промежуточным между кристаллическим и изотропным жидким;**

**жидкие кристаллы, сохраняя свойства жидкости, например, текучесть, обладают характерной особенностью кристаллов — анизотропией свойств;**

**открыты австрийским ботаником Фридрихом Рейнитцером в 1888 г. и немецким физиком Отто Леманном в 1889 г.; известны несколько тысяч органических соединений, образующих жидкие кристаллы, например:**



**жидкие кристаллы используются в измерительных приборах, датчиках, всевозможных дисплеях, проекторах; перспективным является использование дисплеев с памятью для электронных карточек и «электронной бумаги»;**

**биомолекулы ДНК, вирусы и др. также могут находиться в жидкокристаллическом состоянии; особую роль играют жидкие кристаллы биомембран в процессах ионного транспорта, механизмах фотосинтеза и зрения, в процессах самоорганизации биологических структур**

# АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ

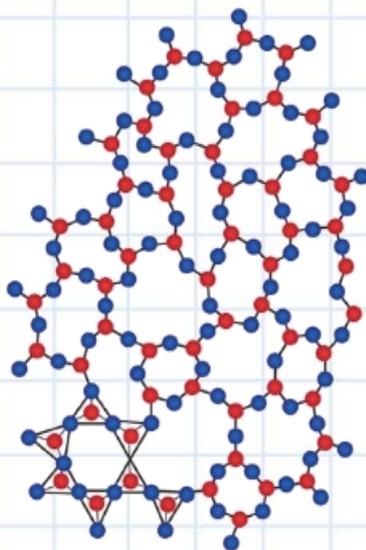
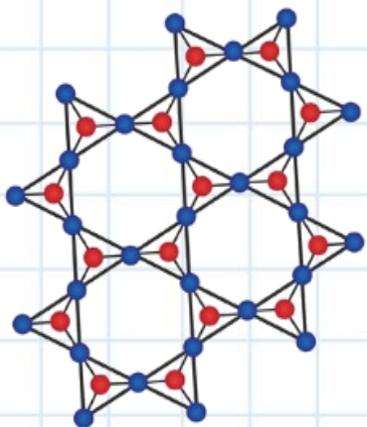
от греческого  $\alpha$  – не-, отрицание и  $\mu\omicron\rho\phi\acute{\eta}$  – вид, форма

**состояние вещества, характеризующееся только ближним порядком (корреляцией, согласованностью на малых расстояниях, сравнимых с размерами самих частиц), отсутствием фиксированной температуры плавления, интервалом температур размягчения и изотропией (независимостью макроскопических свойств от направления).**



Crystalline SiO<sub>2</sub>  
(Quartz)

Amorphous SiO<sub>2</sub>  
(Glass)



● Si ● O



# ВЫВОД ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ

Внутренняя энергия газа равна сумме энергий молекул

$$U = nN_A E_k = \frac{f}{2} nN_A kT = \frac{f}{2} nRT = \frac{f}{2} pV$$

Работа при изобарическом процессе ( $p = const$ )

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p \int_{V_1}^{V_2} dV = p(V_2 - V_1) = p\Delta V = nR(T_2 - T_1) = nR\Delta T$$

Работа при изотермическом процессе ( $T = const$ ) через объём

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Работа при изотермическом процессе ( $T = const$ ) через давление

$$W = \int_{p_1}^{p_2} p dV = \int_{p_1}^{p_2} p d\left(\frac{nRT}{p}\right) = nRT \int_{p_1}^{p_2} p d\left(\frac{1}{p}\right) = nRT \int_{p_1}^{p_2} p \left(-\frac{dp}{p^2}\right) = -nRT \int_{p_1}^{p_2} \frac{p dp}{p^2} = nRT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Молярная теплоёмкость идеального газа при постоянном давлении ( $p = const$ )

$$C_{M;p} = \frac{\delta Q}{ndT} = \frac{dU + \delta W}{ndT} = \frac{1}{ndT} \left( \frac{fnRdT}{2} + nRdT \right) = R \left( \frac{f+2}{2} \right)$$

Молярная теплоёмкость идеального газа при постоянном объёме ( $V = const$ )

$$C_{M;V} = \frac{\delta Q}{ndT} = \frac{dU + \delta W}{ndT} = \frac{1}{ndT} \left( \frac{fnRdT}{2} + 0 \right) = R \frac{f}{2}$$



# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ И ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Постоянная Авогadro	$N_A$	$6,0221415(10) \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k$	$1,3806505(24) \times 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Газовая постоянная	$R$	$8,314472(15) \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Число степеней свободы частицы	$f$	одноатомный газ — 3; двухатомный газ и $\text{CO}_2$ — 5; трёхатомный газ и твёрдое вещество — 6
Показатель адиабаты $\frac{C_p}{C_v}$	$\gamma$	$\frac{f+2}{f}$
Уравнение состояния идеального газа, Менделеева-Клапейрона		$pV = nRT$
Кинетическая энергия молекулы газа		$E_k = \frac{fkT}{2}$
Кинетическая энергия 1 моль частиц газа		$E_k = \frac{fRT}{2}$
Внутренняя энергия газа		$U = \frac{nfRT}{2}; U = \frac{fpV}{2}$
Изменение внутренней энергии газа		$dU = \delta Q - \delta W; \Delta U = Q - W$
Работа расширения газа		$\delta W = pdV; W = \int_{V_1}^{V_2} pdV; W = p\Delta V$
Теплоёмкость газа при постоянном давлении		$C_p = \frac{(f+2)R}{2}$
Теплоёмкость газа при постоянном объёме		$C_v = \frac{fR}{2}$



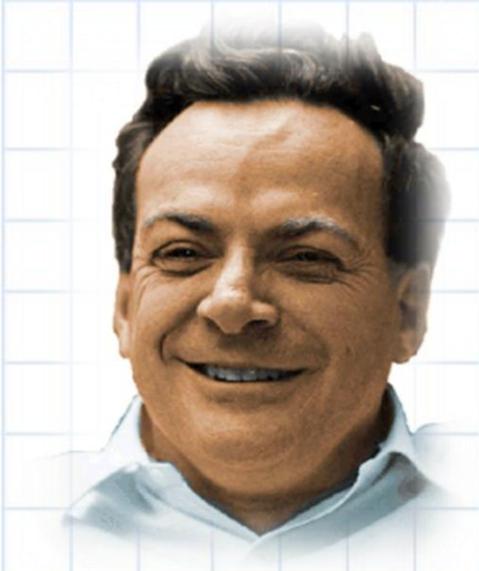
# ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

## ВИДЫ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

	изотермический	изобарический	изохорический	адиабатический
<b>УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА</b>				
условия	$T = const$ $dT = 0$	$p = const$ $dp = 0$	$V = const$ $dV = 0$	$\delta Q = 0$
<b>СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ</b>				
параметры	$pV = const$ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$	$\frac{V}{T} = const$	$\frac{p}{T} = const$	$pV^{c_p/c_v} = const$
<b>ПОДВЕДЁННАЯ ТЕПЛОТА</b>				
$\delta Q$	$\delta Q = \delta W$ $Q = W$	$\delta Q = C_p dT = dH$ $Q = C_p(T_2 - T_1)$	$\delta Q = C_v dT = dU$ $Q = C_v(T_2 - T_1)$	$\delta Q = 0$ $Q = 0$
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ</b>				
$dU$	$dU = 0$ $\Delta U = 0$	$dU = dH - \delta W$ $\Delta U = \Delta H - p\Delta V$	$dU = \delta Q$ $\Delta U = Q$	$dU = C_v dT = -\delta W$ $\Delta U = -p\Delta V$
<b>СОВЕРШЁННАЯ РАБОТА</b>				
$T$	–	$nR\Delta T$	$\delta W = 0$ $W = 0$	$\frac{nRT_1}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$
$p$	$nRT \ln \frac{p_1}{p_2}$	–		$\frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right]$
$V$	$nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$p dV$ $p(V_2 - V_1)$		$\frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma - 1}\right]$



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ДВИЖЕНИЯ



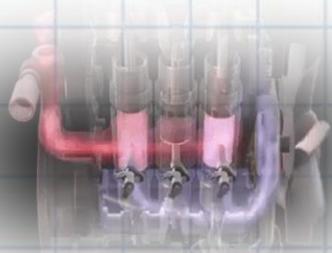
в 1961 году выдающийся преподаватель физики (США) и нобелевский лауреат, **Ричард Филлипс Фейнман (Файнман)** в лекциях так выразился о концепции энергии:

*...существует факт, или, если угодно, закон, управляющей всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор; исключений из этого закона не существует; насколько мы знаем, он абсолютно точен.*

*Название его — **закон сохранения энергии**.*

*Этот закон утверждает, что существует определённая величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Само это утверждение весьма и весьма отвлечено. Это по существу математический принцип, утверждающий, что существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. Это не есть описание механизма явления или чего-то конкретного, просто-напросто отмечается то странное обстоятельство, что можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать свои трюки, а потом опять подсчитать и это число останется прежним.*

# ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ



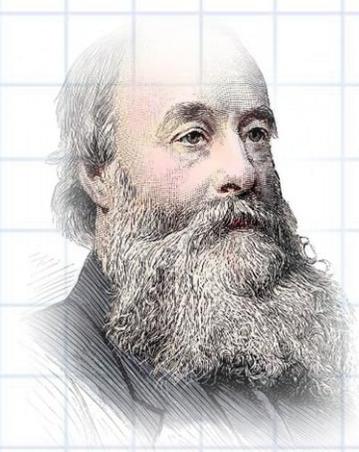
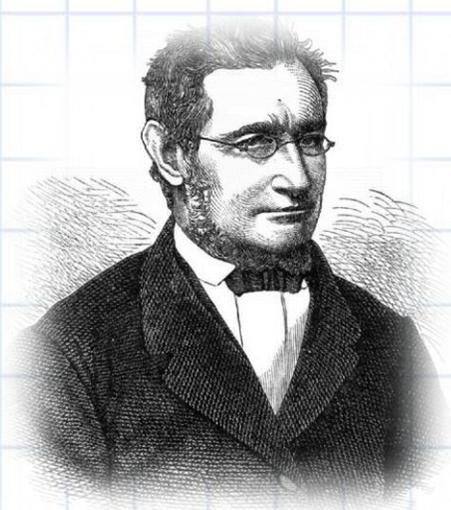
*от латинского *aequivalens* – равноценный, равнозначный*

**энергия не создаётся и не исчезает, а лишь переходит в разные виды или передаётся в другие системы в эквивалентных количествах:**

**установлен независимо:**

$$\Sigma E = const$$

- ✓ **для механики** — в 1686 г. **Готфридом Вильгельмом фон Лейбницем**, Германия;
- ✓ **как всеобщий закон Природы** — в 1842 г. **Юлиусом Робертом Майером**, Германия;
- ✓ **математически обоснован** — в 1847 г. **Германом Людвигом Фердинандом фон Гельмгольцем**;
- ✓ **экспериментально подтверждён** — в 1843-1850 г.г. **Джеймсом Прескоттом Джоулем**, Англия;





**материальное образование, частицы которого не обладают массой покоя, а характеризуются массой движения и кинетической энергией;**

**масса излучения,  $m_v$ , Кг — динамическая масса поля:**

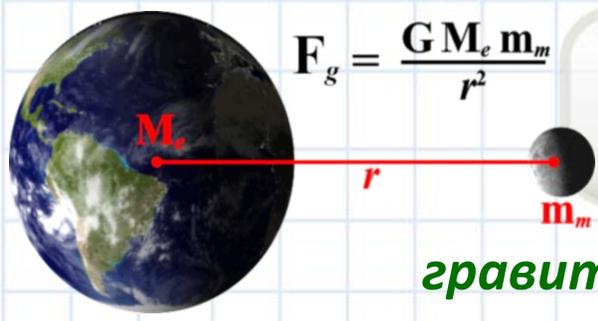
где:  $v$  — скорость материальной точки, м·с<sup>-1</sup>;  $c$  — скорость света,  $3 \times 10^8$  м·с<sup>-1</sup>

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{\frac{1 - v^2}{c^2}}}$$

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Взаимодействие	Частица переносчик	Относительная сила	Зависимость от расстояния	Радиус воздействия, м
гравитационное	гравитон <i>гипотетич.</i>	1	$\frac{1}{r^2}$	$\infty$
электромагнитное	фотон	$10^{34}$	$\frac{1}{r^2}$	$\infty$
ядерное, сильное	глюон	$10^{38}$	1	$10^{-15}$
слабое	$W^+W^-Z^0$ бозоны	$10^{12} - 10^{25}$	$\frac{1}{r} e^{-m_{W,Z}}$	$10^{-13}$

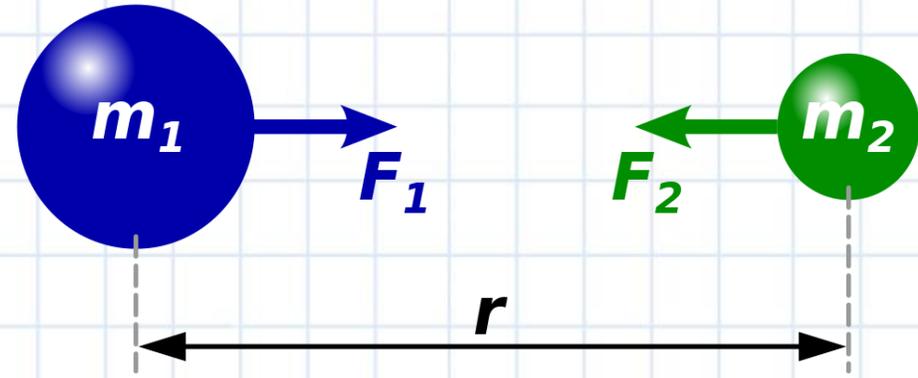
# ДВИЖЕНИЕ ПОЛЯ



**гравитационное взаимодействие; закон Всемирного тяготения Ньютона – Гука:**

$$F_{гр} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

где:  $m_{1,2}$  – масса тел;  $r$  – расстояние между телами;  $G$  – гравитационная постоянная равная примерно  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ ;

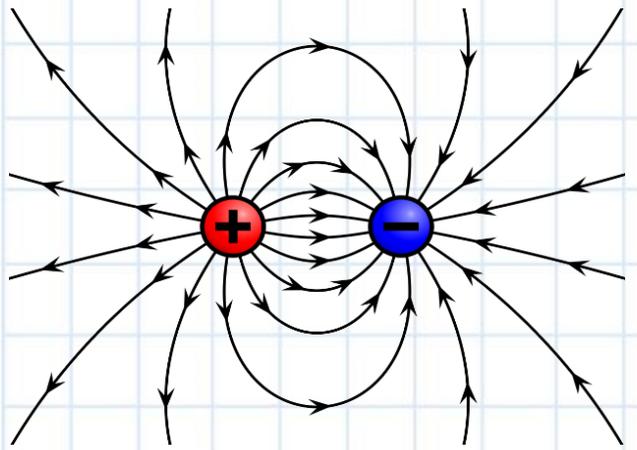


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

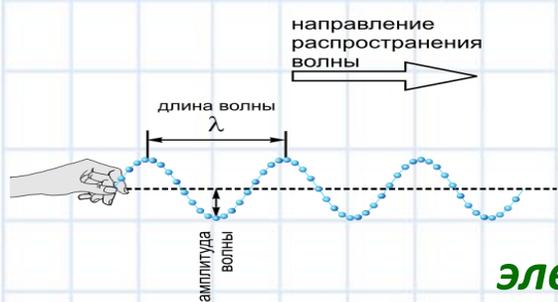
**электромагнитное взаимодействие; закон Кулона:**

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{r}$$

где:  $F$  – сила взаимодействия зарядов, Кл;  
 $r$  – расстояние между зарядами, м;  
 $q$  – точечный заряд, Кл;  
 $\epsilon_0$  – электрическая постоянная  $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$ ;



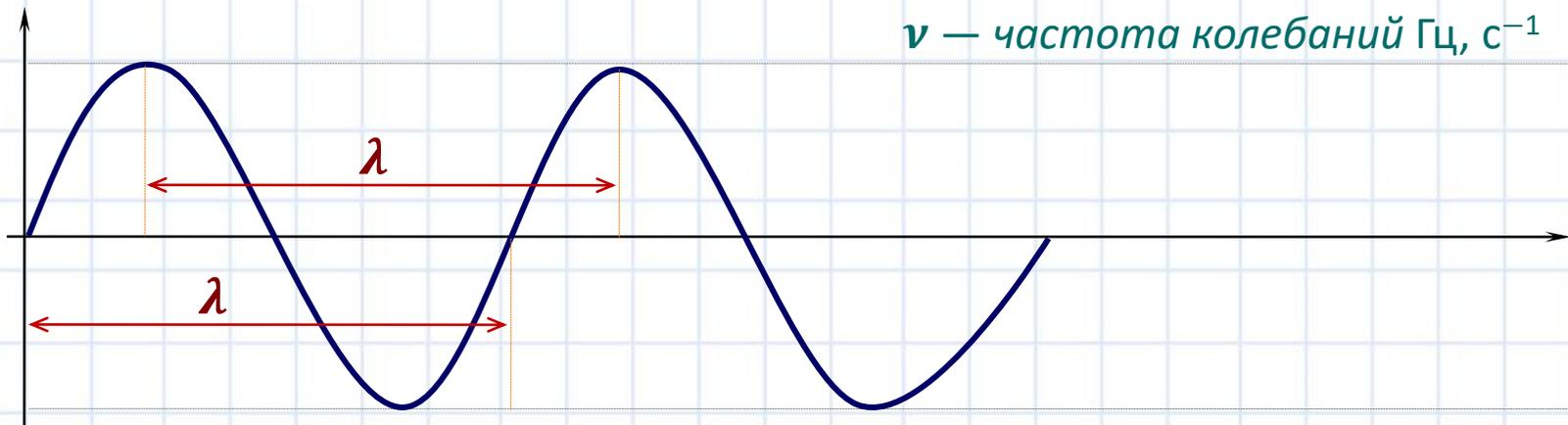
# ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



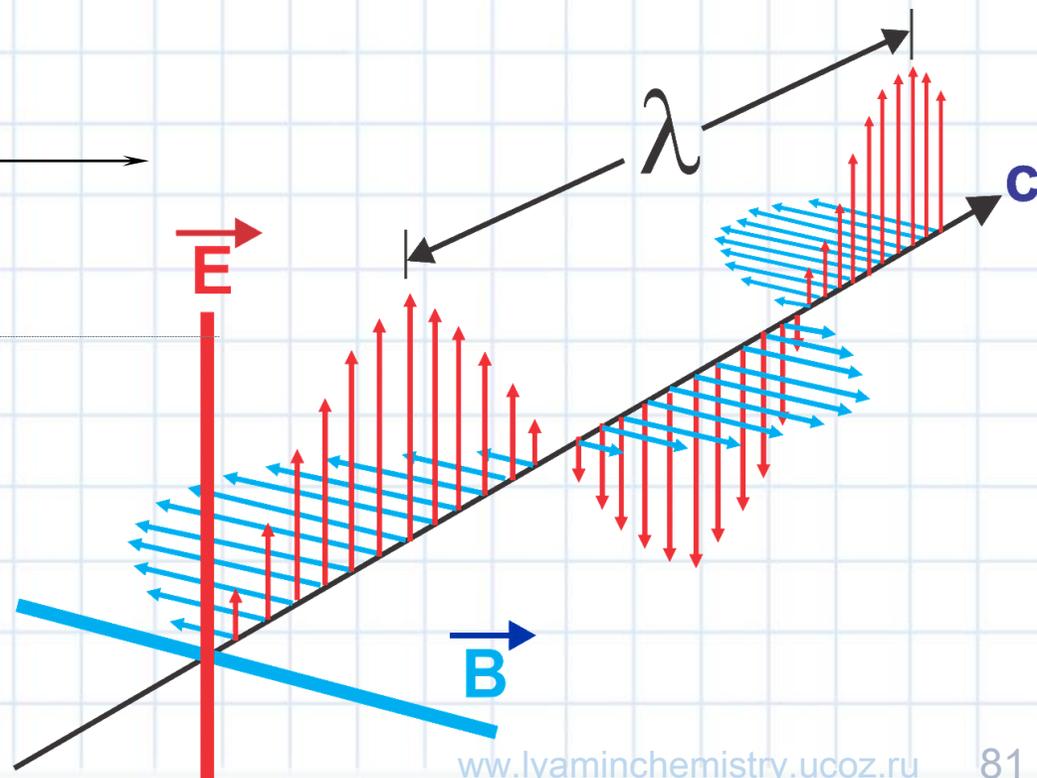
**электромагнитные волны, возбуждаемые различными излучающими объектами: заряженными частицами, атомами, молекулами и др.**

$$v = \lambda \cdot \nu$$

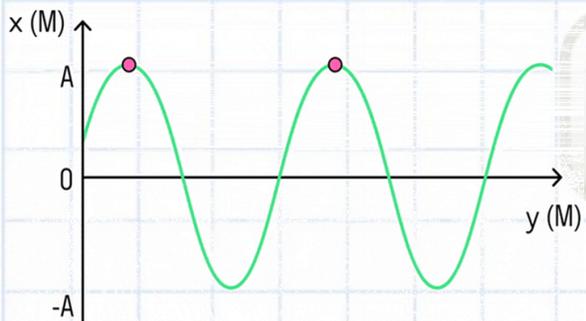
где:  $v$  — фазовая скорость или скорость распространения волны  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$  ;  
 $\lambda$  — длина волны  $\text{м}$  ;  
 $\nu$  — частота колебаний  $\text{Гц}$ ,  $\text{с}^{-1}$



**поперечные волны, распространяющиеся со скоростью  $300000 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$  в вакууме**

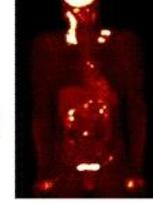
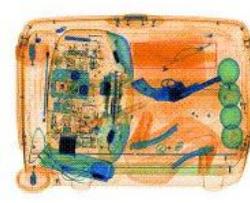
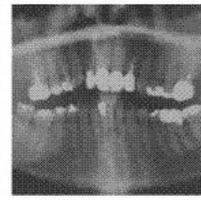
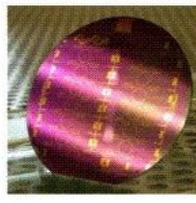
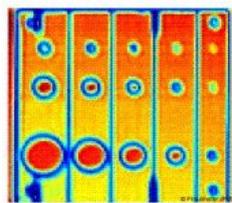
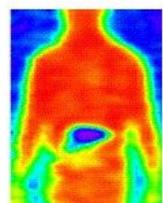
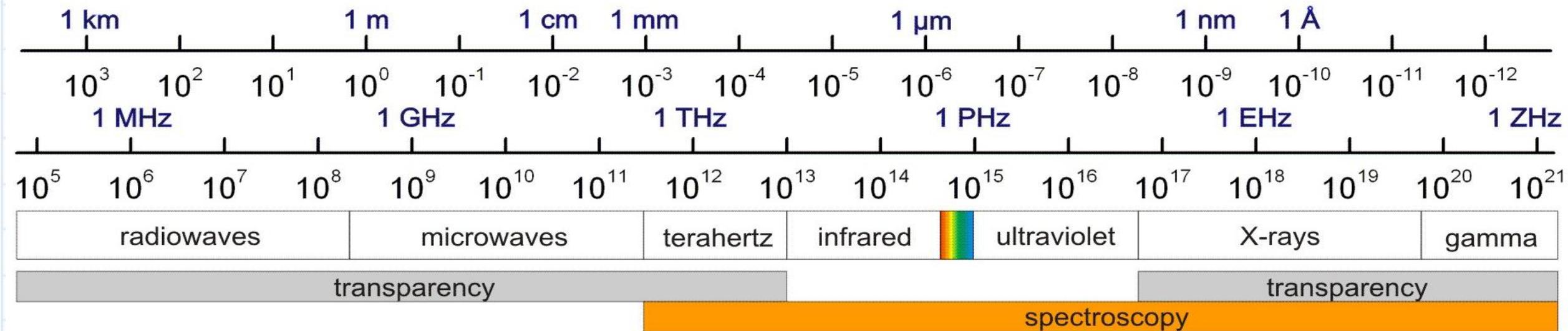
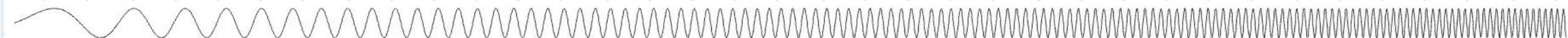


# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ



*в зависимости от длины электромагнитных волн различают:*

*гамма-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое излучение, видимый свет, инфракрасное излучение, радиоволны и низкочастотные электромагнитные колебания:*





# ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

электромагнитные волны распространяются с постоянной скоростью, которая в вакууме составляет около  $300\,000\,000\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и называется скоростью света  $c$ ;

энергия электромагнитного излучения определяется его частотой по уравнению Планка:

$$E = h \cdot \nu$$

где:  $E$  — энергия излучения Дж;  $\nu$  — частота колебаний Гц,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $h$  — постоянная Планка  $6,626 \times 10^{-34}$  Дж·с;

например: **красный свет** имеет длину волны около 700 нм и характеризуется частотой:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,000 \times 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}}{7,000 \times 10^{-7} \text{ м}} = 4,286 \times 10^{14} \text{ с}^{-1}$$

а его энергия составляет:

$$E = h \cdot \nu = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 4,286 \times 10^{14} \text{ с}^{-1} = 2,840 \times 10^{-19} \text{ Дж}$$





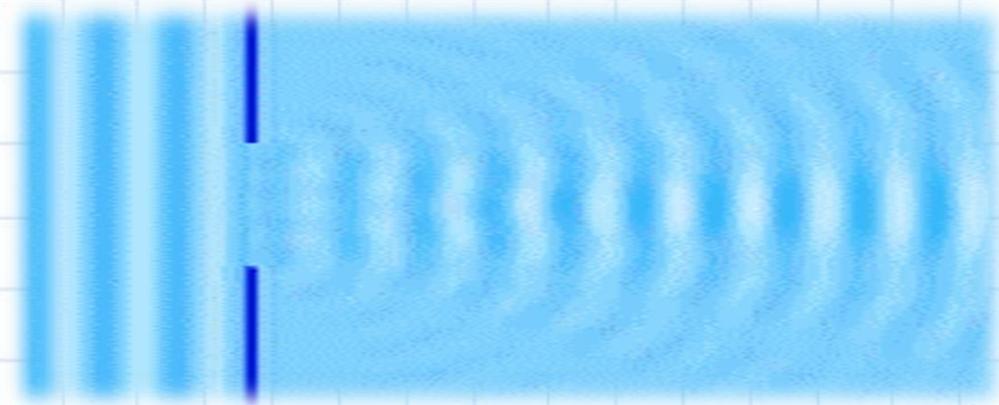
к концу XVIII века для объяснения природы света были предложены две принципиально разные гипотезы: датчанин Христиан Гюйгенс утверждал, что свет есть волна, а английский учёный Исаак Ньютон рассматривал свет как поток частиц; однако опыты англичанина Томаса Юнга и француза Огюста Френеля по интерференции и дифракции в 1815 г. подвели прочную основу под волновую природу света, а эксперимент русского учёного Александра Столетова и учение Альберта Эйнштейна по фотоэффекту в конце XIX начале XX в.в. подтвердили корпускулярную теорию Ньютона; следовательно свет может рассматриваться либо как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, либо как поток частиц — фотонов;

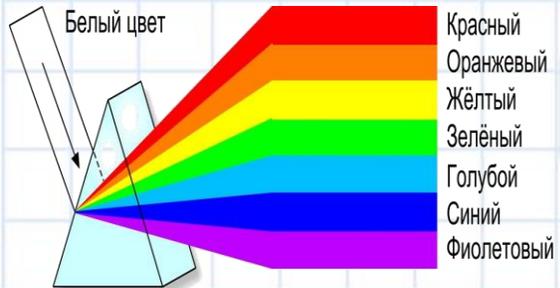
в начале XX века Макс Планк предложил гипотезу: энергия, излучаемая телом, есть результат излучения колеблющимися частицами — осцилляторами отдельных порций энергии — квантов  $h\nu$ :

$$E = m \cdot c^2$$

$$\equiv h \cdot \nu = m \cdot c^2$$

$$E = h \cdot \nu$$



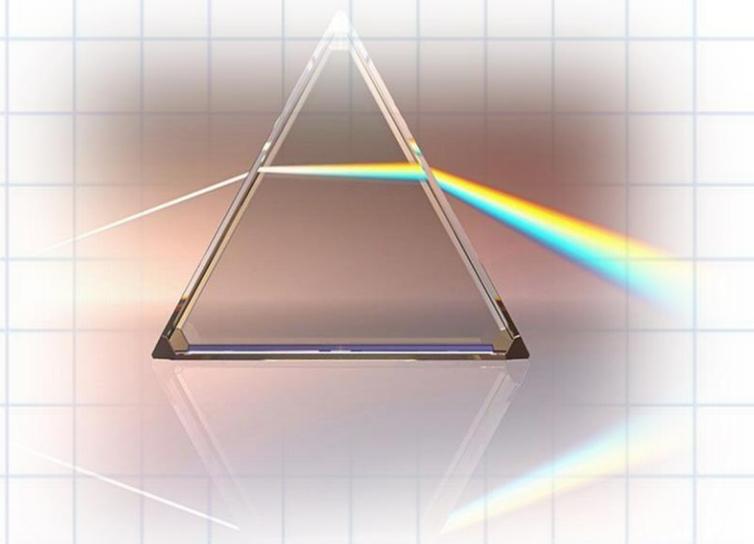
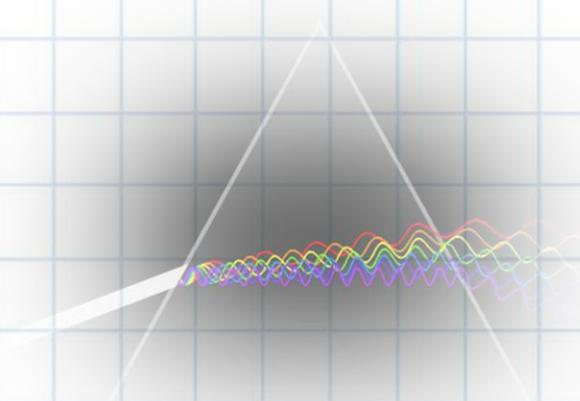


# ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

*от латинского dispersio – рассеяние*

**зависимость фазовой скорости гармонических волн в среде от частоты их колебаний;**

в 1671-1672 г. Ньютон установил, что луч белого света, входящий в стеклянную призму, разлагается на свои составляющие цвета: **красный**, **оранжевый**, **жёлтый**, **зелёный**, **голубой**, **синий**, **фиолетовый**, и показатель преломления света зависит от его цвета, цвет же, в свою очередь, определяется частотой колебаний или длиной световой волны; следовательно, дисперсия света обусловлена зависимостью показателя преломления света от частоты электромагнитных колебаний





# ВИДИМЫЙ СВЕТ

*электромагнитное излучение, испускаемое нагретым или находящимся в возбуждённом состоянии веществом, воспринимаемое человеческим глазом с длинами волн от фиолетового 380 нм до красного 740 нм*

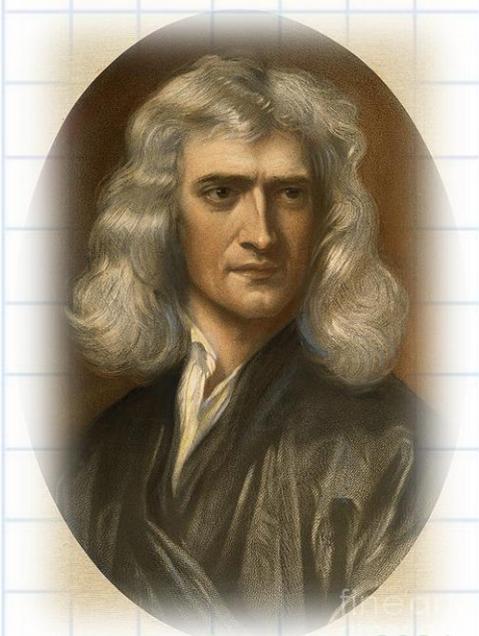
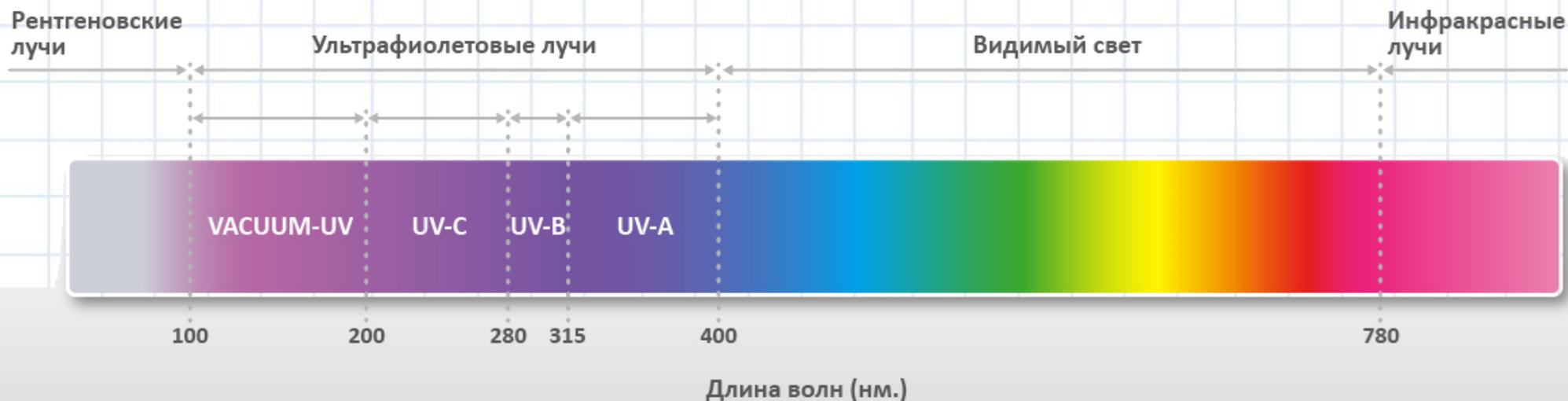
Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
<u>Фиолетовый</u>	380—440	790—680	3,26-2,82
<u>Синий</u>	440—485	680—620	2,82-2,56
<u>Голубой</u>	485—500	620—600	2,56-2,48
<u>Зелёный</u>	500—565	600—530	2,48-2,19
<u>Жёлтый</u>	565—590	530—510	2,19-2,10
<u>Оранжевый</u>	590—625	510—480	2,10-1,98
<u>Красный</u>	625—740	480—405	1,98-1,68



*от латинского *specter* — видение, призрак*

**распределение значений физической величины: энергии, частоты или массы;**  
**графическое представление такого распределения называется спектральной диаграммой;**  
**традиционно под спектром подразумевается электромагнитный спектр — спектр частот или, что то же самое, энергий квантов электромагнитного излучения;**  
**в научный обиход термин «Спектр» ввёл сэр Исаак Ньютон в 1671-1672 г.**

## Спектр электромагнитного излучения

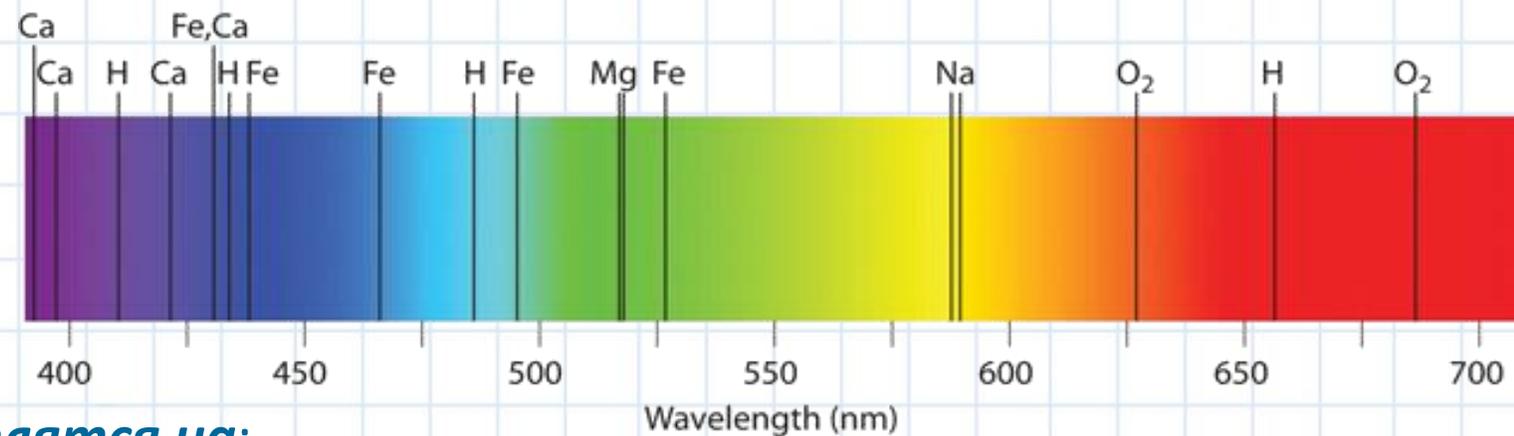


# ПОЛОСАТЫЕ СПЕКТРЫ

*по характеру распределения значений физической величины спектры могут быть:*

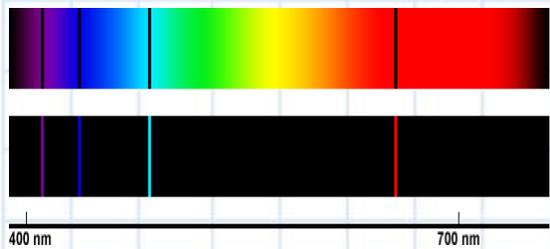
- ✓ непрерывными — сплошными;
- ✓ дискретными — линейчатыми;

*а также представлять комбинацию дискретных и непрерывных спектров — полосатый спектр;*



*по типу взаимодействия излучения с материей, спектры делятся на:*

- ✓ эмиссионные — спектры излучения;
- ✓ абсорбционные — спектры поглощения;
- ✓ спектры рассеивания

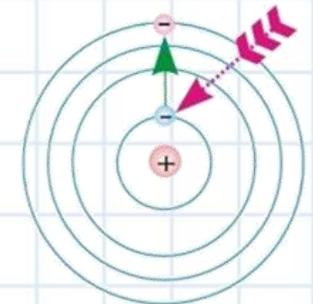
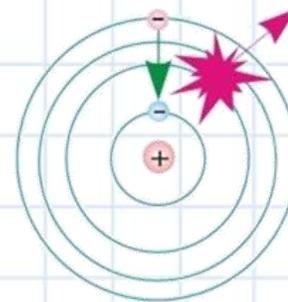


# СПЕКТРЫ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

**эмиссионный спектр, испускания** — обусловлен переходом из состояния с **большей энергией в состояние с меньшей энергией**;

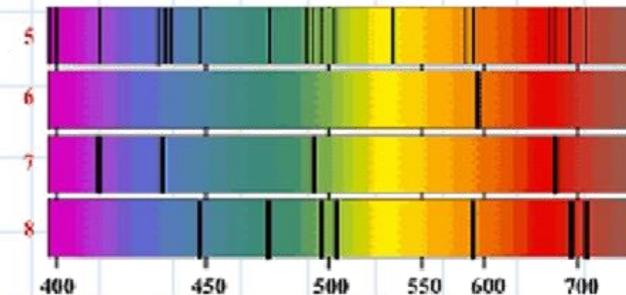
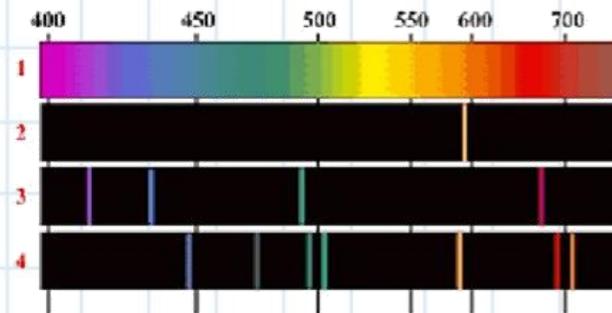
**абсорбционный спектр, поглощения** — обусловлен энергетическим переходом **из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией**;

в отличие от линейчатых спектров **полосатые спектры создаются не атомами, а молекулами слабо связанными друг с другом**; для наблюдения молекулярных спектров так же, как и для наблюдения линейчатых спектров, обычно используют свечение паров в пламени или свечение газового разряда:



Спектры излучения

Спектры поглощения



2 – натрий, 3 – водород, 4 - гелий

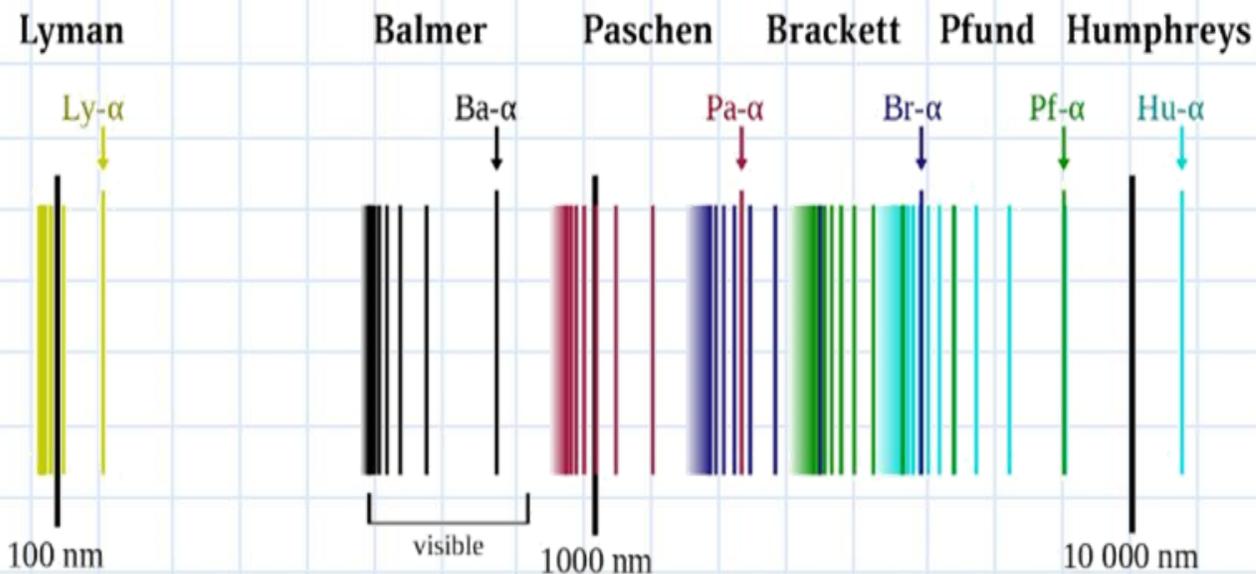
6 – натрий, 7 – водород, 8 - гелий

оптический полосатый эмиссионный спектр азота

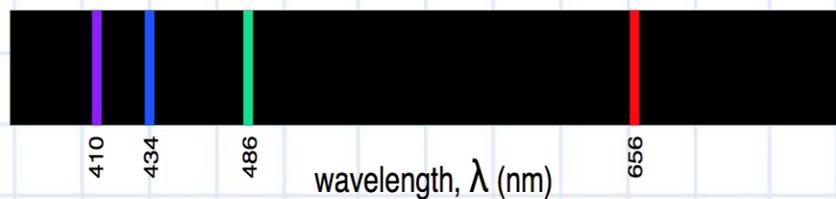
полосатый эмиссионный спектр титана

# СПЕКТР АТОМА ВОДОРОДА

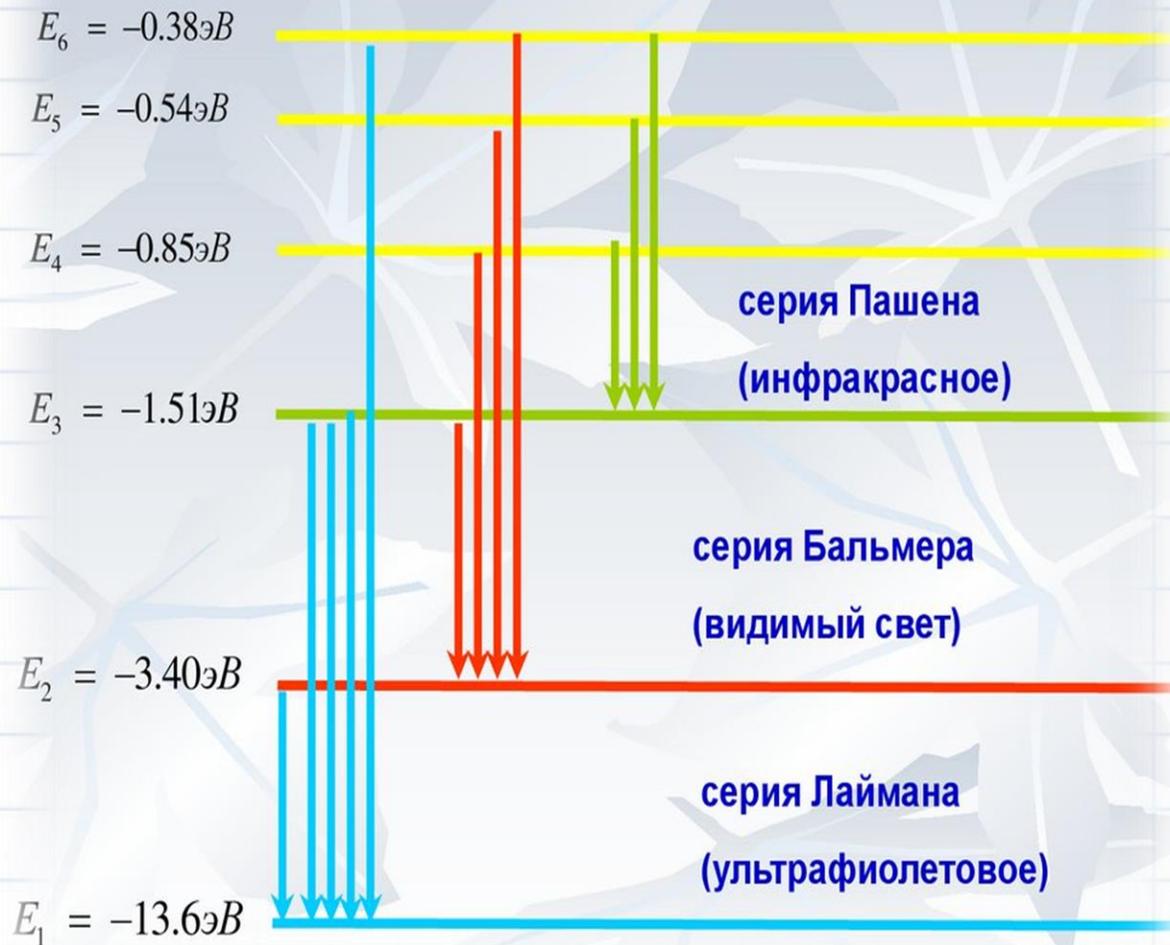
## Спектральные серии водорода (в логарифмической шкале длины волны)



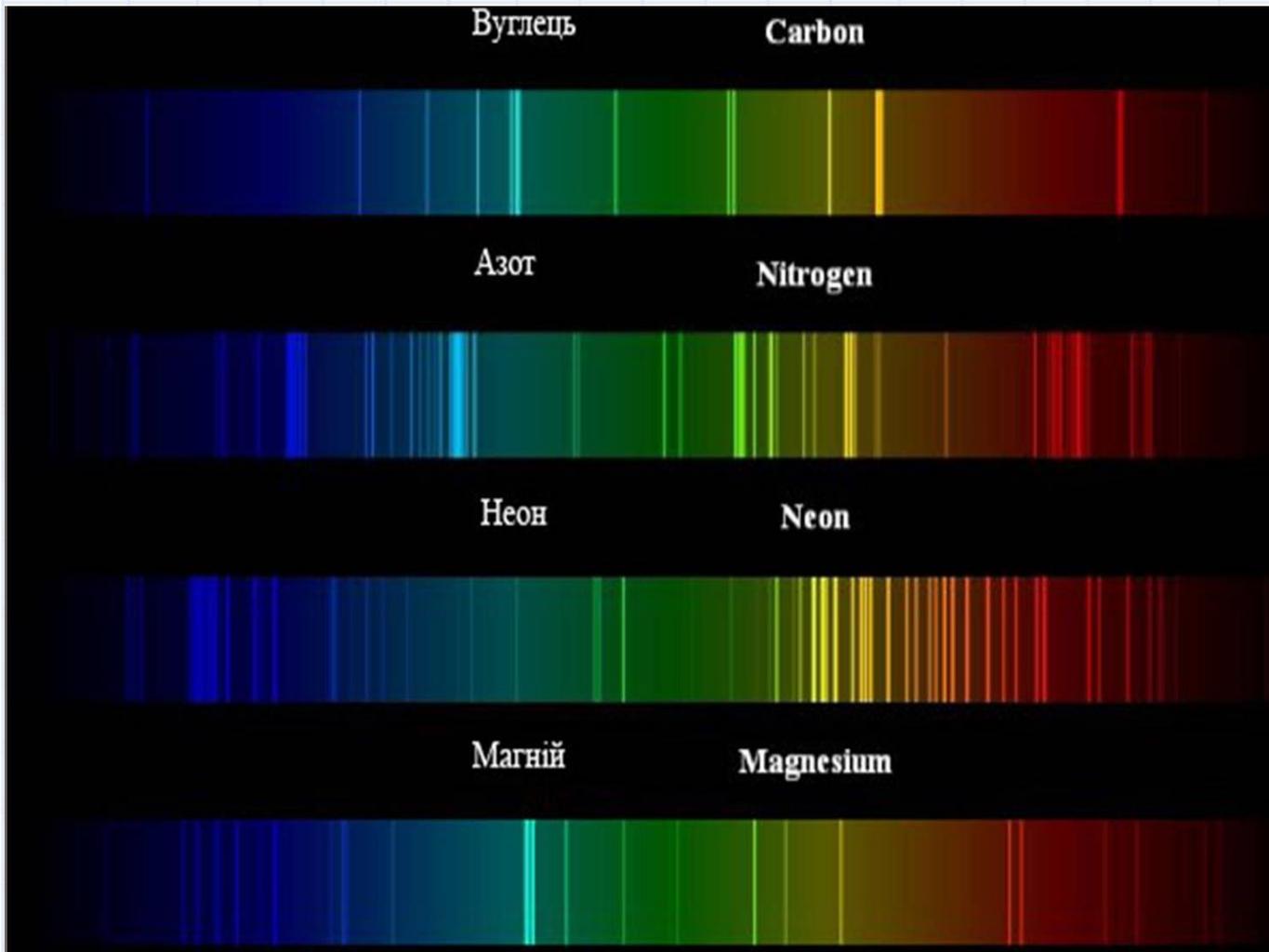
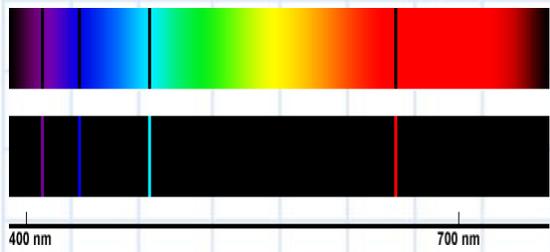
Hydrogen Emission Spectrum



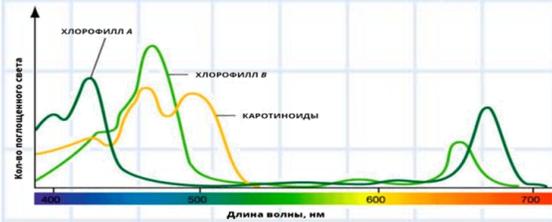
## Серии излучения атома водорода



# АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ

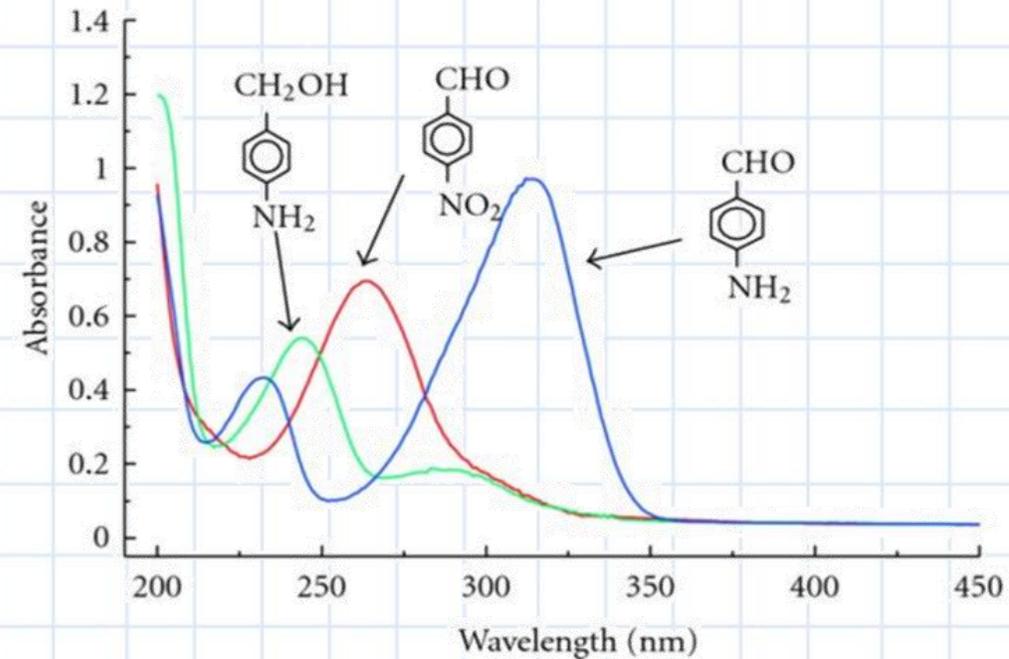
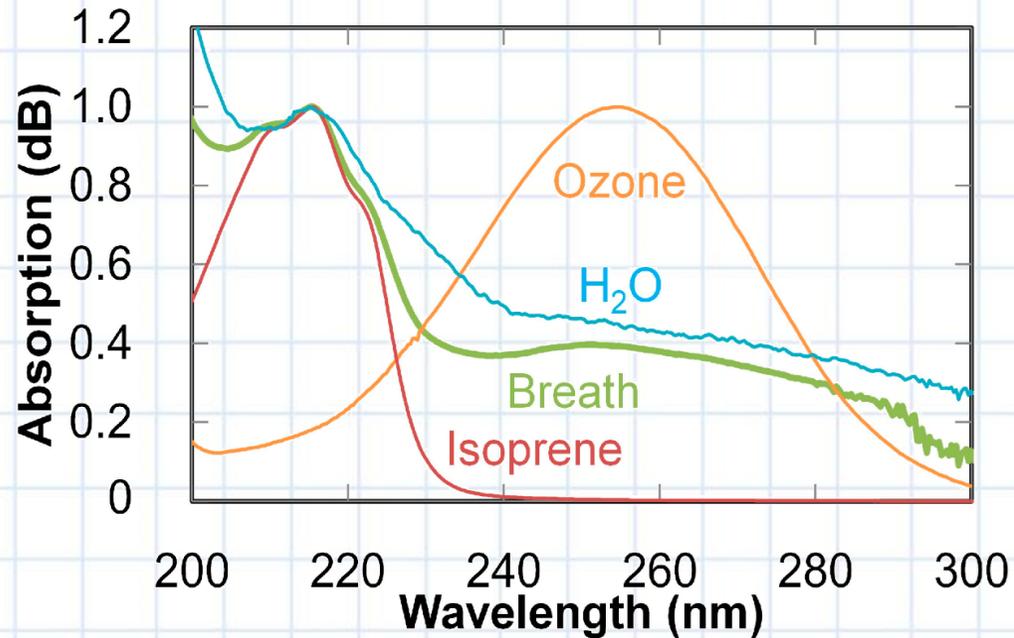


# Электронная, или УФ-спектроскопия

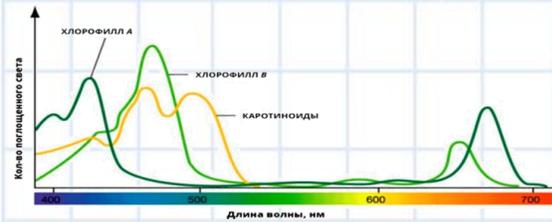


применяется для идентификации и установления структуры соединений, анализа их смесей и закономерностей протекания реакций в видимой области, что связано с поглощением света соединениями в ближайшей ультрафиолетовой (200-400 нм) и видимой (400-800 нм) областях спектра;

электронный спектр записывается в виде графика зависимости интенсивности поглощения от длины волны  $\lambda$ , выражаемой в нм, или волнового числа  $\nu$  ( $\nu = 1/\lambda$ ), выражаемого в  $\text{см}^{-1}$ :

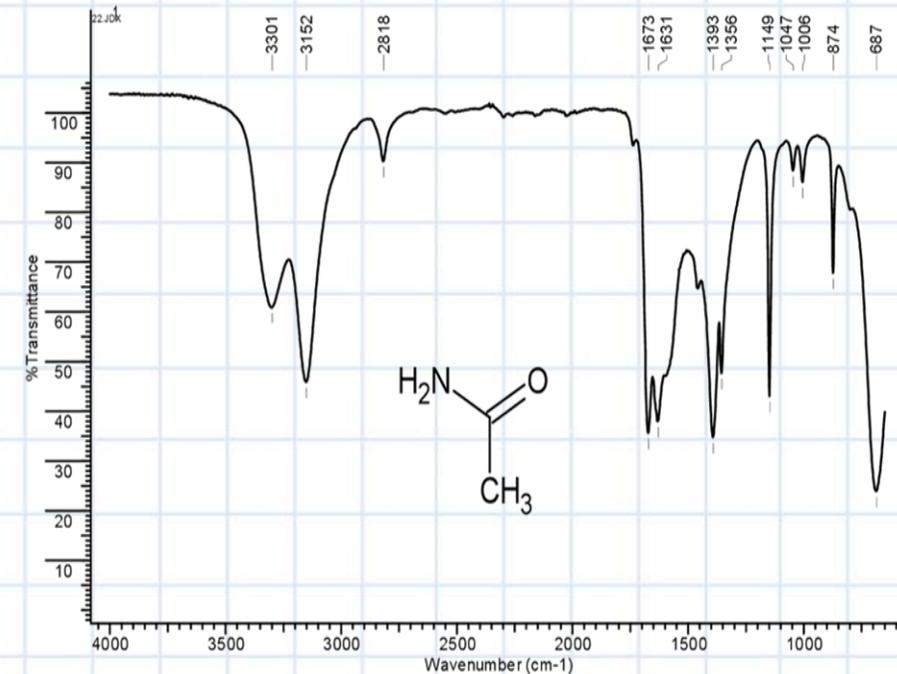
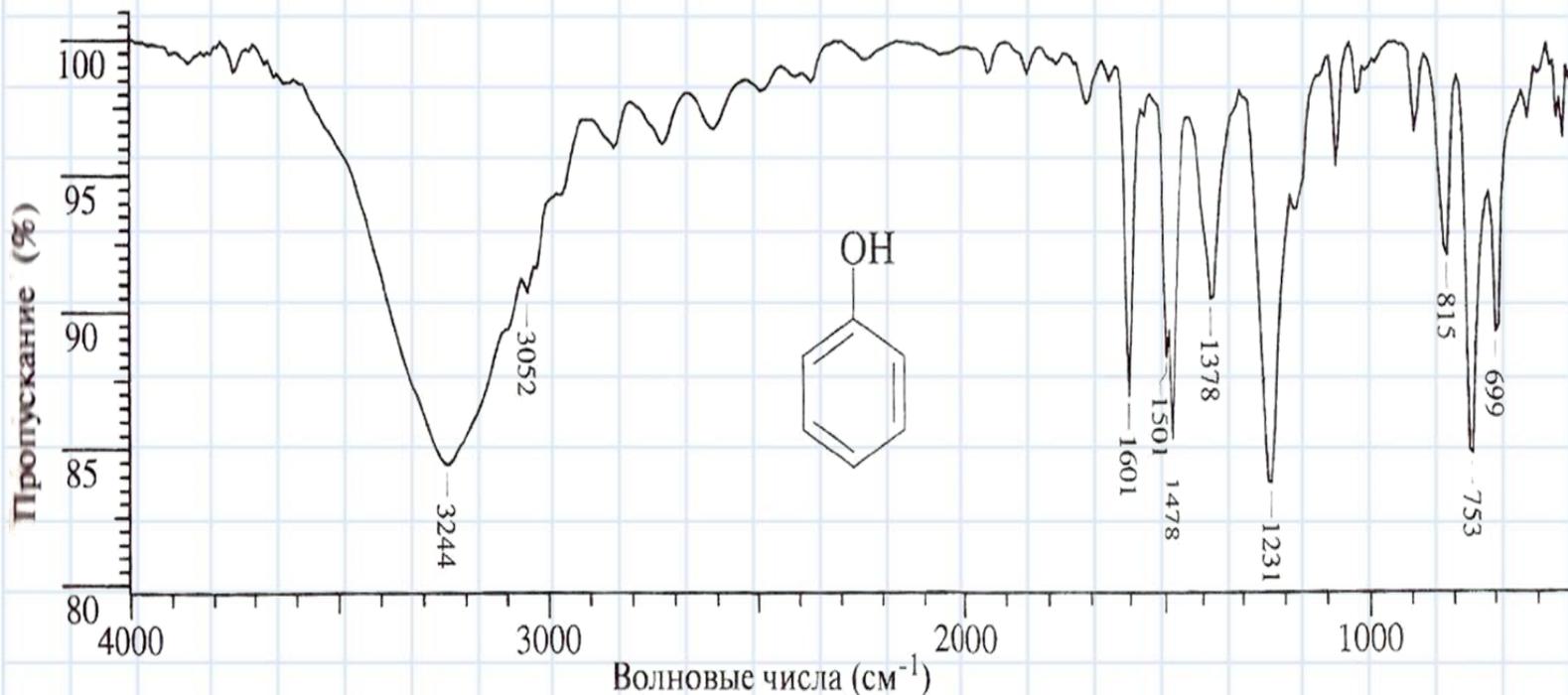


# Инфракрасная, или ИК-спектроскопия

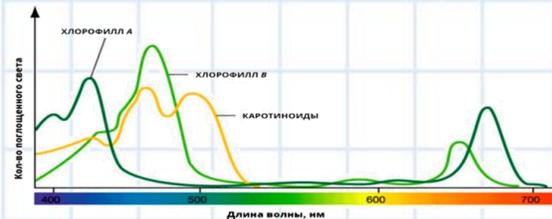


**осуществляется в области длинноволнового излучения и позволяет идентифицировать почти все функциональные группы органических соединений;**

**к недостатку этого метода следует отнести возможность исследования, как правило, лишь неводных растворов образцов, а также применение более сложной и дорогостоящей аппаратуры; интерпретация ИК-спектров требует глубокое знание теории и хорошие практические навыки**

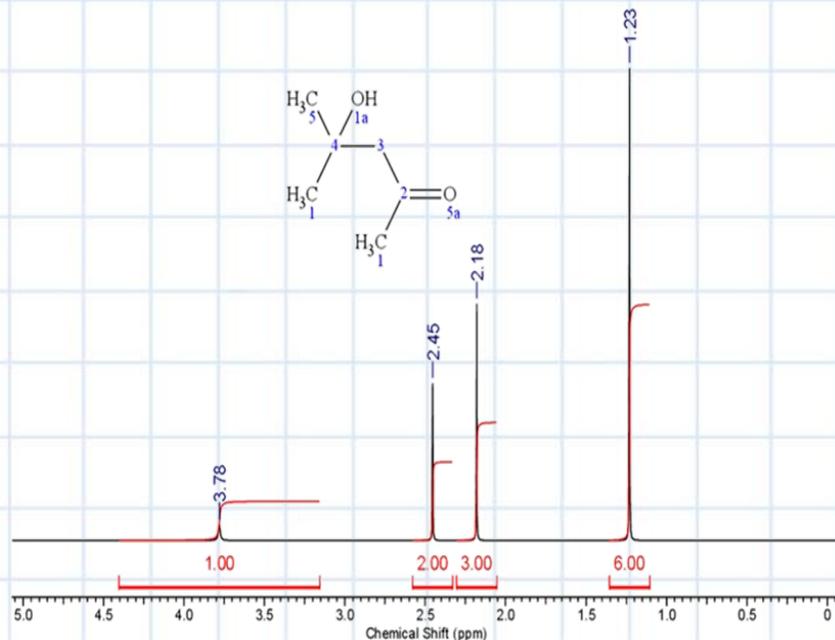
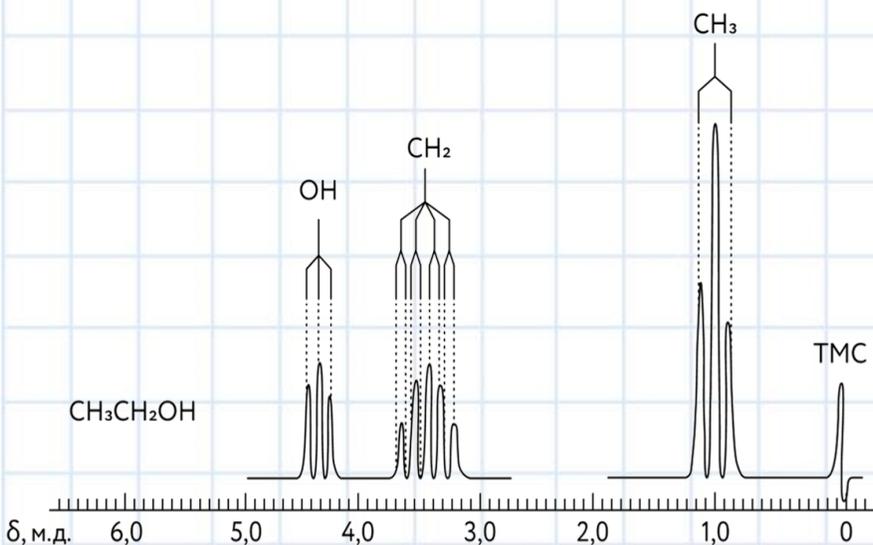


# ЯМР-спектроскопия и ПМР-спектроскопия



**особый вид абсорбционной спектроскопии основан на способности ядер некоторых атомов поглощать магнитное излучение, когда они находятся во внешнем магнитном поле; осуществляется в области радиоволн;**

**даёт информацию о химическом и пространственном строении веществ; позволяет экспериментально оценить электроотрицательность отдельных функциональных групп, направление и силу индукционных и закономерных электронных сдвигов; наиболее мощный из применяемых в настоящее время методов исследования;**



**электронный парамагнитный резонанс происходит только при наличии неспаренных электронов, т.е. этот метод пригоден только для изучения свободных радикалов, парамагнитных соединений и некоторых металлоорганических веществ, однако при изучении свободных радикалов он незаменим**



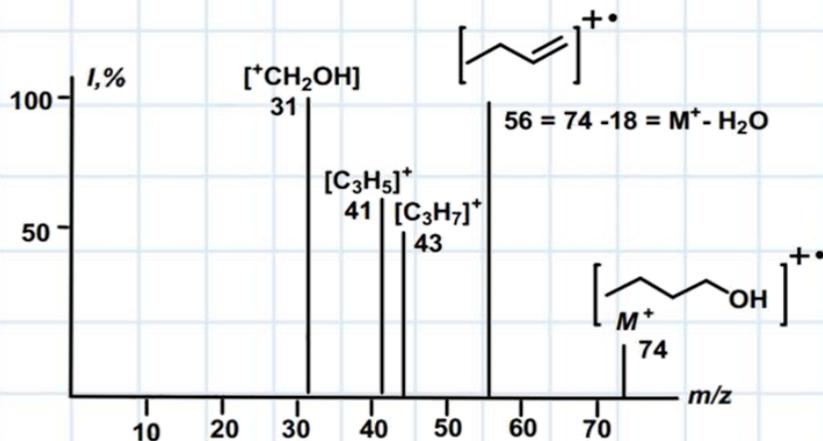
# МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ

**в 1919 г. английским физиком Астоном был создан масс-спектрограф, в котором частицы вещества ионизируются и разделяются вследствие разной величины отношения массы иона к его заряду и, соответственно, разного отклонения ионов в магнитном поле;**

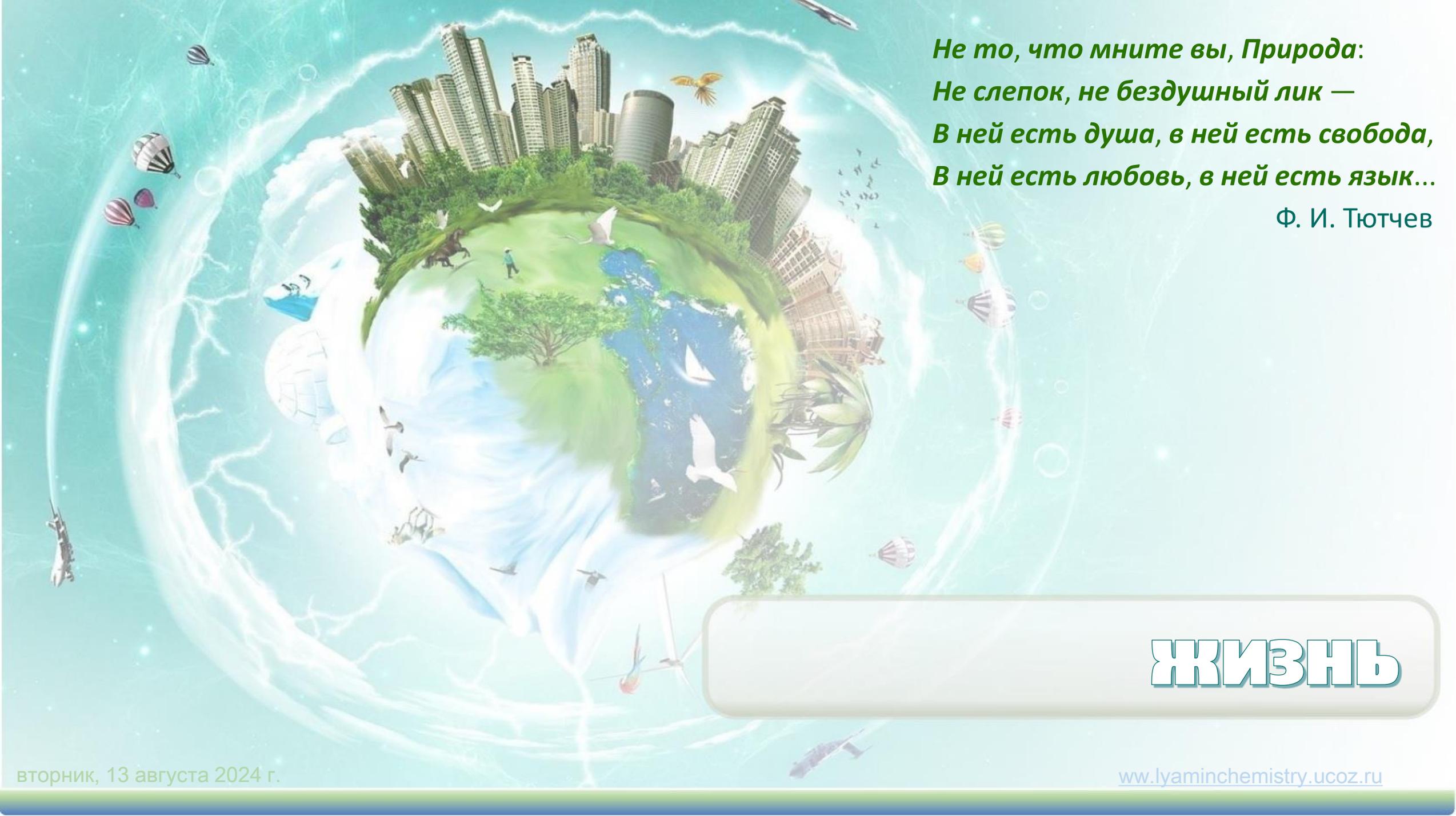
**высота пика — ордината показывает количество ионов в условных единицах, которые приводят к появлению данного пика; абсцисса показывает отношение массы иона к его заряду, также в условных единицах, адаптированных под массу изотопов: представленный масс-спектр**

**свинца показывает, что данный образец почти полностью образован изотопами —  $^{208}\text{Pb}$ , и содержит незначительные доли изотопов —  $^{206}\text{Pb}$ :**

**Масс-спектр бутанола - 1**



**масс-спектрометрия является наиболее современным методом определения молекулярной массы, дающим точные результаты; прибор с простой фокусировкой обеспечивает точность 0,2%, а с двойной — менее 0,01%;**



*Не то, что мните вы, Природа:  
Не слепок, не бездушный лик —  
В ней есть душа, в ней есть свобода,  
В ней есть любовь, в ней есть язык...*

Ф. И. Тютчев

**ЖИЗНЬ**



# ДИССИПАТИВНАЯ СИСТЕМА

*от латинского **dissipare** – рассеиваться, исчезать;*

**открытая неравновесная система в стационарном состоянии, способная создавать и поддерживать порядок из хаоса, Алан Тьюринг 1952 г ;**

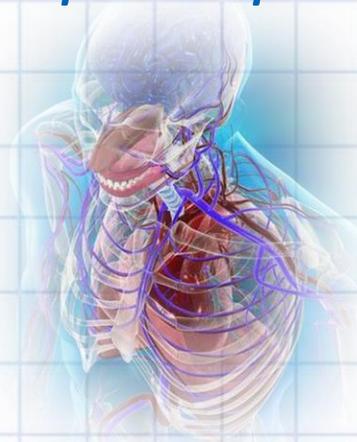
**стационарное состояние — устойчивое неравновесное состояние открытой системы, обменивающейся веществом и энергией с окружающей средой, при котором все характеризующие её параметры постоянны во времени;**

**стационарное состояние системы соответствует минимальному производству энтропии, Илья Пригожин 1947 г;**

**живой мир, состоит из диссипативных систем и ему свойственно разнообразие форм, неустойчивость и эволюция;**

**в ходе эволюции диссипативная система достигает пика неравновесности, теряет устойчивость и, посредством**

**флуктуаций, происходит скачкообразный переход её из критического в качественно новое устойчивое состояние; таких состояний может быть множество и в какое из них перейдёт система дело случая; Пригожин трактует такой переход как приспособление диссипативной системы к внешним условиям, чем обеспечивается её выживание**





# СТАЦИОНАРНОЕ СОСТОЯНИЕ

## *равновесное состояние системы*

*обмен веществом и энергией с окружающей средой отсутствует*

*энтропия системы постоянна и максимальна*

*для поддержания равновесия не требуется энергетических затрат*

*система не способна совершать работу, скорости прямого и обратного процессов постоянны и равны*

*все параметры системы в различных точках постоянны и одинаковы, отсутствуют градиенты*

## *стационарное состояние системы*

*непрерывный обмен веществом и энергией с окружающей средой*

*энтропия системы постоянна, но не максимальна*

*для поддержания стационарного состояния требуются затраты энергии*

*система постоянно совершает работу и скорость прямого процесса больше скорости обратного процесса*

*в системе присутствуют постоянные по величине градиенты*

от латинского *fluctuatio* – колебание;

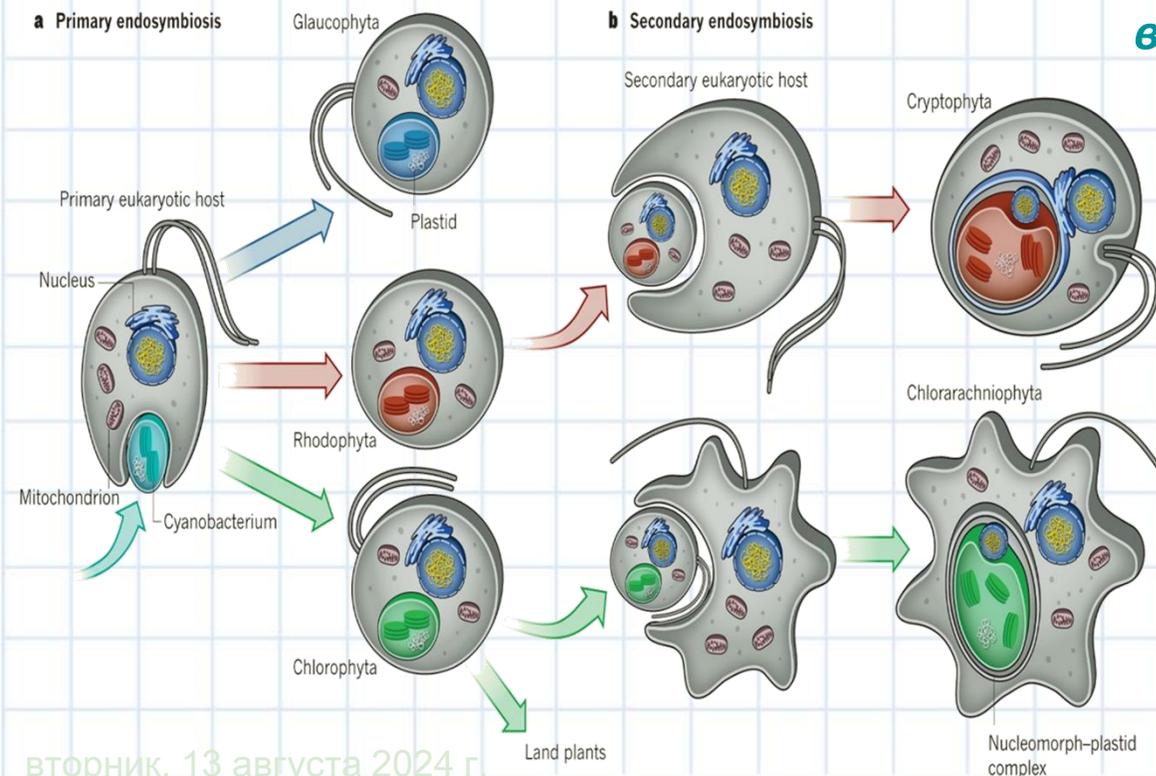
случайные циклические колебания параметров; отклонение от нормы, нестабильность; относительная величина флуктуации обратно пропорциональна корню из числа частиц поскольку флуктуации случайны, то и «выбор» нового состояния так же случаен; скачок — крайне нелинейный процесс, при котором малые изменения параметров системы

$$1/\sqrt{N}$$

вызывают сильные изменения её состояния;

критическое значение параметров системы, при которых возможен скачок, называют точкой бифуркации, от латинского *bifurcus* – раздвоенный;

природные скачкообразные процессы, приводящие открытую неравновесную систему, достигшую в своём развитии предельного состояния, в новое устойчивое состояние с более высокой упорядоченностью и сложностью представляют собой акт самоорганизации





# САМООРГАНИЗАЦИЯ



**целенаправленный процесс создания, воспроизводства или совершенствования структуры динамической системы, Уильям Росс Эшби 1947 г.;**

**математической базой теории самоорганизации являются нелинейные эффекты, порождаемые нелинейными колебаниями и волнами — осцилляторами, описываемые совокупностью нелинейных дифференциальных уравнений; пространственно-временные структуры возникают как проявление коллективных колебаний через флуктуации их взаимодействие и отбор тех из них, которые обладают наибольшим временем релаксации;**

**осциллятор, от латинского *oscillo* — качаюсь, — система, совершающая колебания, т.е. показатели которой периодически повторяются во времени.**

**релаксация, от латинского *relaxatio* — расслабление, — процесс установления полного или частичного термодинамического равновесия;**

**процесс самоорганизации не подчиняется статистическим законам, но при его осуществлении в явном виде проявляется «стрела времени», т.к. скачок носит одnorазовый и необратимый характер, т.е. время не обернуть вспять; процессы самоорганизации описываются синергетикой**

Борис Павлович Белоусов 1951 г.





*от древнегреческого (συν-) – приставка со значением совместности и ἔργον – деятельность;*

**направление науки, изучающее общие закономерности процессов самоорганизации в диссипативных системах, Гёрман Хакен 1980 г;**

**синергетика является междисциплинарным методологическим подходом, поскольку принципы, управляющие процессами самоорганизации социоприродных систем, позволяют проиллюстрировать единство всего сущего и создать картину Мира, в которой всё: развитие природы, общества и деятельность человека — связано со всем и подчинено единым фундаментальным законам природы:**

- обнаружение общих закономерностей позволяет синергетике делать достижения одной науки доступными пониманию исследователям других наук;**
- синергетика является мостиком соединяющим живую и неживую природу;**

**обобщённая синергетическая картина Мира — новое окно в Мир, новый путь познания**





# СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

*природа иерархически структурирована в несколько видов открытых нелинейных систем разных уровней организации: в динамически стабильные, в адаптивные, и наиболее сложные — эволюционирующие системы;*

*неравновесность — необходимое условие новой организации, нового порядка, новых систем — развития:*

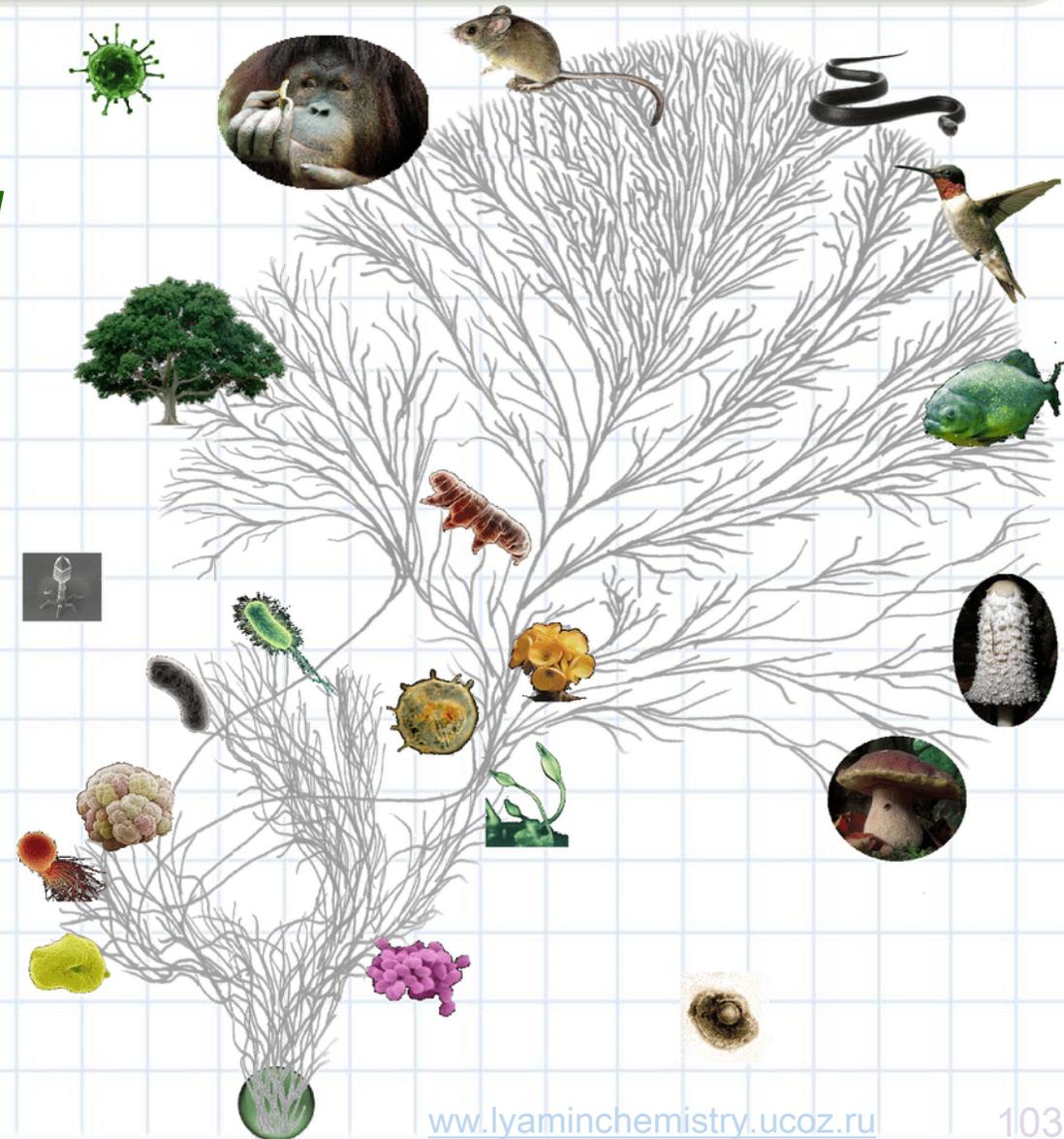
- при объединении нелинейных динамических систем новое образование не равно сумме частей, а образует систему другой организации или систему иного уровня;*
- при переходе от неупорядоченного состояния к порядку все развивающиеся системы ведут себя одинаково;*
- развивающиеся системы всегда открыты и обмениваются энергией и веществом с внешней средой, за счёт чего и происходят процессы локальной упорядоченности и самоорганизации;*
- в неравновесных состояниях системы начинают воспринимать те факторы воздействия извне, которые они бы не восприняли в равновесном состоянии: относительная независимость элементов системы уступает место корпоративному поведению элементов, вблизи равновесия элемент взаимодействует только с соседними элементами, а вдали от равновесия — каждый элемент «видит» всю систему целиком и согласованность поведения элементов возрастает;*

*в состояниях, далёких от равновесия, действуют бифуркационные механизмы — кратковременные точки раздвоения перехода к тому или иному относительно долговременному режиму системы — аттрактору; следовательно, заранее невозможно предсказать, какой из возможных аттракторов займёт система*

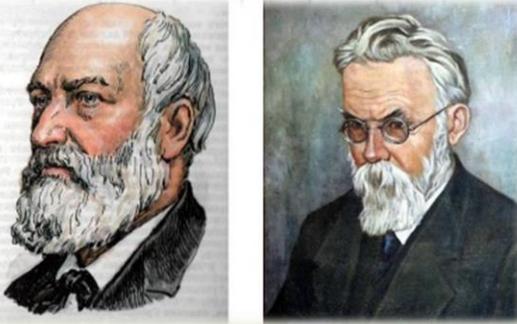


*от латинского **evolutio** – развёртывание;*  
**естественный процесс развития живой природы,**  
**сопровожающийся изменением генетического состава**  
**популяций, формированием адаптаций,**  
**видообразованием и вымиранием видов,**  
**преобразованием экосистем и биосферы в целом;**

**согласно современной концепции Мира,**  
**РНК (рибонуклеиновая кислота)**  
**была первой молекулой, которая приобрела**  
**способность самовоспроизводиться;**  
**могли пройти миллионы лет, прежде чем**  
**на Земле появилась первая такая молекула,**  
**но после её образования на нашей планете**  
**появилась возможность возникновения жизни.**

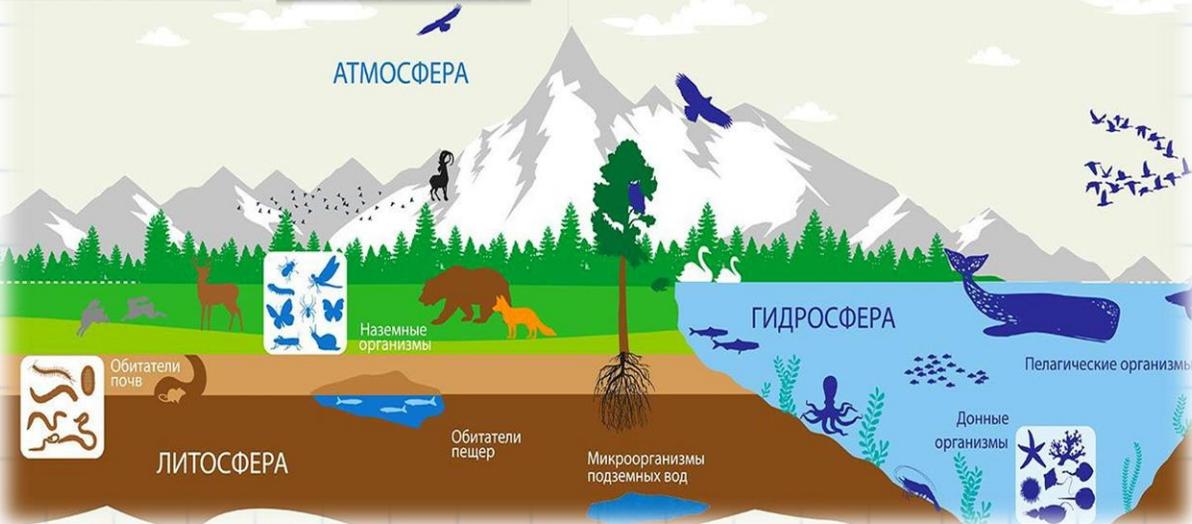


# БИОСФЕРА



## БИОСФЕРА

АТМОСФЕРА

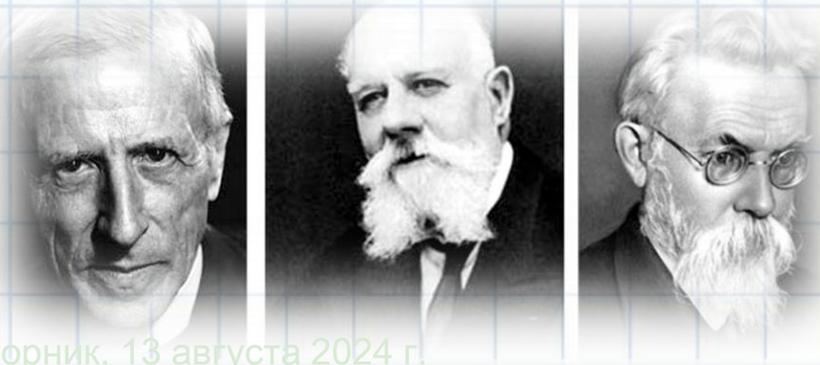


от древнегреческого βίος – жизнь и σφαῖρα – шар, мяч, ядро; оболочка Земли, заселённая организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности; включает тропосферу — нижний слой атмосферы 9-11 км, гидросферу и верхний слой литосферы до 4 км, Эдуард Зюсс 1875 г., Владимир Иванович Вернадский 1926 г.;

биосфера представляет диссипативную структуру, высокая внутренняя упорядоченность которой носит динамический характер и реализуется за счёт постоянного поглощения и рассеивания энергии;

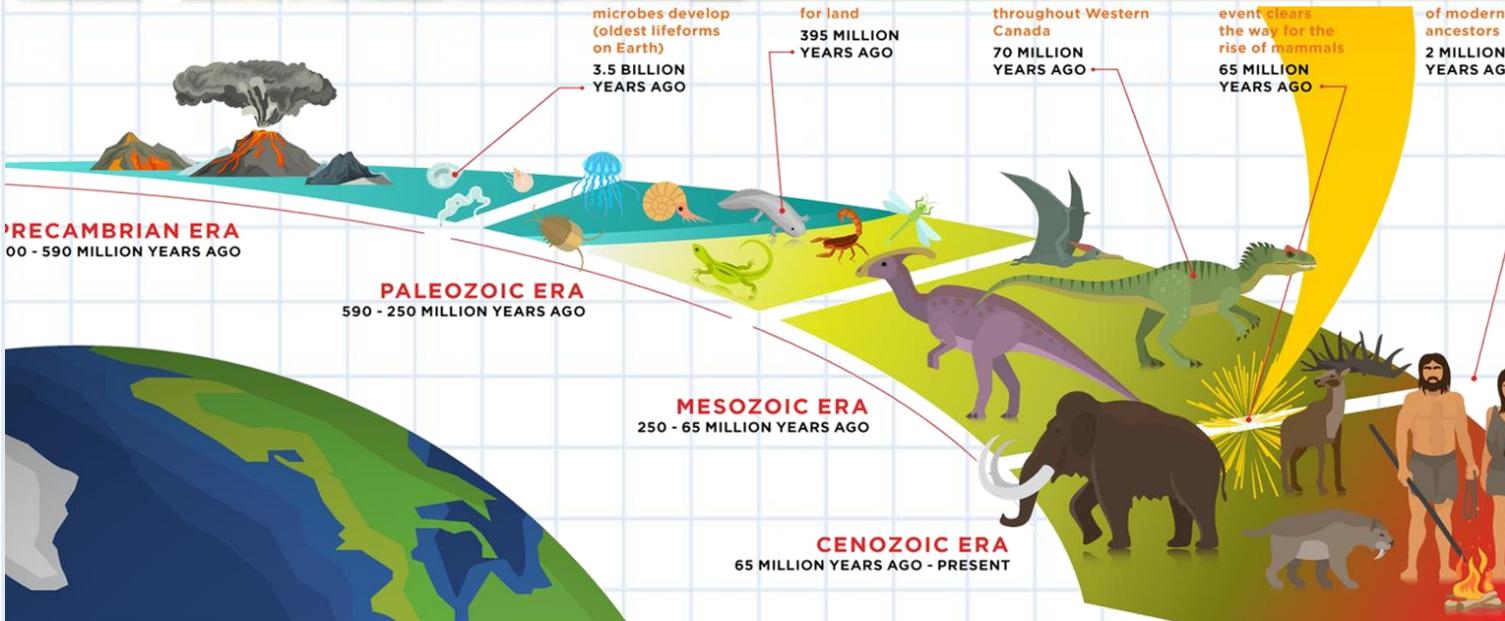
**ноосféра**, от древнегреческого νόος – разум и σφαῖρα – сфера, шар, — сфера разума;

эволюционное состояние биосферы, при котором разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития, Эдуар Ле Руа и Пьер Тейяр де Шарден 1927 г.





# БИОГЕОХИМИЯ



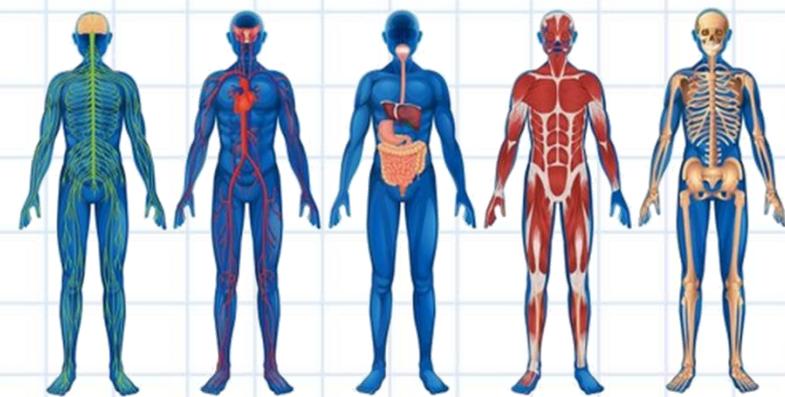
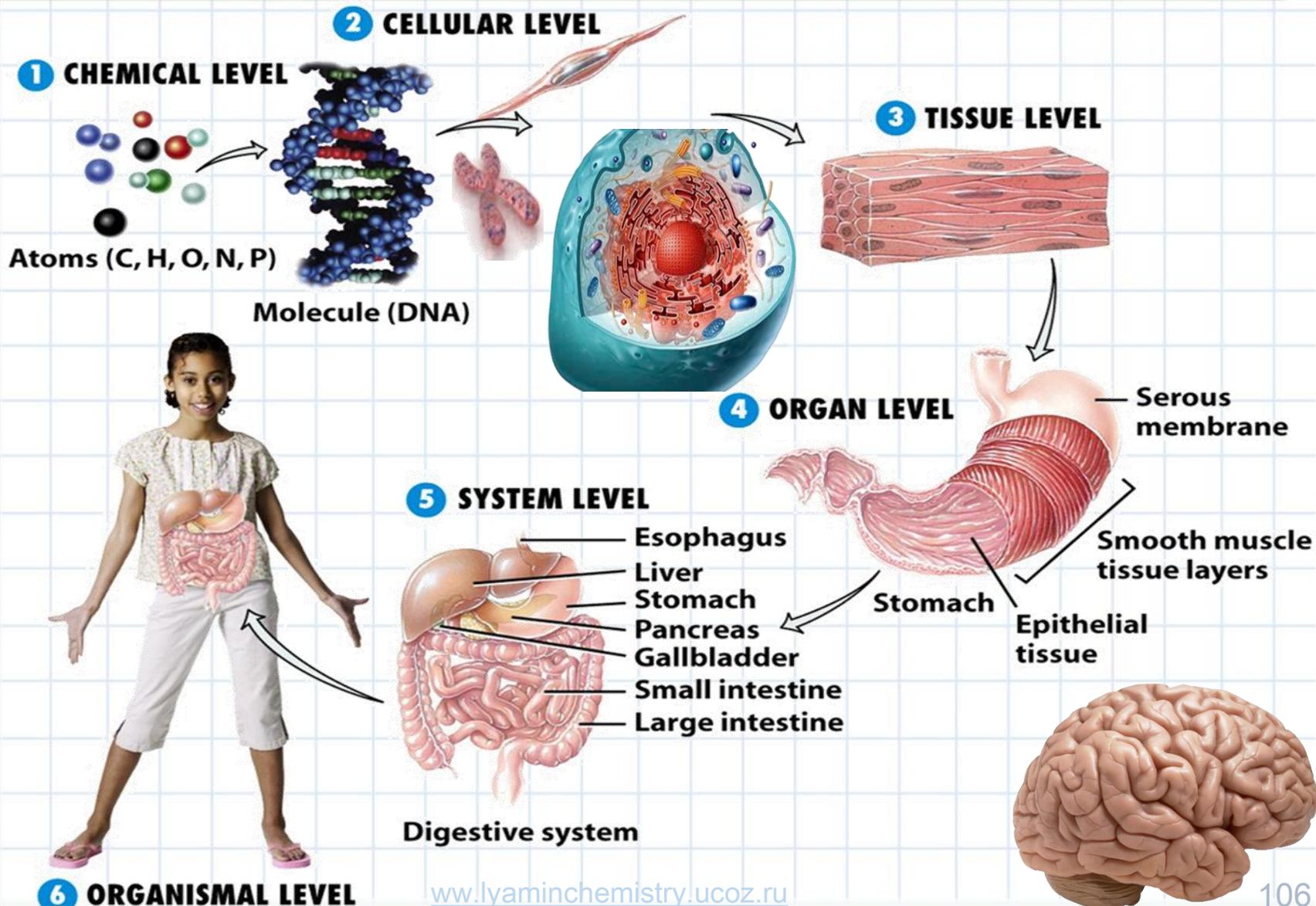
## Standard Geologic Timescale

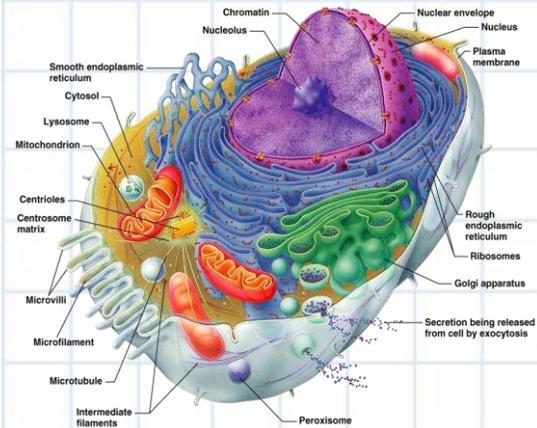
Era	Period	Epoch	Succession of Life
Cenozoic Recent Life	Quaternary 0-2 Million Years Rise of Man	Recent Pleistocene	
	Tertiary 64 Million Years Rise of Mammals	Pliocene Miocene Oligocene Eocene Paleocene	
Mesozoic Middle Life	Cretaceous 80 Million Years Modern Seed-Bearing Plants, Dinosaurs		
	Jurassic 56 Million Years First Birds		
	Triassic 49 Million Years Cycads, First Dinosaurs		
Paleozoic Ancient Life	Permian 48 Million Years First Reptiles		
	Pennsylvanian 19 Million Years First Insects	Carboniferous	
	Mississippian 41 Million Years Many Crinoids		
Paleozoic Ancient Life	Devonian 57 Million Years First Seed Plants Cartilage Fish		
	Silurian 28 Million Years Earliest Land Animals		
	Ordovician 44 Million Years Early Bony Fish		
	Cambrian 54 Million Years Invertebrate animals, Brachiopods, Trilobites		

от древнегреческого βίος – жизнь; γῆ – Земля; χημεία – химия;  
**наука о химическом составе живого вещества и  
 геохимических процессах, проходящих в биосфере Земли  
 при участии живых организмов;**  
 основателем биогеохимии является Вернадский;  
 под его руководством была создана первая биогеохимическая лаборатория,  
 ныне Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского РАН

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

1. Элементарный;
2. Молекулярный;
3. Субклеточный;
4. Клеточный;
5. Тканевый;
6. Органный;
7. Организменный



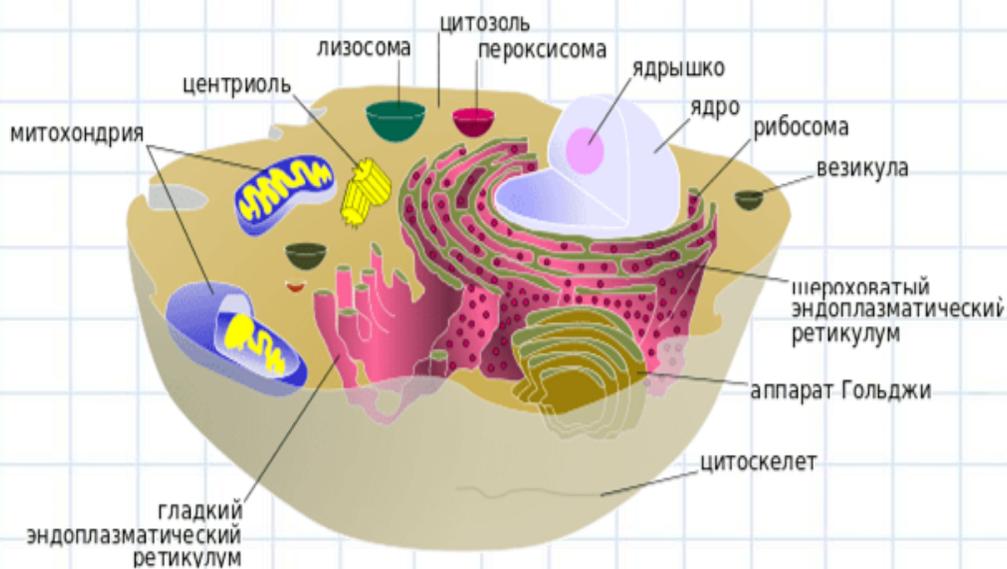


от латинского *cellula*, от греческого *κύτος* – маленькая комната

наименьшая структурная единица живого, образованная системой органелл;

структурной единицей живого организма является материальная

макроскопическая диссипативная управляющая система — клетка



# КЛЕТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

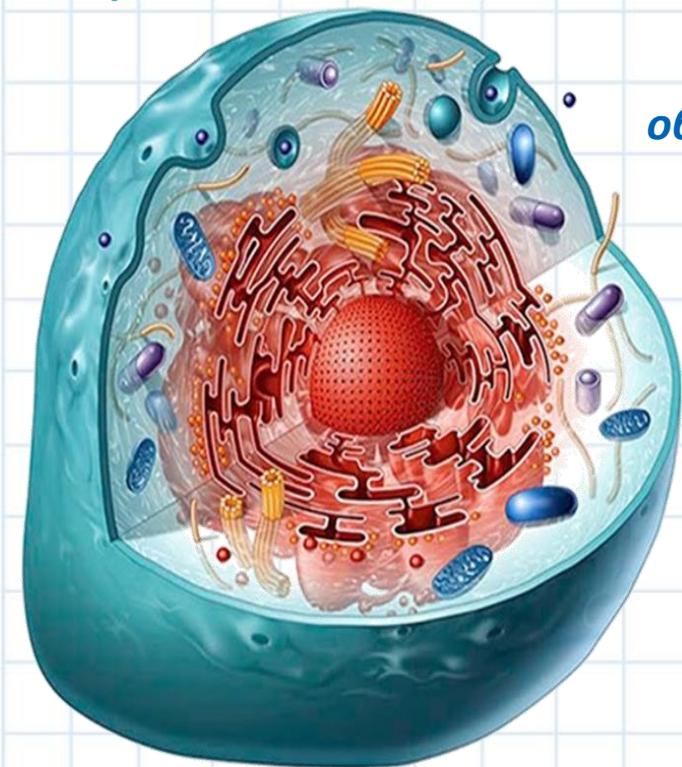
**живая клетка — это способная к самосборке, саморегуляции и самовоспроизведению изотермическая система органических молекул и неорганических ионов в водном растворе, извлекающая свободную энергию и сырьевые ресурсы из окружающей среды;**

**в клетке человека каждую секунду под действием ферментов, производимых самой клеткой, происходит около  $5 \times 10^{17}$  последовательных и параллельных химических реакций;**

**неорганические молекулы в результате целого набора биохимических реакций образуют биомономеры, которые в результате реакций полимеризации формируют биополимеры; промежуточное положение между биомономерами и биополимерами занимают гетероциклические соединения;**

**клетка самостоятельно поддерживает стационарное динамическое состояние и функционирует по принципу оптимального использования энергии; способность клетки к почти точному самовоспроизведению обеспечивается самовосстанавливающейся системой линейного кодирования**

**живой является не отдельная молекула ДНК, РНК или белка, а клеточная система в целом, т.о. все процессы должны рассматриваться в данном контексте**



# ЖИЗНЬ КАК СПОСОБ СУЩЕСТВОВАНИЯ МАТЕРИИ

*жизнь возможна лишь при определённых условиях: определённый интервал температур, вода, ряд солей и др.; прекращение жизненных процессов при высушивании семян или замораживании организмов, не ведёт к их смерти; если сохраняется неповреждённой структура, при возвращении к благоприятным условиям обеспечивается восстановление жизненных процессов; жизнь — это движение высокоупорядоченных материальных структур, содержащих два типа биополимеров: белок и ДНК или РНК, образующих систему, способную к самовоспроизведению по принципу матричного синтеза; кодирование признаков, необходимое для воспроизведения, осуществляется с помощью ДНК и РНК, но в процессе репродукции непременно участвуют белки-ферменты, т.о. живой является не отдельная молекула ДНК, РНК или белка, а их система в целом; реализация многообразной информации об организме осуществляется посредством синтеза согласно генетическому коду различных белков: ферментных, структурных и др., которые, благодаря своему разнообразию и структурной пластичности, обуславливают развитие различных приспособлений организмов; на этом фундаменте в процессе эволюции возникли непревзойдённые по своему совершенству живые управляющие системы*





# ВСЕОБЩИЕ ЗАКОНЫ ЭНЕРГЭНТРОПИИ

## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

*ни одна материальная система не может функционировать или развиваться не потребляя энергии, которая расходуется на совершение работы, на изменение внутренней энергии системы и на рассеяние тепла в окружающую среду:*

$$\Delta E = \Delta U + W + Q$$

*самопроизвольный процесс направлен в сторону уменьшения энергии — принцип минимума энергии;*

## ЗАКОН ВОЗРАСТАНИЯ ЭНТРОПИИ

*изолированные макроскопические системы стремятся самопроизвольно перейти из менее вероятного состояния в более вероятное состояние, т.е. из более упорядоченного состояния в менее упорядоченное состояние:*

$$\Delta S > 0$$

*возрастание энтропии ведёт к убыванию негэнтропии и деградации энергии;*

*в состоянии термодинамического равновесия системы с окружающей средой энтропия системы максимальна, а её изменение равно нулю:*

$$S \text{ — } \textit{max} ; \Delta S = 0$$





# ВСЕОБЩИЕ ЗАКОНЫ ЭНЕРГЭНТРОПИИ

## ЗАКОН УМЕНЬШЕНИЯ ЭНТРОПИИ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

*энтропия открытых управляющих систем в процессе их развития убывает за счёт потребления энергии от внешних источников:*

$$\Delta S < 0$$

*при этом энтропия систем, служащих источником энергии и негэнтропии возрастает; любая упорядочивающая деятельность осуществляется за счёт расходования энергии и роста энтропии окружающих систем и без такового происходить не может — стационарное состояние;*

## ЗАКОН ПРЕДЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

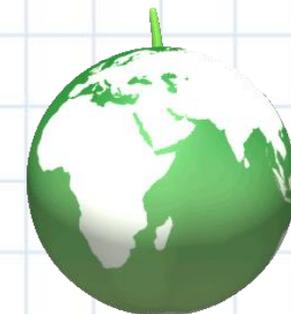
*материальные системы при прогрессивном развитии достигают предела при максимальном значении негэнтропии:*

$$S_n \text{ — } \max$$

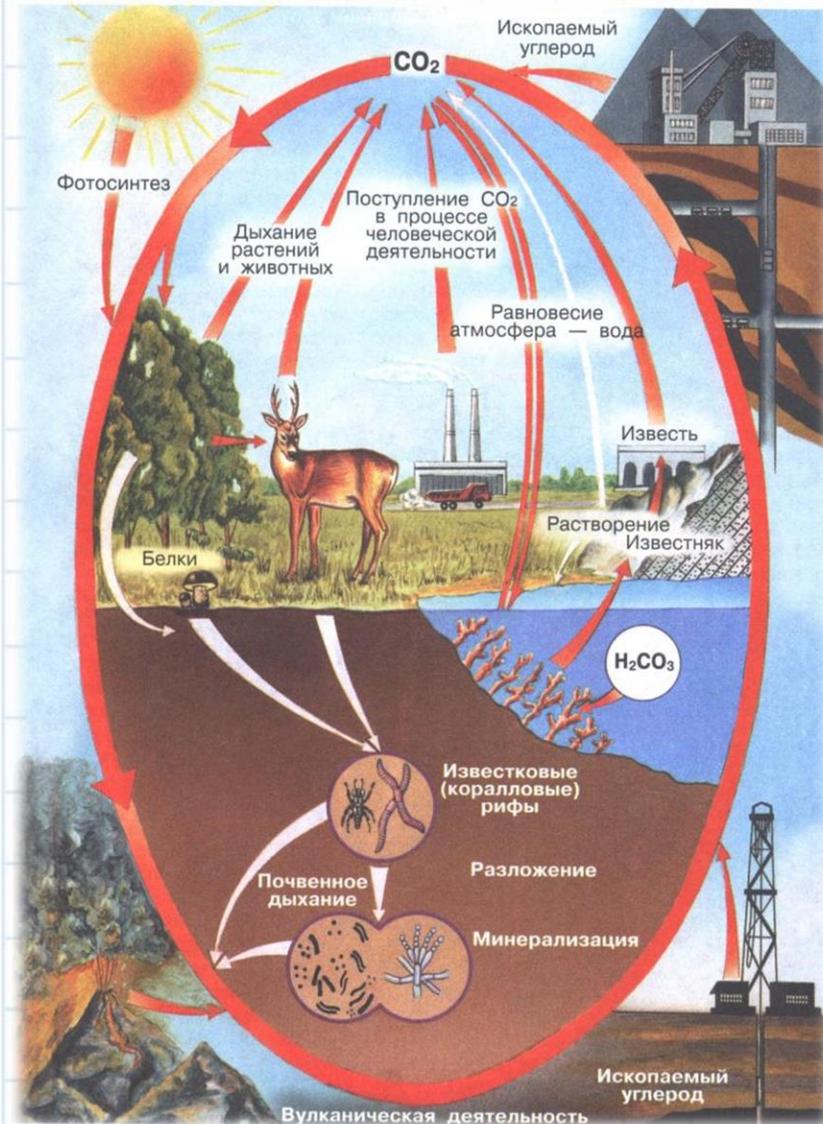
## ЗАКОН КОНКУРЕНЦИИ СИСТЕМ

*преимущественное развитие получают такие системы, которые при данных условиях достигают максимального значения негэнтропии и/или энергетического минимума:*

$$S_n \text{ — } \max ; E \text{ — } \min$$



# ЭНЕРГОБАЛАНС ЗЕМЛИ



**ПОЛНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ:**  $1,2 \times 10^{34}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Излучение, достигающее Земли:  $5,484 \times 10^{24}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Отражение атмосферой:  $1,7 \times 10^{24}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Поглощение атмосферой:  $9,322 \times 10^{23}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Поглощение сушей:  $2,63 \times 10^{24}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Испарение:  $6,274 \times 10^{23}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Перенос тепла от экватора к полюсам:  $9,65 \times 10^{22}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Мощность ветра:  $3,25 \times 10^{22}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Мощность рек:  $9,41 \times 10^{19}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Мощность приливов:  $3,14 \times 10^{19}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Мощность вулканов:  $9,41 \times 10^{18}$  Дж·год<sup>-1</sup>

Излучение, усваиваемое растениями:  $1,87 \times 10^{22}$  Дж·год<sup>-1</sup>

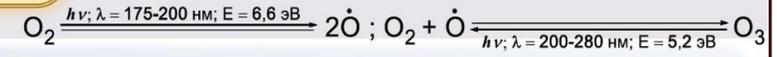
Прирост биомассы:  $7,5 \times 10^{16}$  г·год<sup>-1</sup>

Запас биомассы:  $1,843 \times 10^{18}$  г

Расход на био процессы:  $6,17 \times 10^{22}$  Дж·год<sup>-1</sup>

*всё более высокий уровень дифференциации сосредотачивается во всё меньшем объёме; фитомасса океана 0,21 % производит 32,3 % всей первичной продукции Земли; более упорядоченные формы  $\Delta S_H > 0$  вытесняют менее упорядоченные с высоким уровнем энтропии!*

## СОЛНЦЕ



$\Delta S > 0$

$\Delta_r G^\circ_{298} = 163 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$

## АТМОСФЕРА

$\varphi(O_2) = 21\%$ ;  $\varphi(N_2) = 78\%$ ;  $\varphi(CO_2) = 0,039\%$ ;

### ЧЕЛОВЕК

затраты человека:  $4,0 \times 10^{20}$  Дж·год<sup>-1</sup>, 2013 год  
по академику Завойскому, удвоение каждые 35 лет

### ЖИВОТНЫЙ МИР

дыхание:  $C_n(H_2O)_m + nO_2(g) + mH_2O_{(ж)} \xrightarrow{\tau, \text{ ферменты}} nCO_2(g) + 2mH_2O_{(ж)}$   
38 моль АТФ; для  $n, m = 6$   $\Delta_r G^\circ_{310} = -2820 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$   
 $\Delta_r G^\circ_{310} = 38 \times 31 = 1178 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ; КПД  $\approx 1178/2820 \approx 0,42$

ИТОГО: прирост зоомассы —  $3,943 \times 10^{15}$  г·год<sup>-1</sup>;  
запас зоомассы: суша —  $1,005 \times 10^{15}$  г; океан —  $9,970 \times 10^{14}$  г

### РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР

фотосинтез:  $nCO_2(g) + 2mH_2O_{(ж)} \xrightarrow{h\nu, \text{ хлорофилл}} C_n(H_2O)_m + nO_2(g) + mH_2O_{(ж)}$   
 $1,23 \times 10^{17} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$   $2,86 \times 10^{17} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$   $8,91 \times 10^{16} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$

$\Delta_r G^\circ_{298} = 471,4 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ;  $1,12 \times 10^{21} \text{ Дж}\cdot\text{год}^{-1}$ ; КПД  $\approx 0,06$

6 % — усвоенного излучения, расходуется на прирост фитомассы  
ИТОГО: прирост суммарной фитомассы —  $7,1 \times 10^{16}$  г·год<sup>-1</sup>;  
запас фитомассы: суша —  $1,837 \times 10^{18}$  г, океан —  $3,9 \times 10^{15}$  г

ежегодное сокращение на 20 % – 25 %  $\Delta S_H > 0$

## ЗЕМЛЯ

$N - 1,0 \times 10^{15} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$ ;  $S - 2,0 \times 10^{14} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$ ;  $P - 2,6 \times 10^{14} \text{ г}\cdot\text{год}^{-1}$



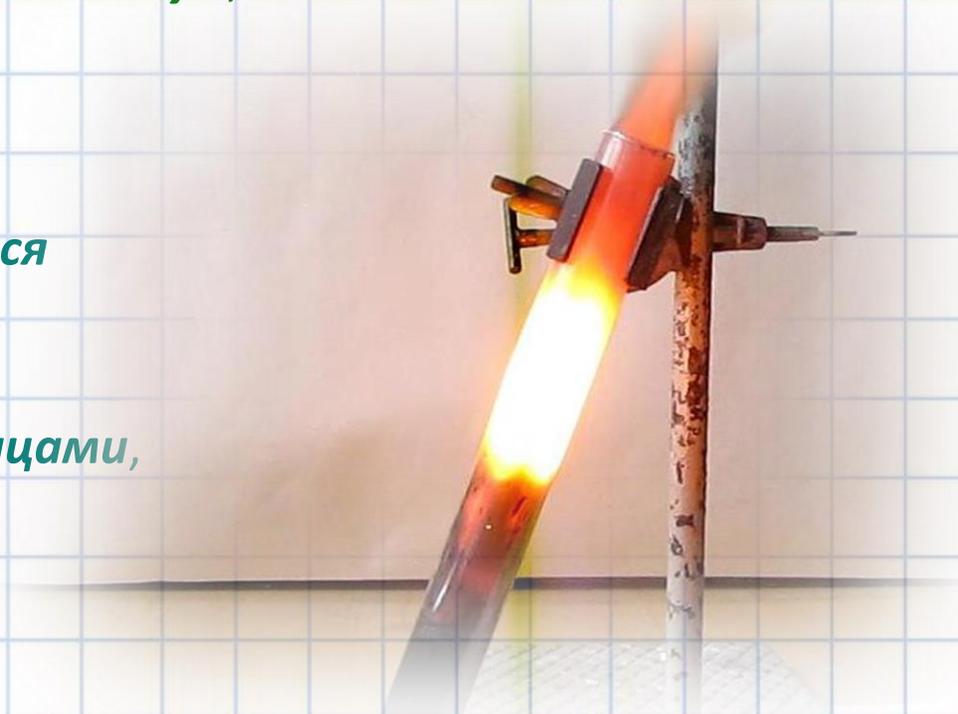
**естественная наука о строении соединений атомов, молекул, ионов: их свойствах и движении с образованием новых химических соединений, а также, о явлениях, сопровождающих эти процессы, и управлении ими;**

**носителем химической формы движения материи является система атомов, ионов или молекул, а в основе движения лежит разрушение и образование химических связей или перераспределение электронной плотности между частицами, при этом вновь образующиеся частицы приобретают качественно новые свойства;**

**особенностью химии является статистичность:**

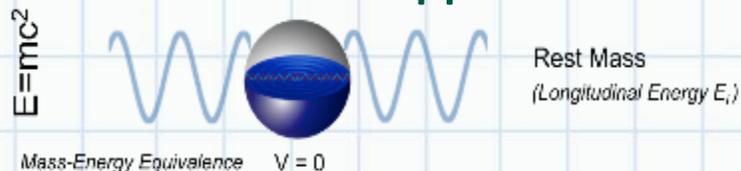
**статистический закон — закон, управляющий поведением больших совокупностей и в отношении объекта, позволяющий делать лишь вероятностные предположения; нижний предел для числа частиц в термодинамической системе составляет  $10^{18}$  ;**

**свойства вещества определяются только во взаимодействии!**



## ХИМИЧЕСКАЯ СТАТИКА

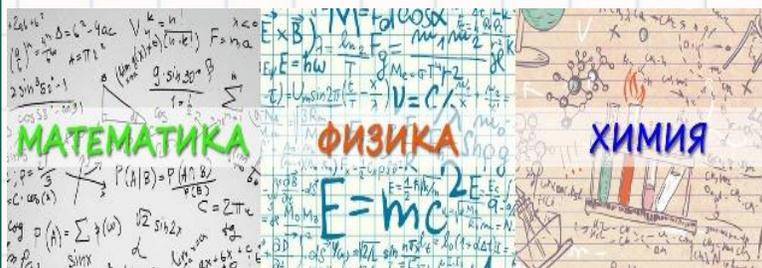
ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ;  
 СТРОЕНИЕ АТОМОВ, МОЛЕКУЛ,  
 ИОНОВ; ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ;  
 НОМЕНКЛАТУРА ХИМИЧЕСКАЯ;  
 СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА;  
 ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ;  
 КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ И  
 АМОРФНОСТЬ;  
 ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ;  
 КЛАССЫ СОЕДИНЕНИЙ



**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАТЕРИИ**

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

ФОРМУЛА;  
 СООТНОШЕНИЕ;  
 УРАВНЕНИЕ;  
 АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ



**ПРЯМАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЬ**

## ХИМИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

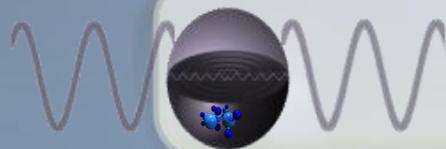
КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ  
 СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ;  
 ОКИСЛИТЕЛЬНО-  
 ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ  
 СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ;  
 ДВИЖУЩАЯ СИЛА И СКОРОСТЬ  
 ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ;  
 ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ;  
 КАТАЛИЗ



**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАТЕРИИ**



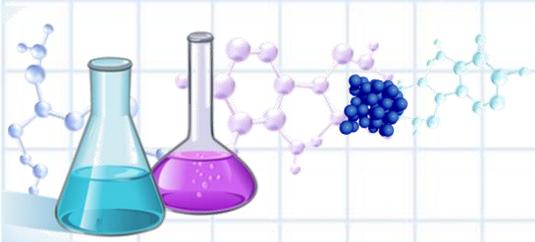
$$E=mc^2$$



Mass-Energy Equivalence  $V = 0$

Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_L$ )

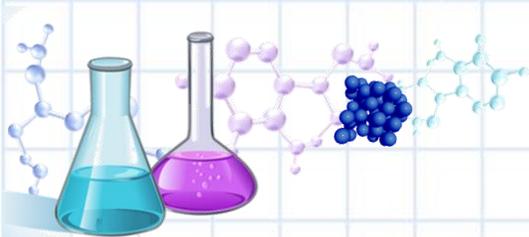
# ХИМИЧЕСКАЯ СТАТИКА



# ГРУППЫ ВЕЩЕСТВ

*сталь, гранит, воздух, вода, медь, хрусталь, молоко, ДНК, поваренная соль и др.*

ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ		СМЕСИ	МАТЕРИАЛЫ
<i>простые</i>	<i>сложные</i>	<i>гомогенные: растворы, воздух, молоко, слюна, лимфа, кровь, шампунь...</i>	<i>природные: песок, деревянный брус, кожа, глина, шёлк, воск...</i> <i>искусственные: бетон, бумага, вата, стекло, вискоза, каучук...</i> <i>синтетические: линолеум, пенопласт, поролон, тефлон, синтепон...</i>
<i>металлы: Au, Fe, Al, Pb, Ti...</i>	<i>неорганические: H<sub>2</sub>O, NaCl, H<sub>3</sub>N...</i>		
<i>неметаллы: P<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, S<sub>8</sub>, C, I<sub>2</sub>...</i>	<i>органические: CH<sub>4</sub>, CH<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH...</i>	<i>гетерогенные: гранит, дым, смог, почва, туман...</i>	
<i>ТВЁРДЫЕ</i>		<i>ЖИДКИЕ</i>	<i>ГАЗООБРАЗНЫЕ</i>
<i>сода, сахар, углерод, иод, стекло...</i>		<i>ртуть, бензин, вода, льняное масло...</i>	<i>метан, BZ, озон, C<sub>11</sub>H<sub>26</sub>PSNO<sub>2</sub>, пропан...</i>
<i>мономеры, НМС</i>		<i>полимеры, ВМС</i>	
<i>дигидроксисилан, фосфазен, винилацетат, лактид, глюкоза...</i>		<i>полисиликат, целлюлоза, ПВА, кевлар, целлофан...</i>	
<i>КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ</i>		<i>АМОРФНЫЕ</i>	
<i>молекулярные: сера, бром, вода, пропан, парафин...</i> <i>атомно-ковалентные: алмаз, боразон, пирит, кварц...</i> <i>атомно-металлические: металлы и сплавы...</i> <i>ионные: сода, селитра, медный купорос, ляпис...</i>		<i>пластмассы: плексиглас, эбонит, пластилин, ПВХ...</i> <i>волокна: хлопок, шёлк, ПАН, ПЛА, лавсан, лён...</i> <i>эластомеры: резина, латекс, силикон, спандекс...</i>	



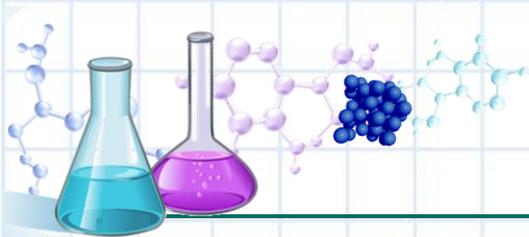
# ХИМИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ И СМЕСЬ

*соединение химическое, индивидуальное вещество — физически неделимое вещество, образованное частицами, связанными между собой химическими связями;*



*смесь — образованное совокупностью химических соединений вещество, делимое физическими методами на индивидуальные вещества, т.е. химические соединения*





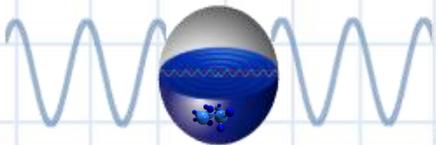
# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

## НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

простые			сложные					
одноэлементные			двухэлементные, бинарные вещества			многоэлементные вещества		
металлы	неметаллы	интерметаллиды	неметаллические	смешанные		комплексные	кластеры	клатраты
Cr	P <sub>4</sub>	Cu <sub>3</sub> Au	оксиды, соли и др...			K <sub>3</sub> [Al(OH) <sub>6</sub> ]	Os <sub>3</sub> (CO) <sub>12</sub>	Xe·6H <sub>2</sub> O
			молекулярные	атомно-ковалентные	ионные	гидроксиды, соли и др...		
			SF <sub>6</sub>	HgO	CsF	молекулярные		ионные
						HClO <sub>4</sub>		KNO <sub>3</sub>
			кислотные	основные	амфотерные	кислотные	основные	амфотерные
			N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Li <sub>3</sub> N	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	Zn(OH) <sub>2</sub>



$$E=mc^2$$



Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_1$ )

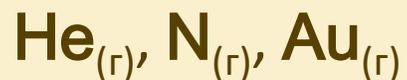
# ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

**вид одноядерных частиц, которые могут существовать в виде свободных атомов, ионов или радикалов, а также, входить в состав простых и сложных веществ;**

**обозначается индивидуальным символом:**

## ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

в виде свободных  
**атомов**



символ

заряд ядра

радиус

поляризация

электроотрицательность

молярная масса

в виде свободных  
**ионов**



символ

заряд иона

радиус

поляризация

электроотрицательность

молярная масса

в составе  
**простых веществ**



формула

аллотропия

электроотрицат.

физические свойства

химические свойства

молярная масса

в составе  
**сложных веществ**



формула

изомерия

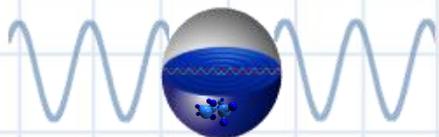
электроотрицательн.

физические свойства

химические свойства

молярная масса

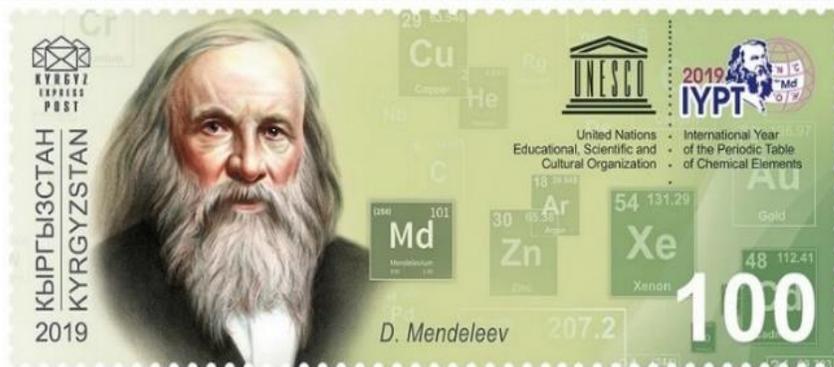
$E=mc^2$



Rest Mass  
(Longitudinal Energy  $E_L$ )

# СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Mass-Energy Equivalence  $V = 0$

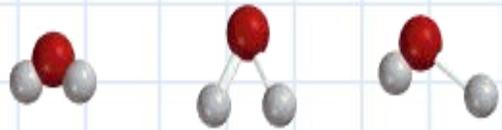


1 1 <b>H</b> hydrogen 1.0080 ± 0.0002																	18 2 <b>He</b> helium 4.0026 ± 0.0001
3 3 <b>Li</b> lithium 6.94 ± 0.06	4 4 <b>Be</b> beryllium 9.0122 ± 0.0001																
11 11 <b>Na</b> sodium 22.990 ± 0.001	12 12 <b>Mg</b> magnesium 24.305 ± 0.002																
19 19 <b>K</b> potassium 39.098 ± 0.001	20 20 <b>Ca</b> calcium 40.078 ± 0.004	21 21 <b>Sc</b> scandium 44.956 ± 0.001	22 22 <b>Ti</b> titanium 47.867 ± 0.001	23 23 <b>V</b> vanadium 50.942 ± 0.001	24 24 <b>Cr</b> chromium 51.996 ± 0.001	25 25 <b>Mn</b> manganese 54.938 ± 0.001	26 26 <b>Fe</b> iron 55.845 ± 0.002	27 27 <b>Co</b> cobalt 58.933 ± 0.001	28 28 <b>Ni</b> nickel 58.693 ± 0.001	29 29 <b>Cu</b> copper 63.546 ± 0.003	30 30 <b>Zn</b> zinc 65.38 ± 0.02	31 31 <b>Ga</b> gallium 69.723 ± 0.001	32 32 <b>Ge</b> germanium 72.630 ± 0.008	33 33 <b>As</b> arsenic 74.922 ± 0.001	34 34 <b>Se</b> selenium 78.971 ± 0.008	35 35 <b>Br</b> bromine 79.904 ± 0.003	36 36 <b>Kr</b> krypton 83.798 ± 0.002
37 37 <b>Rb</b> rubidium 85.468 ± 0.001	38 38 <b>Sr</b> strontium 87.62 ± 0.01	39 39 <b>Y</b> yttrium 88.906 ± 0.001	40 40 <b>Zr</b> zirconium 91.224 ± 0.002	41 41 <b>Nb</b> niobium 92.906 ± 0.001	42 42 <b>Mo</b> molybdenum 95.94 ± 0.01	43 43 <b>Tc</b> technetium [97]	44 44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07 ± 0.02	45 45 <b>Rh</b> rhodium 102.91 ± 0.01	46 46 <b>Pd</b> palladium 106.42 ± 0.01	47 47 <b>Ag</b> silver 107.87 ± 0.01	48 48 <b>Cd</b> cadmium 112.41 ± 0.01	49 49 <b>In</b> indium 114.82 ± 0.01	50 50 <b>Sn</b> tin 118.71 ± 0.01	51 51 <b>Sb</b> antimony 121.76 ± 0.01	52 52 <b>Te</b> tellurium 127.60 ± 0.03	53 53 <b>I</b> iodine 126.90 ± 0.01	54 54 <b>Xe</b> xenon 131.29 ± 0.01
55 55 <b>Cs</b> caesium 132.91 ± 0.01	56 56 <b>Ba</b> barium 137.33 ± 0.01	57-71 lanthanoids	72 72 <b>Hf</b> hafnium 178.49 ± 0.01	73 73 <b>Ta</b> tantalum 180.95 ± 0.01	74 74 <b>W</b> tungsten 183.84 ± 0.01	75 75 <b>Re</b> rhenium 186.21 ± 0.01	76 76 <b>Os</b> osmium 190.23 ± 0.03	77 77 <b>Ir</b> iridium 192.22 ± 0.01	78 78 <b>Pt</b> platinum 195.08 ± 0.02	79 79 <b>Au</b> gold 196.97 ± 0.01	80 80 <b>Hg</b> mercury 200.59 ± 0.01	81 81 <b>Tl</b> thallium 204.38 ± 0.01	82 82 <b>Pb</b> lead 207.2 ± 1.1	83 83 <b>Bi</b> bismuth 208.98 ± 0.01	84 84 <b>Po</b> polonium [209]	85 85 <b>At</b> astatine [210]	86 86 <b>Rn</b> radon [222]
87 87 <b>Fr</b> francium [223]	88 88 <b>Ra</b> radium [226]	89-103 actinoids	104 104 <b>Rf</b> rutherfordium [267]	105 105 <b>Db</b> dubnium [268]	106 106 <b>Sg</b> seaborgium [269]	107 107 <b>Bh</b> bohrium [270]	108 108 <b>Hs</b> hassium [269]	109 109 <b>Mt</b> meitnerium [277]	110 110 <b>Ds</b> darmstadtium [281]	111 111 <b>Rg</b> roentgenium [282]	112 112 <b>Cn</b> copernicium [285]	113 113 <b>Nh</b> nihonium [286]	114 114 <b>Fl</b> flerovium [290]	115 115 <b>Mc</b> moscovium [290]	116 116 <b>Lv</b> livermorium [293]	117 117 <b>Ts</b> tennessine [294]	118 118 <b>Og</b> oganeson [294]



INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

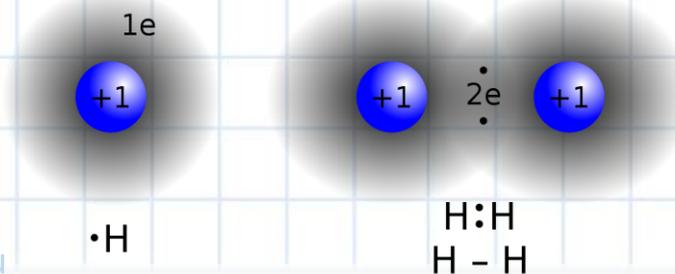
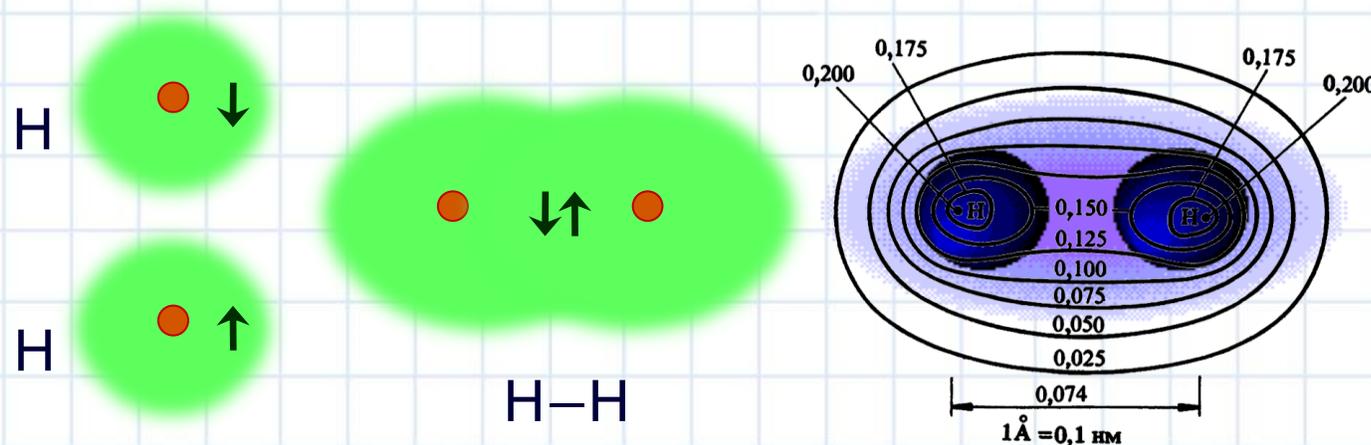
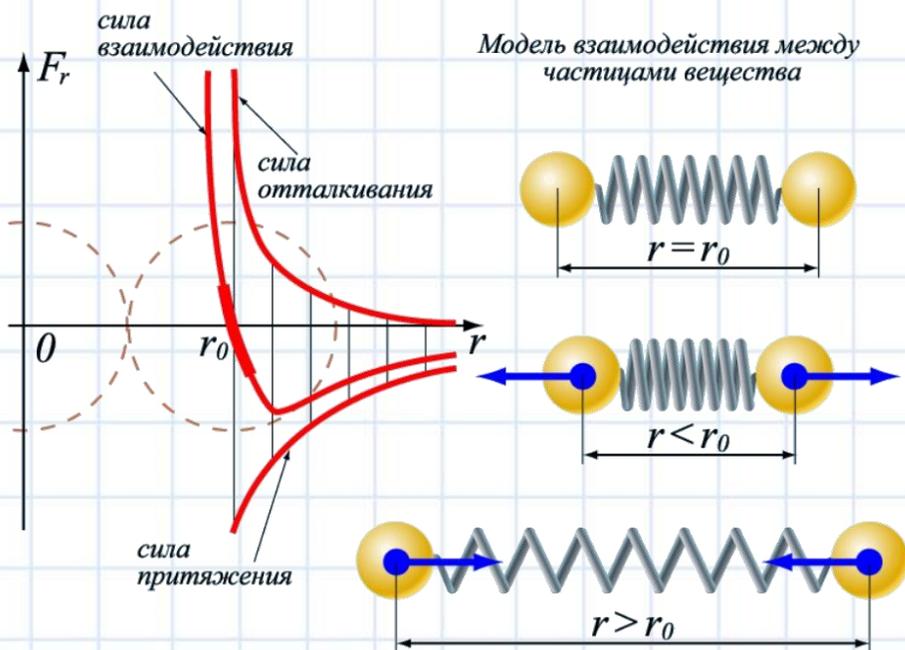
57 57 <b>La</b> lanthanum 138.91 ± 0.01	58 58 <b>Ce</b> cerium 140.12 ± 0.01	59 59 <b>Pr</b> praseodymium 140.91 ± 0.01	60 60 <b>Nd</b> neodymium 144.24 ± 0.01	61 61 <b>Pm</b> promethium [145]	62 62 <b>Sm</b> samarium 150.36 ± 0.02	63 63 <b>Eu</b> europium 151.96 ± 0.01	64 64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25 ± 0.03	65 65 <b>Tb</b> terbium 158.93 ± 0.01	66 66 <b>Dy</b> dysprosium 162.50 ± 0.01	67 67 <b>Ho</b> holmium 164.93 ± 0.01	68 68 <b>Er</b> erbium 167.26 ± 0.01	69 69 <b>Tm</b> thulium 168.93 ± 0.01	70 70 <b>Yb</b> ytterbium 173.05 ± 0.02	71 71 <b>Lu</b> lutetium 174.97 ± 0.01
89 89 <b>Ac</b> actinium [227]	90 90 <b>Th</b> thorium 232.04 ± 0.01	91 91 <b>Pa</b> protactinium 231.04 ± 0.01	92 92 <b>U</b> uranium 238.03 ± 0.01	93 93 <b>Np</b> neptunium [237]	94 94 <b>Pu</b> plutonium [244]	95 95 <b>Am</b> americium [243]	96 96 <b>Cm</b> curium [247]	97 97 <b>Bk</b> berkelium [247]	98 98 <b>Cf</b> californium [251]	99 99 <b>Es</b> einsteinium [252]	100 100 <b>Fm</b> fermium [257]	101 101 <b>Md</b> mendelevium [258]	102 102 <b>No</b> nobelium [259]	103 103 <b>Lr</b> lawrencium [262]



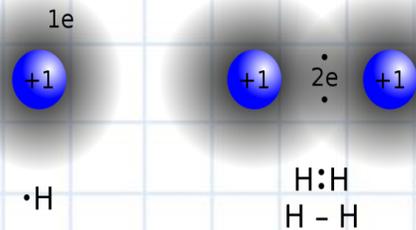
# ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

**ковалентная связь — явление электромагнитного взаимодействия частиц с образованием новой частицы, обусловленное перекрыванием электронных облаков связывающихся частиц и образованием общих электронных пар, которое сопровождается уменьшением полной энергии системы;**

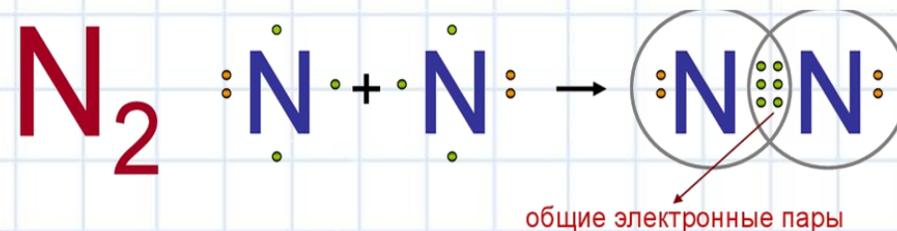
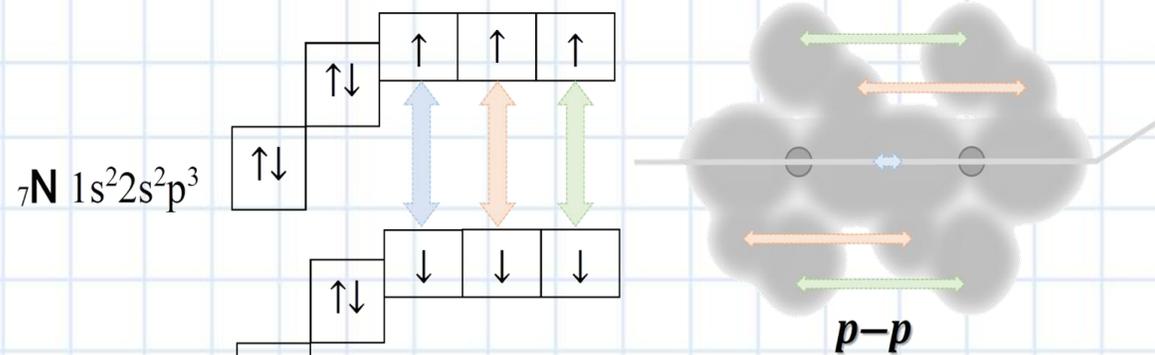
**электронная плотность — плотность вероятности обнаружения электрона в данной точке пространства**



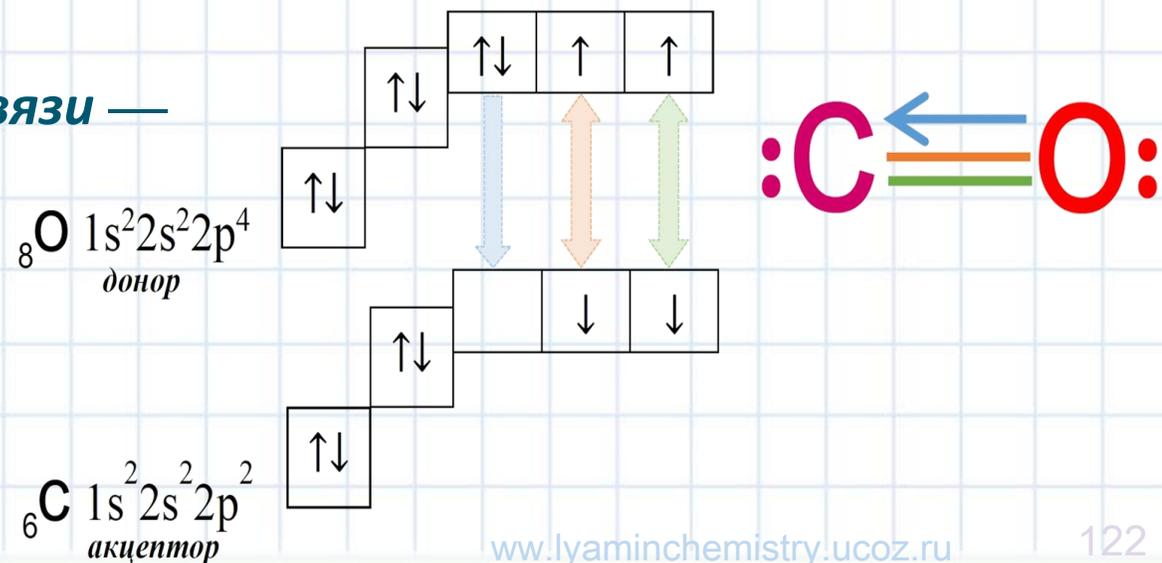
# МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



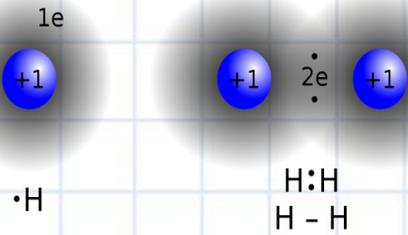
**обменный механизм ковалентной связи — образование связывающей электронной пары при взаимодействии неспаренных антисимметричных валентных электронов взаимодействующих частиц:**



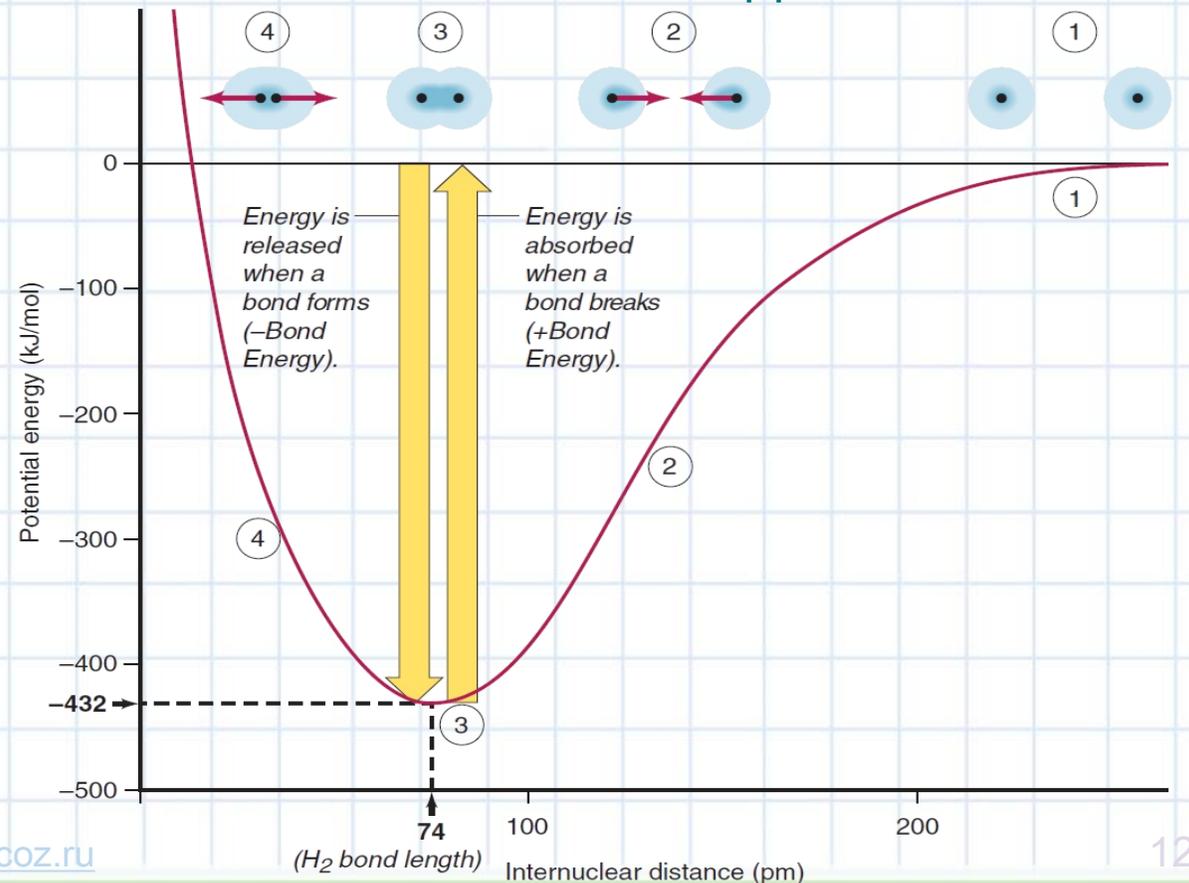
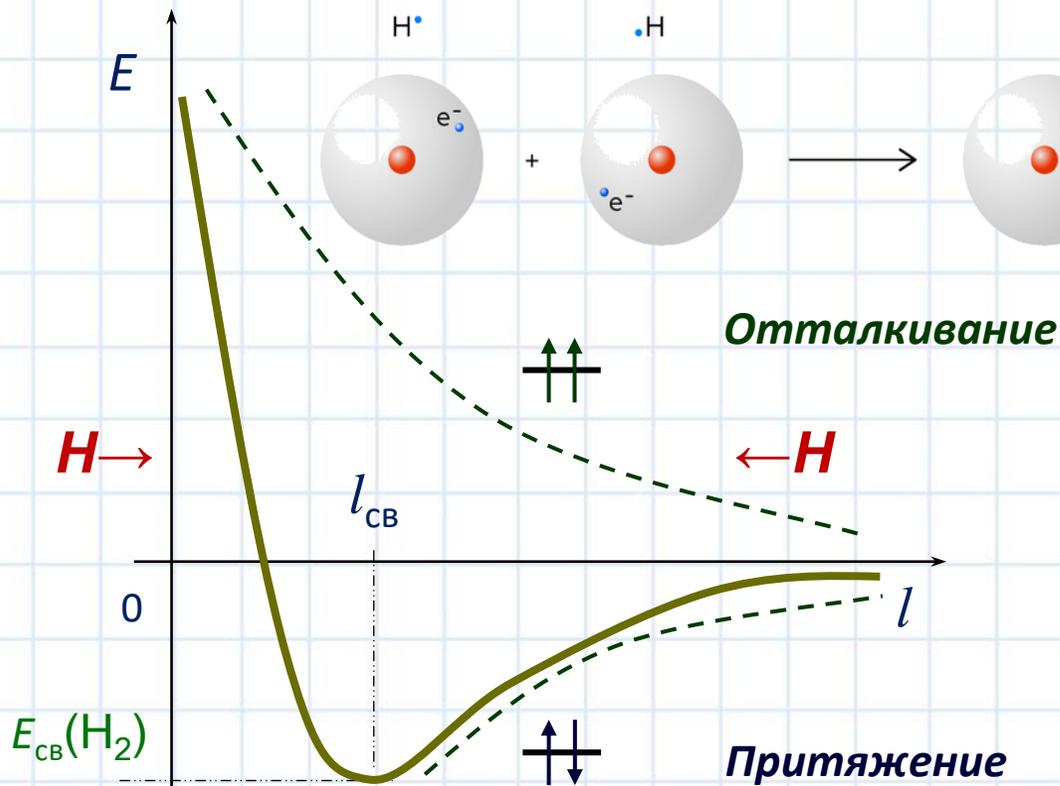
**донорно-акцепторный механизм ковалентной связи — образование связывающей электронной пары посредством валентных электронных пар одних взаимодействующих частиц — доноров и свободных валентных орбиталей других частиц — акцепторов электронов**



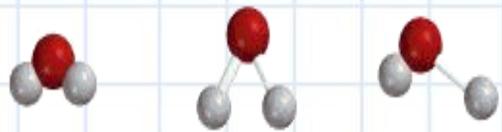
# ЭНЕРГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



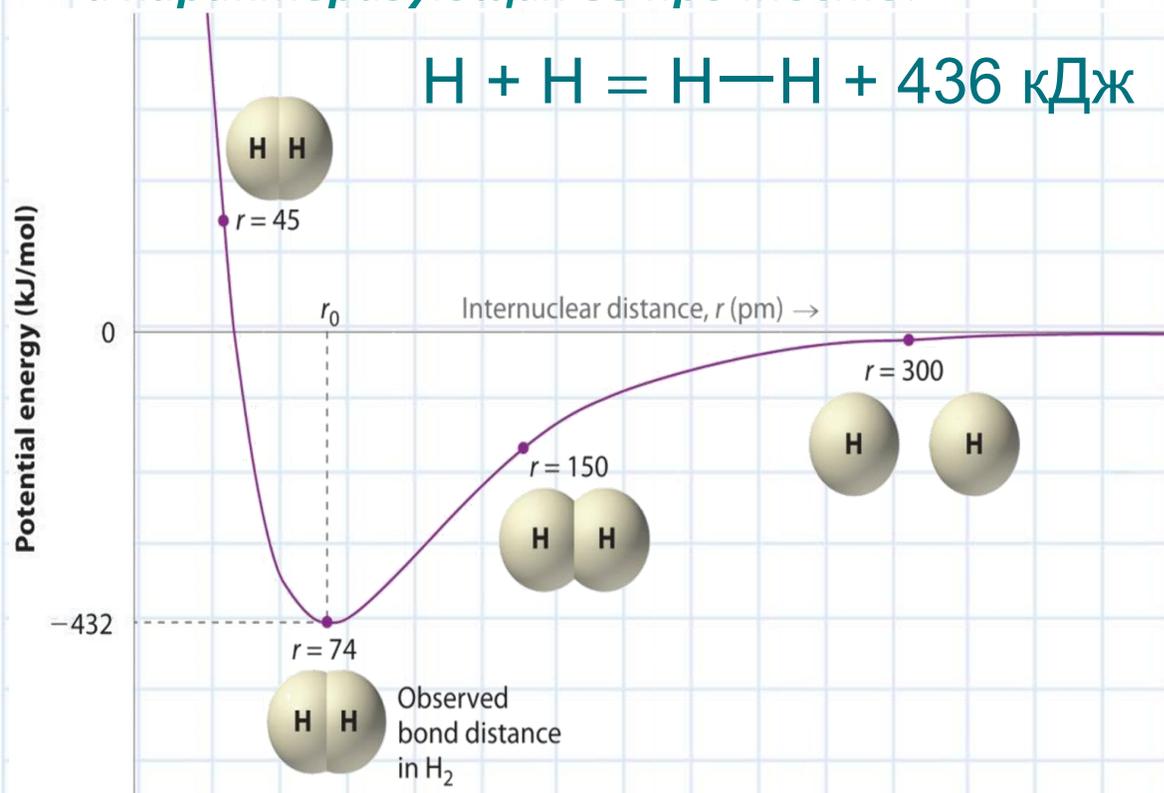
$E_{CB}$ ,  $\Delta H^{\circ}_{CB}$ ,  $DH^{\circ}$ ,  $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$  — энергия, необходимая для полного разрыва ковалентной связи с образованием бесконечно удалённых друг от друга и находящихся в состоянии покоя изолированных частиц; или энергия, выделяемая в процессе образования химической связи и характеризующая её прочность:  $\text{H} + \text{H} = \text{H}-\text{H} + 436 \text{ кДж}$



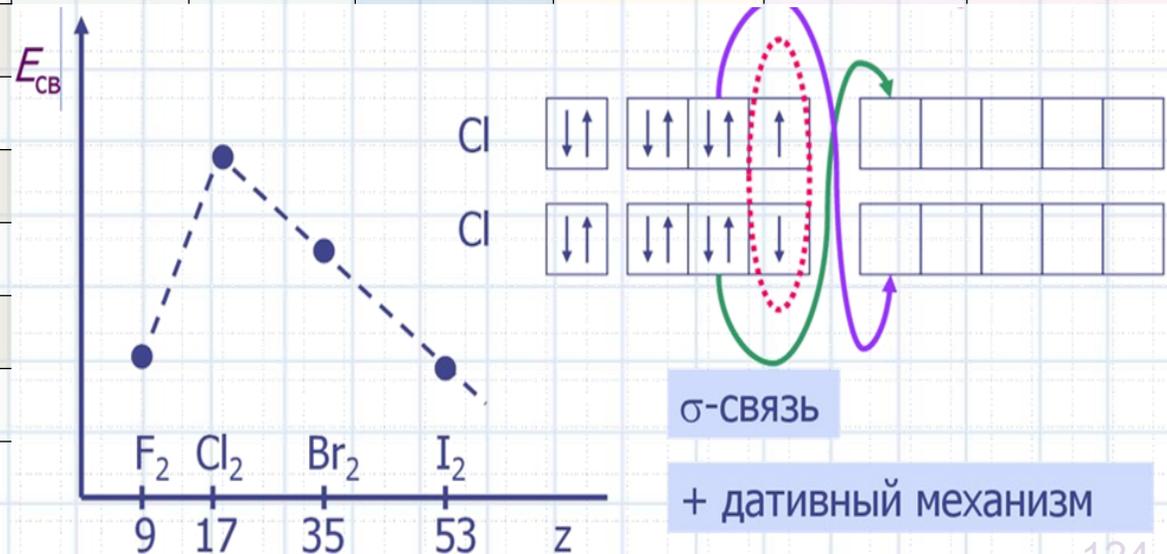
# ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГИЙ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ



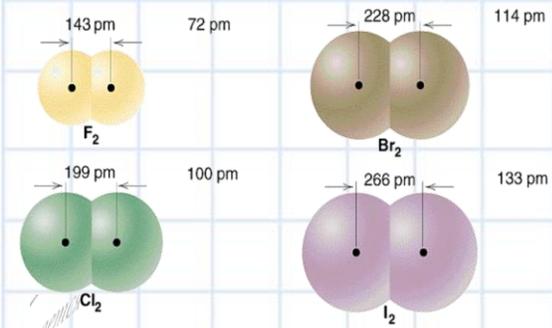
$E_{\text{CB}}$ ,  $\Delta H^{\circ}_{\text{CB}}$ ,  $DH^{\circ}$ , кДж·моль<sup>-1</sup> — энергия, необходимая для полного разрыва ковалентной связи; или энергия, выделяемая в процессе образования химической связи и характеризующая её прочность:



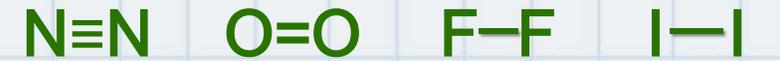
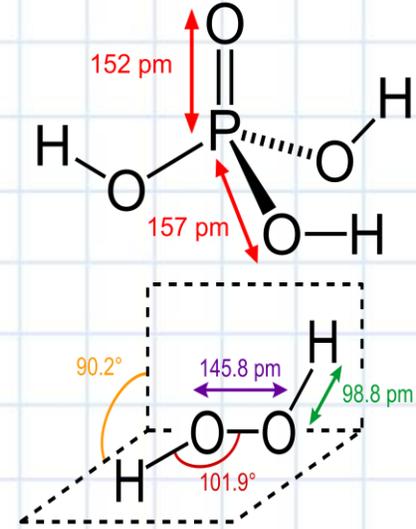
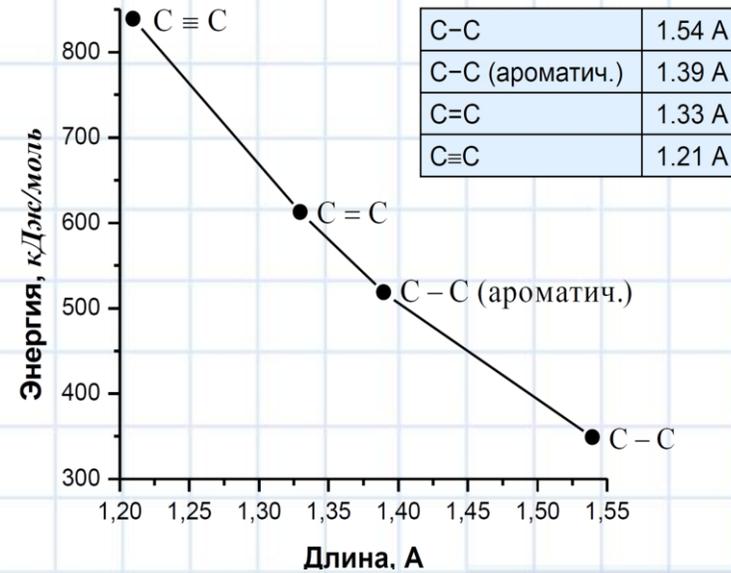
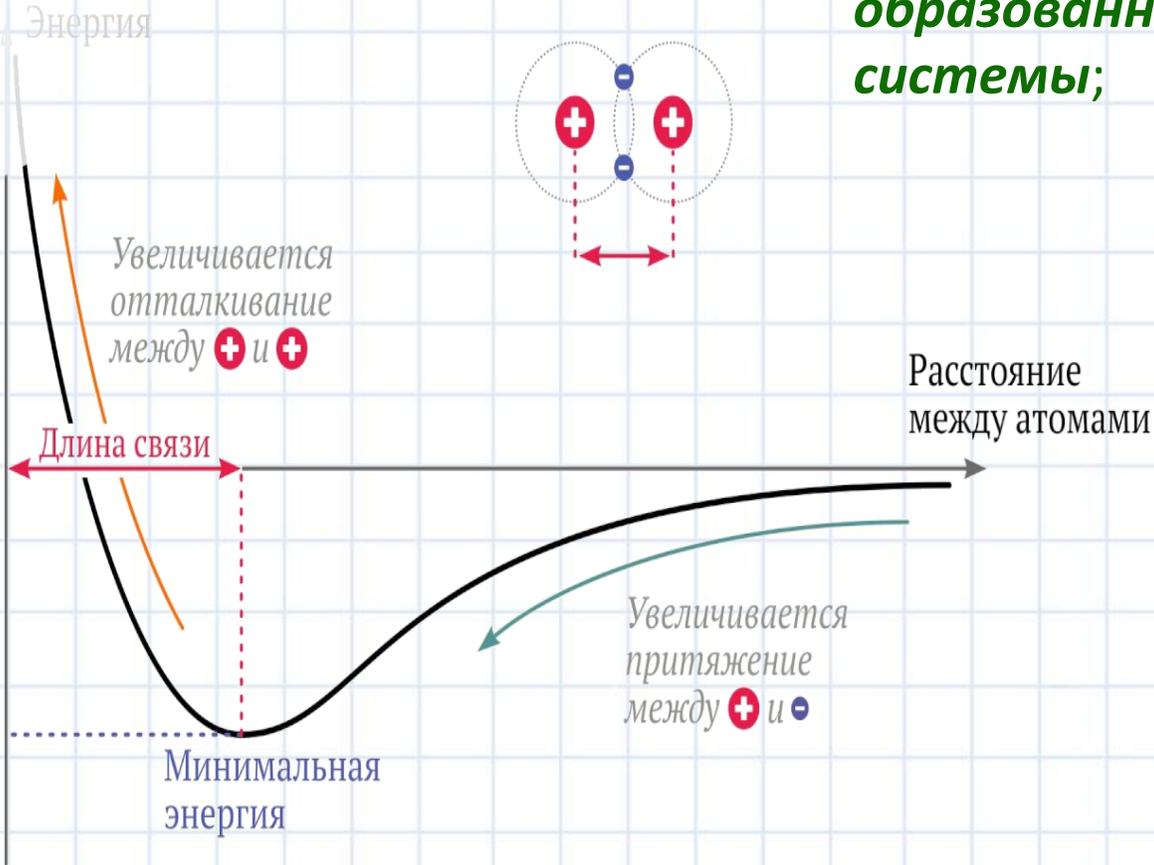
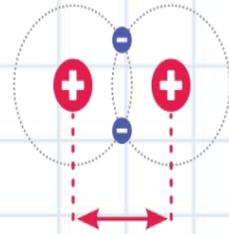
H—H	C—C	N—N	O—O	F—F	C—F	H—F
436	348	163	146	159	460	569
H—C	C=C	N=N	O=O	Cl—Cl	C—Cl	H—Cl
436	620	418	498	243	336	432
H—Si	C≡C	N≡N	S—S	Br—Br	C—Br	H—Br
318	814	945	264	193	281	340
H—N	Si—Si	P—P	S—S	I—I	C—I	H—I
438	226	200	264	151	221	298
H—P						
284						
H—O						
499						
H—S						
385						



# ЭНЕРГИЯ И ДЛИНА ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



длина связи,  $d_{CB}$ ;  $l_{CB}$ ;  $nm$  — расстояние между ядрами в образованной частице, отвечающее минимуму энергии системы;

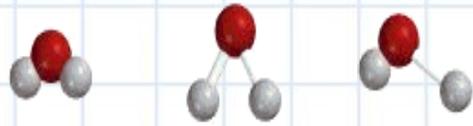


$l_{CB}$  (нм)

0,110    0,121    0,141    0,266

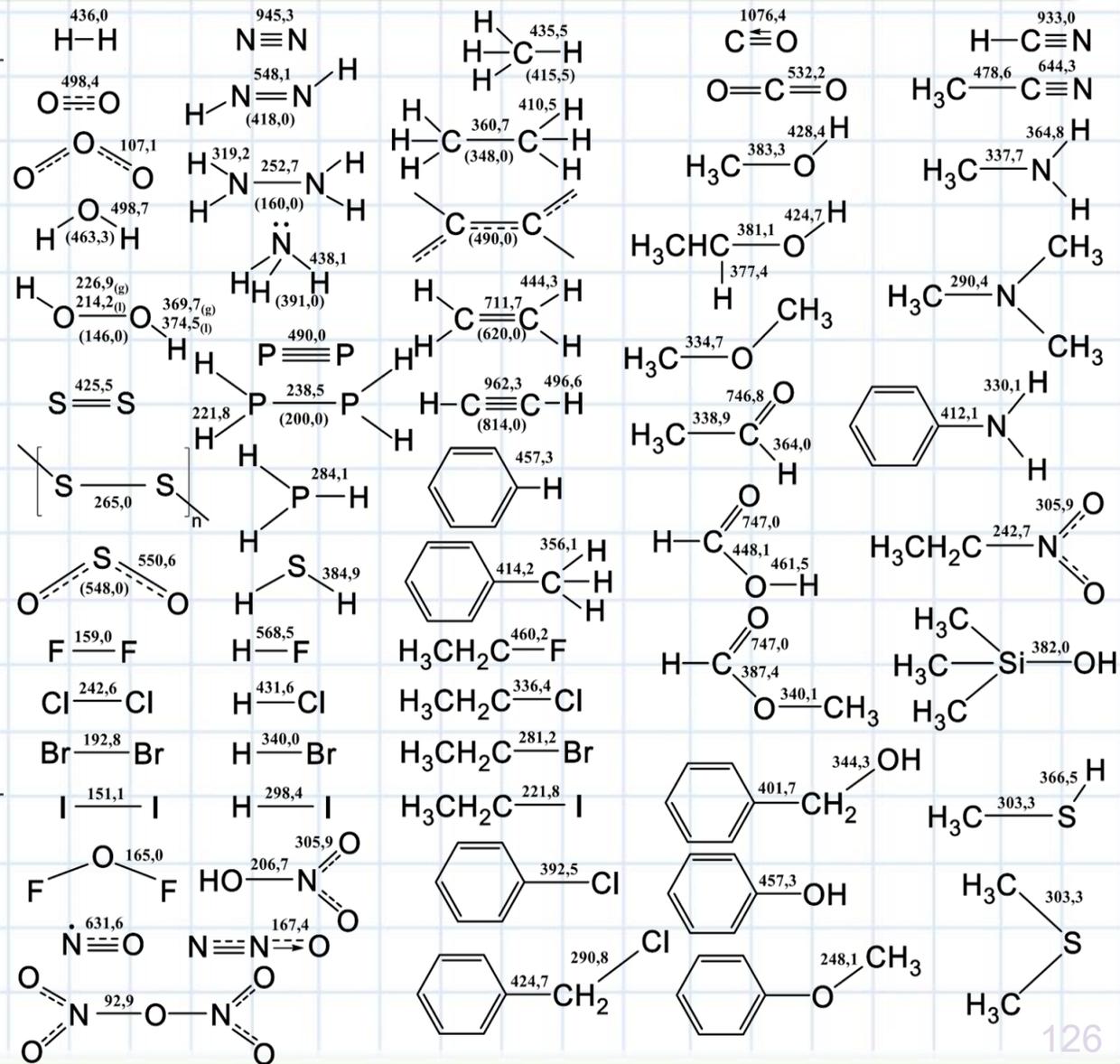
$E_{CB}$  (кДж·моль<sup>-1</sup>)

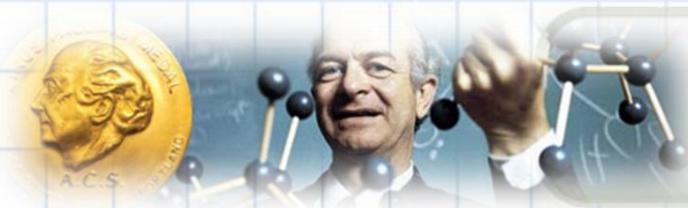
945    498    159    151



# ПАРАМЕТРЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Bond	Energy	Length	Bond	Energy	Length	Bond	Energy	Length	Bond	Energy	Length
<b>Single Bonds</b>											
H—H	432	74	N—H	391	101	Si—H	323	148	S—H	347	134
H—F	565	92	N—N	160	146	Si—Si	226	234	S—S	266	204
H—Cl	427	127	N—P	209	177	Si—O	368	161	S—F	327	158
H—Br	363	141	N—O	201	144	Si—S	226	210	S—Cl	271	201
H—I	295	161	N—F	272	139	Si—F	565	156	S—Br	218	225
			N—Cl	200	191	Si—Cl	381	204	S—I	~170	234
C—H	413	109	N—Br	243	214	Si—Br	310	216	F—F	159	143
C—C	347	154	N—I	159	222	Si—I	234	240	F—Cl	193	166
C—Si	301	186							F—Br	212	178
C—N	305	147	O—H	467	96	P—H	320	142	F—I	263	187
C—O	358	143	O—P	351	160	P—Si	213	227	Cl—Cl	243	199
C—P	264	187	O—O	204	148	P—P	200	221	Cl—Br	215	214
C—S	259	181	O—S	265	151	P—F	490	156	Cl—I	208	243
C—F	453	133	O—F	190	142	P—Cl	331	204	Br—Br	193	228
C—Cl	339	177	O—Cl	203	164	P—Br	272	222	Br—I	175	248
C—Br	276	194	O—Br	234	172	P—I	184	246	I—I	151	266
C—I	216	213	O—I	234	194						
<b>Multiple Bonds</b>											
C=C	614	134	N=N	418	122	C≡C	839	121	N≡N	945	110
C=N	615	127	N=O	607	120	C≡N	891	115	N≡O	631	106
C=O	745	123	O <sub>2</sub>	498	121	C≡O	1070	113			
	(799 in CO <sub>2</sub> )										





# ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ

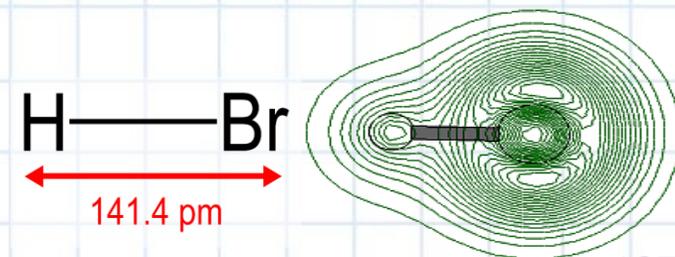
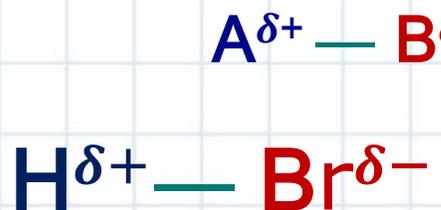
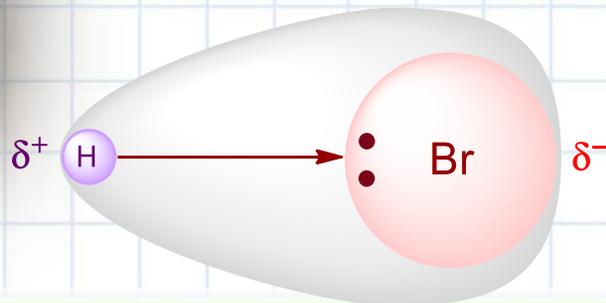
$\chi$ , кДж·моль<sup>-1</sup> — количественная характеристика способности ядра частицы элемента при образовании химической связи смещать к себе общие электронные пары и приобретать частичный отрицательный заряд;

Лайнус Полинг в 1932 г. предложил для количественной характеристики электроотрицательности использовать термодинамические данные об энергии связей  $A-A$ ,  $B-B$  и  $A-B$  соответственно:

$$E_{св}(AA), E_{св}(BB) \text{ и } E_{св}(AB);$$

электроотрицательность — величина, характеризующая способность ядра к поляризации ковалентных связей;

если в двухатомной молекуле  $AB$  электроны, образующие связь, притягиваются к ядру  $B$  сильнее, чем к ядру  $A$ , то элемент  $B$  считается более электроотрицательным, чем элемент  $A$



# ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ

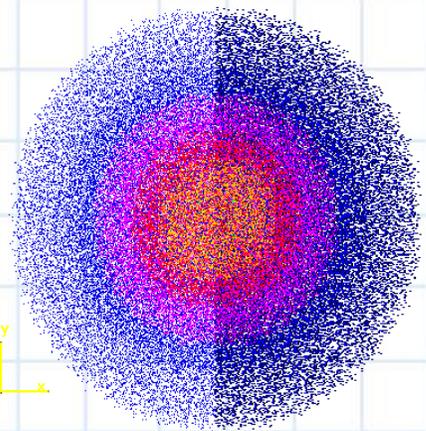
$\chi$ , кДж·моль<sup>-1</sup>

увеличение →

*Электроотрицательность с использованием шкалы Аллена*

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
1	H 2,30																H 2,30	He
2	Li 0,93	Be 1,58											B 2,05	C 2,54	N 3,07	O 3,61	F 4,19	Ne
3	Na 0,87	Mg 1,29											Al 1,61	Si 1,92	P 2,25	S 2,59	Cl 2,87	Ar
4	K 0,73	Ca 1,03	Sc 1,19	Ti 1,38	V 1,53	Cr 1,65	Mn 1,75	Fe 1,80	Co 1,84	Ni 1,88	Cu 1,85	Zn 1,59	Ga 1,76	Ge 1,99	As 2,21	Se 2,42	Br 2,69	Kr 2,97
5	Rb 0,71	Sr 0,96	Y 1,12	Zr 1,32	Nb 1,41	Mo 1,47	Tc 1,51	Ru 1,54	Rh 1,56	Pd 1,58	Ag 1,87	Cd 1,52	In 1,66	Sn 1,82	Sb 1,98	Te 2,16	I 2,36	Xe 2,58
6	Cs 0,66	Ba 0,88	La* 1,09	Hf 1,16	Ta 1,34	W 1,47	Re 1,60	Os 1,65	Ir 1,68	Pt 1,72	Au 1,92	Hg 1,77	Tl 1,79	Pb 1,85	Bi 2,01	Po 2,19	At 2,39	Rn 2,60
7	Fr 0,67	Ra 0,89	Ac** 1,10	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
*	La 1,10	Ce 1,12	Pr 1,13	Nd 1,14	Pm 1,13	Sm 1,17	Eu 1,20	Gd 1,20	Tb 1,10	Dy 1,22	Ho 1,23	Er 1,24	Tm 1,25	Yb 1,10	Lu 1,27			
**	Ac 1,10	Th 1,30	Pa 1,50	U 1,38	Np 1,36	Pu 1,28	Am 1,13	Cm 1,28	Bk 1,30	Cf 1,30	Es 1,30	Fm 1,30	Md 1,30	No 1,30	Lr 1,29			

уменьшение ↓



# ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ



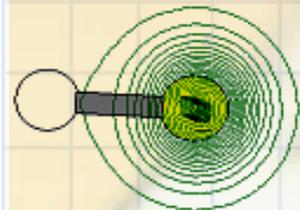
увеличение →

Относительные электроотрицательности элементов по **Оллреду**

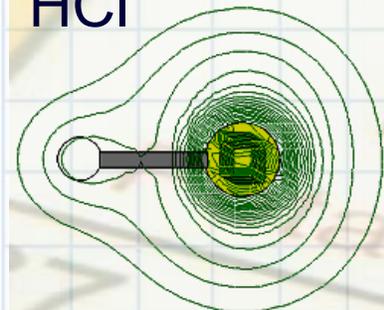
I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII b					I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a
H 2,10																		H 2,10	He
Li 0,97	Be 1,47													B 2,01	C 2,50	N 3,07	O 3,50	F 4,10	Ne
Na 0,93	Mg 1,23													Al 1,47	Si 2,25	P 2,32	S 2,60	Cl 2,83	Ar
K 0,91	Ca 1,04	Sc 1,20	Ti 1,32	V 1,45	Cr 1,56	Mn 1,60	Fe 1,64	Co 1,70	Ni 1,75	Cu 1,75	Zn 1,66	Ga 1,82	Ge 2,02	As 2,11	Se 2,48	Br 2,74	Kr 2,9		
Rb 0,89	Sr 0,99	Y 1,11	Zr 1,22	Nb 1,23	Mo 1,30	Tc 1,36	Ru 1,42	Rh 1,45	Pd 1,35	Ag 1,42	Cd 1,46	In 1,49	Sn 1,72	Sb 1,82	Te 2,02	I 2,21	Xe 2,4		
Cs 0,86	Ba 0,97	La 1,08	Hf 1,23	Ta 1,33	W 1,40	Re 1,46	Os 1,52	Ir 1,55	Pt 1,44	Au 1,42	Hg 1,44	Tl 1,44	Pb 1,55	Bi 1,67	Po 1,76	At 1,90	Rn 2,1		
Fr 0,86	Ra 0,97	Ac 1,00																	

↓ уменьшение

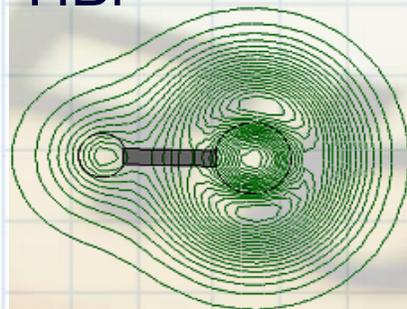
HF



HCl

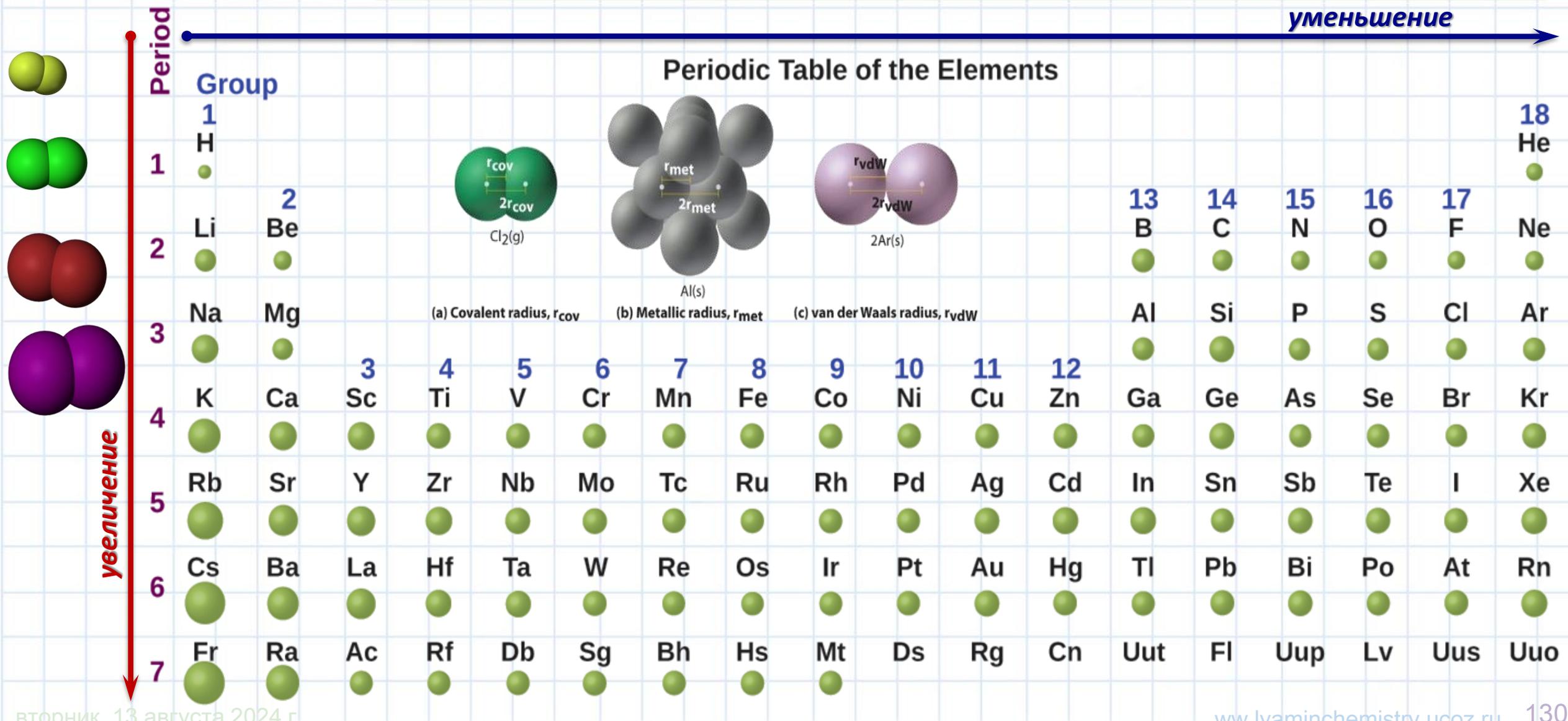


HBr





# ИЗМЕНЕНИЕ АТОМНЫХ РАДИУСОВ

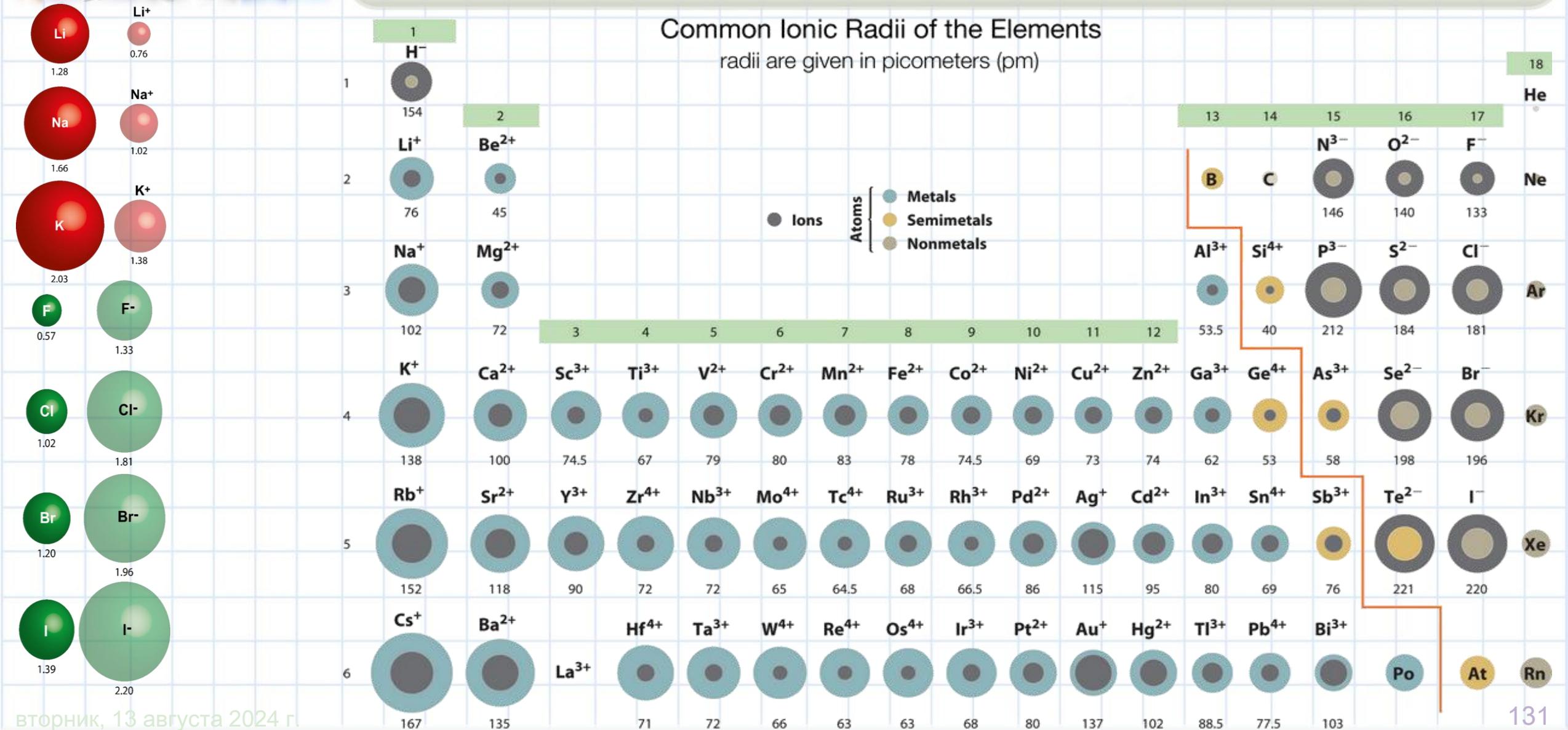


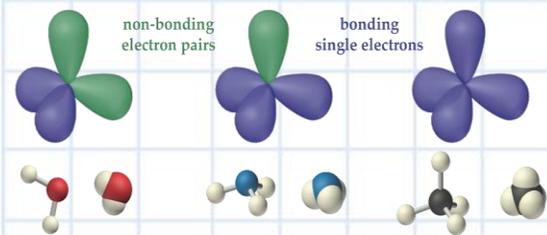
# ИЗМЕНЕНИЕ ИОННЫХ РАДИУСОВ



## Common Ionic Radii of the Elements

radii are given in picometers (pm)



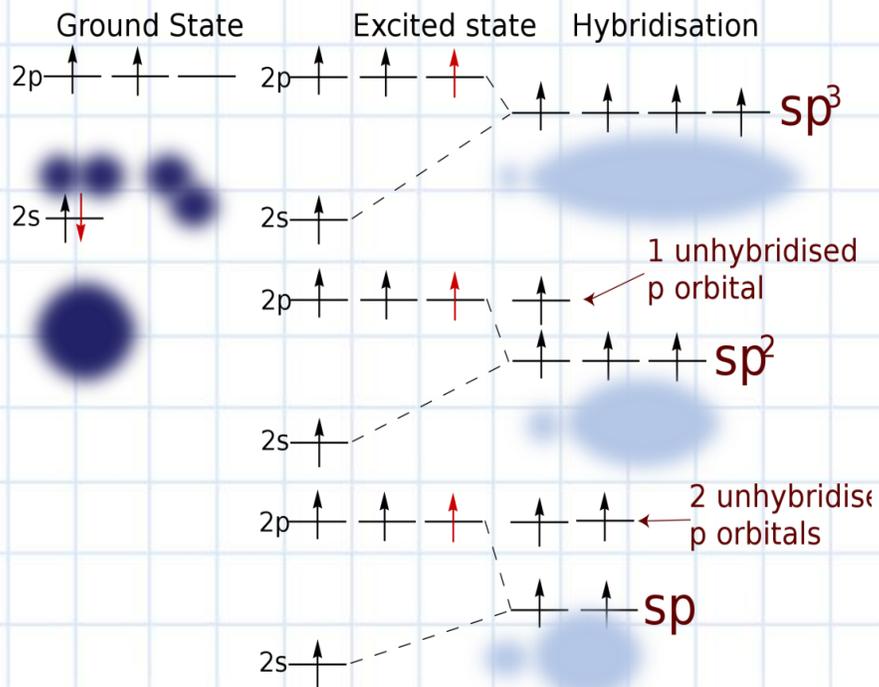


# ГИБРИДИЗАЦИЯ АТОМНЫХ ОРБИТАЛЕЙ

от латинского *hibrida* — помесь;

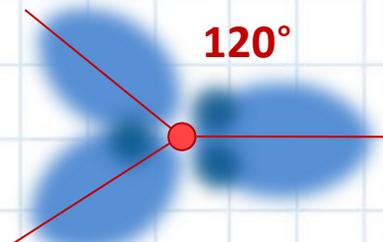
**изменение формы и энергии орбиталей атома при образовании ковалентной связи для достижения их более эффективного перекрывания;**

**гибридизация не является реальным физическим процессом, а есть удобная модель, позволяющая объяснить электронное строение молекул, а именно, гипотетические видоизменения атомных орбиталей при образовании ковалентной химической связи, в частности, выравнивание длин химических связей и валентных углов в молекуле:**



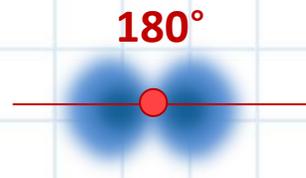
**109°28'**

**$\sigma$ -связи, одинарные**



**120°**

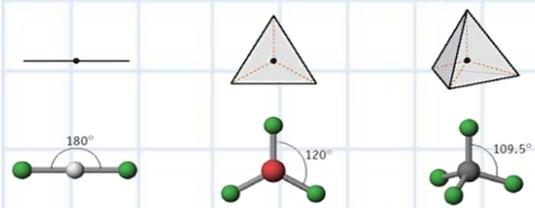
**$\pi$ -связь, двойная**



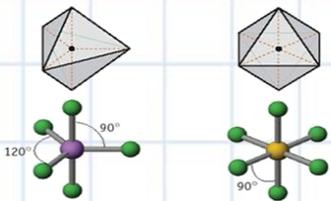
**180°**

**две  $\pi$ -связи, тройная или две двойных у атома**

# ГЕОМЕТРИЯ ЧАСТИЦ



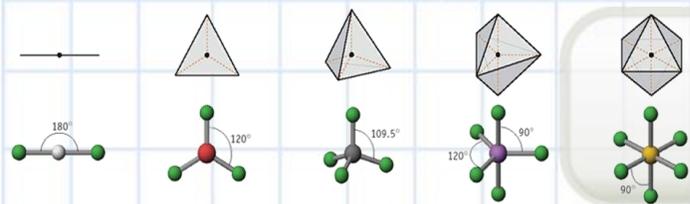
КЧ	НЭП	Тип	Геометрия	Форма	Частица
2	0	$sp$	линейная		$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ ; $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$
2	1	$sp^2$	угловая		$[\text{NO}_2]^-$ ; $\text{SO}_2$ ; $\text{O}_3$
2	2	$sp^3$	угловая		$\text{H}_2\text{O}$ ; $\text{OF}_2$
2	3	$sp^3d$	линейная		$\text{XeF}_2$ ; $[\text{I}_3]^-$ ; $[\text{IF}_2]^-$
3	0	$sp^2$	треугольная		$[\text{NO}_2]^-$ ; $[\text{CO}_3]^{2-}$ ; $[\text{HgI}_3]^-$
3	1	$sp^3$	тригональная пирамида		$\text{NH}_3$ ; $\text{PBr}_3$
3	2	$sp^3d$ $dsp^3$	T-образная		$\text{ClF}_3$ ; $\text{BrF}_3$
4	0	$dsp^2$	плоский квадрат		$[\text{PtCl}_4]^{2-}$ , $\text{Pd}^{2+}$ , $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ , $\text{Au}^{3+}$
4	0	$sp^3$	тетраэдр		$\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ti}^{3+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ ; $[\text{MnCl}_4]^{2-}$
4	1	$sp^3d$	дисфеноид		$\text{SF}_4$ ; $\text{ClOF}_3$



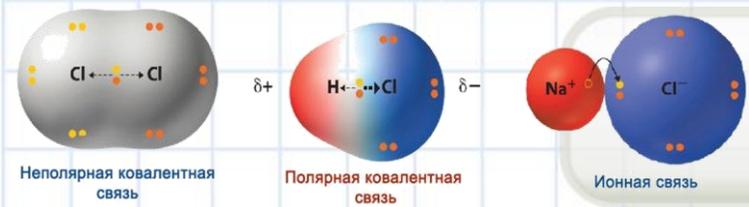
# ГЕОМЕТРИЯ ЧАСТИЦ

КЧ	НЭП	Тип	Геометрия	Форма		Частица
4	2	$sp^3d^2$	квадрат			$[ICl_4]^-$ ; $[Pt(NH_3)_4]^{2+}$
5	0	$dsp^3$	квадратная пирамида			$[Ni(CN)_5]^{3-}$ ; $[MnCl_5]^{3-}$
5	0	$sp^3d$	тригональная бипирамида			$PCl_5$ ; $[IO_5]^{3-}$ ; $[Fe(CO)_5]$
5	1	$sp^3d^2$	квадратная пирамида			$IF_5$ ; $[SbF_5]^{2-}$
5	2	$sp^3d^3$	пентагон			$[XeF_5]^-$
6	0	$sp^3d^2$	октаэдр			$[SiF_6]^{2-}$ ; $Cr^{3+}$ , $Co^{3+}$ , $Al^{3+}$ , $Pd^{4+}$ , $Pt^{4+}$
6	1	$sp^3d^3$	пентагональная пирамида			$[XeOF_5]^-$ ; $[IOF_5]^{2-}$
7	0	$sp^3d^3$	пентагональная бипирамида			$IF_7$ ; $[ZrF_7]^{3-}$ ; $[V(CN)_7]^{4-}$

# ГЕОМЕТРИЯ ЧАСТИЦ



Formula	BeCl <sub>2</sub> Beryllium chloride	BCl <sub>3</sub> Boron trichloride	CH <sub>4</sub> Methane	NH <sub>3</sub> Ammonia	H <sub>2</sub> O Water	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PCl <sub>5</sub>	SF <sub>6</sub>	XeF <sub>4</sub>	ICl <sub>3</sub>
Bonding Pairs	2	3	4	3	2	4	5	6	4	3
Valence Electrons	2	3	4	5	6	5 - 1 = 4	5	6	8	7
Lone Pairs	0	0	0	1	2	0	0	0	2	2
Angles between bonding pairs	180°	120°	109.5°	107°	105°	109.5°	90° & 120°	90°	90°	90°
Name of shape	Linear	Trigonal Planar	Tetrahedral	Trigonal Pyramid	Bent	Tetrahedral	Trigonal Bipyramid	Octahedron	Square	T shape
	CO <sub>2</sub> , [NO <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> , [CN] <sup>-</sup> , [NCS] <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub> , COCl <sub>2</sub> , [NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> , [CO <sub>3</sub> ] <sup>2-</sup>	CCl <sub>4</sub> , POCl <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	P <sub>4</sub> , NF <sub>3</sub> , [SO <sub>3</sub> ] <sup>2-</sup> , [ClO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	HOF, OF <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> O, [NH <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	NOF <sub>3</sub> , [SO <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> , [ClO <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> , [PO <sub>4</sub> ] <sup>3-</sup>	SOF <sub>4</sub> , SbCl <sub>5</sub> , [IO <sub>5</sub> ] <sup>3-</sup>	H <sub>5</sub> IO <sub>6</sub> , [SiF <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [AlF <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> , [XeO <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup>	XeF <sub>4</sub> , [BrF <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>	BrF <sub>3</sub> , XeOF <sub>2</sub> , [XeF <sub>3</sub> ] <sup>+</sup>



# ПОЛЯРНОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

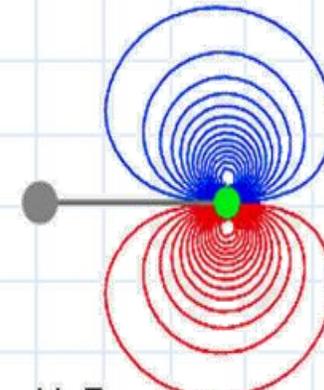
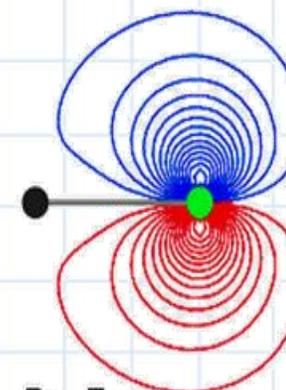
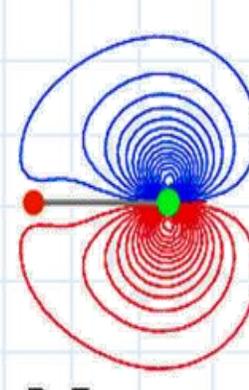
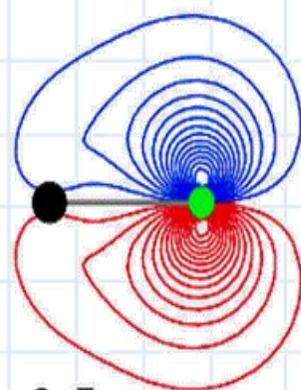
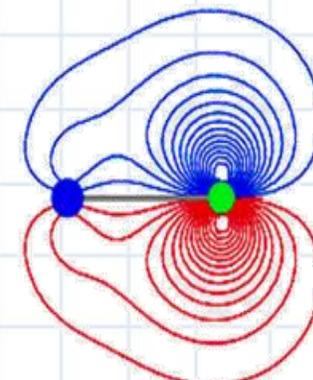
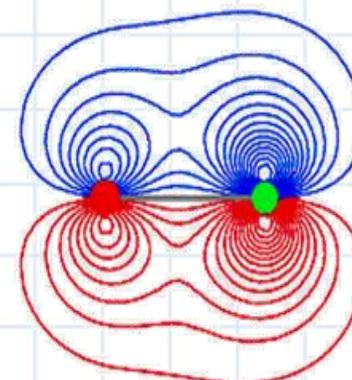
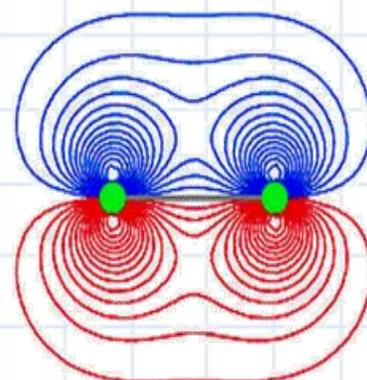
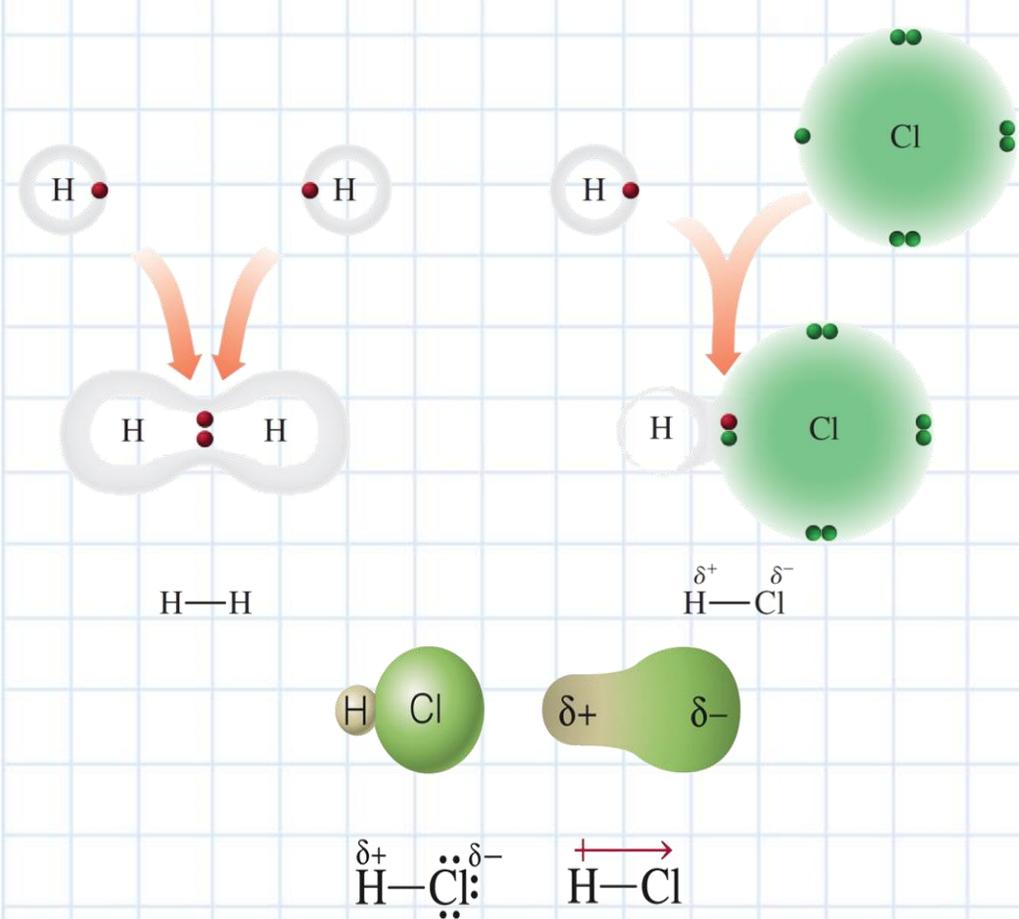
Cs Rb K Ba Na Li Sr Ca La Mg Be Al Mn Cr Zn Fe Ni Sn Pb Sb Si B Te As P H Cu Ag Hg Pt Au I Se C S Br Cl N O F

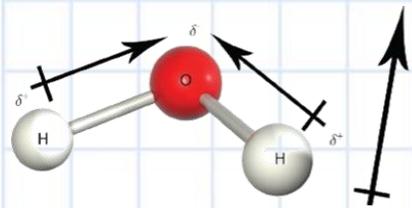
$\chi < 1,0$

$\chi < 1,8$

$\chi < 2,5$

$\chi < 3,5$





# ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Cs Rb K Ba Na Li Sr Ca La Mg Be Al Mn Cr Zn Fe Ni Sn Pb Sb Si B Te As P H Cu Ag Hg Pt Au I Se C S Br Cl N O F

$\chi < 1,0$

$\chi < 1,8$

$\chi < 2,5$

$\chi < 3,5$

**электрической диполь** — совокупность двух разноимённых точечных зарядов равных по абсолютной величине, находящихся на некотором расстоянии друг от друга;

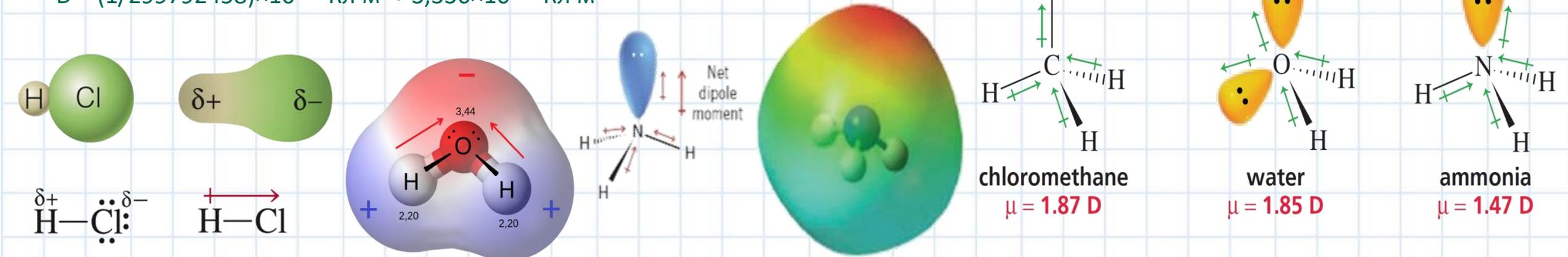
**т.о. в качестве одной из характеристик ковалентной связи используют понятие — степень ионности ( $i$ ), а количественной оценкой смещения электронной плотности в частице служит векторная физическая величина — дипольный момент ( $\mu$ ; D, Кл·м):**

$$\vec{\mu} = q \cdot l$$

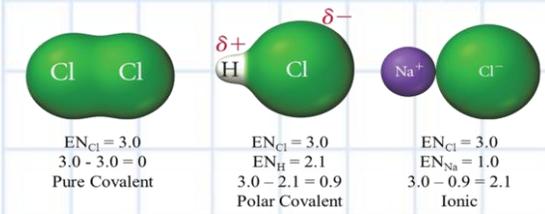
где  $q$  — величина эффективных зарядов в частице (Кл),  $l$  — длина связи;

в химии используют внесистемную единицу дипольного момента — дебай (D);

$$D = (1/299792458) \times 10^{-21} \text{ Кл}\cdot\text{м} \approx 3,336 \times 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$$



# ВИДЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



Cs Rb K Ba Na Li Sr Ca La Mg Be Al Mn Cr Zn Fe Ni Sn Pb Sb Si B Te As P H Cu Ag Hg Pt Au I Se C S Br Cl N O F

$\chi < 1,0$

$\chi < 1,8$

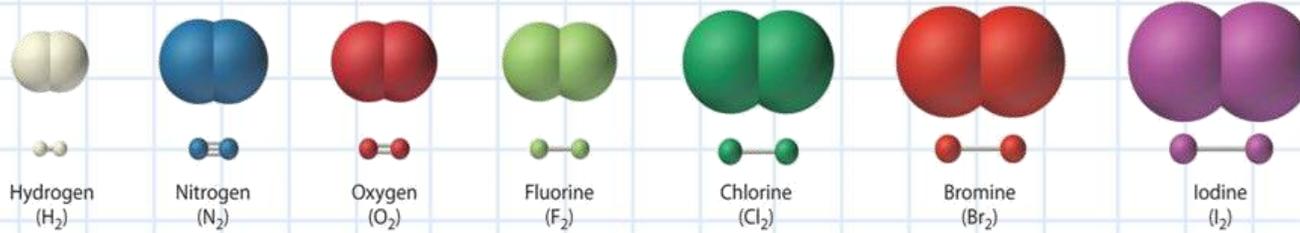
$\chi < 2,5$

$\chi < 3,5$

чем больше разность в значениях электроотрицательности элементов, образующих вещество, тем больше полярность химической связи в соединении:

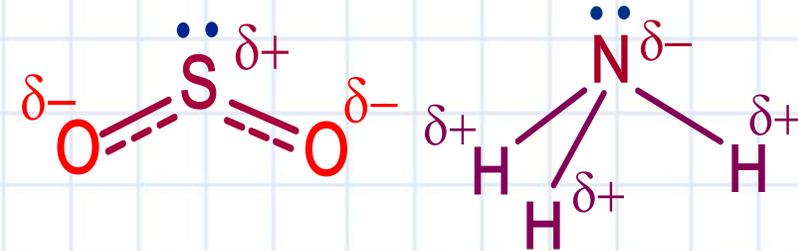
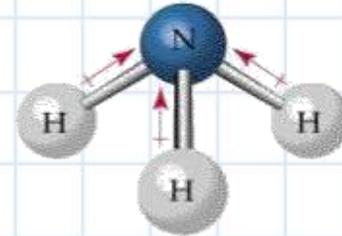
ковалентная

неполярная связь:

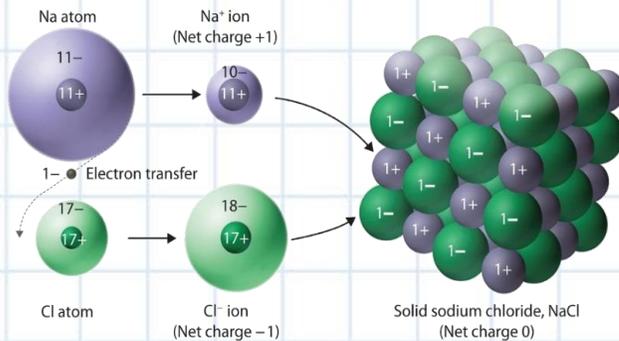


H-H; O=O; N≡N ...

ковалентная полярная связь:

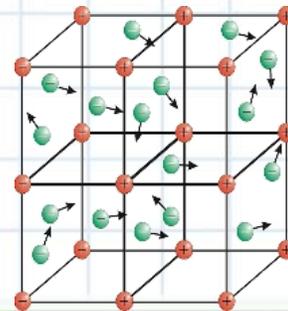


ионная связь:



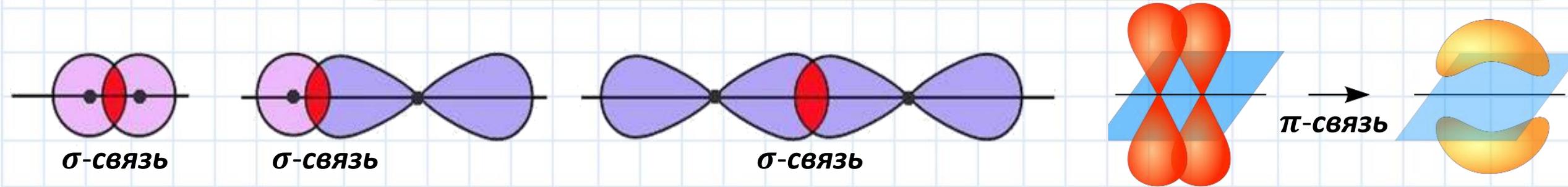
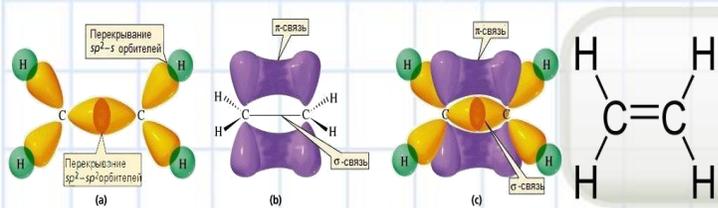
[Na]<sup>+</sup>[Cl]<sup>-</sup>; [Ca]<sup>2+</sup>2[Cl]<sup>-</sup>; [K]<sup>+</sup>[F]<sup>-</sup> ...

металлическая связь:



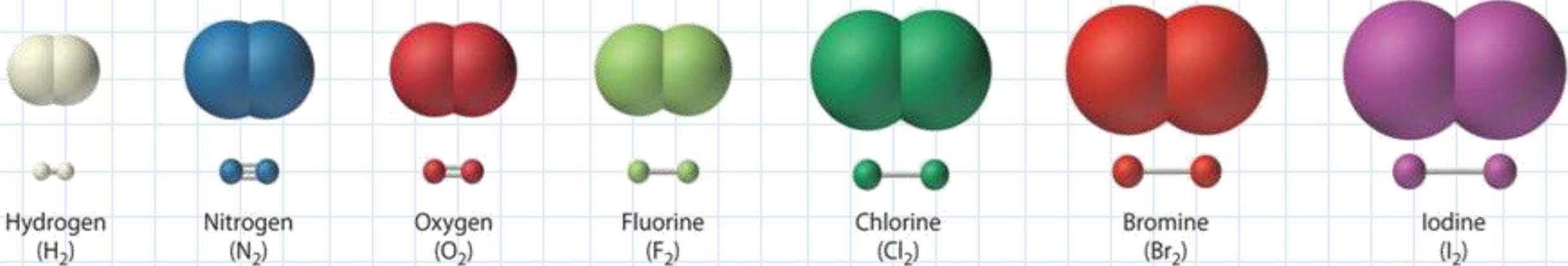
Al; Zn; Au ...

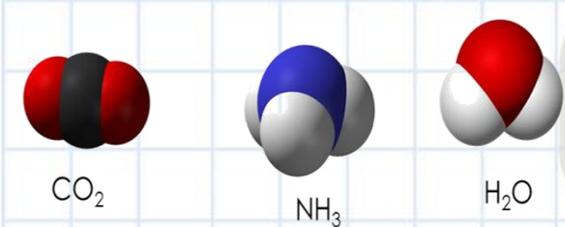
# ТИПЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



$\sigma$ -связи — «лобовое» перекрывание атомных орбиталей с образованием области электронной плотности, сосредоточенной вдоль межъядерной оси с возможностью свободного вращения вокруг неё;

$\pi$ -связи — «боковое» перекрывание атомных орбиталей с образованием двух областей электронной плотности, расположенных по обе стороны от межъядерной оси:





# ФОРМУЛА ХИМИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**      *химическая формула — изображение состава вещества с помощью символов химических элементов, цифр, скобок, штрихов;*

*эмпирическая формула — запись, отображающая соотношение количеств элементов в составе вещества, с помощью их символов и цифр;*

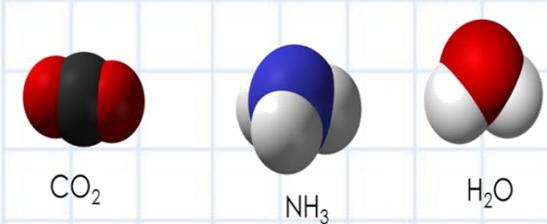
*символы элементов в формуле записывают в порядке увеличения их электроотрицательности, за исключением: NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, [NH<sub>4</sub>]<sup>+</sup>, [OH]<sup>-</sup>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>;*

*степень окисления — условный заряд, приписываемый элементу при условии полного смещения электронной пары каждой химической связи к наибольшему значению электроотрицательности;*

*в простом веществе степень окисления равна нулю; элемент с бóльшим значением электроотрицательности проявляет отрицательную степень окисления равную 8 за вычетом номера группы, исключение: O<sub>2</sub><sup>-1</sup>; S<sub>2</sub><sup>-1</sup>; N<sub>2</sub><sup>-2</sup>H<sub>4</sub>; C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>; «элементы-металлы» в сложных соединениях проявляют положительные степени окисления; элементы I, II, III главных групп в сложных соединениях проявляют только положительную степень окисления, равную номеру группы;*

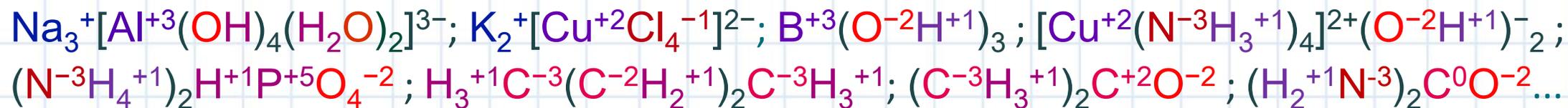
*водород в сложных соединениях в зависимости от электроотрицательности соседнего элемента проявляет или отрицательную или положительную степень окисления равную 1;*



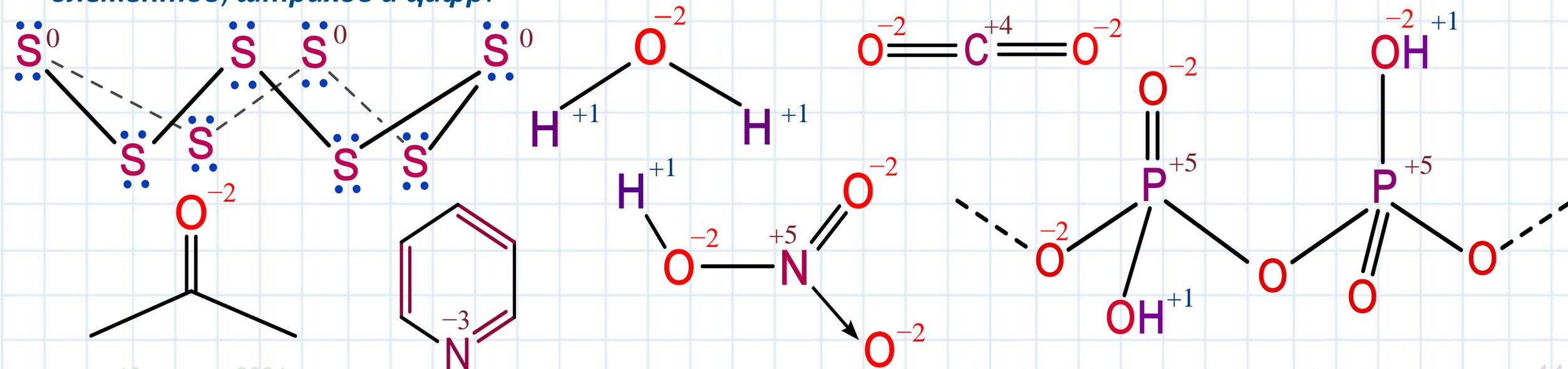


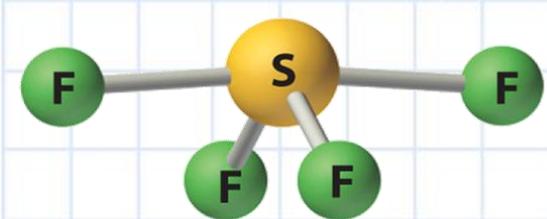
# ФОРМУЛА ХИМИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

**линейная формула** — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и порядок соединения их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, скобок и цифр; скобки используют для обозначения групп и раскрывать их нельзя:



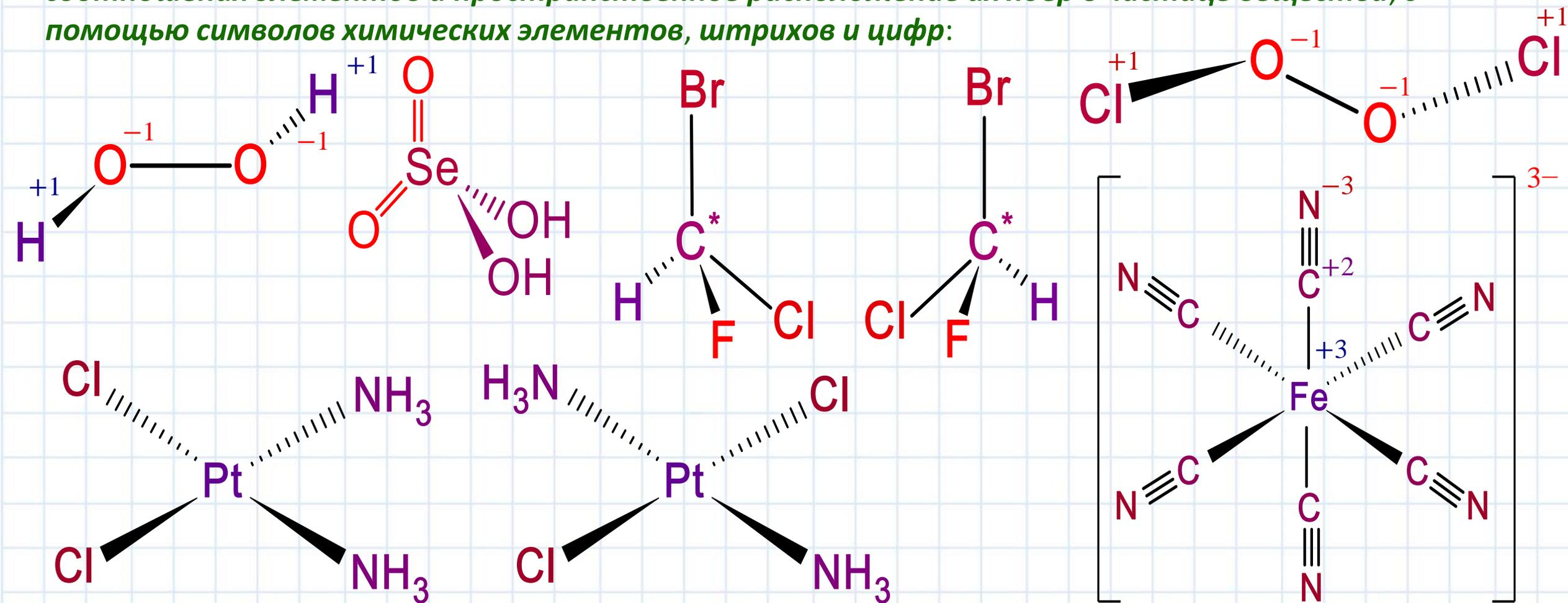
**графическая формула** — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и порядок соединения их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, штрихов и цифр:





# ФОРМУЛА ХИМИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

*структурная формула, 3D-формула — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и пространственное расположение их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, штрихов и цифр:*





# НАЗВАНИЯ ВЕЩЕСТВА

1. *Рекомендованные названия химических соединений, построенные в соответствии с принципами систематической химической номенклатуры.*
2. *Альтернативные, традиционные, названия соединений, построенные с нарушением принципов номенклатуры, но имеющие широкое распространение.*
3. *Неноменклатурные, тривиальные или специальные, названия, которые подлежат изъятию из языка:*

## НАЗВАНИЕ ВЕЩЕСТВА

ТРИВИАЛЬНОЕ

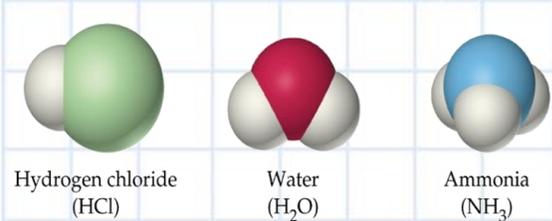
СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ

номенклатура IUPAC:

заместительная;  
радикало-функциональная;  
заменительная;

рациональное



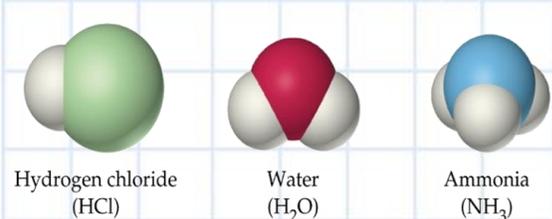


# НОМЕНКЛАТУРА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

названия неорганических соединений в русской интерпретации составляют по химическим формулам справа налево; они складываются из названий **электроотрицательных составляющих с латинским корнем в именительном падеже** и **электроположительных составляющих с русским названием в родительном падеже**:

1. Для обозначения стехиометрического состава используются числовые приставки, **SF<sub>6</sub>** — **гексафторид серы** [*sulfur hexafluoride*];
2. Степень окисления указывается римской цифрой в скобках за символом элемента — **способ Штока**, **MnO<sub>2</sub>** — **оксид марганца(IV)** [*manganese(IV) oxide*].

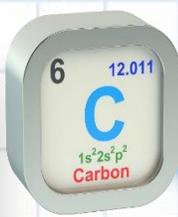
**NO<sub>2</sub>** — диоксид азота или оксид азота(IV); **N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>** — тетраоксид диазота или оксид азота(IV); **N<sub>2</sub>O** — оксид диазота или оксид азота(I); **CO<sub>2</sub>** — диоксид углерода или оксид углерода(IV); **CO** — оксид углерода или оксид углерода(II); **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** — пентаоксид дифосфора или оксид фосфора(V); **P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** — триоксид дифосфора или оксид фосфора(III); **Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>** — тетраоксид трисвинца или оксид свинца(II; IV) или тетраоксоплюмбат(IV) свинца(II); **Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>** — дихлорид диртути или хлорид ртути(I); **Na<sub>2</sub>[Zn(OH)<sub>4</sub>]** — тетрагидроксоцинкат натрия; **CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O** — пентагидрат сульфата меди(II) или сульфат меди(II) пятиводный



# НАЗВАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

<i>формула</i>	<i>IUPAC</i>	<i>рациональное</i>	<i>тривиальное</i>
O <sub>3</sub>	трикислород	озон	озон
S <sub>8</sub>	октасера	сера ромбическая	серный цвет
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	железа(II) диоксоферрат(III)	тетраоксид трижелеза	магнетит
CO	углерода(II) оксид	монооксид углерода	угарный газ
CO <sub>2</sub>	углерода(IV) оксид	диоксид углерода	углекислый газ
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	водорода пероксид	пероксид водорода	перекись водорода
NaHCO <sub>3</sub>	водорода-натрия триоксокарбонат(IV)	бикарбонат натрия	сода питьевая
KMnO <sub>4</sub>	калия тетраоксоманганат(VII)	перманганат калия	марганцовка
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	дводорода тетраоксосульфат(VI)	серная кислота	серная кислота
KNO <sub>3</sub>	калия триоксонитрат(V)	нитрат калия	селитра калийная

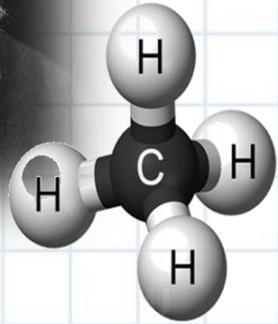
# ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ



*немецкий химик Карл Шорлеммер (1834-1892)*

*в 1890 г. определил органическую химию как*

*«наука о строении и свойствах углеводородов и их производных»*



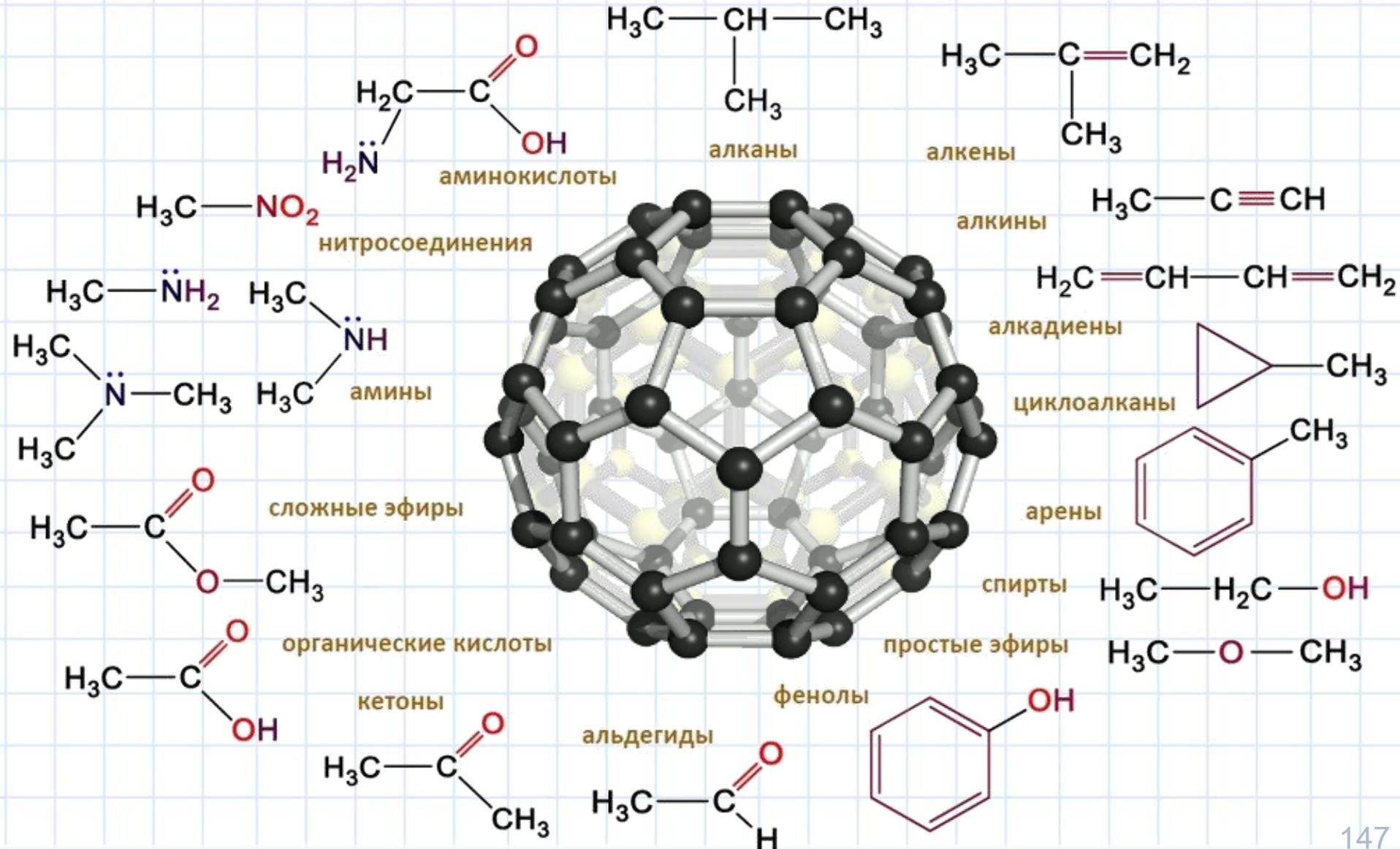
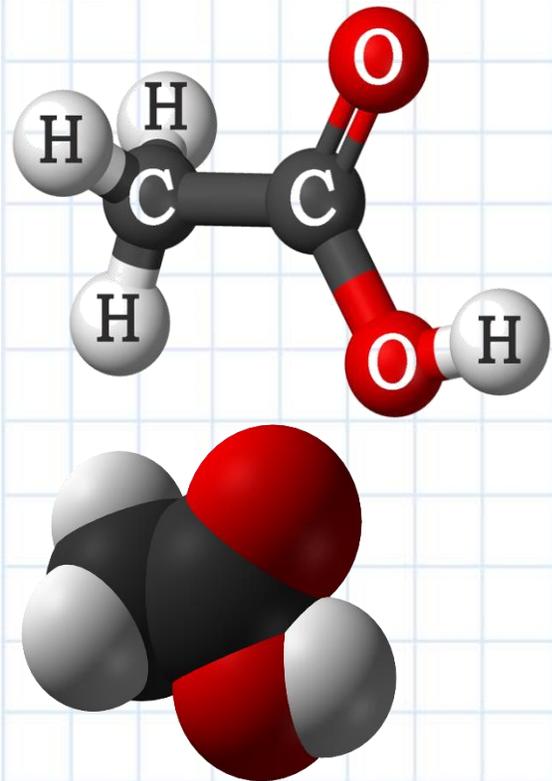
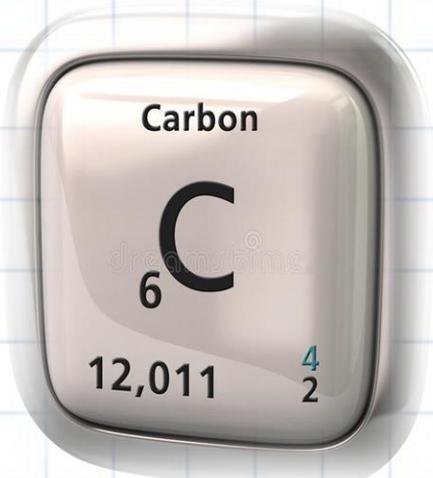
*Мы живём в органическом мире и сами являемся его неотъемлемой частью;*

*каждая клетка живого организма представляет собой сложный микроскопический реактор, в котором ежедневно под действием ферментов и в соответствии с законами органической химии проходят сотни тысяч триллионов параллельных и последовательных химических реакций при обычных условиях со 100 % селективностью и количественными выходами.*

*Химики-органики в содружестве с биохимиками и молекулярными биологами уже сумели выяснить механизмы многих из таких превращений и смоделировать их *in vitro*, полученные результаты открывают исключительные перспективы создавать подобно живой природе катализаторы, не уступающие по активности и селективности ферментам, а в перспективе и превосходящие их.*

*Сегодня известно более 150 000 000 природных и синтетических органических соединений и только 700 000 неорганических веществ;*

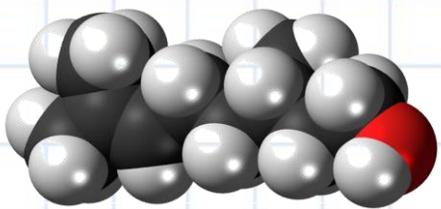
# КЛАССЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ





# УГЛЕВОДОРОДЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ

алифатические, ациклические		алициклические		карбоциклические	
				ароматические	
алканы	$\begin{matrix} R \\   \\ C \\ / \backslash \\ R \end{matrix}$	циклоалканы		арены	
алкены	$\begin{matrix} R & R \\ \backslash & / \\ C & = & C \\ / & \backslash \\ R & R \end{matrix}$	циклоалкены			
алкины	$R-C \equiv C-R$				
алкадиены	$R-RC=CR-RC=CR-R$				
кислородсодержащие		серусодержащие		азотсодержащие	
спирты	$R-OH$	тиолы	$R-SH$	нитропроизводные	$R-NO_2$
фенолы		тиоэфиры	$R-S-R$	амиды	$R-C(=O)NH_2$
эфиры простые	$R-O-R$	дитиоэфиры	$R-S-S-R$	галогенпроизводные	$R-Br$
альдегиды	$R-C(=O)H$	сульфонокислоты	$R-S(=O)_2OH$	галогенангидриды	$R-C(=O)Cl$
кетоны	$R-C(=O)R$			амины	$R-NH_2$
кислоты	$R-C(=O)OH$			нитрилы	$R-C \equiv N$
эфиры сложные	$R-C(=O)O-R$				
ангидриды	$R-C(=O)O-C(=O)-R$				
					фуран
					пиран
					тиофен
					пиррол
					пиридин



# ОБЩИЕ ФОРМУЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

## УГЛЕВОДОРОДЫ

алифатические (ациклические)

карбоциклические

алициклические

ароматические

алканы  $C_nH_{2n+2}$

циклоалканы  $C_nH_{2n}$

алкены  $C_nH_{2n}$

алкадиены  $C_nH_{2n-2}$

циклоалкены  $C_nH_{2n-2}$

алкины  $C_nH_{2n-2}$

арены  $C_nH_{2n-6}$

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

кислородсодержащие

серусодержащие

азотсодержащие

галогенсодержащие

гетероциклы

спирты  $C_nH_{2n+2}O_z$

фуран  $C_4H_4O$

фенолы  $C_nH_{2n-6}O_z$

тиолы  $C_nH_{2n+2}S$

нитро  $C_nH_{2n+1}NO_2$

галогенпроизводные

пиран  $C_5H_6O$

эфирь простые  $C_nH_{2n+2}O$

тиоэфиры  $C_nH_{2n+2}S$

амиды  $C_nH_{2n+1}ON$

$C_nH_{2n+1}Hal$

тиофен  $C_4H_4S$

альдегиды  $C_nH_{2n}O$

кетонь  $C_nH_{2n}O$

тиоэфиры сложные  $C_nH_{2n}OS$

аминь  $C_nH_{2n+3}N$

галогенангидриды

пиррол  $C_4H_5N$

кислоть  $C_nH_{2n}O_2$

анилин  $C_6H_5+2N$

$C_nH_{2n-1}OHal$

эфирь сложнь  $C_nH_{2n}O_2$

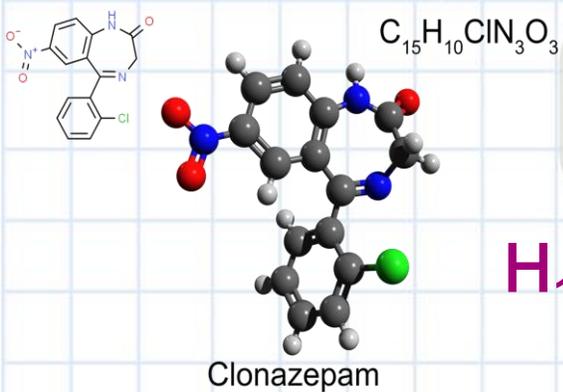
сульфокислоть  $C_nH_{2n+2}SO_3$

нитрилъ  $C_nH_{2n-1}N$

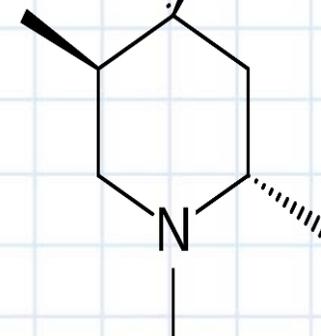
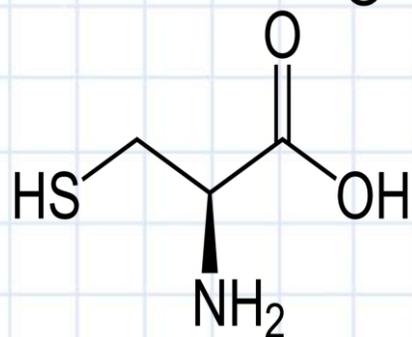
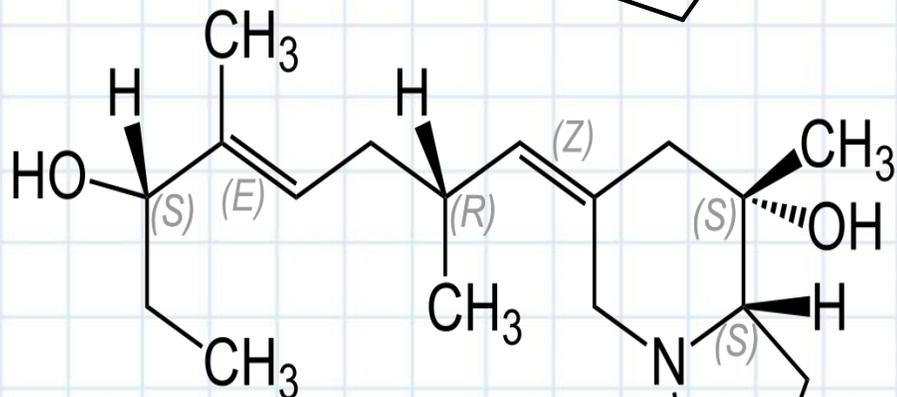
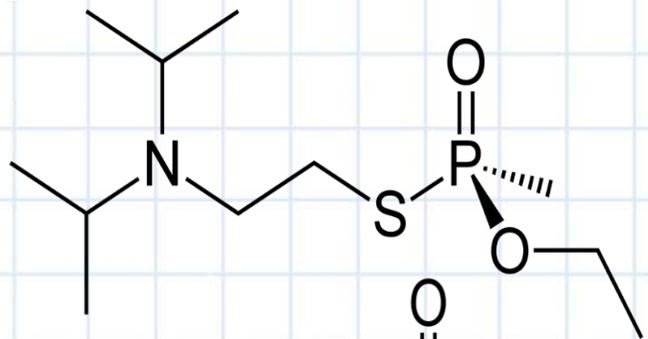
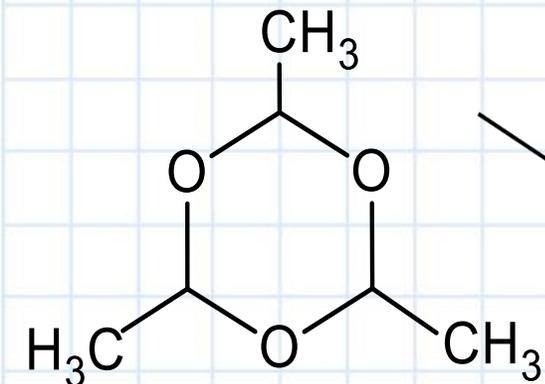
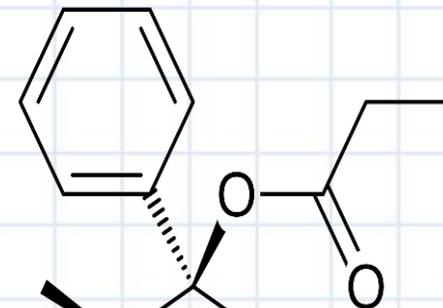
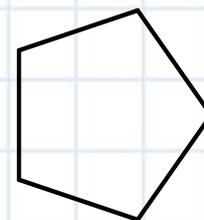
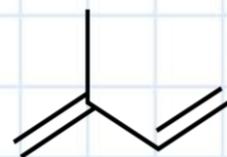
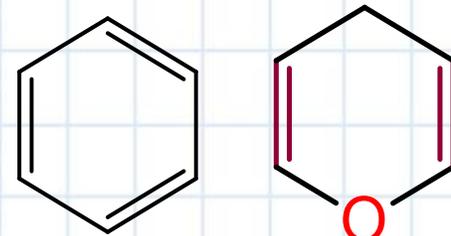
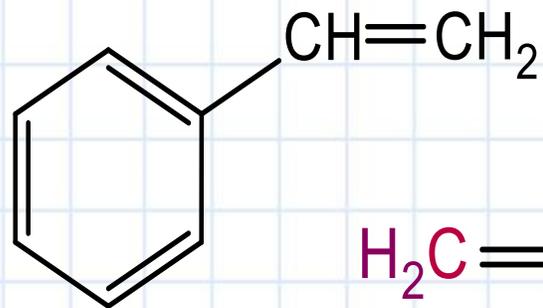
пиридин  $C_5H_5N$

ангидридъ  $C_nH_{2n-2}O_3$

углеводь  $C_n(H_2O)_m$



# ФОРМУЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ





# НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

## ПРЕФИКСЫ

## РОДОНАЧАЛЬНАЯ СТРУКТУРА

### КОРЕНЬ

### СУФФИКС

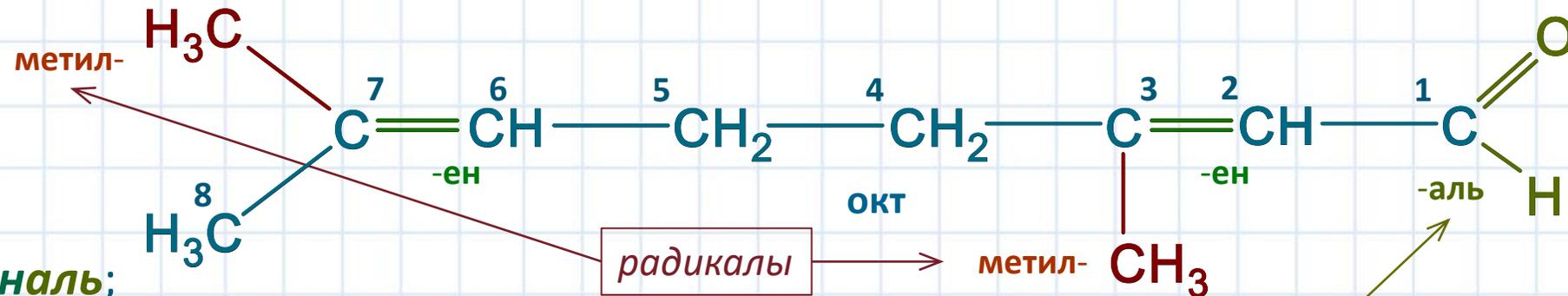
## СУФФИКС

все заместители в алфавитном порядке с локантами и числительными

главная цепь, циклическая или гетероциклическая структура

степень насыщенности с числительными и локантами: *-ан, -ен, -ин*

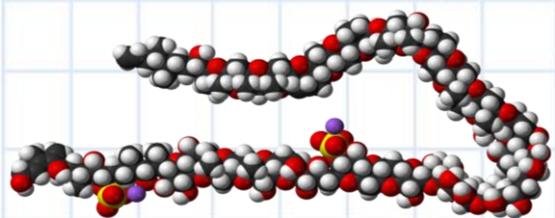
старшая функциональная группа с числительными и локантами



**3,7-диметилокта-2,6-диеналь;**

цитраль — ароматизатор, запах лимона; антисептик

функциональная группа



# НОМЕНКЛАТУРНЫЙ АЛГОРИТМ

1. **Определить родоначальную структуру — главную цепь соединения:**

- наличие старшей характеристической группы;
- наличие циклической структуры;
- наибольшее число кратных связей;
- наибольшее число атомов углерода и ответвлений.

2. **Определить характеристические группы.**

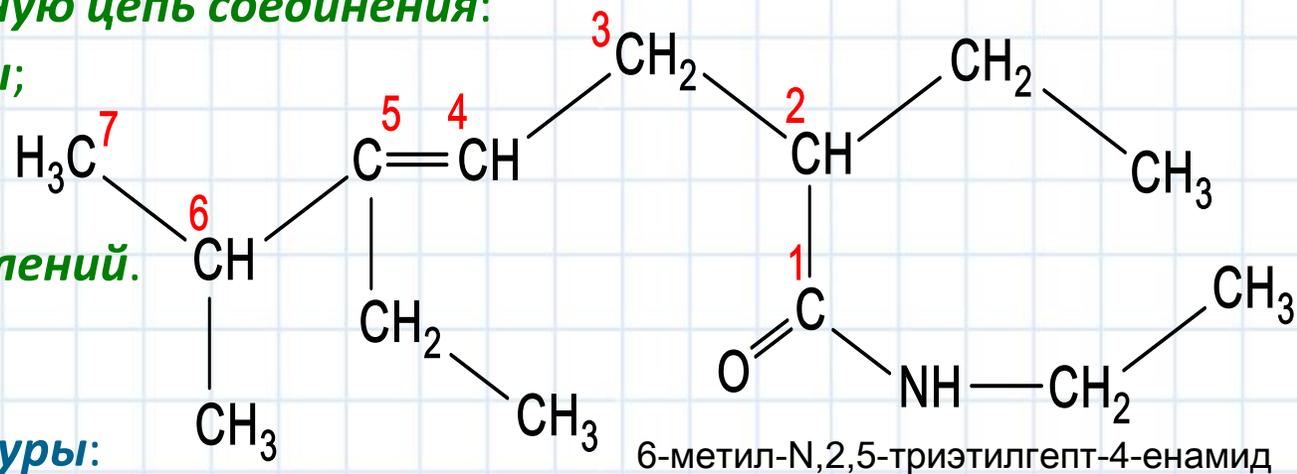
3. **Определить нумерацию родоначальной структуры:**

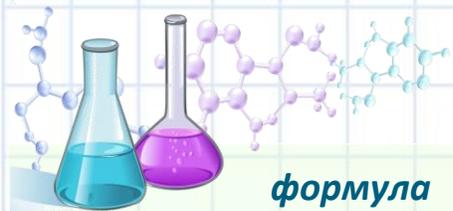
- углеродный атом старшей характеристической группы — первый номер;
- углеродный атом кратной связи — наименьший номер;
- заместители имеют минимальные номера.

4. **Определить степень насыщенности главной цепи и суффикс — ан, ен, ин; с соответствующей числительной приставкой: ди, три, тетра... и локантами перед ним.**

5. **Определить суффикс старшей характеристической группы при необходимости с соответствующей числительной приставкой: ди, три, тетра...**

6. **Определить префиксы заместителей в алфавитном порядке с соответствующими числительными приставками: ди, три, тетра... и локантами перед ними.**

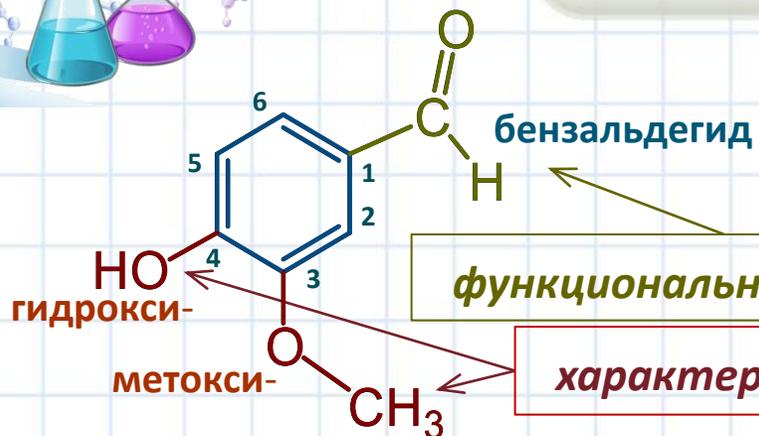
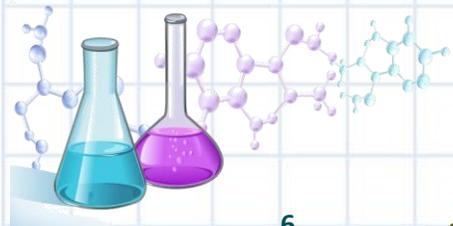




# НАЗВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

формула	IUPAC	рациональное	тривиальное
$(\text{H}_2\text{CCHCl})_n$	полихлорэтен	поливинилхлорид	ПВХ
$(\text{C}_2\text{F}_4)_n$	политетрафторэтен	поливинилтетрафторид	тефлон
$\text{H}_2\text{CCHCHO}$	пропеналь	винилальдегид	акролеин
$(\text{H}_2\text{N})_2\text{CO}$	аминометанамид	аминокарбоксамид	мочевина
$(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$	1-хлор-2-(2'-хлорэтилтио)-этан	$\beta, \beta'$ -дихлордиэтилсульфид	иприт
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3$	фенилэтанон	фенилметилкетон	ацетофенон
$\text{H}_3\text{CCOOH}$	этановая кислота	метилкарбоновая кислота	уксус
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CONH}_2$	фенилэтаналь	бензилкарбальдегид	гиацинтин
$(\text{Cl}_3\text{C})_2\text{C}_6\text{H}_4$	1,4-бис-(трихлорметил)-бензол	гексахлор- <i>пара</i> -ксилол	хлоксил
$\text{H}_3\text{CCOCH}_3$	пропанон	диметилкетон	ацетон
$\text{H}_5\text{C}_2\text{COC}_2\text{H}_5$	этоксиэтан	диэтиловый эфир	эфир

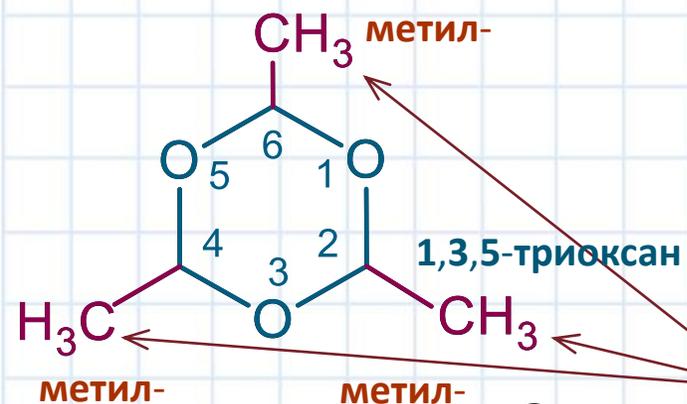
# НАЗВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



**4-гидрокси-3-метоксибензальдегид;**

**ванилин**, применяется как ароматизатор в пищевой, парфюмерной и фармацевтической промышленности

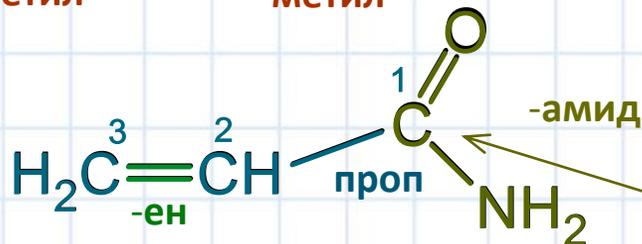
*характеристические группы, радикалы*



**2,4,6-триметил-1,3,5-триоксан;**

**паральдегид**, бесцветная прозрачная жидкость со своеобразным запахом, растворимая в воде; используется для лечения эпилептического статуса

*характеристические группы, радикалы*



**проп-2-енамид; акриламид** — образуется при жарке,

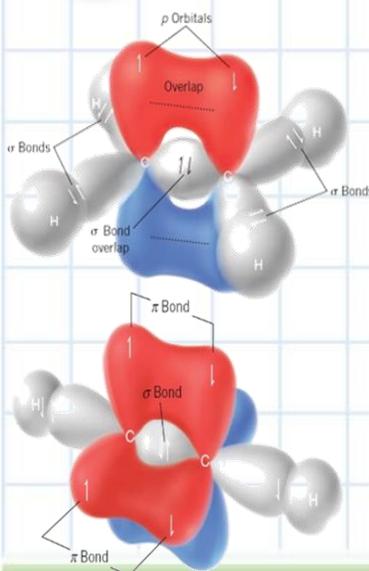
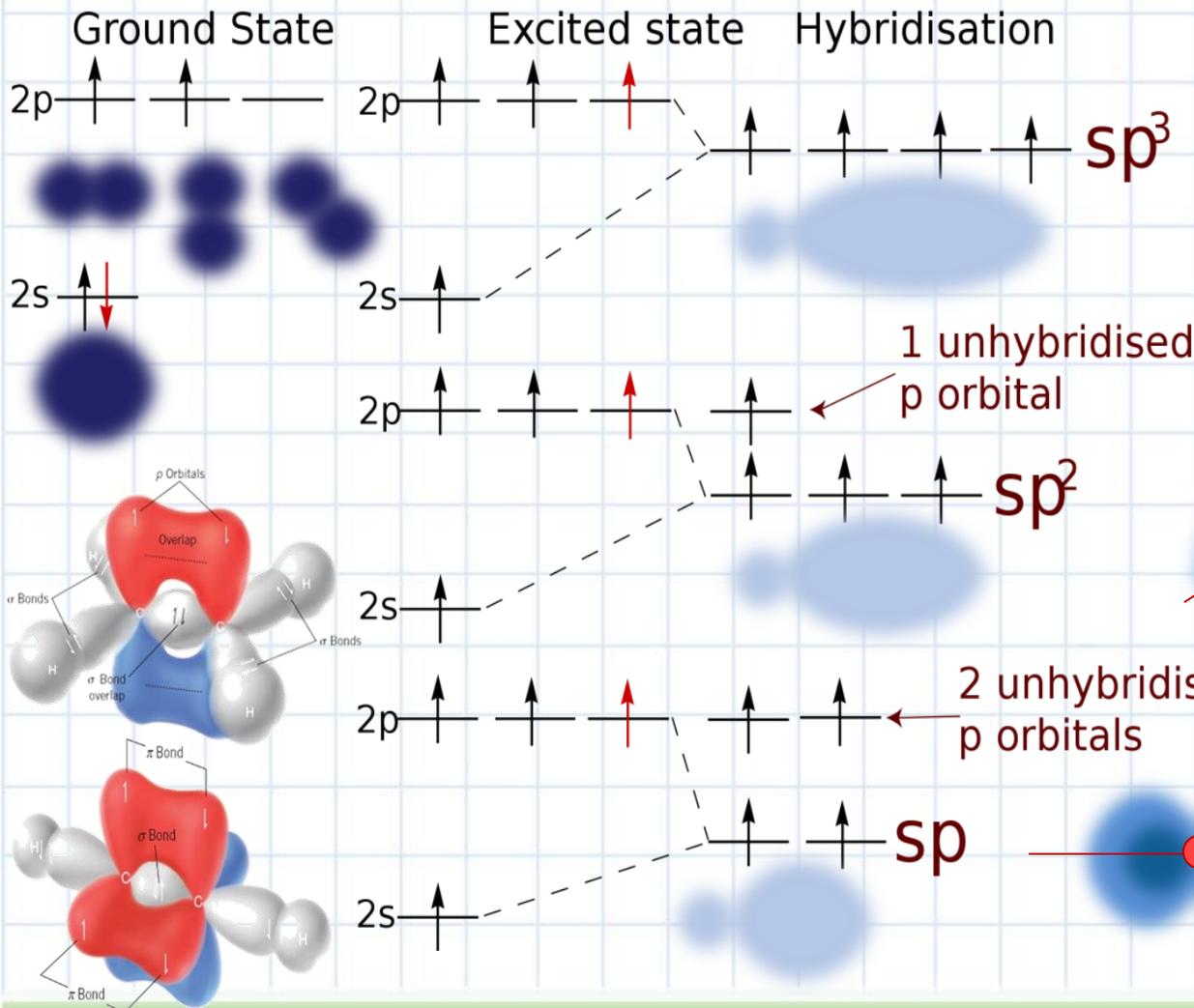
запекании, на гриле или во фритюре при температуре выше 120° C

*функциональная группа*

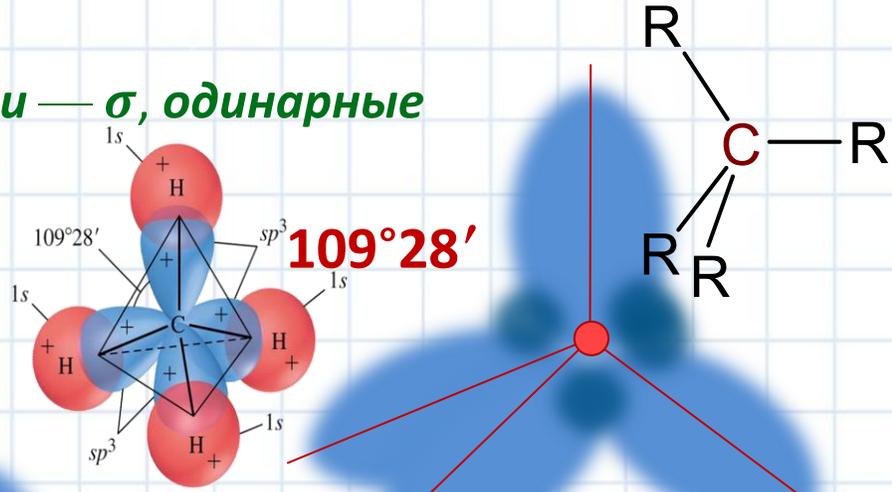
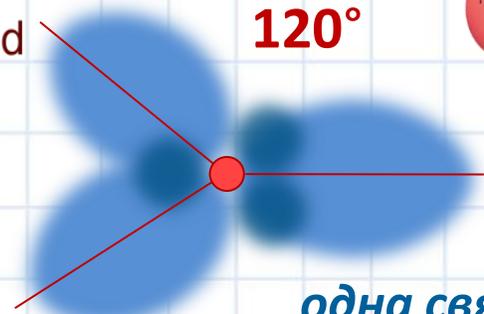


# ГИБРИДНЫЕ СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОДА

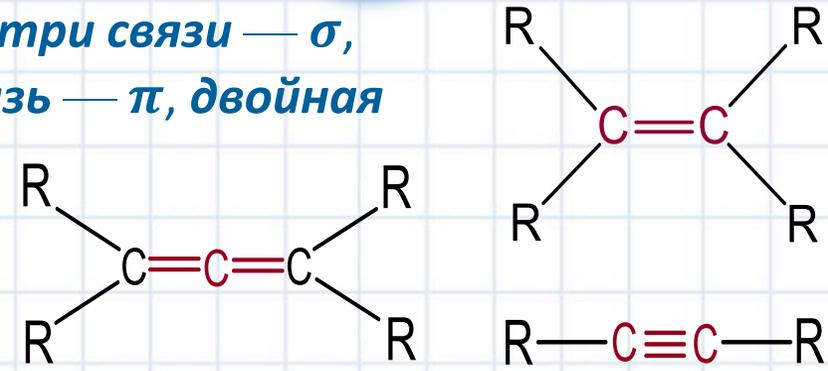
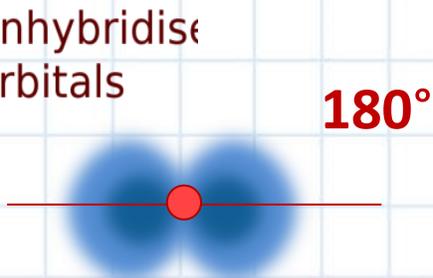
у атомных орбиталей углерода возможны три гибридных состояния  $sp^3$ ,  $sp^2$  и  $sp$ :



все связи —  $\sigma$ , одинарные



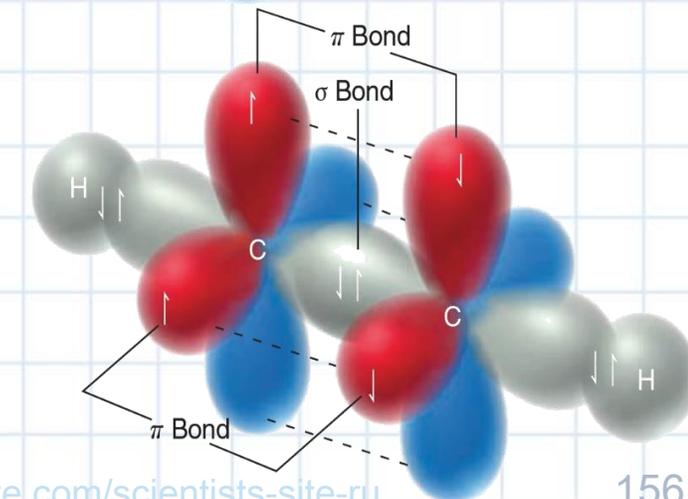
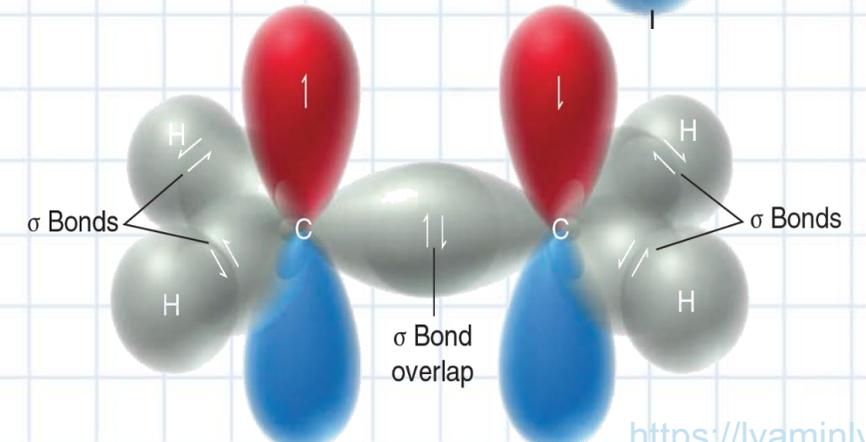
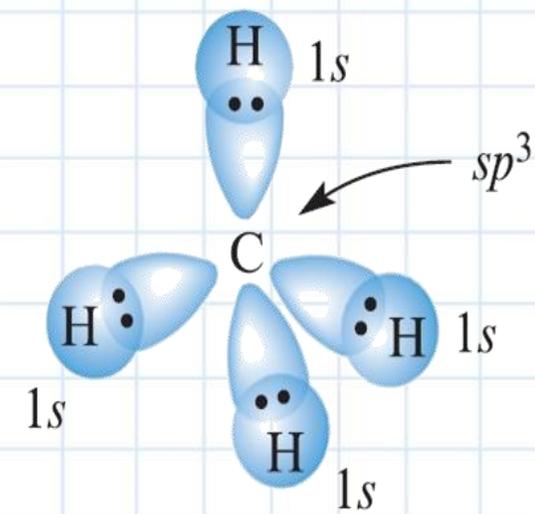
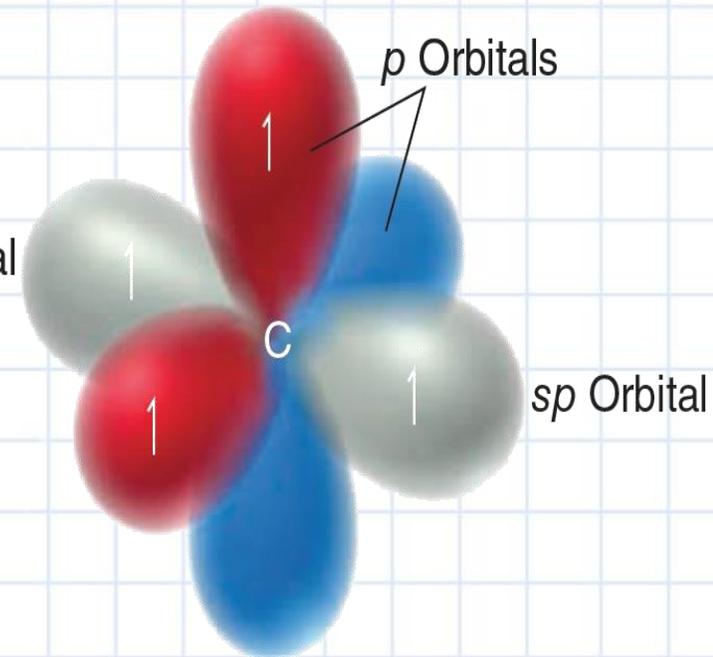
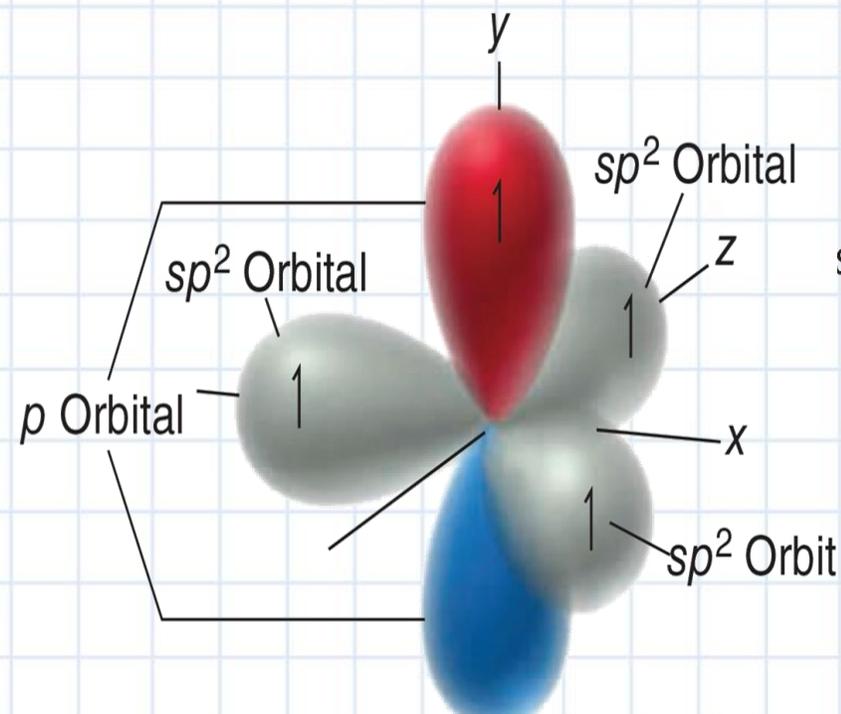
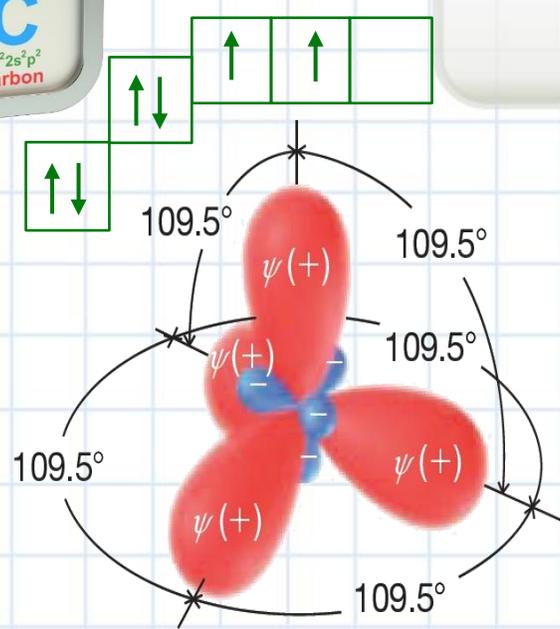
три связи —  $\sigma$ , одна связь —  $\pi$ , двойная

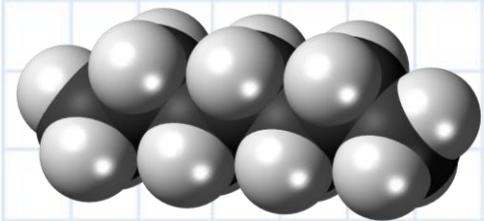


одна связь —  $\sigma$ , две связи —  $\pi$ , тройная или две двойных у одного углерода

6 12.011  
**C**  
 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>2</sup>  
 Carbon

# ГИБРИДНЫЕ СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОДА



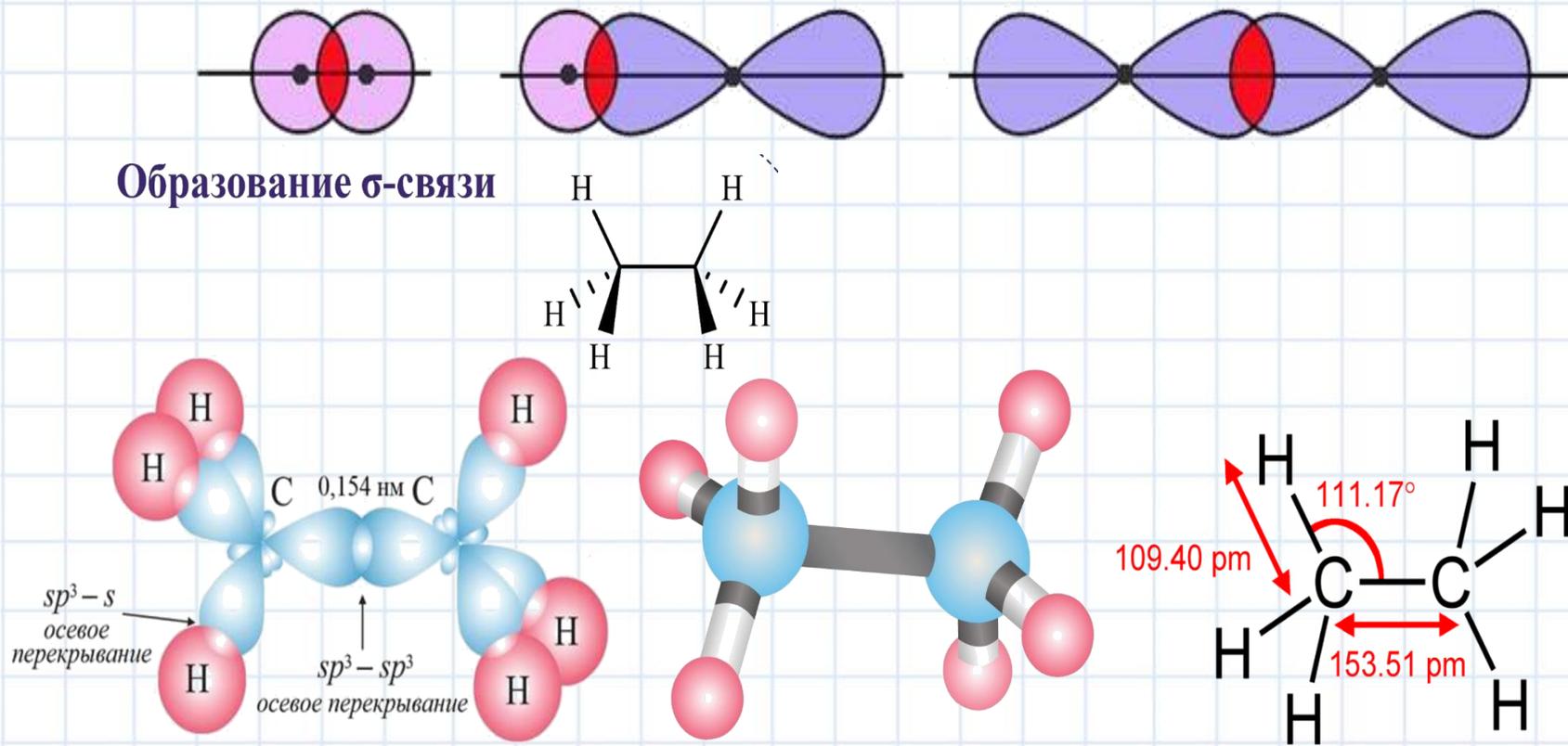


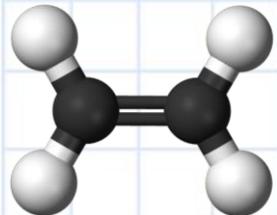
# УГЛЕРОДНЫЕ $\sigma$ -СВЯЗИ

$\sigma$ -связь — одинарная ковалентная связь, образованная при максимальном перекрывании атомных орбиталей по оси, соединяющей два ядра:

Длина связи		$\sigma$ СВЯЗЬ	
$l$	H-H	S-S	
$l$	1,54Å C-C	SP <sup>3</sup> -SP <sup>3</sup>	
$l$	1,09Å C-H	SP <sup>3</sup> -S	
$l$	1,34Å C=C	SP <sup>2</sup> -SP <sup>2</sup>	
	C-H	SP <sup>2</sup> -S	
$l$	1,2Å C≡C	SP-SP	
	C-H	SP-S	
	C-C	P <sub>x</sub> -P <sub>x</sub>	

## Образование $\sigma$ -связи



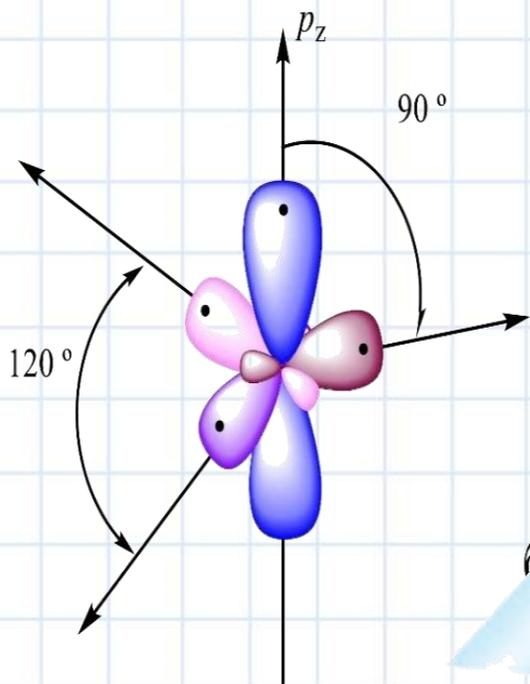


# УГЛЕРОДНЫЕ $\pi$ -СВЯЗИ

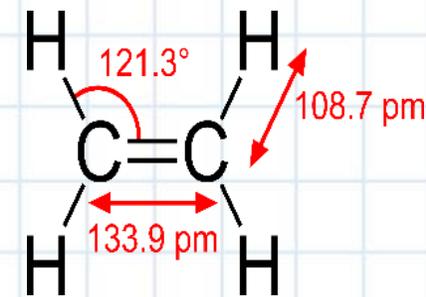
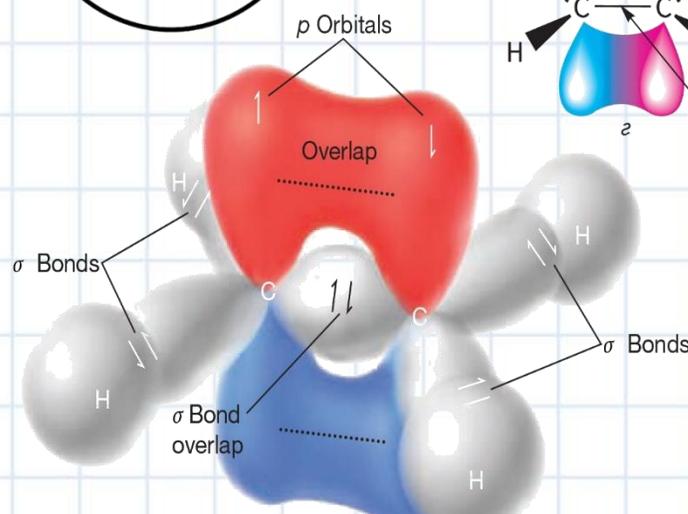
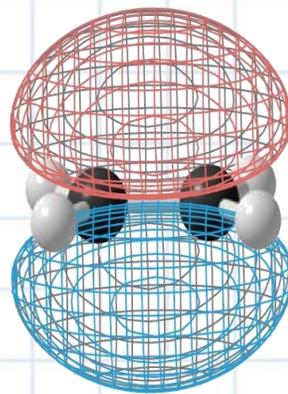
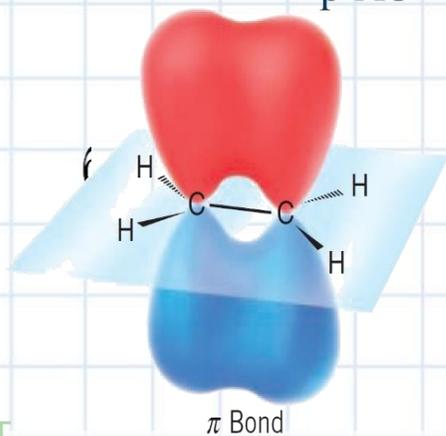
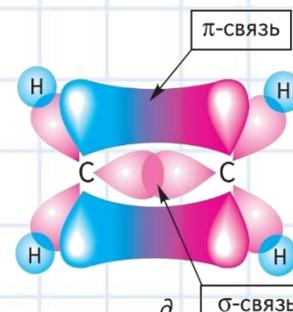
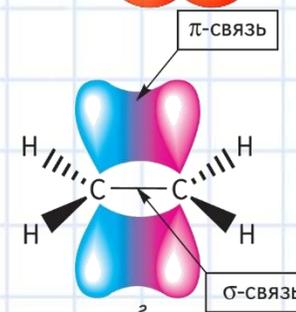
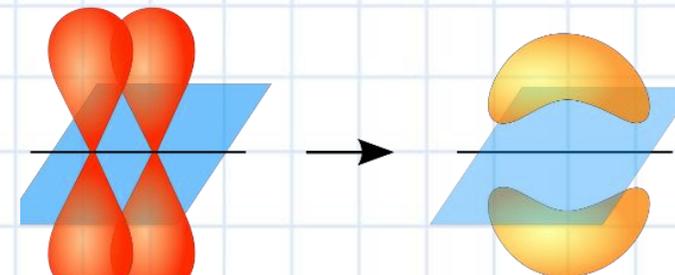
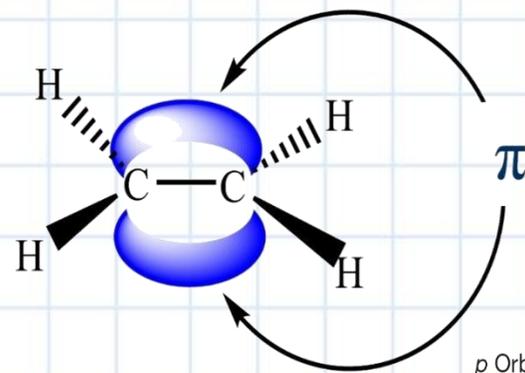
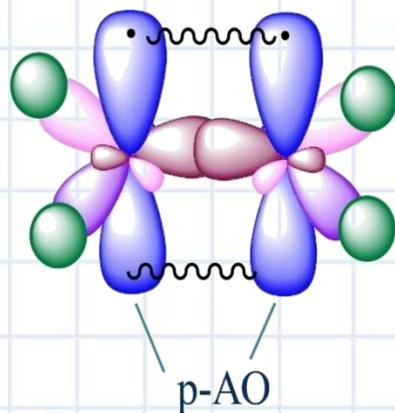
$\pi$ -СВЯЗЬ — связь, образованная при боковом перекрывании  $p$ -атомных орбиталей с максимальным перекрыванием над и под плоскостью  $\sigma$ -связей:

## Образование $\pi$ -связи

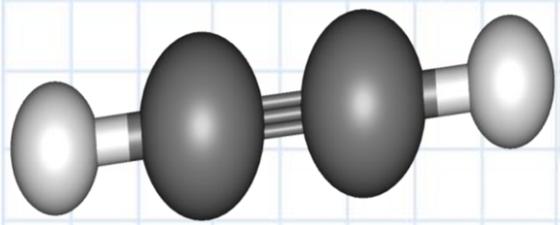
### $sp^2$ -Гибридизация



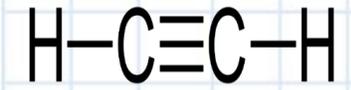
боковое перекрывание



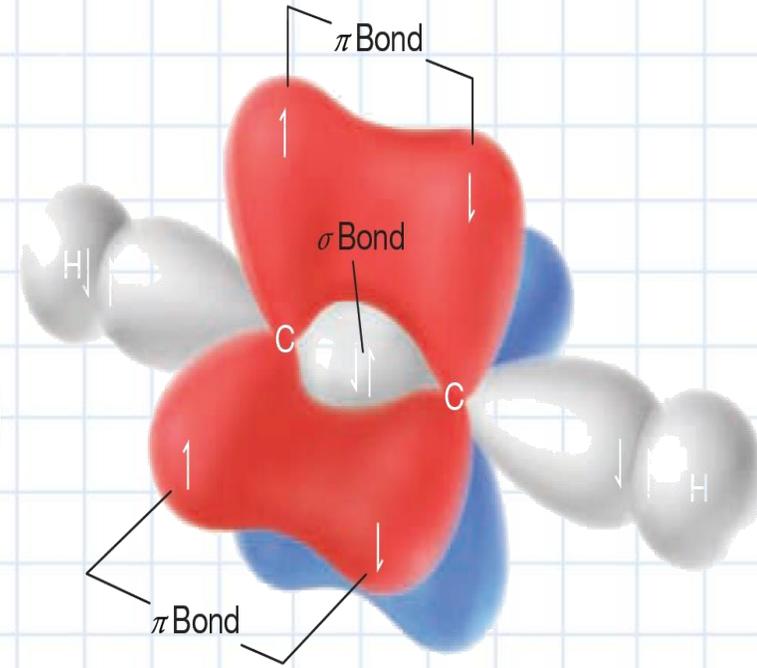
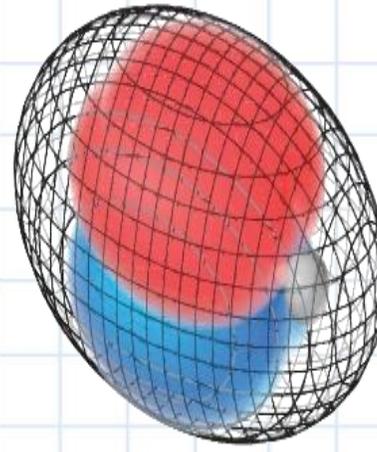
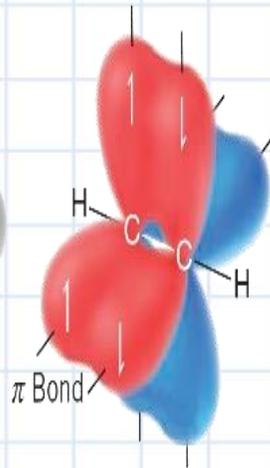
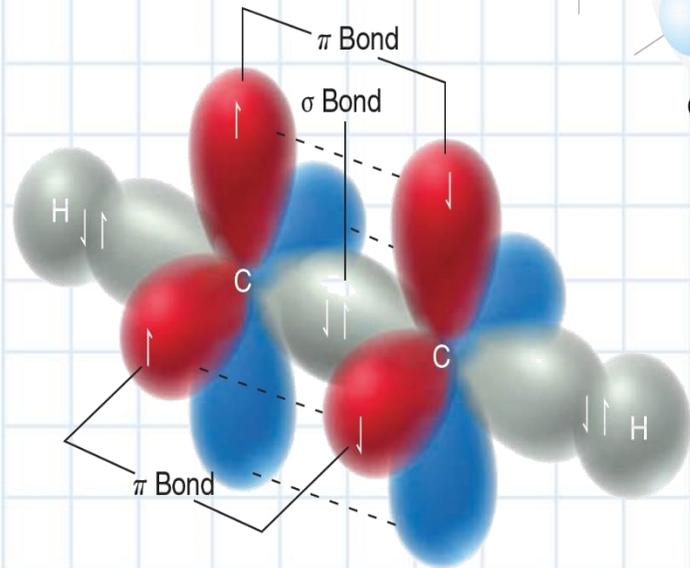
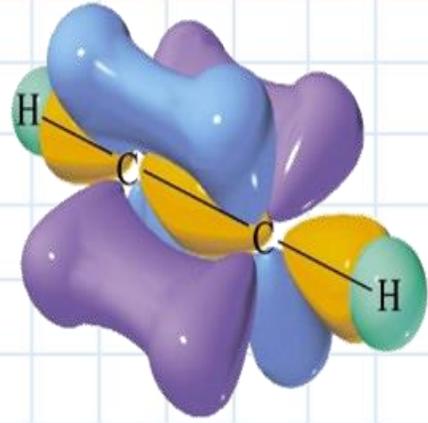
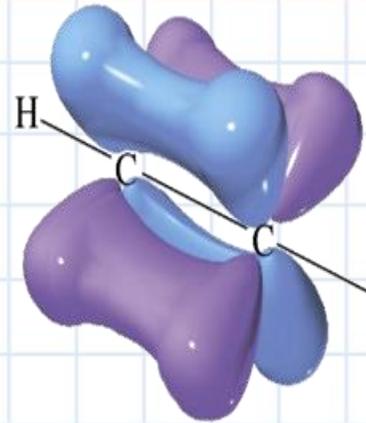
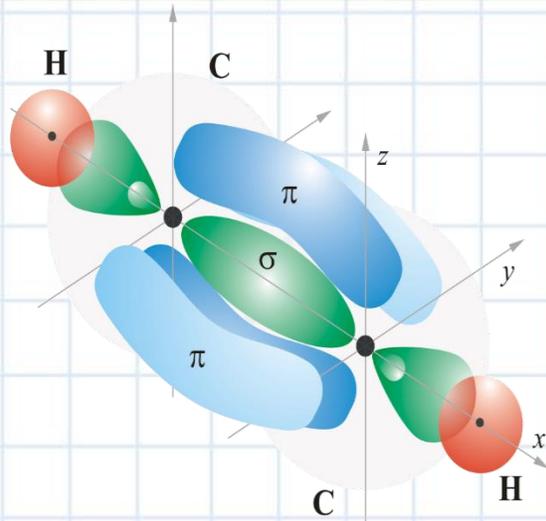
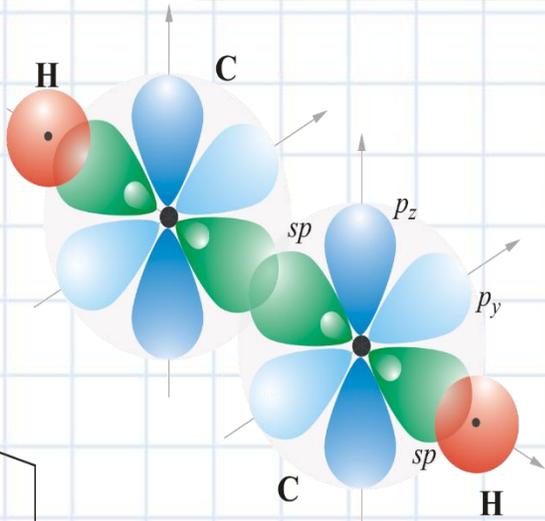
# ОБРАЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЫ ЭТИНА

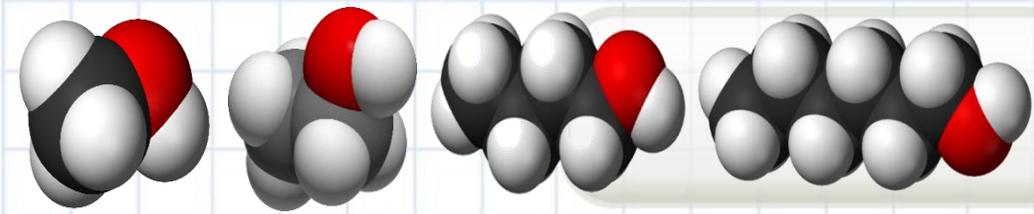


106.0 pm



120.3 pm



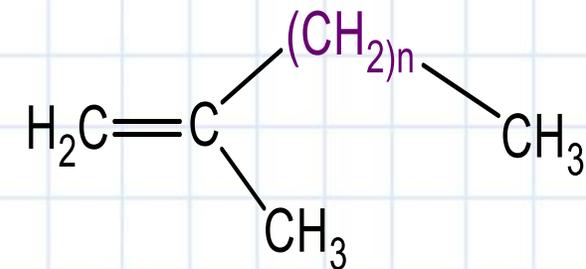
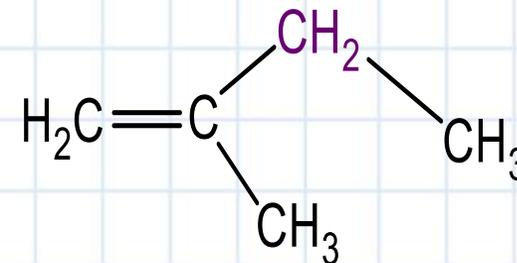
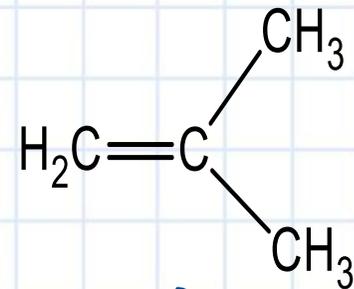


от греческого ὁμολογία – соответствие

**гомóлоги**, от древнегреческого ὅμοιος – подобный и λόγος – слово, закон — **вещества, имеющие различный количественный состав, но сходное строение;**

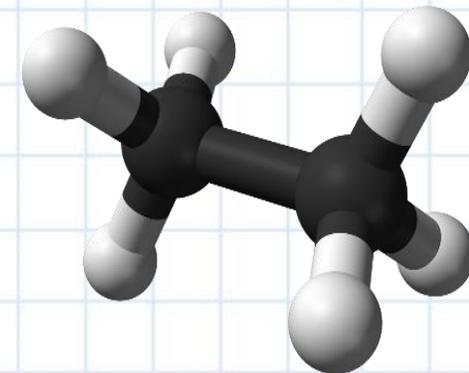
**гомологический ряд** — химические соединения одного структурного типа, отличающихся друг от друга по составу на целое число повторяющихся структурных единиц ( $-\text{CH}_2$ )<sub>n</sub> в углеродной цепи — **гомологическую разность:**

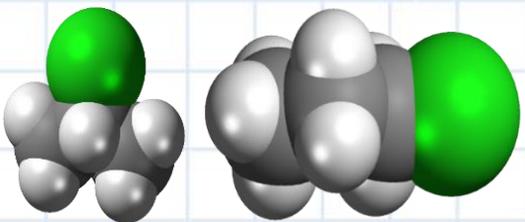
✓ **гомологи принадлежат одному классу соединений, но определённый класс содержит разные гомологические ряды;**



**неразветвлённые алканы с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ :**

<u>Метан</u>	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$
<u>Этан</u>	$\text{CH}_3\text{---CH}_3$	$\text{C}_2\text{H}_6$
<u>Октан</u>	$\text{CH}_3\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_3$	$\text{C}_8\text{H}_{18}$

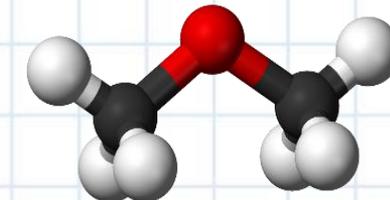
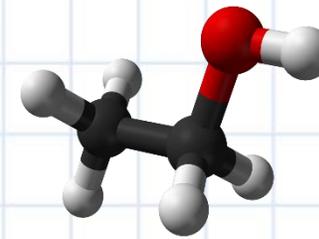
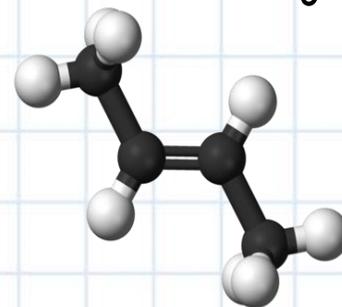
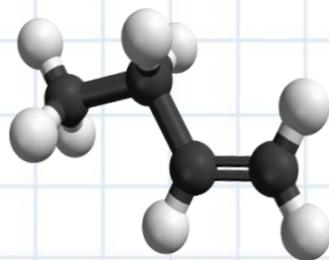
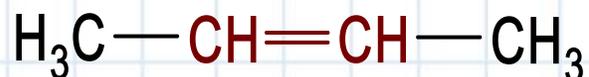
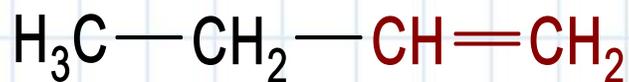
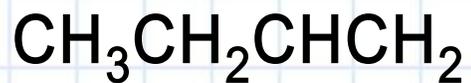
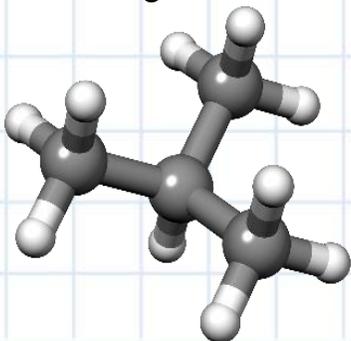
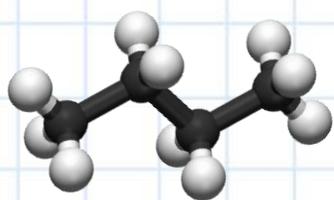


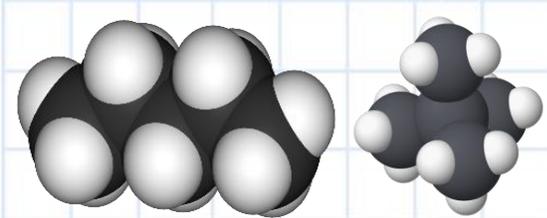


# СТРУКТУРНЫЕ ИЗОМЕРЫ

**изомеры**, от древнегреческого *ἴσος* – равный и *μέρος* – доля, часть — **вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различное строение;**

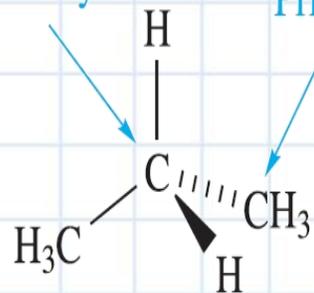
**структурные изомеры имеют одинаковую эмпирическую формулу, но разные линейные, графические и структурные формулы; структурные изомеры могут принадлежать одному или разным классам:**



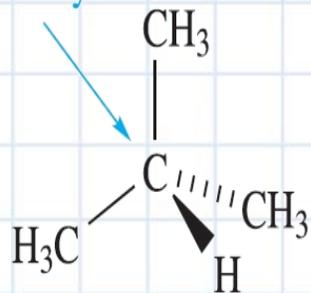


# СТРУКТУРНЫЕ ИЗОМЕРЫ РЯДА АЛКАНОВ

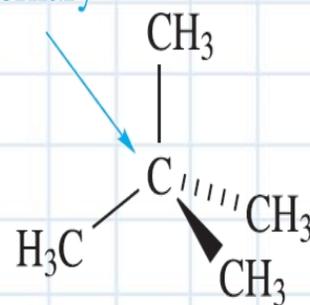
Secondary Primary



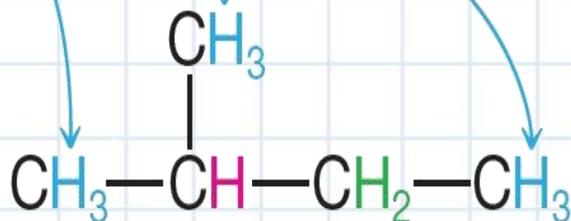
Tertiary



Quaternary



1° Hydrogen atoms



3° Hydrogen atom

2° Hydrogen atoms

MOLECULAR FORMULA

NUMBER OF CONSTITUTIONAL ISOMERS

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>

1

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

2

C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>

3

C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>

5

C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>

9

C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>

18

C<sub>9</sub>H<sub>20</sub>

35

C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>

75

C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>

4,347

C<sub>20</sub>H<sub>42</sub>

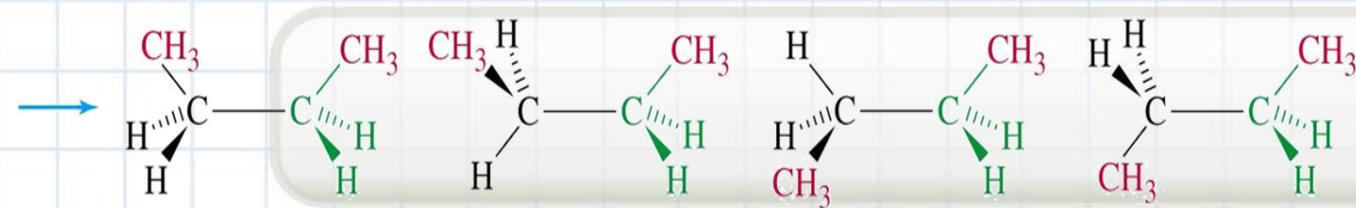
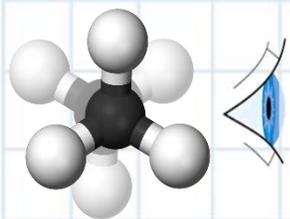
366,319

C<sub>30</sub>H<sub>62</sub>

4,111,846,763

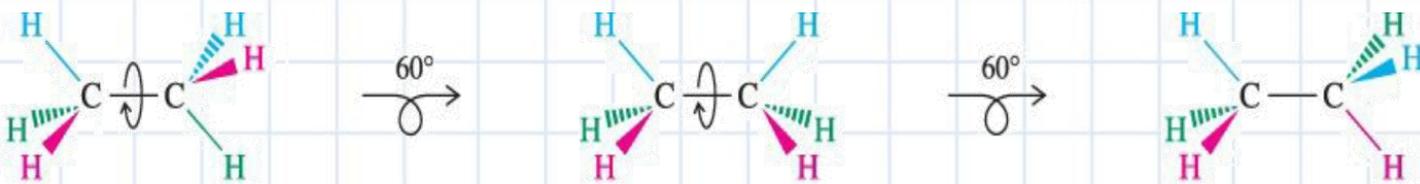
C<sub>40</sub>H<sub>82</sub>

62,481,801,147,341

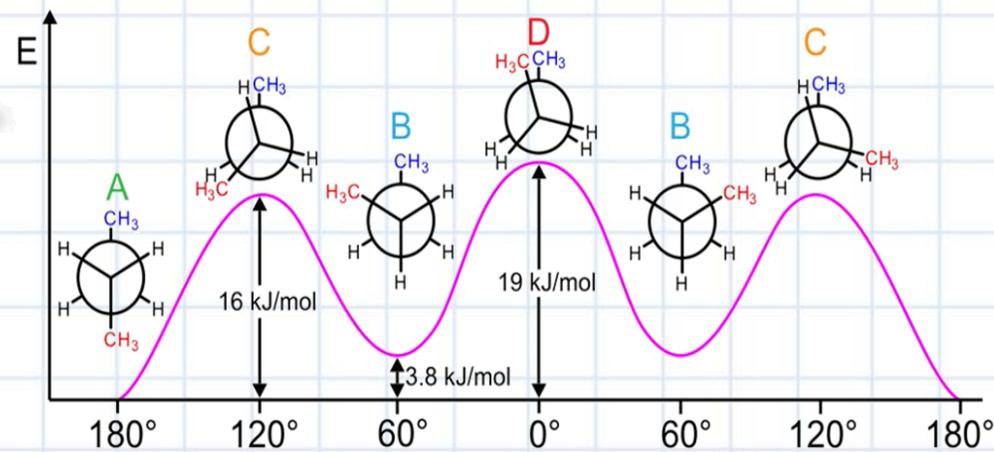
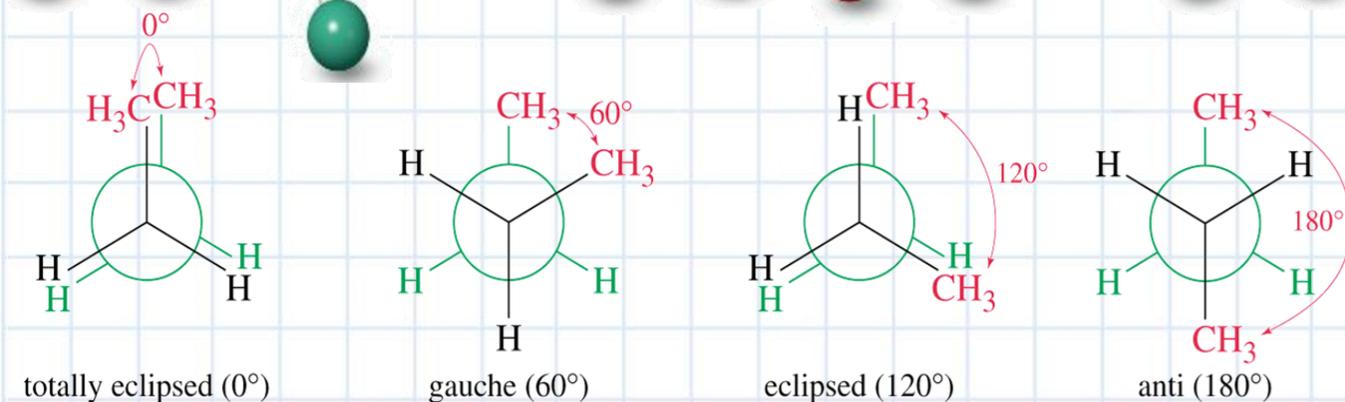
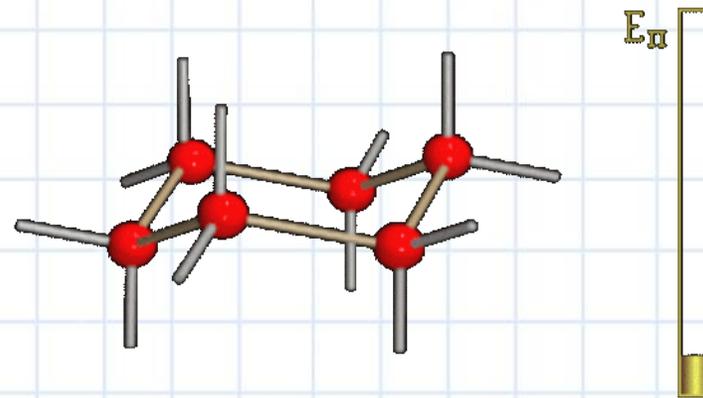
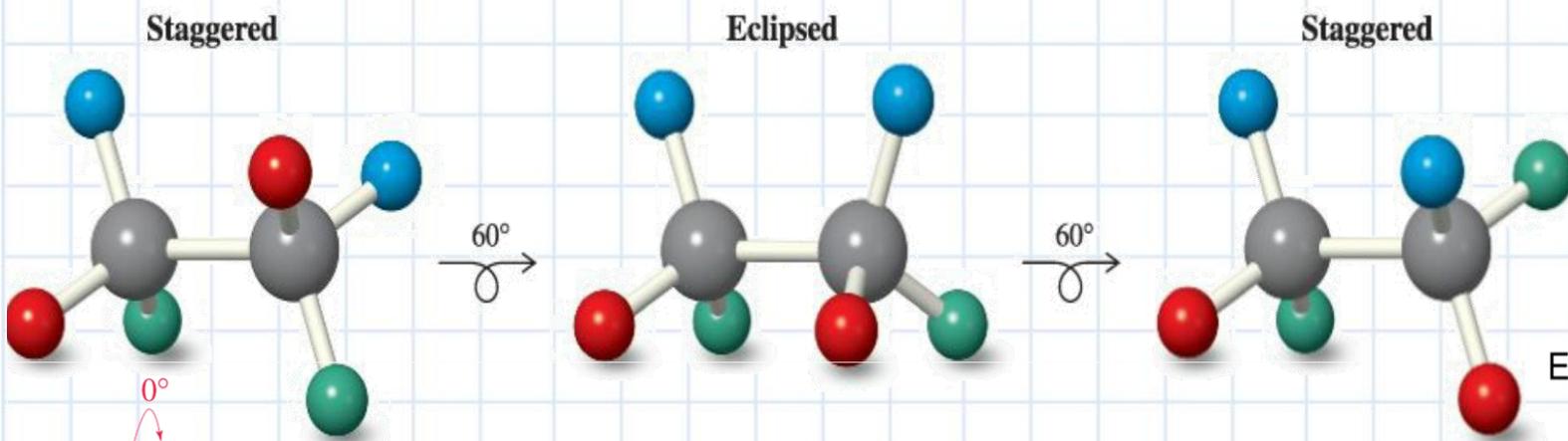


# КОНФОРМЕРЫ

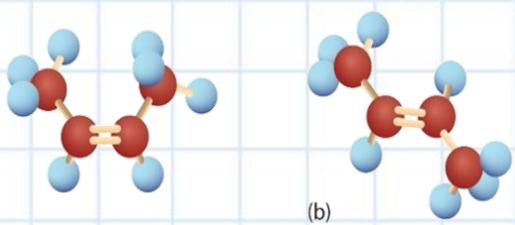
стереоизомеры, находящиеся в динамическом равновесии посредством вращения вокруг  $\sigma$ -связей:



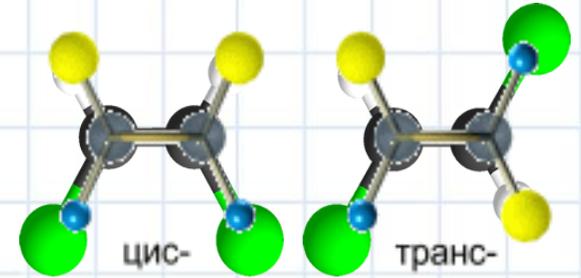
## Конформации циклогексана



# СТЕРЕОИЗОМЕРЫ



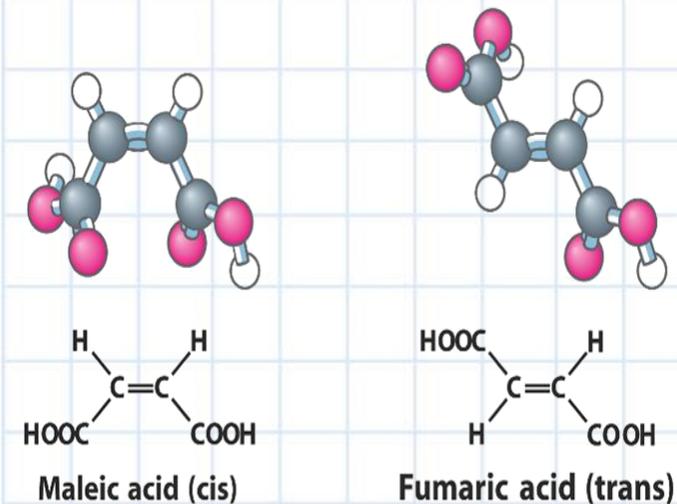
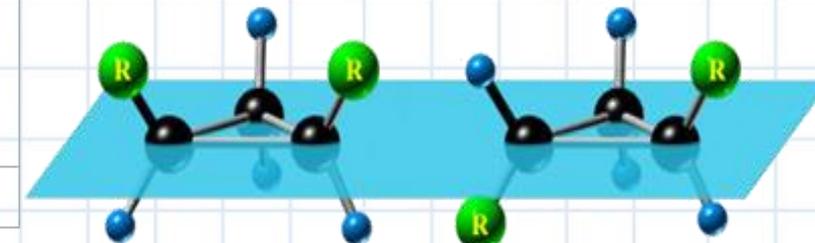
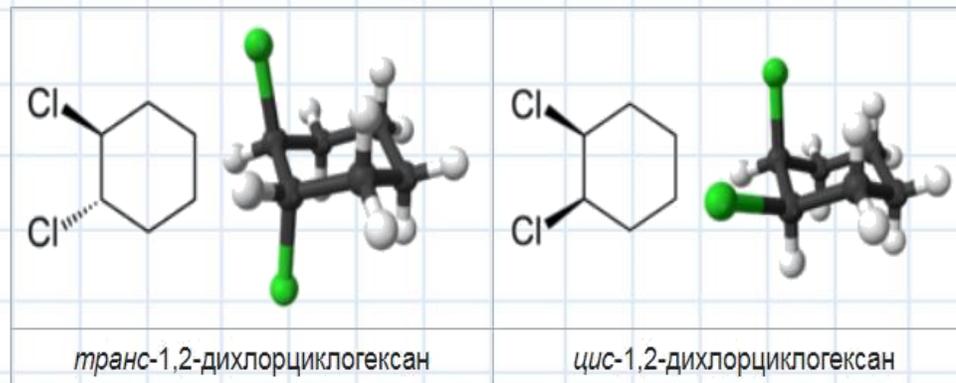
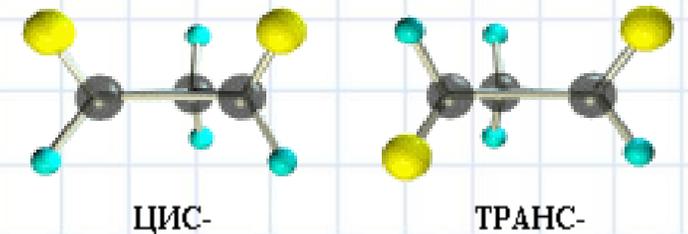
вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различное пространственное строение: геометрические (диастереомеры) и оптические (энантиомеры) изомеры; стереоизомеры имеют одинаковую эмпирическую и линейную, но разные графические и структурные формулы  $H_2C_2Cl_2$ :



Z-*zusammen*, вместе; ЦИС-изомер

E-*entgegen*, напротив; ТРАНС-изомер

производные циклоалканов:

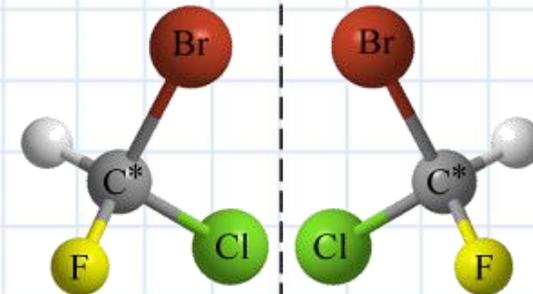
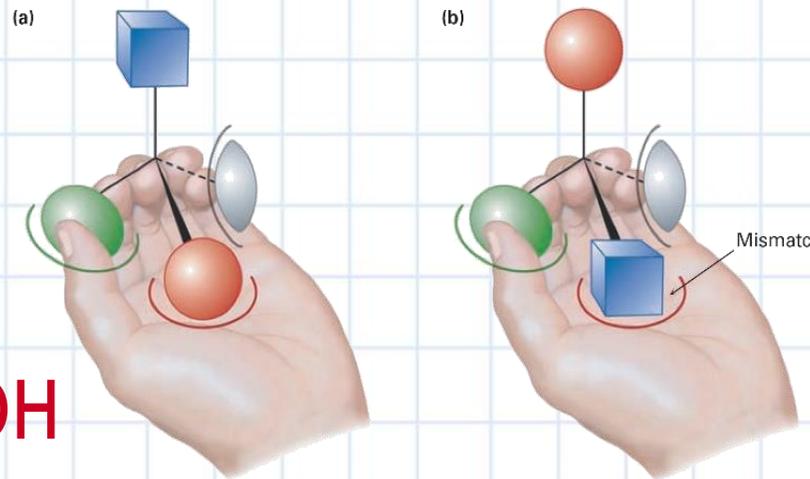
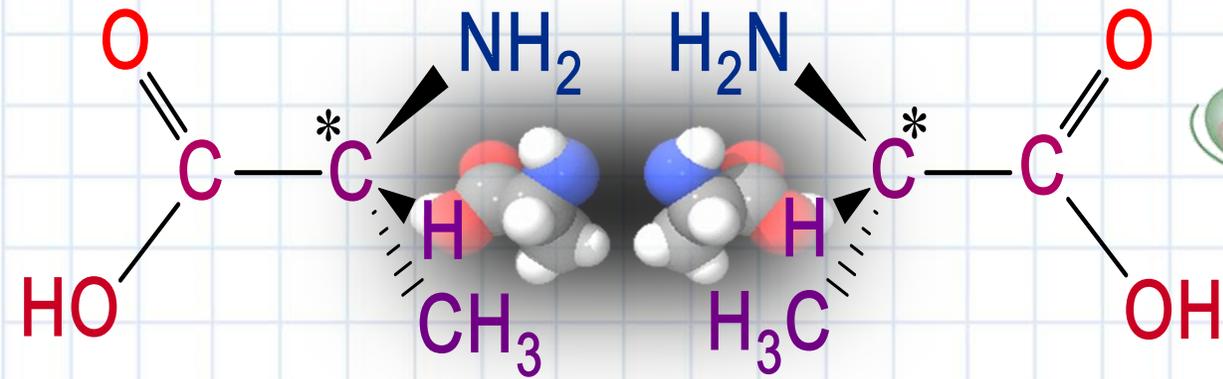


# СТЕРЕОИЗОМЕРЫ

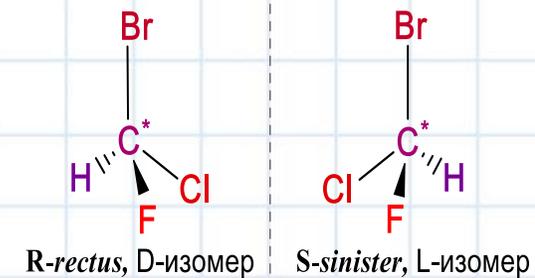
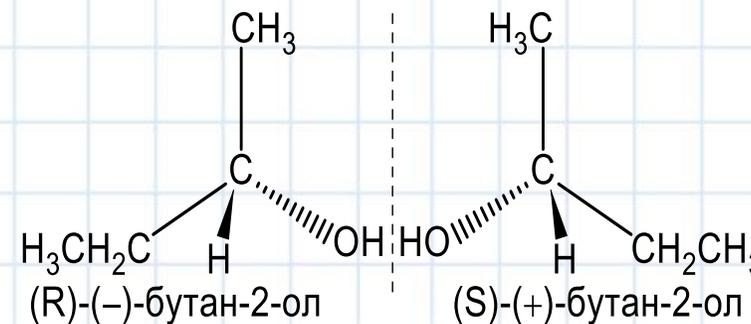
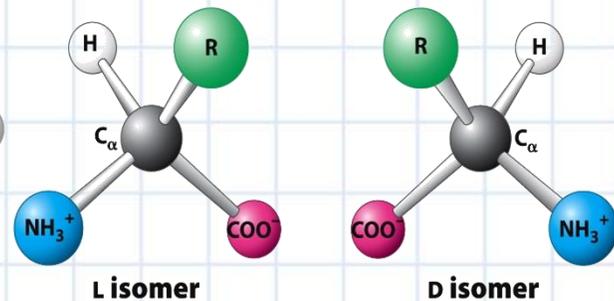
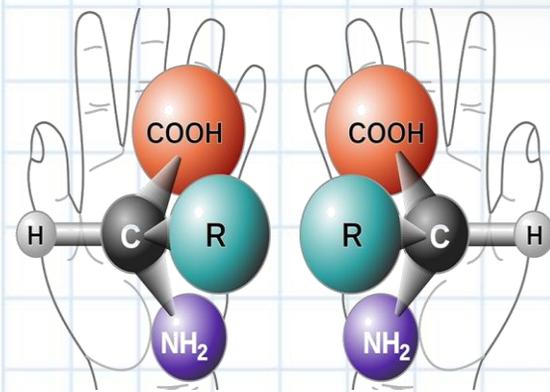


**оптические антиподы** — стереоизомеры, представляющие собой зеркальные отражения друг друга, не совмещаемые в пространстве;

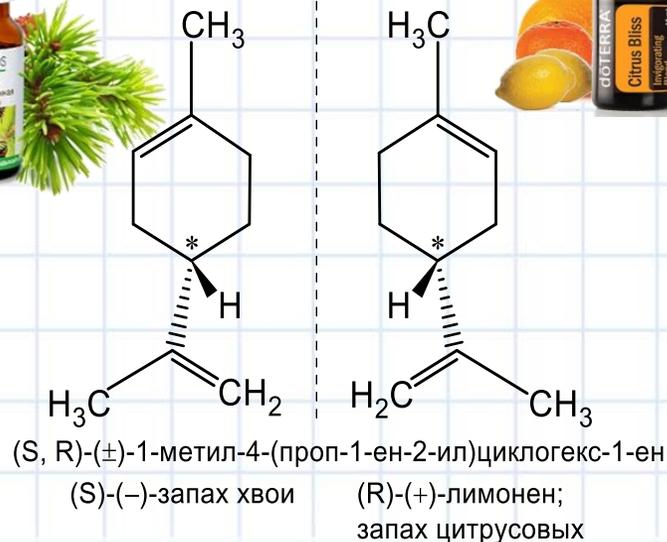
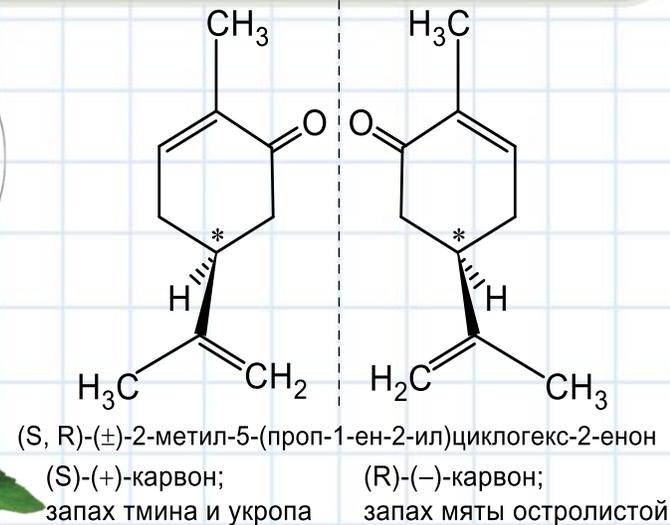
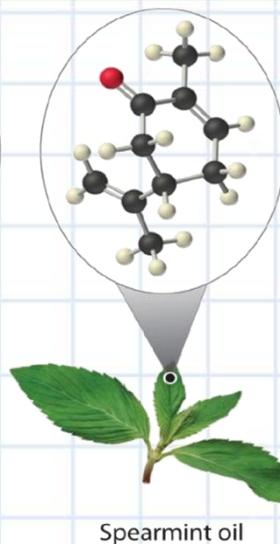
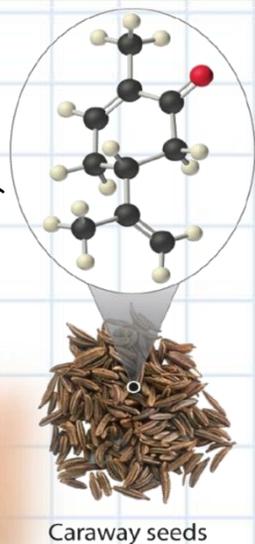
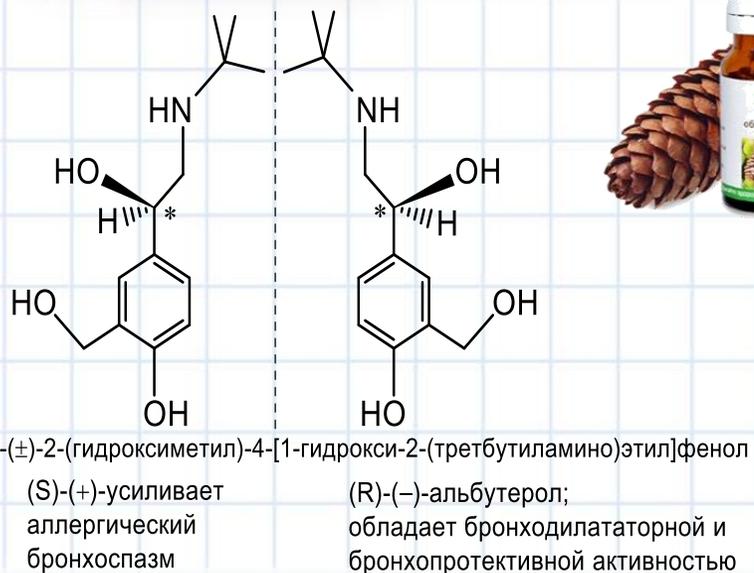
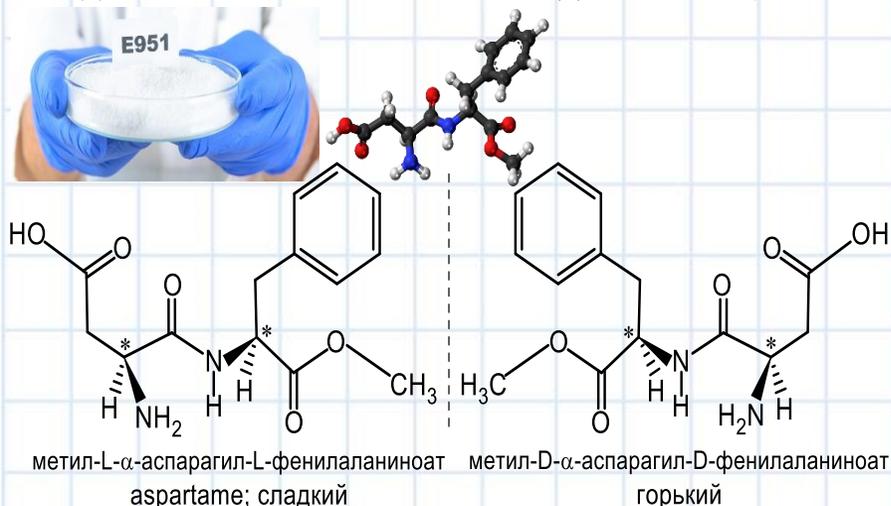
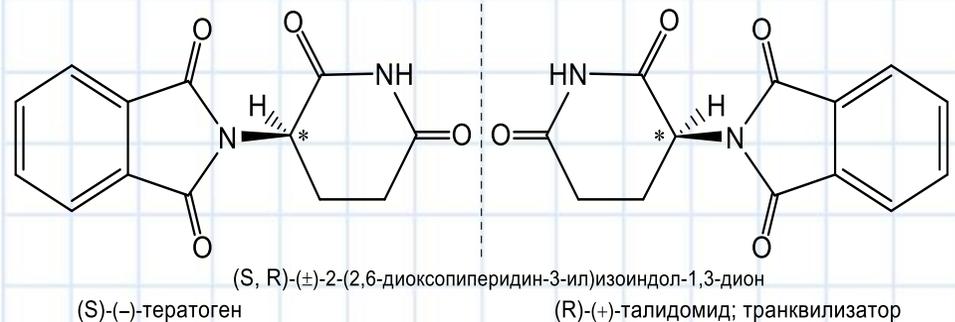
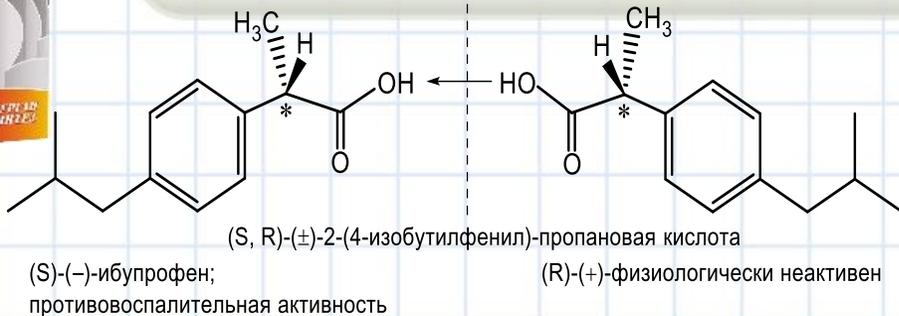
**энантиомеры**, от древнегреческого ἐνάντιος – противоположный и μέρος – часть, мера, — **зеркальные изомеры**:



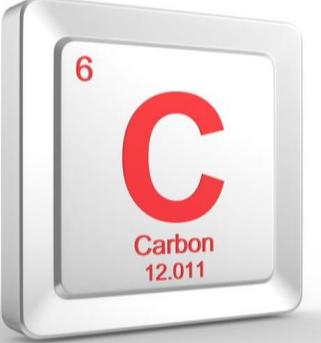
**энантиомеры имеют разные структурные формулы:**



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗОМЕРЫ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА







# ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ УГЛЕРОДА

Si	Sb	B	Te	As	H	P	Se	C	S	I	Br	Cl	N	O	F
		$\chi < 2,0$					$\chi < 2,5$							$\chi < 4,0$	

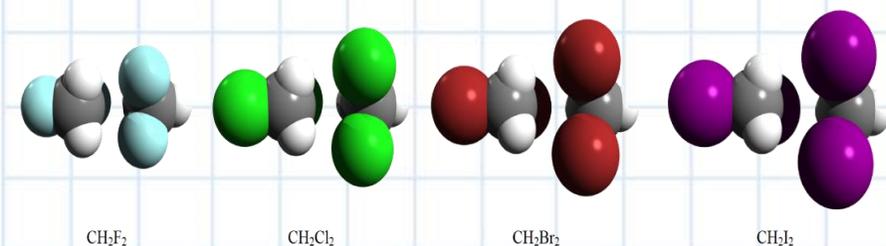
с увеличением степени окисления элемента значение его электроотрицательности увеличивается:



с увеличением заряда иона значение его электроотрицательности возрастает:



с изменением гибридного состояния меняется электроотрицательность элемента в соединении:



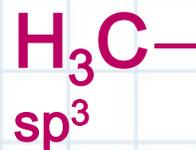
CH<sub>3</sub>F

CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

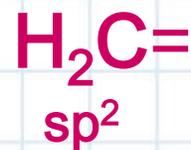
CH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>

CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>

$\chi$



2,5



2,8

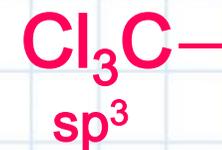


3,1



sp

3,2



sp<sup>3</sup>

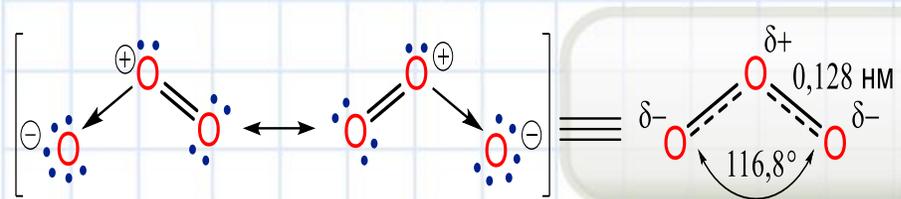
3,3



sp<sup>3</sup>

3,35

# СОПРЯЖЕНИЕ

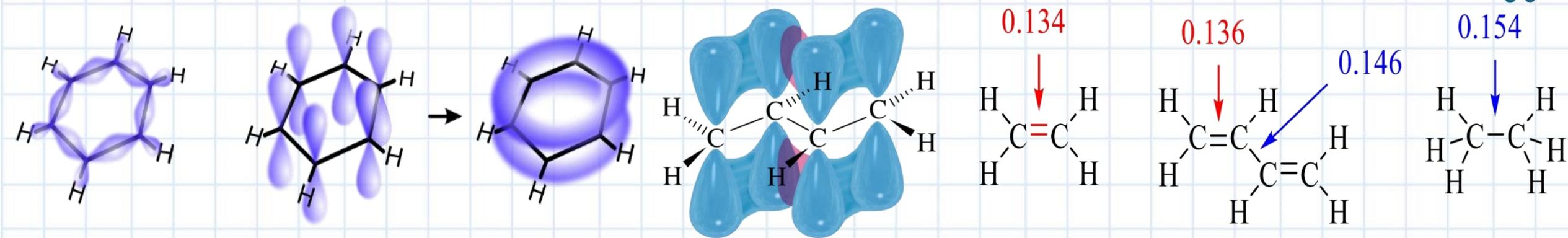
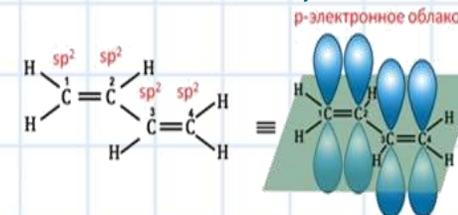


**сопряжение** — образование в молекуле единого делокализованного электронного облака в результате перекрывания  $p$ -орбиталей;

**сопряжённая система** — кратные  $\pi$ -связи, отделённые одной простой  $\sigma$ -связью от соседнего элемента, имеющего  $p$ -орбиталь;

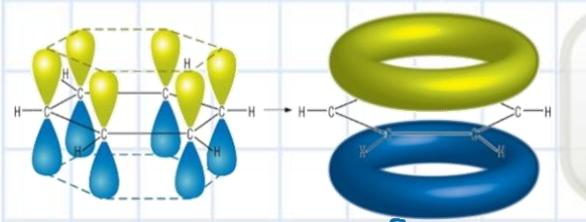
**делокализованная связь**, от латинского *de* – отрицание; *lokalis* – место — ковалентная связь, электроны которой поделены между тремя и более ядрами в молекуле, т.е. химическая связь, охватывающая более двух ядер элементов в частице;

при делокализации происходит выравнивание связей по энергии, длине и зарядам:



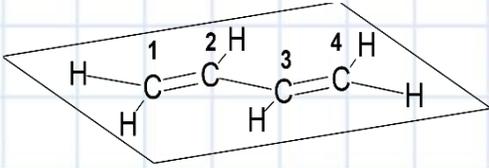
**сопряжённая система** — система делокализованных связей!

# π, π-СОПРЯЖЁННАЯ СИСТЕМА

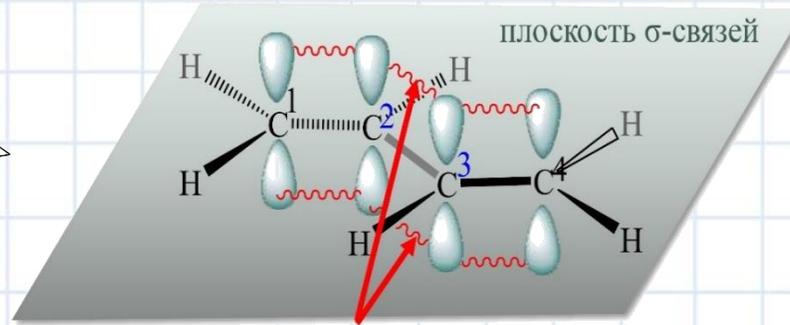


π,π-Сопряжение

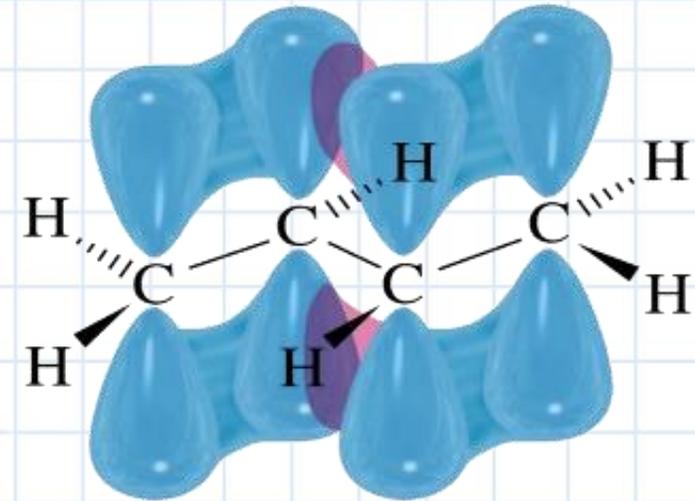
## Сопряжение в бутадиене-1,3



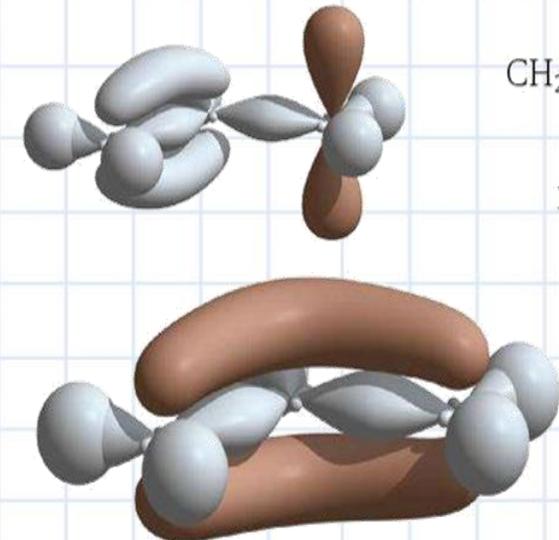
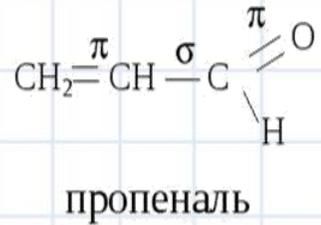
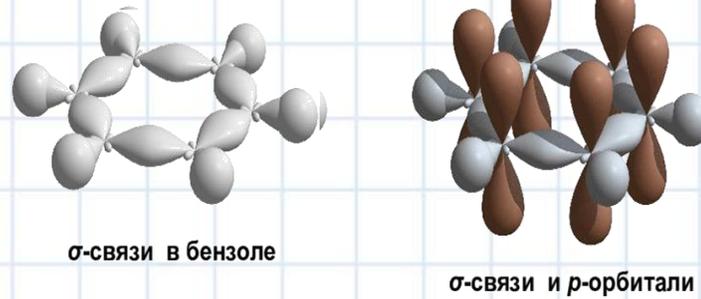
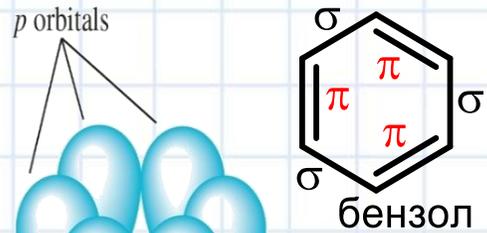
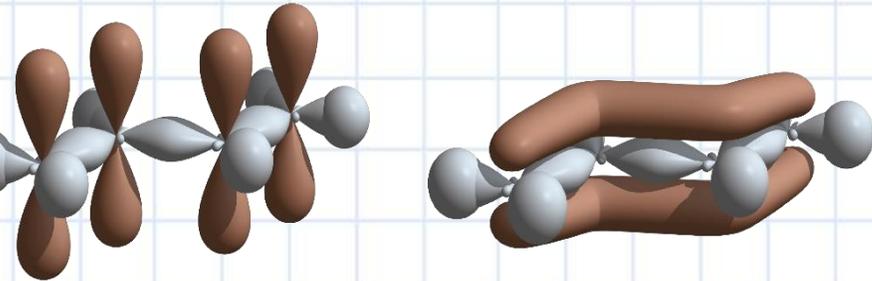
## Делокализация π-связей в бута-1,3-диене



π-перекрывание негибридных p-АО атомов C2 и C3



## π-π-сопряжение с гетероатомом

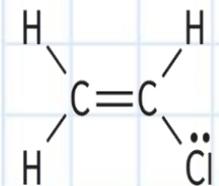
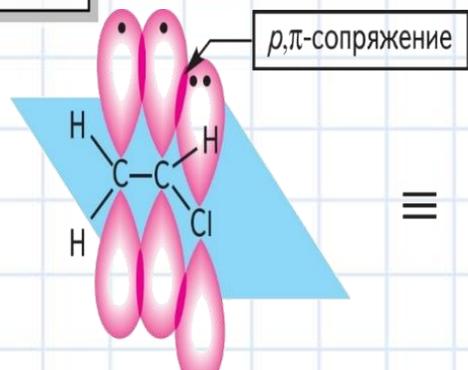
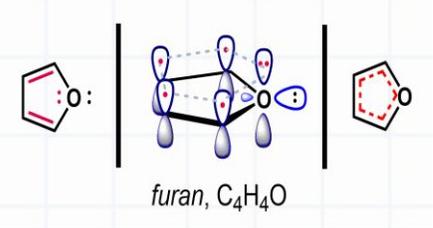


ароматическая электронная система (π,π-сопряжение)

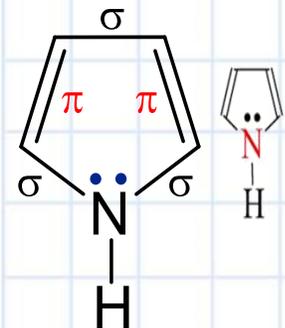
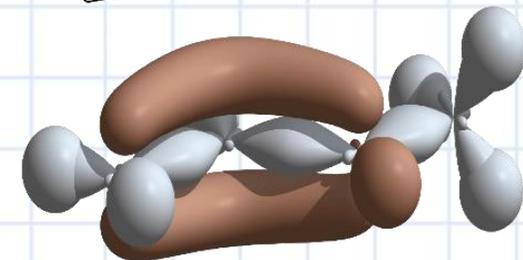
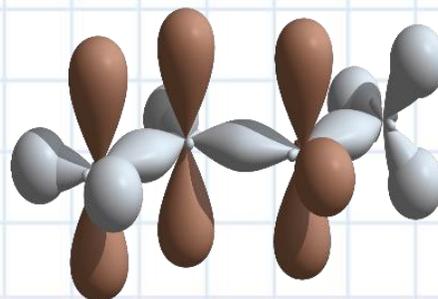
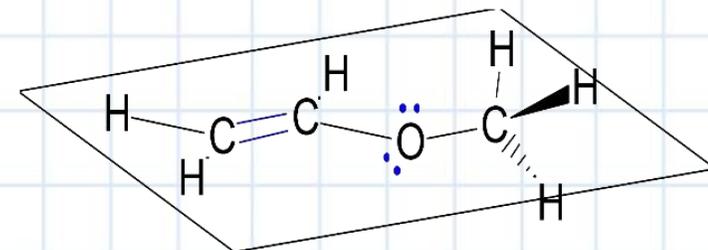
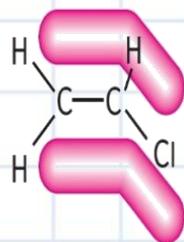
# $p, \pi$ -СОПРЯЖЁННАЯ СИСТЕМА

## $p, \pi$ -Сопряжение

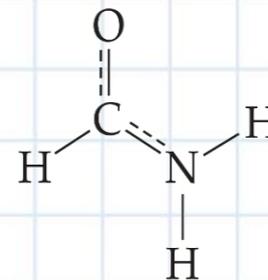
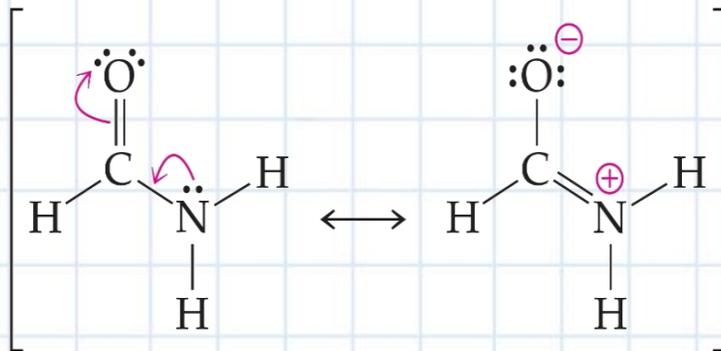
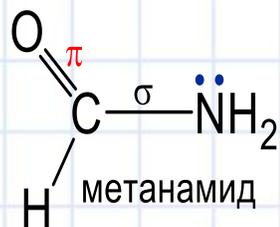
### Сопряжение в винилметиловом эфире



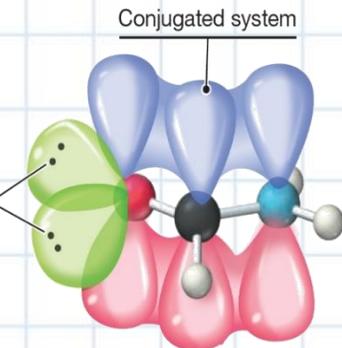
винилхлорид



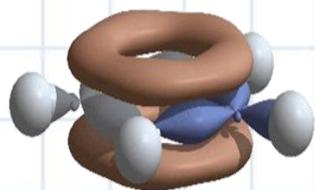
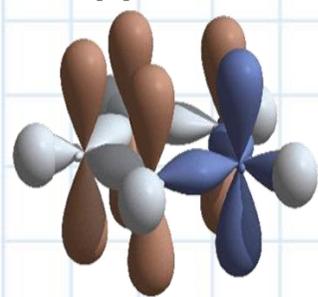
Пиррол



The lone pairs on oxygen are in  $sp^2$  hybrid orbitals and are not part of the conjugated system.



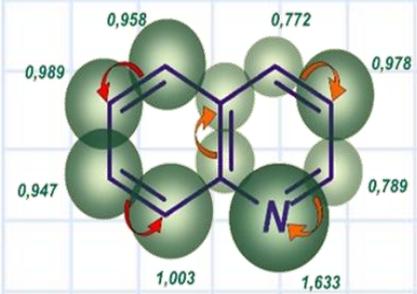
Conjugated system in formamide



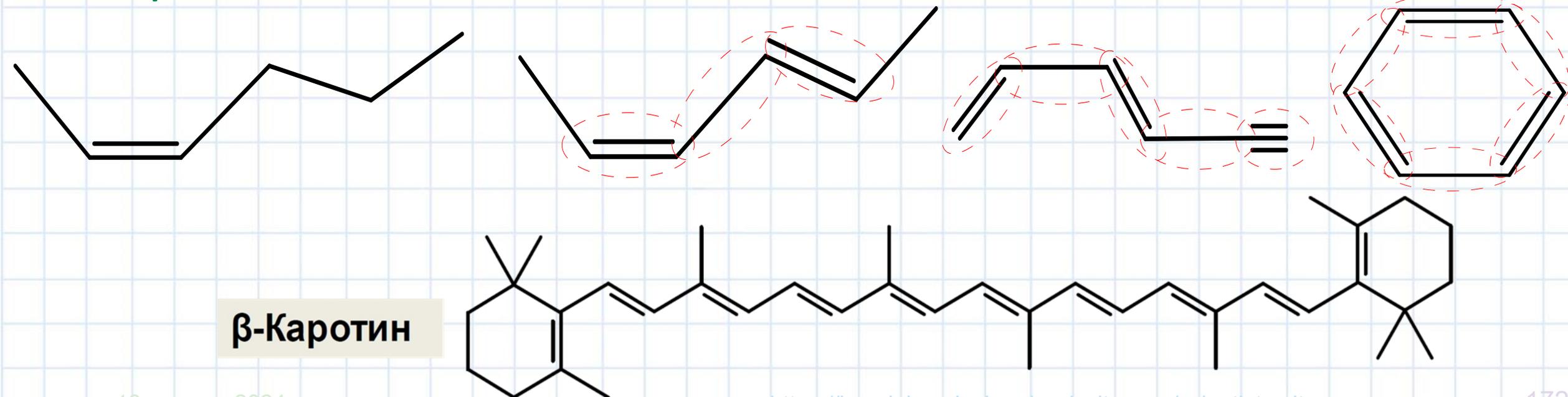
ароматическая электронная система ( $\pi, \pi$ -сопряжение и  $p, \pi$ -сопряжение)

$\sigma$ -связи и  $p$ -орбитали

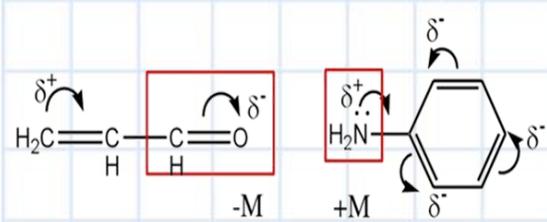
# ЭФФЕКТ СОПРЯЖЕНИЯ



- ✓ *соединения, содержащие сопряжённые связи, термодинамически более устойчивы в сравнении с соединениями, не содержащими сопряжённые связи;*
- ✓ *чем длиннее цепь сопряжённых связей, тем устойчивее соединение;*
- ✓ *замкнутые сопряжённые системы более устойчивы, чем открытые;*
- ✓ *замкнутые ароматические системы стабильнее, чем замкнутые неароматические сопряжённые системы:*

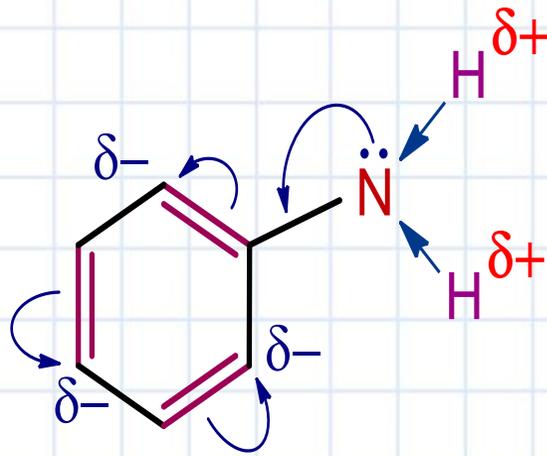
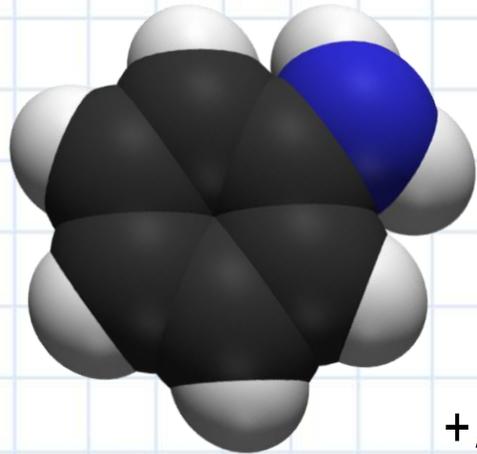


# МЕЗОМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ



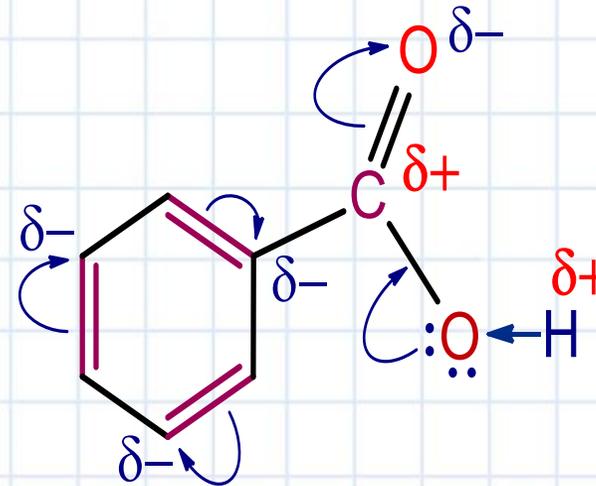
от греческого μέσος – средний; μέρος – часть, мера

**сопряжения эффект (С)М — смещение электронной плотности по сопряжённой системе:**



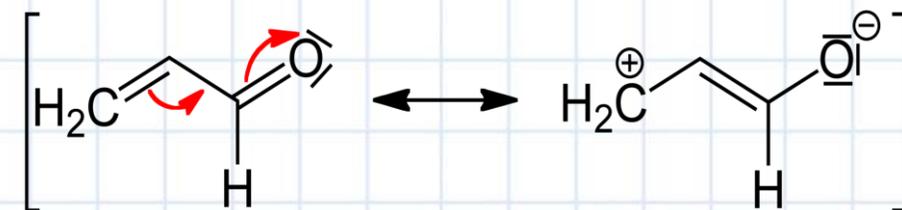
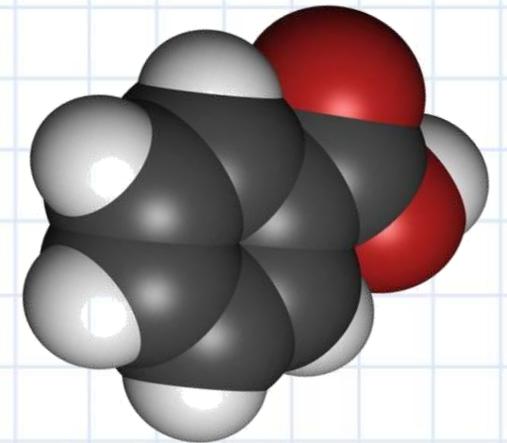
анилин

$$+M \mu(\text{H}_6\text{C}_5\text{NH}_2) = 1,48 \text{ D}$$



бензойная кислота

$$-M \mu(\text{H}_6\text{C}_5\text{COOH}) = 1,00 \text{ D}$$



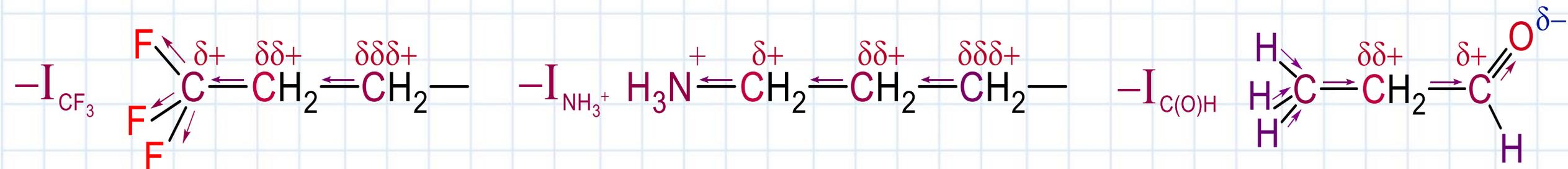
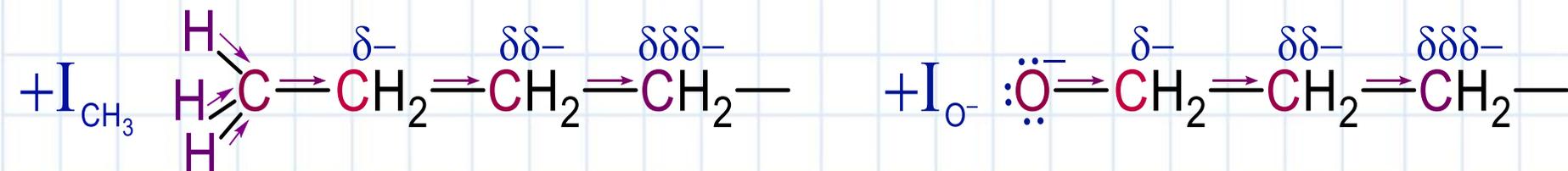
# ИНДУКЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ

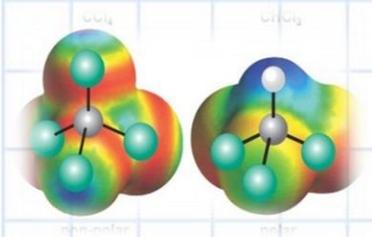
от латинского *inductio* – наведение, побуждение

**индуктивный эффект  $I$  — смещение электронной плотности по цепи  $\sigma$ -связей;**

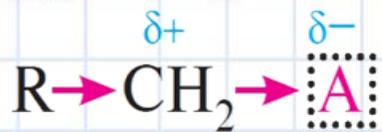
действие индуктивного эффекта принято изображать стрелкой, совпадающей с обозначением  $\sigma$ -связи и направленной в сторону смещения электронной плотности;

индуктивный эффект водорода в углеводородных цепях принимают равным нулю:





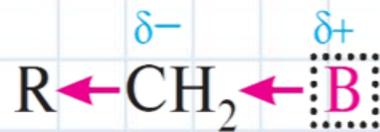
# НАПРАВЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ЭФФЕКТА



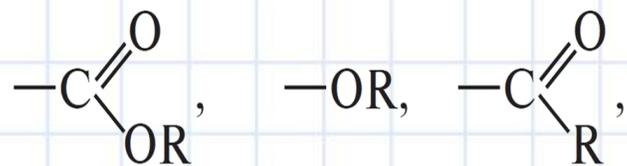
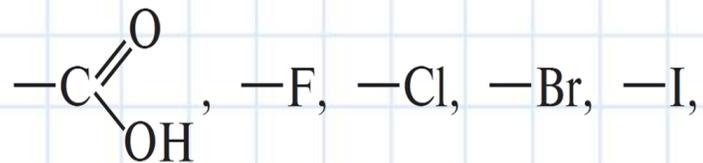
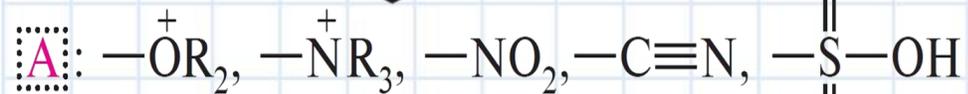
*-I-эффект*



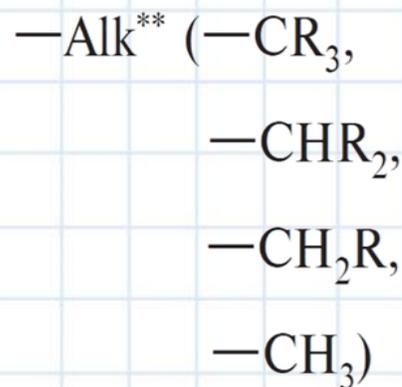
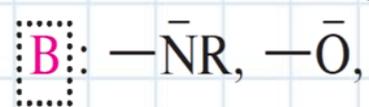
стандарт  $I = 0$



*+I-эффект*



у  
б  
ы  
в  
а  
н  
и  
е



и др.

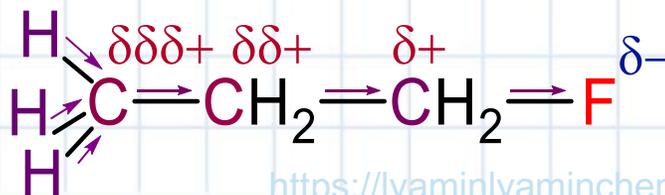
1. *Индуктивный эффект проявляется всегда при наличии в молекуле элементов с различной электроотрицательностью.*

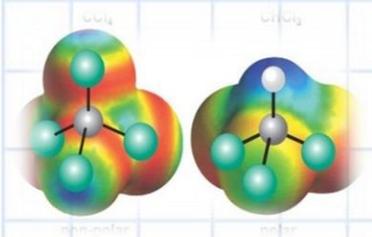
2. *Индуктивный эффект распространяется только через  $\sigma$ -связи и всегда в одном направлении, т.е. либо положительный, либо отрицательный.*

3. *Индуктивный эффект затухает в цепи через 3 – 4  $\sigma$ -связи.*

\* Ar — ароматический радикал.

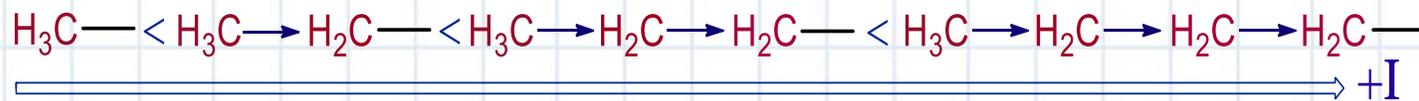
\*\* Alk — алкильные группы.



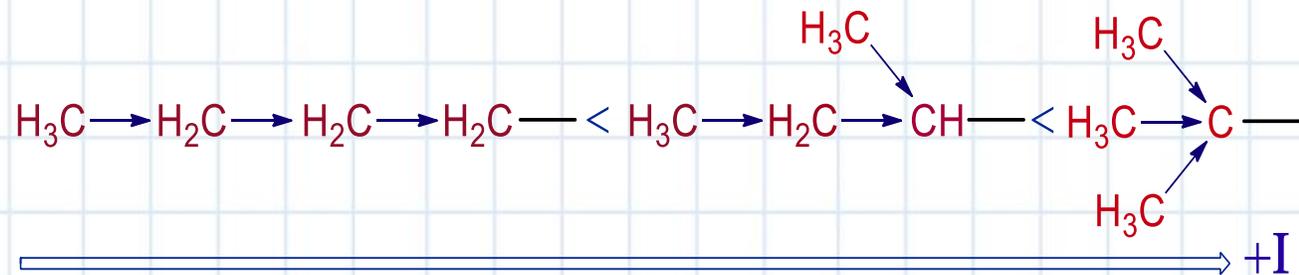


# СИЛА ИНДУКЦИОННОГО ЭФФЕКТА

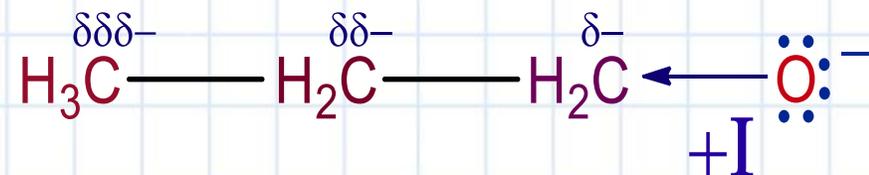
1) **в ряду первичных алкилов положительный индуктивный эффект возрастает с увеличением углеродной цепи:**



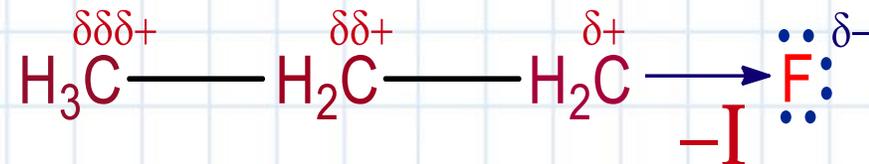
2) **электронодонорные свойства алкильных групп возрастают при переходе от первичных к третичным заместителям:**



3) **наибольший (+I)-эффект проявляют заместители, с отрицательным зарядом;**

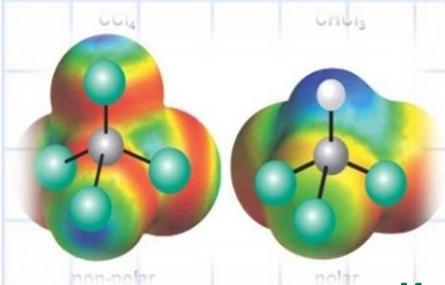


4) **чем больше значение электроотрицательности элементов, образующих заместитель тем сильнее выражен (-I)-эффект этого заместителя;**



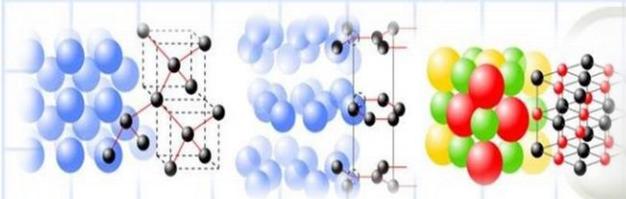
**величина (-I)-эффекта растёт с увеличением положительного заряда на заместителе; ненасыщенные заместители обладают (-I)-эффектом, который возрастает с увеличением доли s-характера гибридных орбиталей, т.е. чем больше кратность, тем сильнее (-I)-эффект**

# ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ



мезомерный эффект преобладает над индуктивным и подавляет последний в случае рассогласованного (противоположного) действия, исключение — **F**:

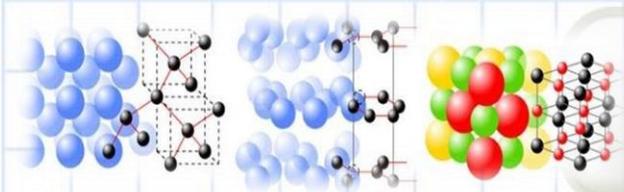
Характеристические группы	Электронный эффект	
	индуктивный	мезомерный
алкильные группы —R	+I	—
амино-группа — $\ddot{\text{N}}\text{H}_2$ ; — $\ddot{\text{N}}\text{HR}$ ; — $\ddot{\text{N}}\text{R}_2$	—I	+M
гидроксо-группа — $\ddot{\text{O}}\text{H}$ ; — $\ddot{\text{O}}\text{R}$	—I	+M
галогенная группа — $\ddot{\text{F}}$ ; — $\ddot{\text{Cl}}$ ; — $\ddot{\text{Br}}$ ; — $\ddot{\text{I}}$	—I	+M
сульфо-группа	—I	—M
карбоксильная группа	—I	—M
карбонильная группа	—I	—M
нитро-группа	—I	—M



# КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

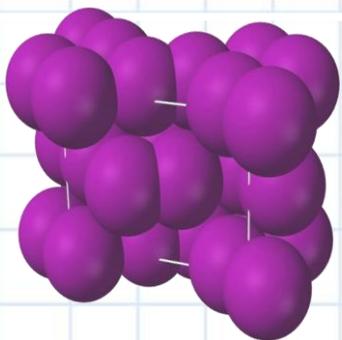
**кристаллическую макроструктуру вещества определяют вид частиц, образующих химическое соединение, и вид связи между частицами в этом веществе:**

<b>структура</b> <i>свойство</i>	<i>молекулярная</i>	<i>атомно-ковалентная</i>	<i>ионная</i>	<i>атомно-металлическая</i>
<i>вид частиц</i>	<b>молекулы</b>	<b>атомы</b>	<b>ионы</b>	<b>атомы</b>
<i>вид связи</i>	<b>межмолекулярная</b>	<b>ковалентная</b>	<b>ионная</b>	<b>металлическая</b>
<i>плотность</i>	<b>низкая</b>	<b>высокая</b>	<b>большая</b>	<b>высокая</b>
$T_{\text{плавления}}$	<b>низкая</b>	<b>высокая</b>	<b>высокая</b>	<b>разная</b>
$T_{\text{кипения}}$	<b>низкая</b>	<b>высокая</b>	<b>высокая</b>	<b>разная</b>
<i>растворимость в воде</i>	<b>в зависимости от полярности молекулы</b>	<b>нерастворимы</b>	<b>в зависимости от энергии связи</b>	<b>нерастворимы</b>
<i>электропроводимость</i>	<b>диэлектрики, электролиты</b>	<b>диэлектрики</b>	<b>сильные электролиты</b>	<b>проводники первого рода</b>

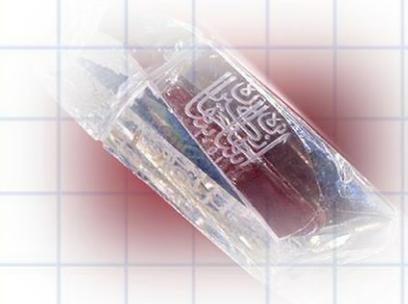
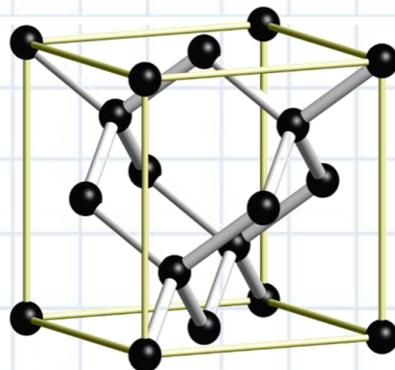


# КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВ

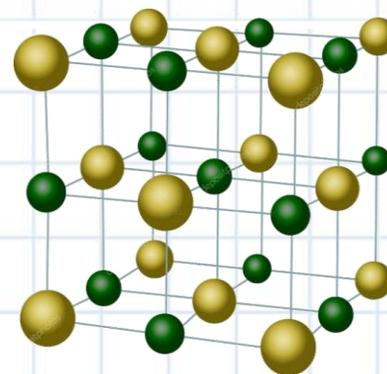
*молекулярные*



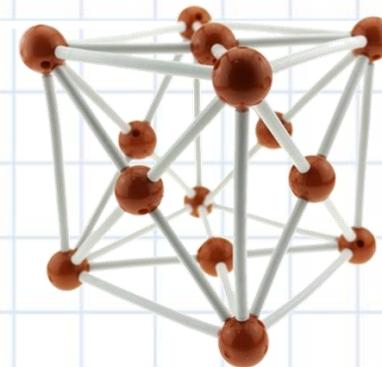
*атомные*



*ионные*

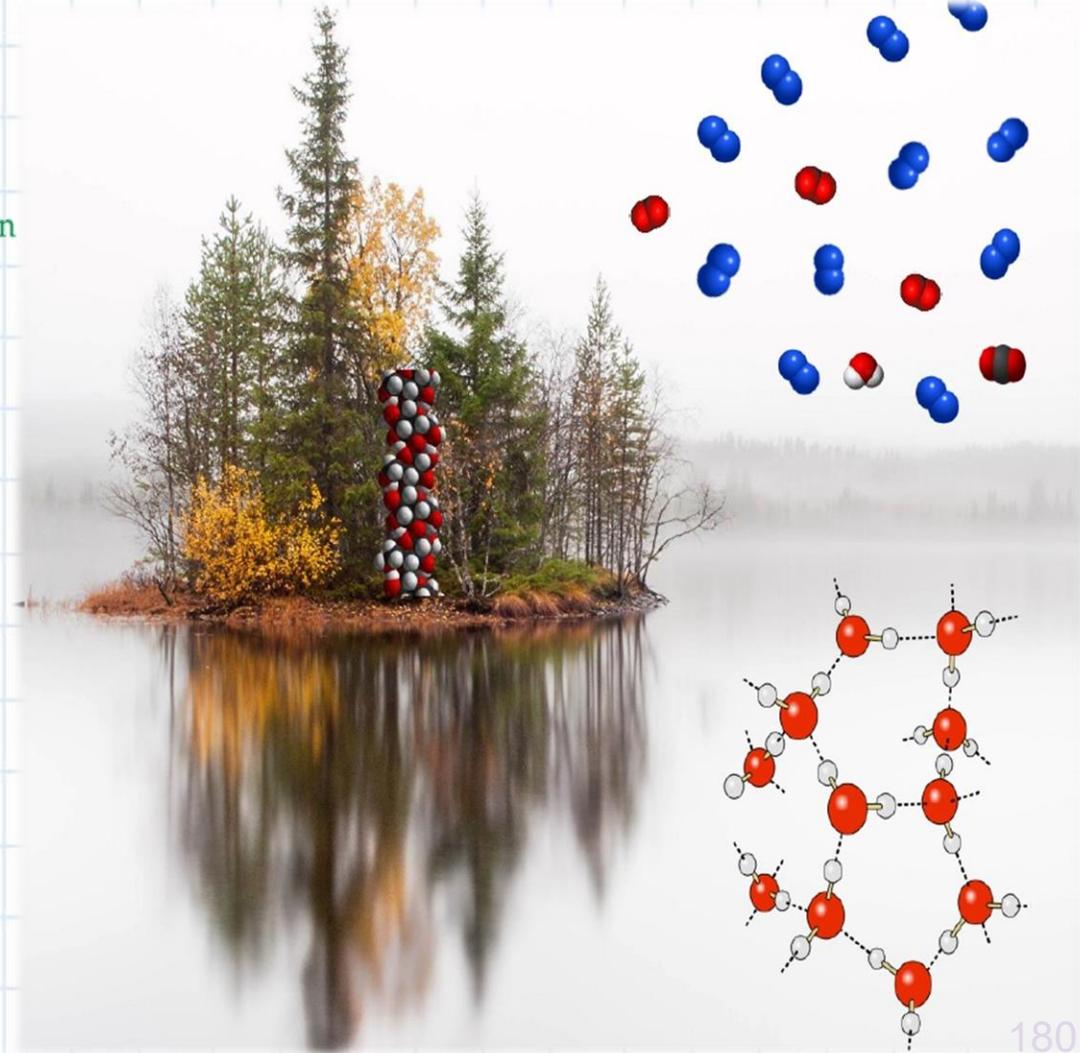
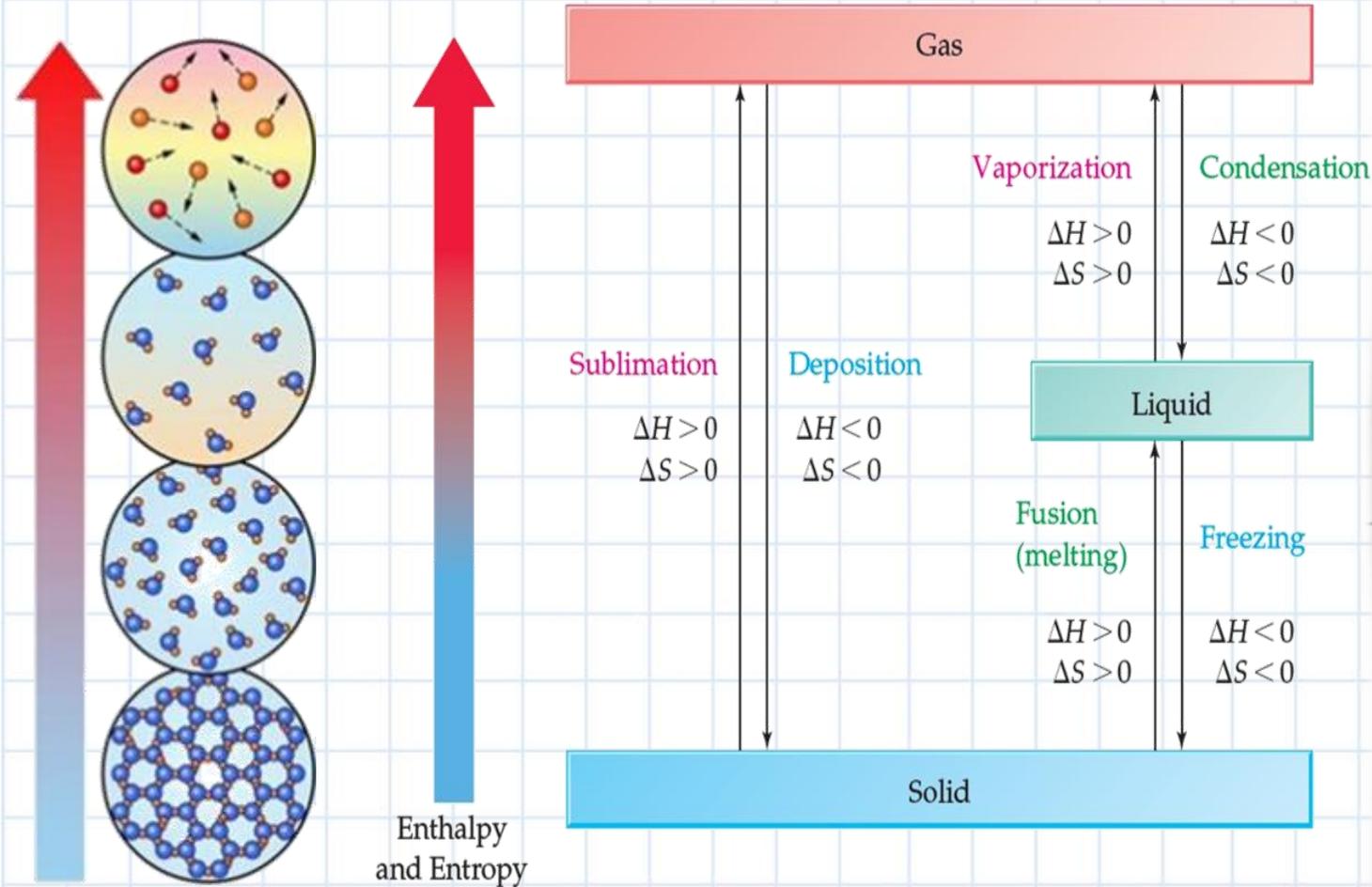


*металлические*

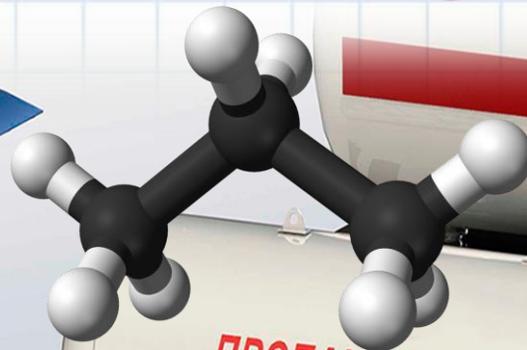
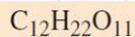
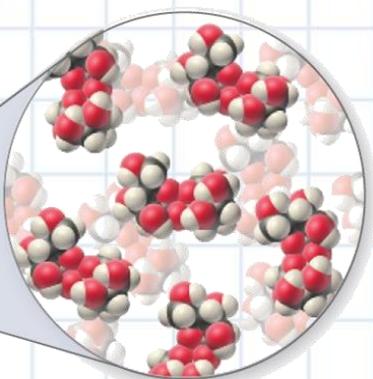
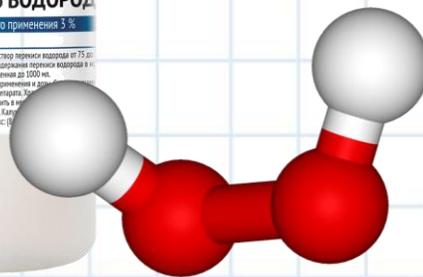
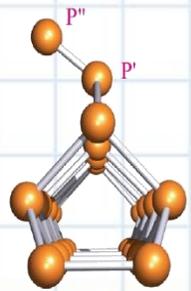
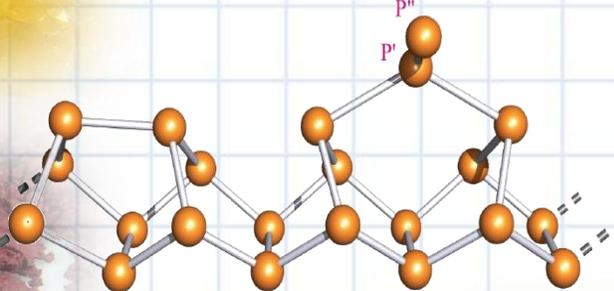
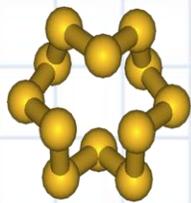
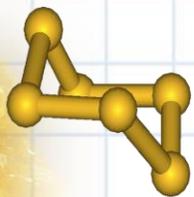
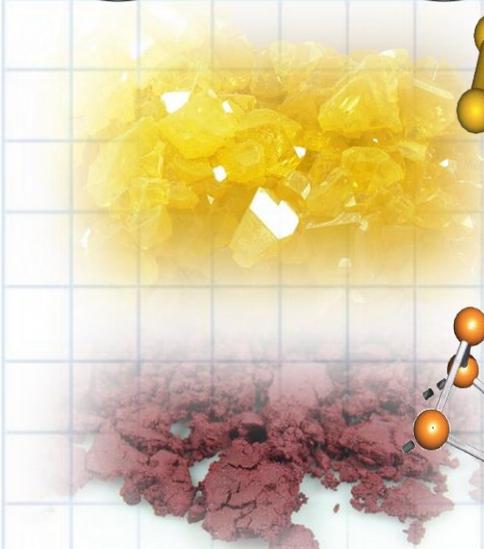
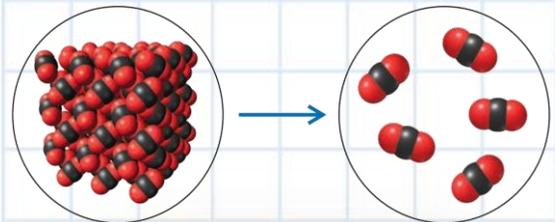


# МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

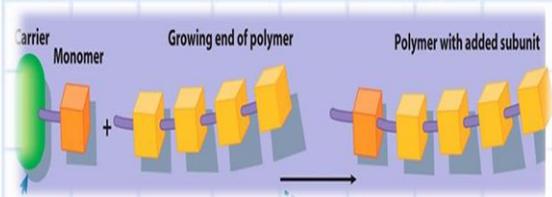
характеризуется совокупностью молекул, которые удерживаются вместе слабыми межмолекулярными взаимодействиями



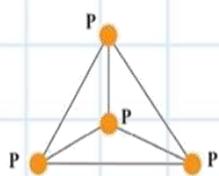
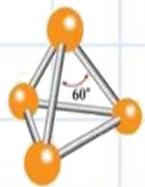
# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



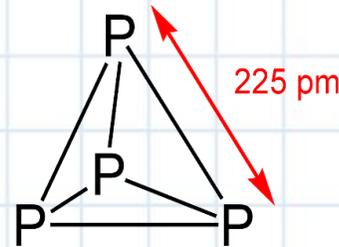
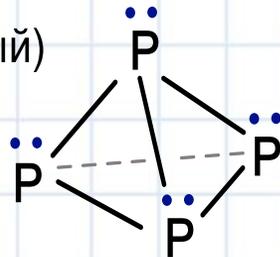
# МОНОМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ



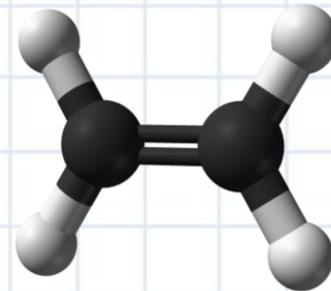
**мономер**, от греческого *μόνος* – один; *μέρος* – часть, **низкомолекулярное соединение, НМС** — химическое соединение с молярной массой до  $1000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , способное образовывать полимеры:



$\text{P}_4$  (белый)

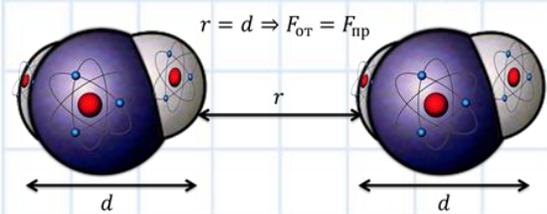


## ЭТИЛЕН



**полимер**, от греческого *πολύ* – много; *μέρος* – часть, **высокомолекулярное соединение, ВМС** — химическое соединение с молярной массой выше  $1000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , образованное повторяющимися группировками или структурными звеньями (НМС), соединёнными между собой химическими связями:



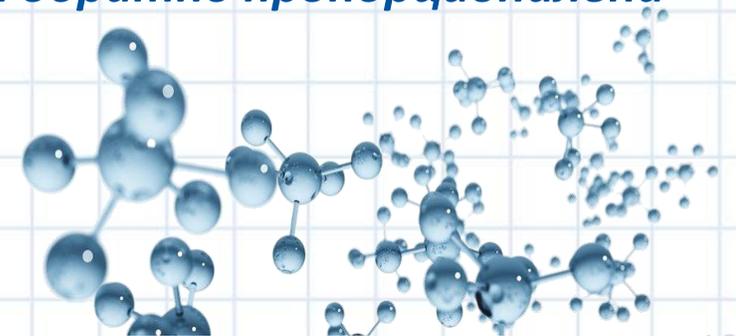


# МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

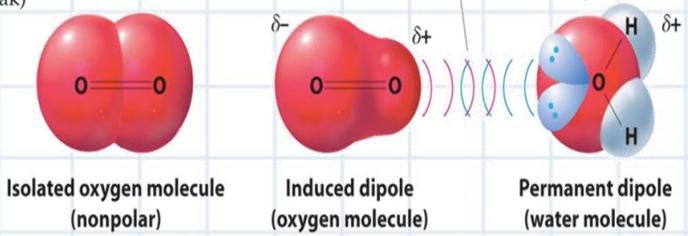
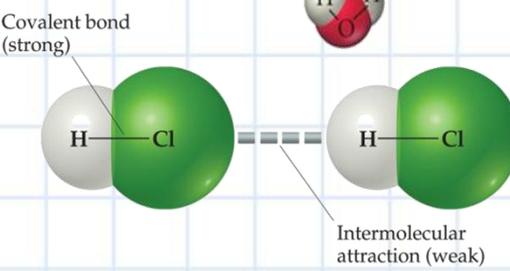
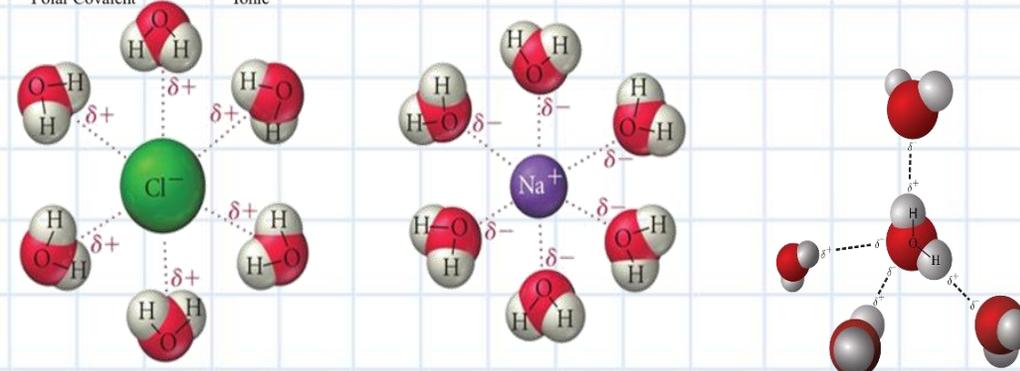
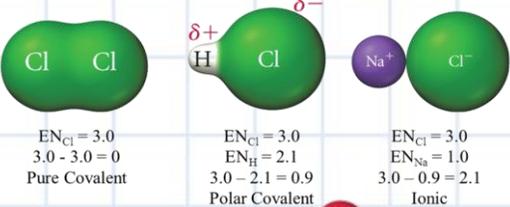
**Ван-дер-Ваальсовы силы — электростатические силы межмолекулярного взаимодействия; Ван-дер-Ваальсовы силы обусловлены тремя типами слабых электромагнитных взаимодействий:**

- **ориентационные силы, диполь-дипольное притяжение, энергия Кeesома  $E_K$ , — взаимодействие между молекулами — постоянными диполями, энергия такого взаимодействия обратно пропорциональна кубу расстояния между диполями;**
- **индукционное притяжение, энергия Дебая  $E_D$ , — взаимодействие между постоянным диполем и наведённым — индуцированным диполем, энергия такого взаимодействия обратно пропорциональна шестой степени расстояния между диполями;**
- **дисперсионное притяжение, Лондоновские силы  $E_L$ , — взаимодействием между мгновенным диполем и индуцированным диполем, энергия такого взаимодействия обратно пропорциональна шестой степени расстояния между диполями;**

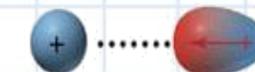
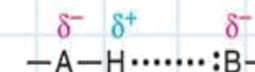
**энергия Ван-дер-Ваальсовых сил оценивается от 10 до 60 кДж·моль<sup>-1</sup>**

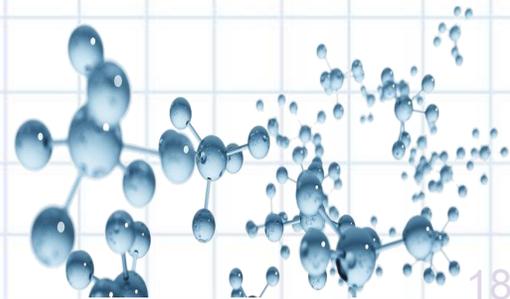
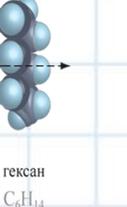
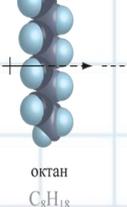
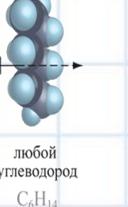
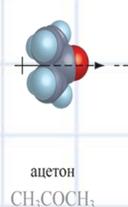
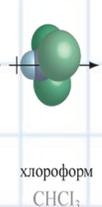
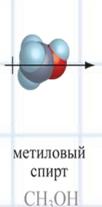
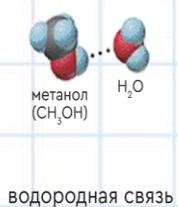
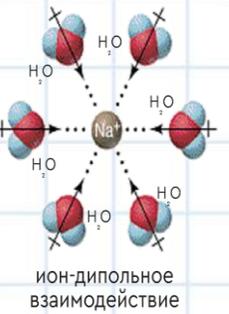


# НЕКОВАЛЕНТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



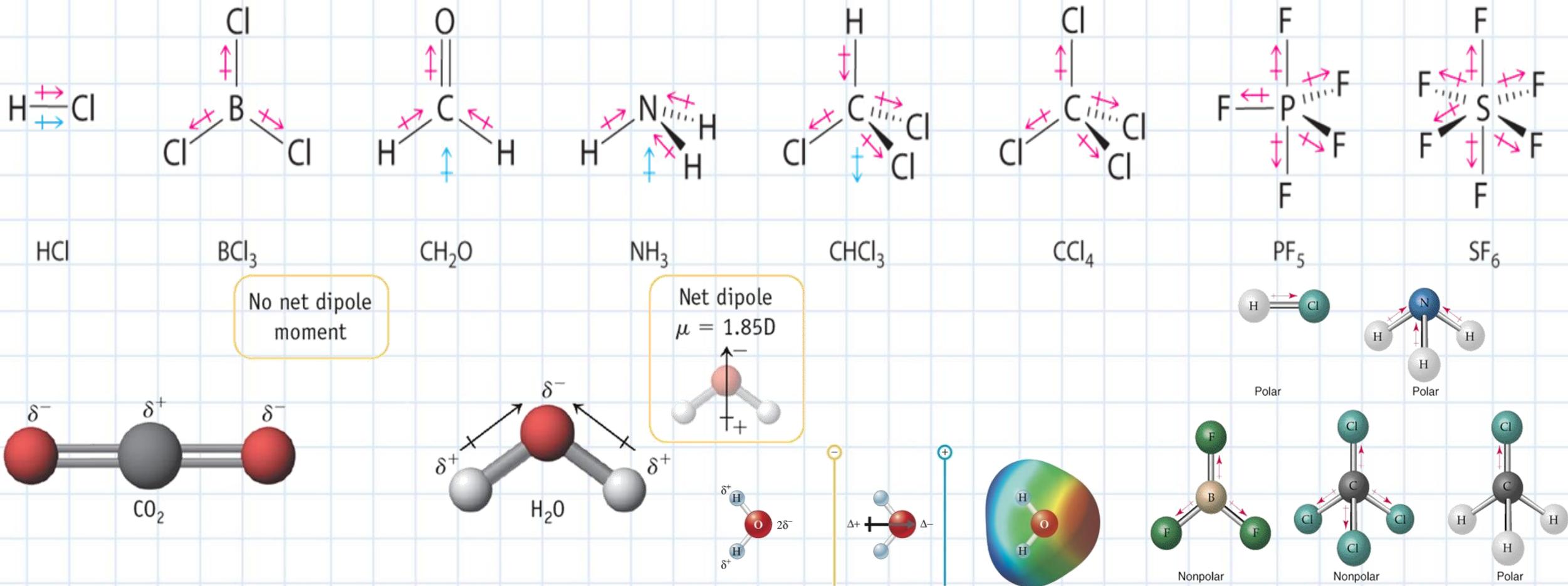
## Nonbonding (Intermolecular)

Ion-dipole		Ion charge–dipole charge	40–600	$Na^+ \cdots O \begin{matrix} H \\ H \end{matrix}$
H bond		Polar bond to H–dipole charge (high EN of N, O, F)	10–40	$: \ddot{O} - H \cdots : \ddot{O} - H$ $  \qquad  $ $H \qquad H$
Dipole-dipole		Dipole charges	5–25	$I - Cl \cdots I - Cl$
Ion-induced dipole		Ion charge–polarizable $e^-$ cloud	3–15	$Fe^{2+} \cdots O_2$
Dipole-induced dipole		Dipole charge–polarizable $e^-$ cloud	2–10	$H - Cl \cdots Cl - Cl$
Dispersion (London)		Polarizable $e^-$ clouds	0.05–40	$F - F \cdots F - F$

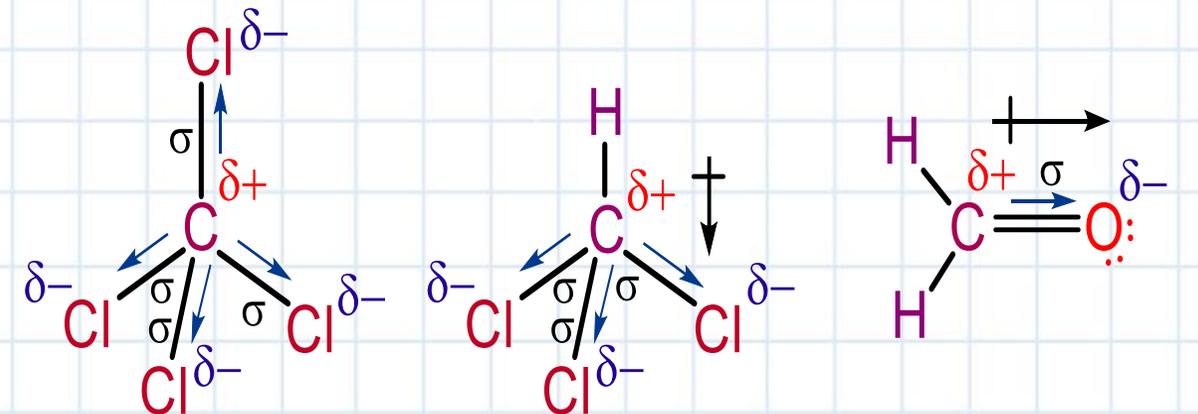
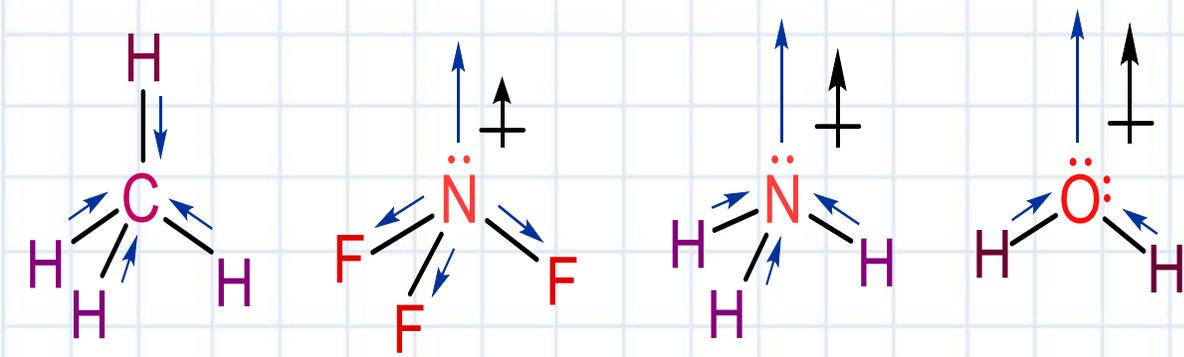
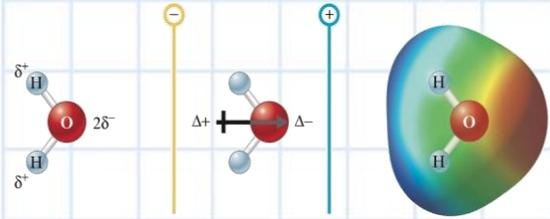


# ПОЛЯРНОСТЬ МОЛЕКУЛ

полярность молекулы определяется результирующей векторной величиной всех химических связей, образующих частицу:

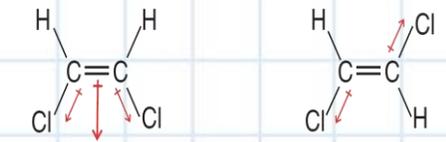
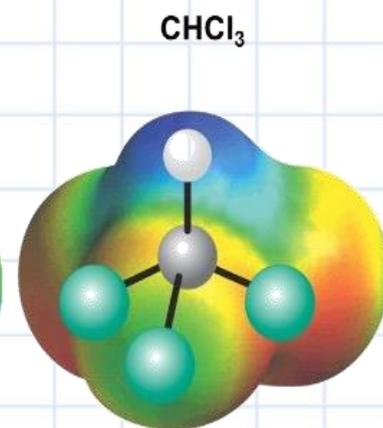
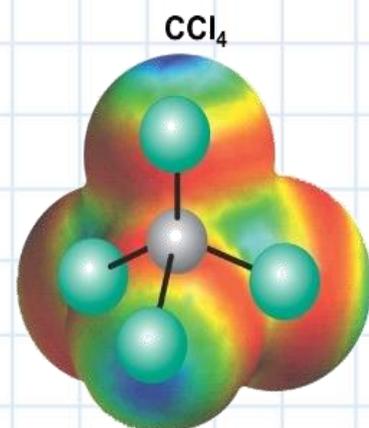
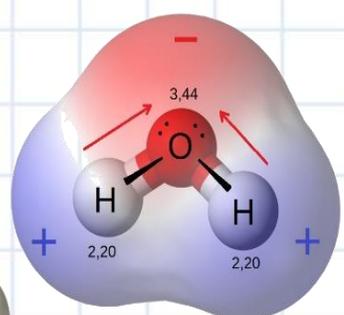
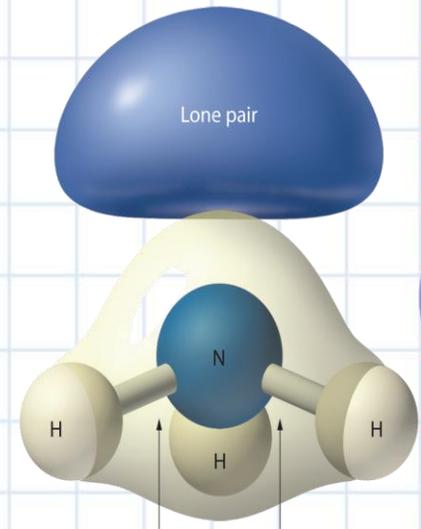
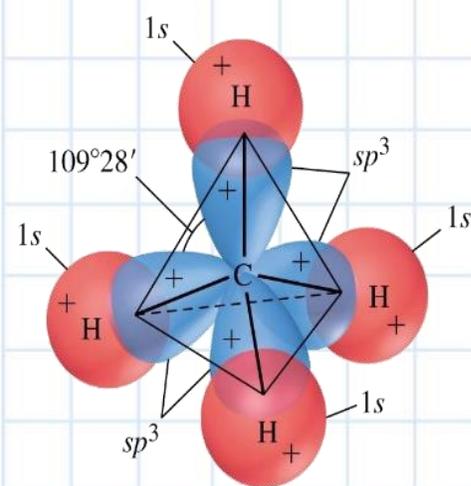


# ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ МОЛЕКУЛЫ



(HC) - 0,2 D; (NF) - 1,30 D; (HN) - 1,31 D; (HO) - 1,51 D  
 (H<sub>4</sub>C) - 0 D; (NF<sub>3</sub>) - 0,24 D; (H<sub>3</sub>N) - 1,47 D; (H<sub>2</sub>O) - 1,85 D

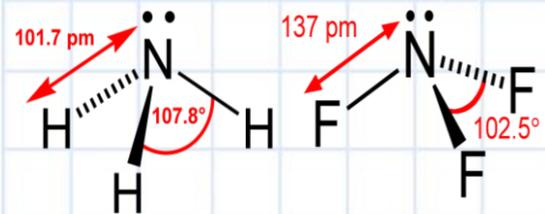
тетрахлорметан  $\mu(\text{CCl}_4) = 0 \text{ D}$   
 хлорметан  $\mu(\text{H}_3\text{CCl}) = 1,02 \text{ D}$   
 метаналь  $\mu(\text{H}_2\text{CO}) = 2,40 \text{ D}$



cis-1,2-Dichloroethene  $\mu = 1.9 \text{ D}$   
 trans-1,2-Dichloroethene  $\mu = 0 \text{ D}$

non-polar polar

# ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ МОЛЕКУЛЫ

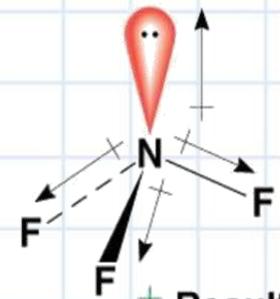
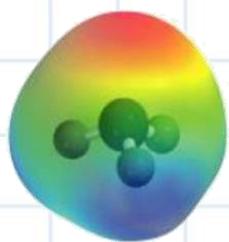
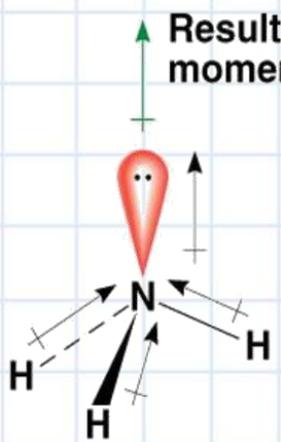
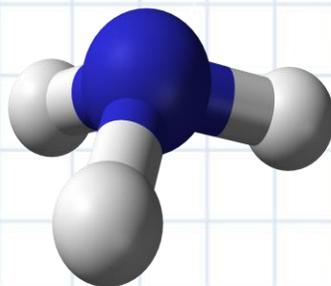
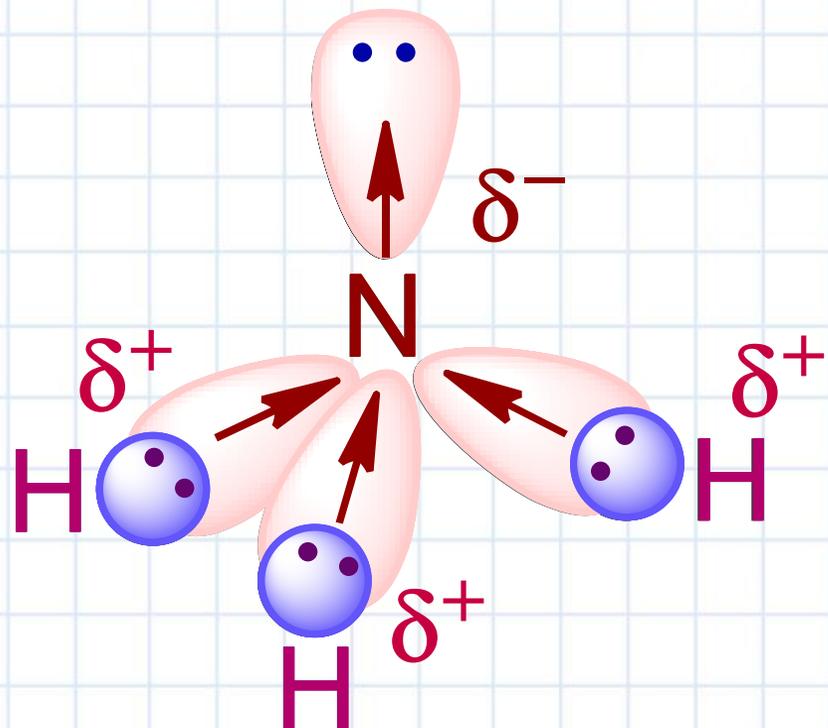


$$\chi(\text{H}) = 2,10; \quad \chi(\text{N}) = 3,07; \quad \chi(\text{F}) = 4,10$$

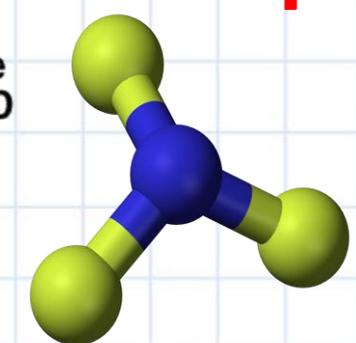
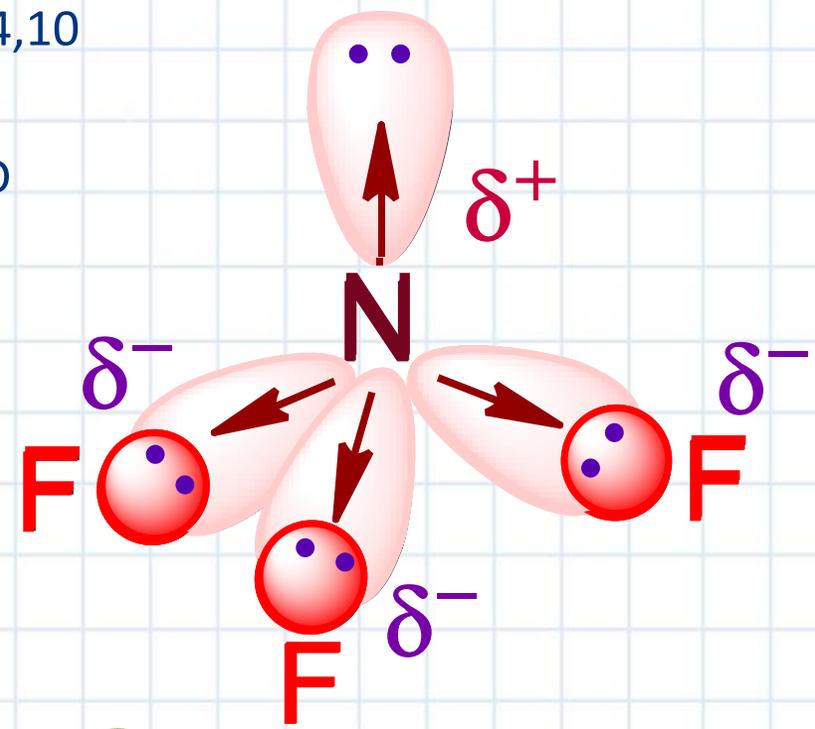
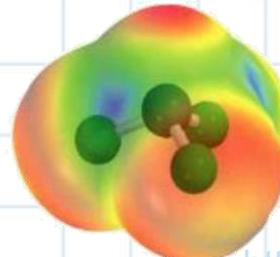
$$\Delta\chi(\text{N-H}) = 0,97; \quad \Delta\chi(\text{F-N}) = 1,03$$

$$\mu(\text{N-H}) = 1,31 \text{ D}; \quad \mu(\text{F-N}) = 1,30 \text{ D}$$

$$\mu(\text{H}_3\text{N}) = 1,47 \text{ D}; \quad \mu(\text{NF}_3) = 0,24 \text{ D}$$



Resultant dipole moment = 0.24 D



# ПОЛЯРНОСТЬ МОЛЕКУЛЫ

углекислый газ и сернистый газ:

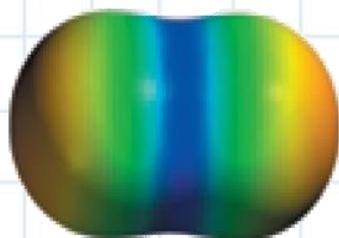
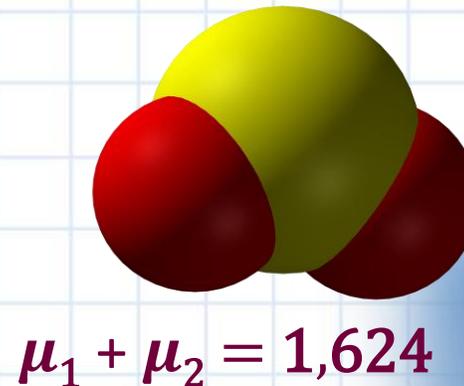
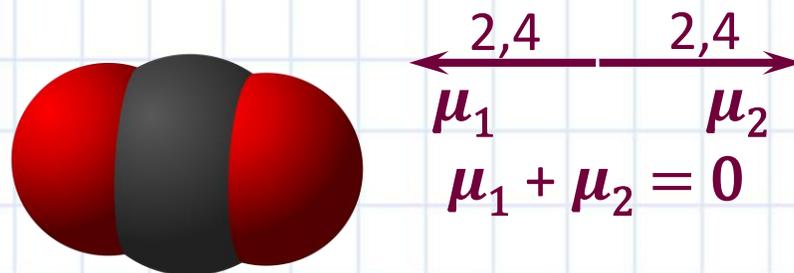
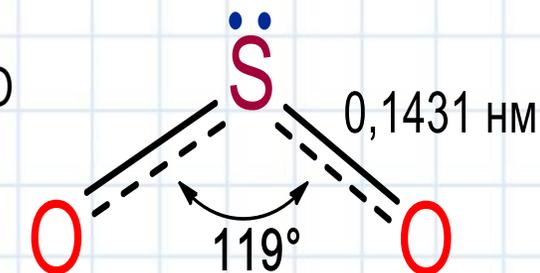
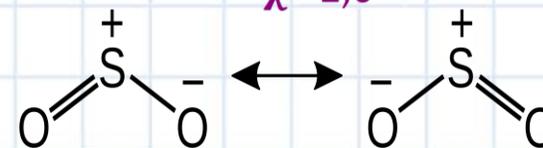
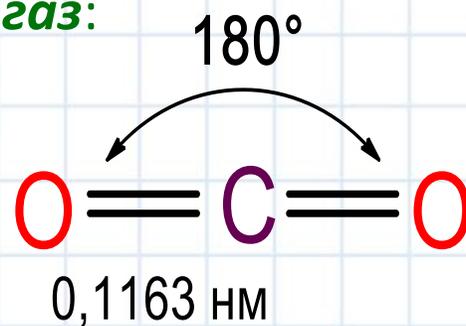
Si B Te As P H I Se C S Br Cl N O F

$\chi < 2,0$

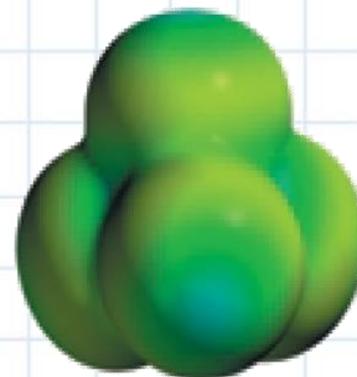
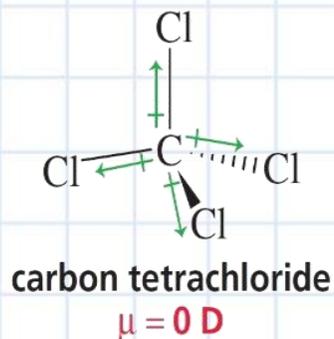
$\chi < 2,5$

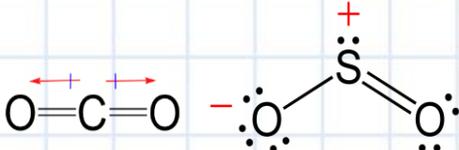
$\chi < 3,0$

$\chi < 4,0$



O=C=O  
carbon dioxide  
 $\mu = 0 \text{ D}$





# ПОЛЯРНОСТЬ МОЛЕКУЛЫ И СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Si	B	Te	As	P	H	I	Se	C	S	Br	Cl	N	O	F
$\chi < 2,0$						$\chi < 2,5$		$\chi < 3,0$		$\chi < 4,0$				

**полярность молекулы определяет свойства молекулярного вещества;**  
**пример: оксид углерода(IV) и оксид серы(IV):**

ХАРАКТЕРИСТИКА	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
связи в молекуле	ковалентная-полярная ( $\mu = 2,4$ )	ковалентная-полярная ( $\mu = 1,61$ )
молекула	неполярная ( $\mu = 0$ )	полярная ( $\mu = 1,61$ )
плотность	1,9768 кг·м <sup>-3</sup>	2,9266 кг·м <sup>-3</sup>
T <sub>плавления</sub>	–	–75,5° С
T <sub>кипения</sub>	–78,5° С <i>возгоняется</i>	–10,6° С
растворимость в воде	171 мл в 100 мл при 0° С	7789 мл в 100 мл при 0° С
содержание в природе	в атмосфере 0,03 % об., морской воде $\approx 90$ г·м <sup>-3</sup>	ПДК в воздухе на производстве 10,0 мг·м <sup>-3</sup> , в атмосфере 0,5 мг·м <sup>-3</sup>

# ВОДОРОДНАЯ СВЯЗЬ

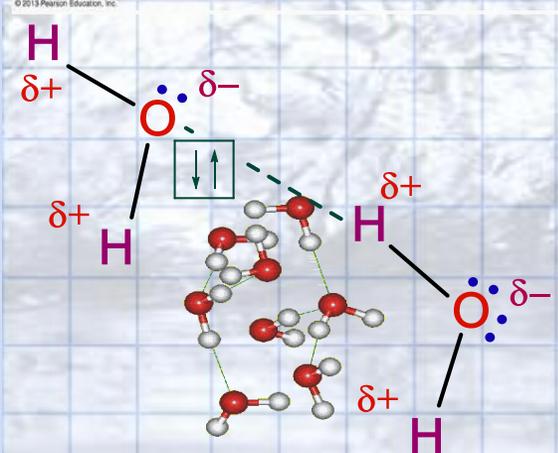
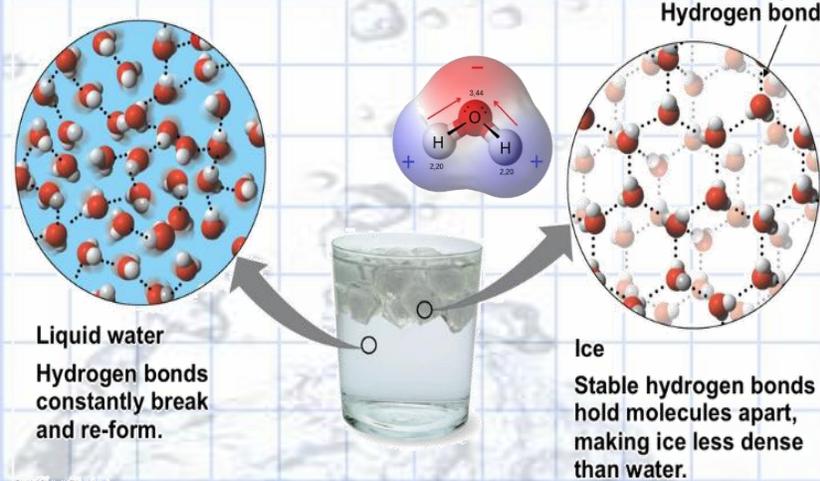
понятие и термин «водородная связь» ввели В. Латимер и Р. Родебуш в 1920 г. для объяснения сущности аномалий, наблюдавшихся при кипении воды, жидкого аммиака, жидкого фтороводорода и некоторых других соединений;

$H_2O$	$H_2O$ (плавление)	$H_2O$ (испарение)	O—H
$E, \text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	5,99	40,66	463,25

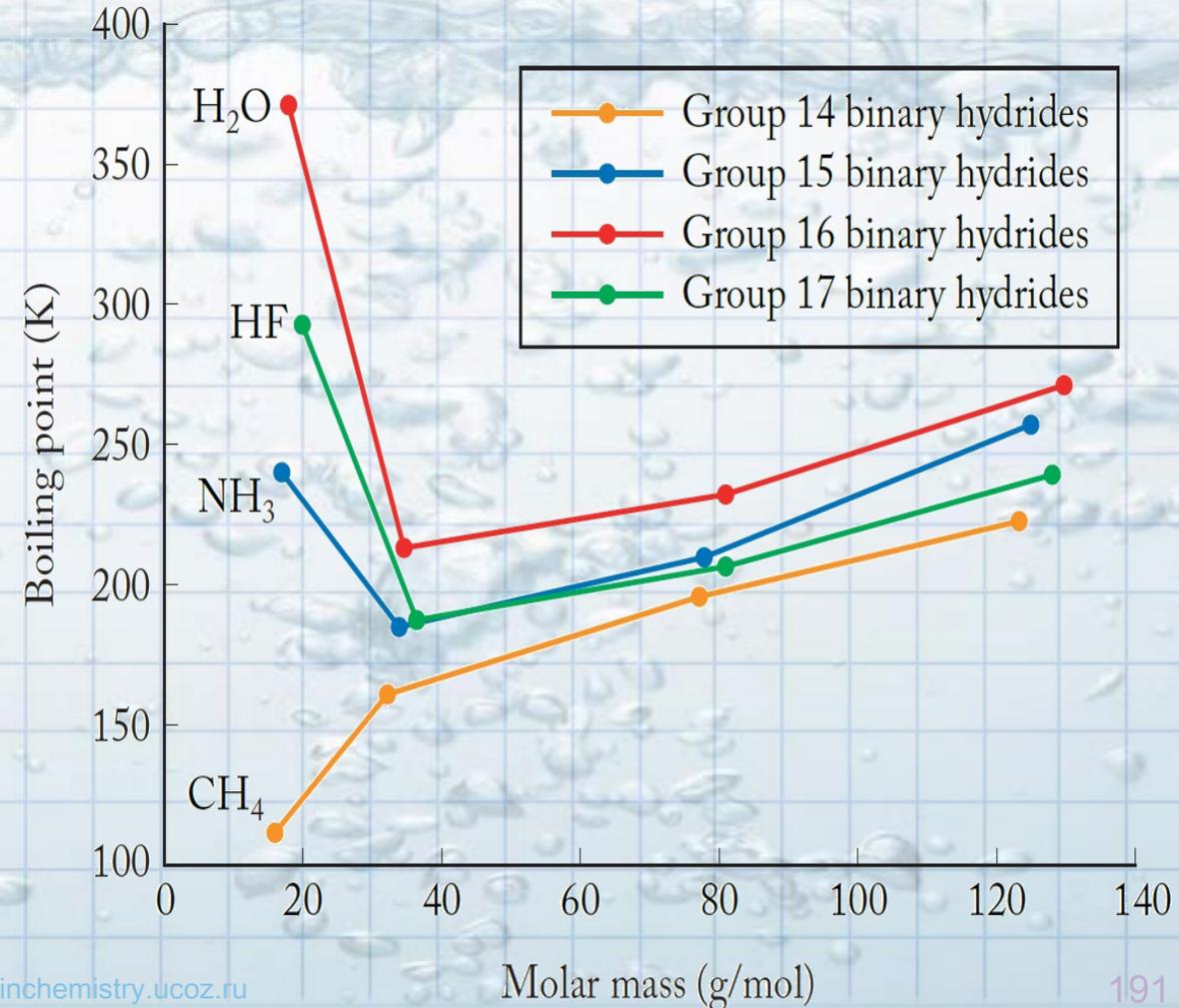
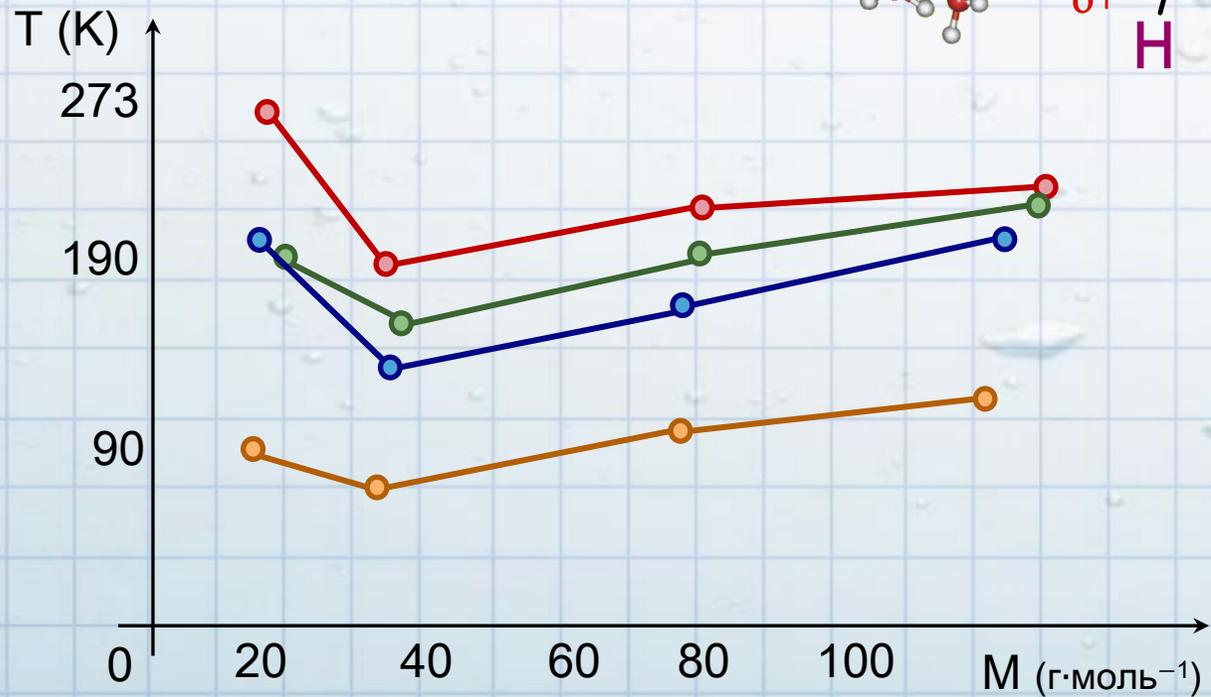
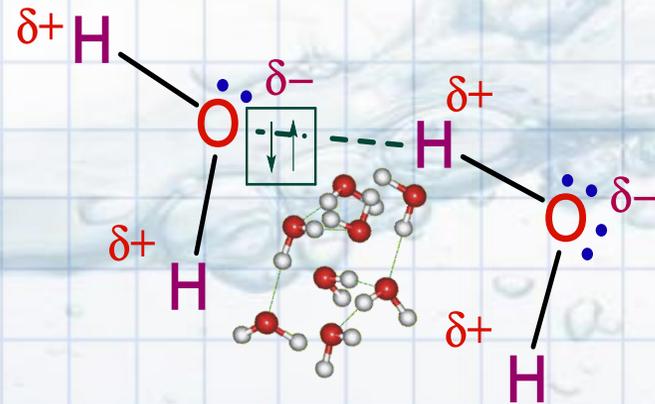
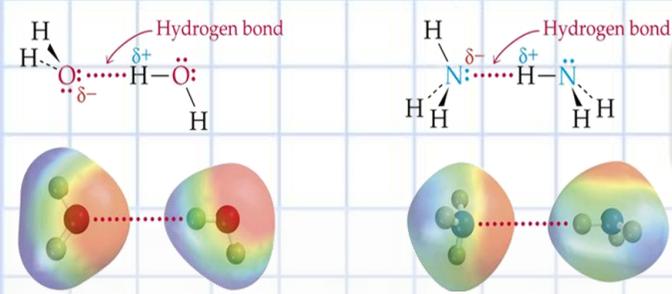
водородная связь — электростатическое взаимодействие ядра водорода H (связанного с наиболее электроотрицательным элементом — F, O, N, Cl) с ядром элемента с наиболее высоким значением электроотрицательности — F, O, N, Cl

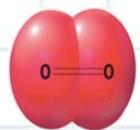
образование водородной связи обусловлено уникальными свойствами положительно поляризованного атома водорода;

его единственный электрон смещён в направлении ядра элемента, с которым водород образует ковалентную связь, поэтому оголённое ядро, водорода способно сближаться с элементами с большим значением электроотрицательности до расстояний близких к длине химической связи; вообще, длина водородной связи в 1,5-2 раза больше длины ковалентной связи и в 10-20 раз слабее её, но значительно прочнее Ван-дер-Ваальсовых сил

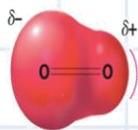


# СВОЙСТВА ВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

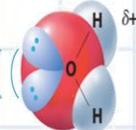




Isolated oxygen molecule  
(nonpolar)



Induced dipole  
(oxygen molecule)



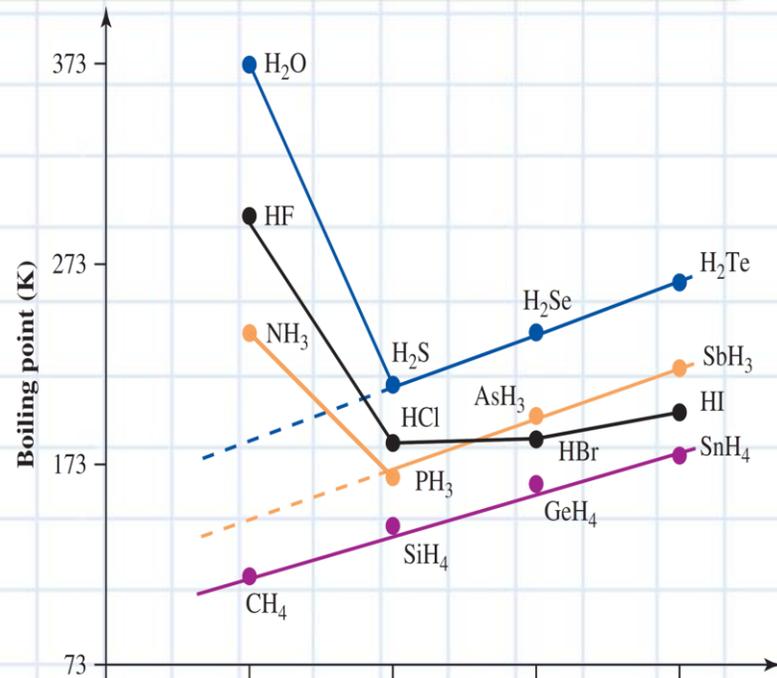
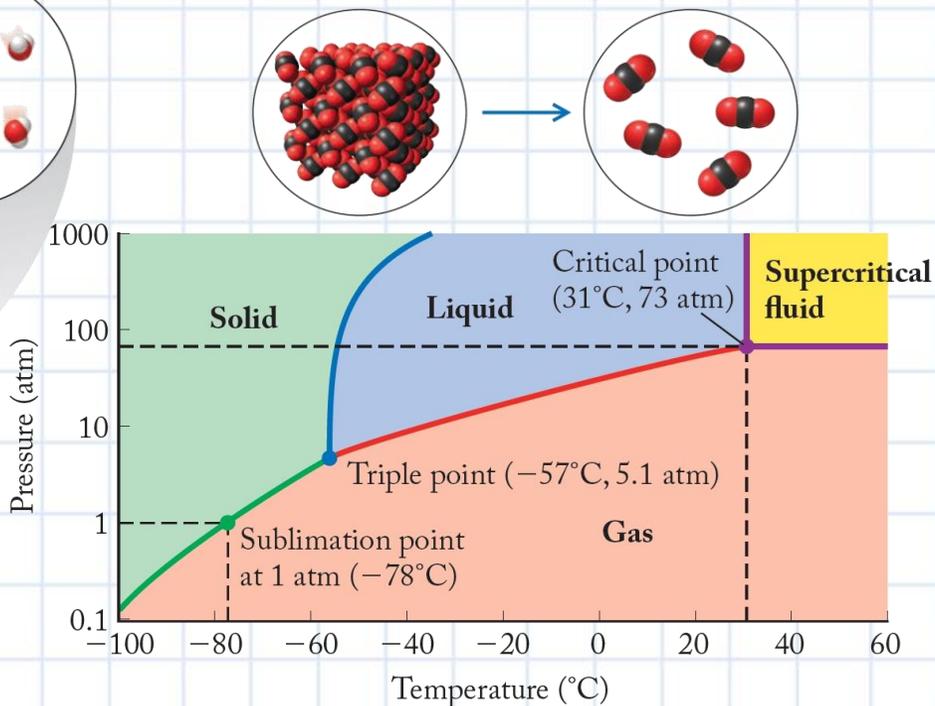
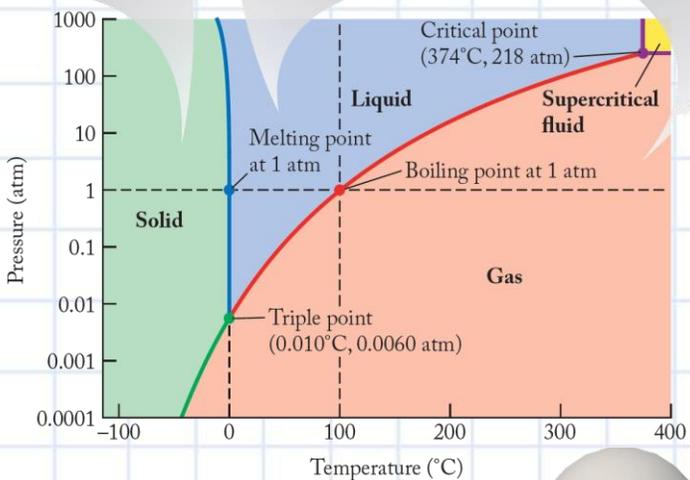
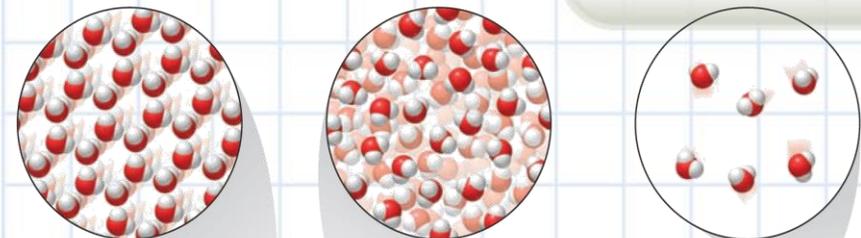
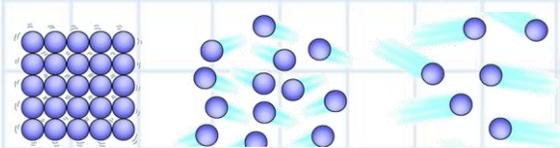
Permanent dipole  
(water molecule)

# СИЛЫ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

*вклад различных межмолекулярных сил в веществе при  $T = 298$  К и  $l = 0,5$  нм*

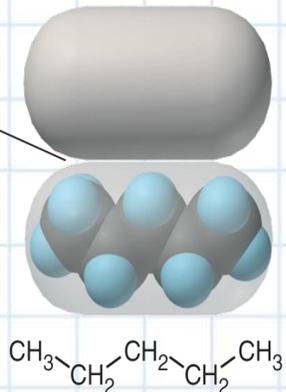
Вещество	$\mu$ D	$a, 10^{-24}$ см <sup>3</sup> ·моль <sup>-1</sup>	$E_K$ кДж·моль <sup>-1</sup> ; (%)	$E_D$ кДж·моль <sup>-1</sup> ; (%)	$E_L$ кДж·моль <sup>-1</sup> ; (%)
Хе	0	4,00	0	0	1,90; (100)
СCl <sub>4</sub>	0	10,15	0	0	7,50; (100)
СО	0,12	1,92	0,0001; (0,01)	0,001; (0,07)	1,40; (99,92)
HI	0,38	5,40	0,001; (0,05)	0,006; (0,29)	2,10; (99,66)
HCl	1,03	2,50	0,20; (9,66)	0,07; (3,38)	1,80; (86,96)
H <sub>3</sub> N	1,46	2,20	6,30; (31,19)	0,90; (4,45)	13,0; (64,36)
H <sub>2</sub> O	1,84	1,50	16,0; (72,08)	0,90; (4,05)	5,30; (23,87)

# СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



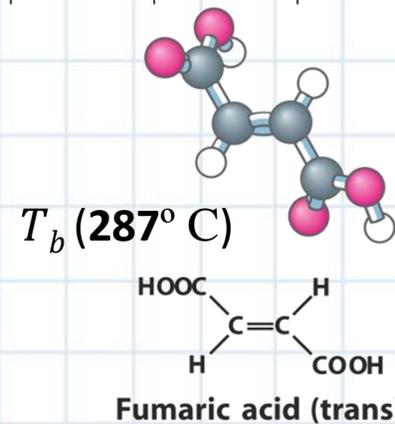
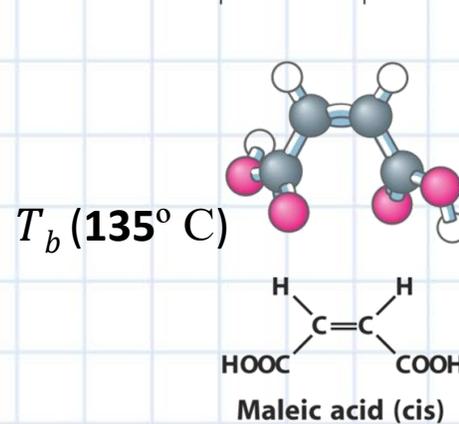
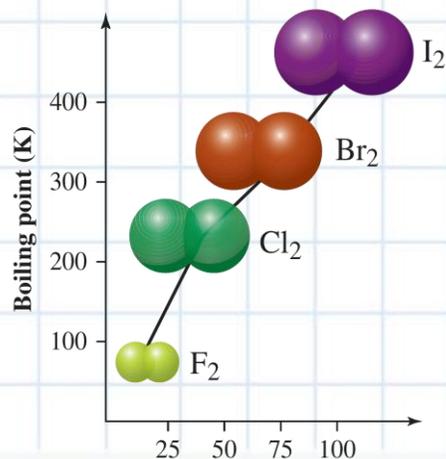
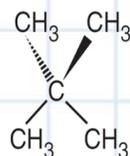
**n-Pentane**  
bp = 36.1°C

There are more points at which dispersion forces act.



**Neopentane**  
bp = 9.5°C

There are fewer points at which dispersion forces act.



# КЛАСТЕРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

*в химии, кластерами, заимствовано из английского cluster – гроздь, скопление, называют соединение группы атомов или молекул, выделяющихся из других подобных частиц и объединяющихся в устойчивое обособленное образование;*

*кластеры могут иметь различную стехиометрию и геометрическую структуру; примерами таких соединений являются вода, фуллерен и кластеры бора; большинство переходных металлов также формируют стабильные металлические кластеры и кластерные комплексы; металлическим кластером называют группировку из нескольких связанных друг с другом атомов металла в окружении лигандов;*

*типичными лигандами для кластеров переходных металлов являются монооксид углерода, галогенид-ионы, изонитрилы, циклоалкадиены,*

*полисульфиды, фосфины;*

*кластеры элементов главных подгрупп*

*периодической системы*

*чаще всего стабилизированы*

*гидрид-ионами.*

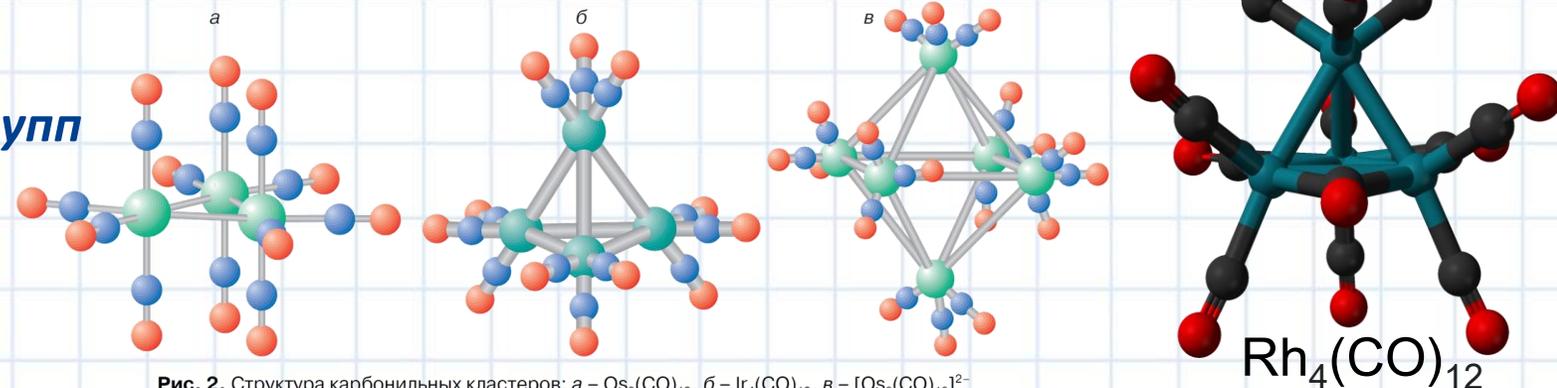
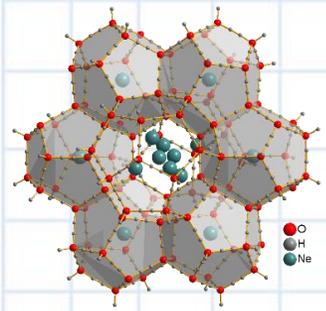


Рис. 2. Структура карбонильных кластеров: а –  $\text{Os}_3(\text{CO})_{12}$ , б –  $\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}$ , в –  $[\text{Os}_6(\text{CO})_{18}]^{2-}$

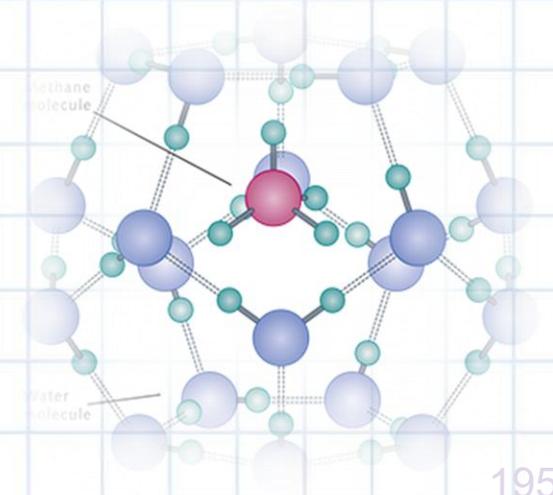
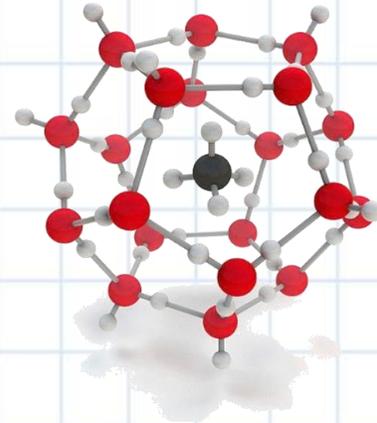
# СОЕДИНЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ



**клатраты**, от латинского *clathratus* — обрешеченный, закрытый решёткой, образуются путём включения молекул вещества — «гостя», в полости кристаллической решётки, составленной из молекул другого типа — «хозяев», т.н. решётчатые клатраты, либо в полость одной большой молекулы-хозяина — молекулярные клатраты;

среди решётчатых клатратов в зависимости от формы полости различают:

- **клеточные (криптатоклатраты)**, например клатраты гидрохинона;
- **газовые гидраты**, например гидрат метана;
- **канальные (тубулатоклатраты)**, например клатраты мочевины, тиомочевины;
- **слоистые (интеркалаты)**, например соединения графита;
- **кристаллоструктурные**, например интерметаллиды

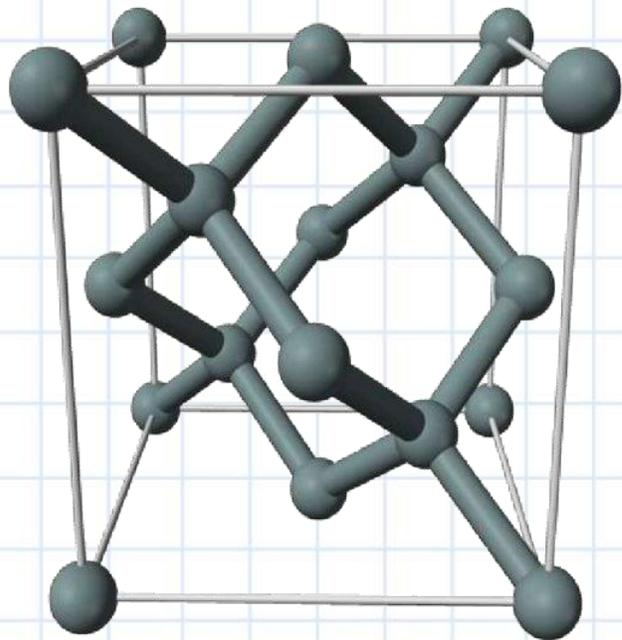




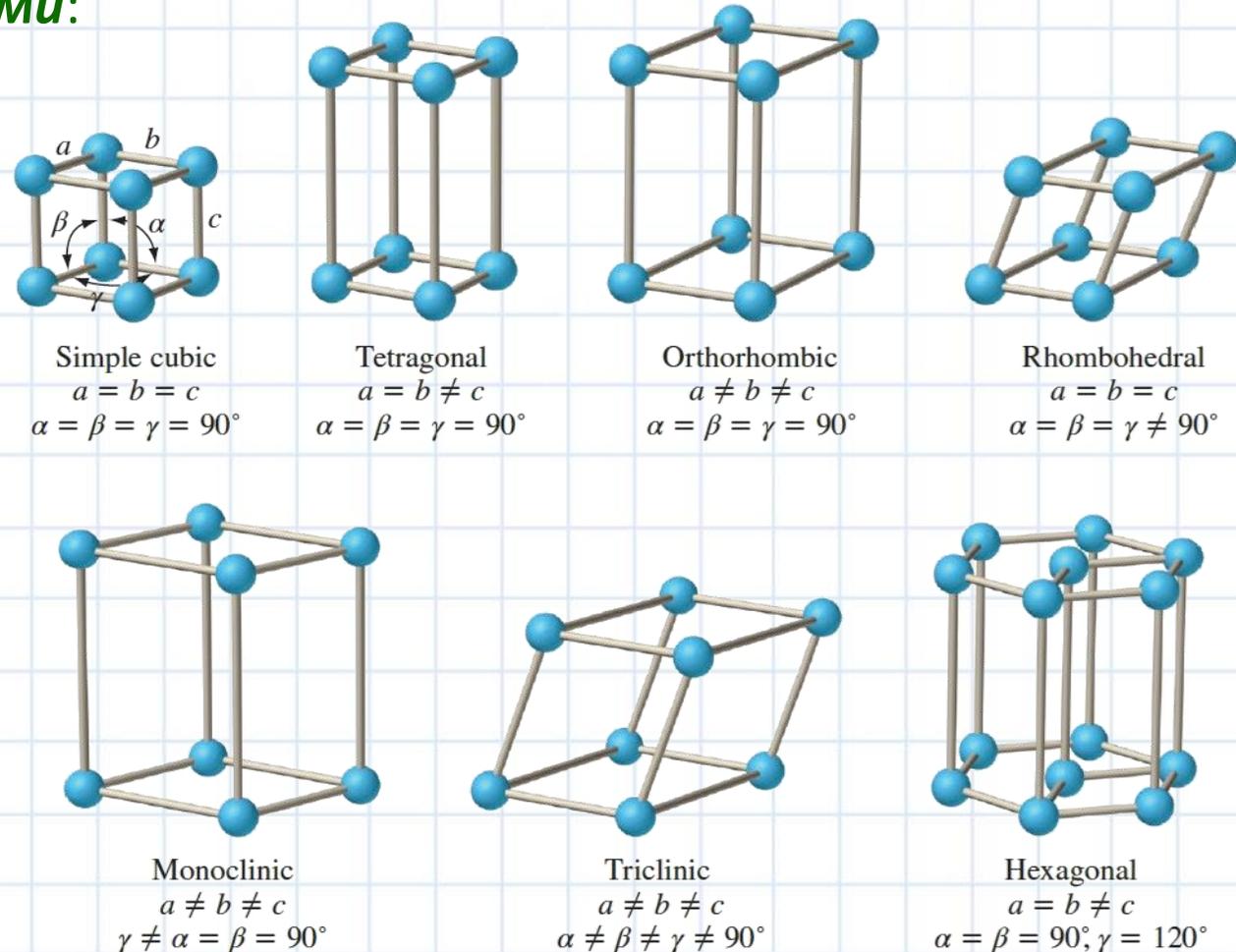
# АТОМНАЯ СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

кристаллическая структура, в узлах решётки которой находятся отдельные атомы, связанные между собой ковалентными связями:

## Кремний (Si)



$\rho = 2,33 \text{ г/см}^3$  ;  
 $t_{\text{пл.}} = 1415 \text{ С}$  ;  
 $t_{\text{кип.}} = 3500 \text{ С}$  ;



# АТОМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

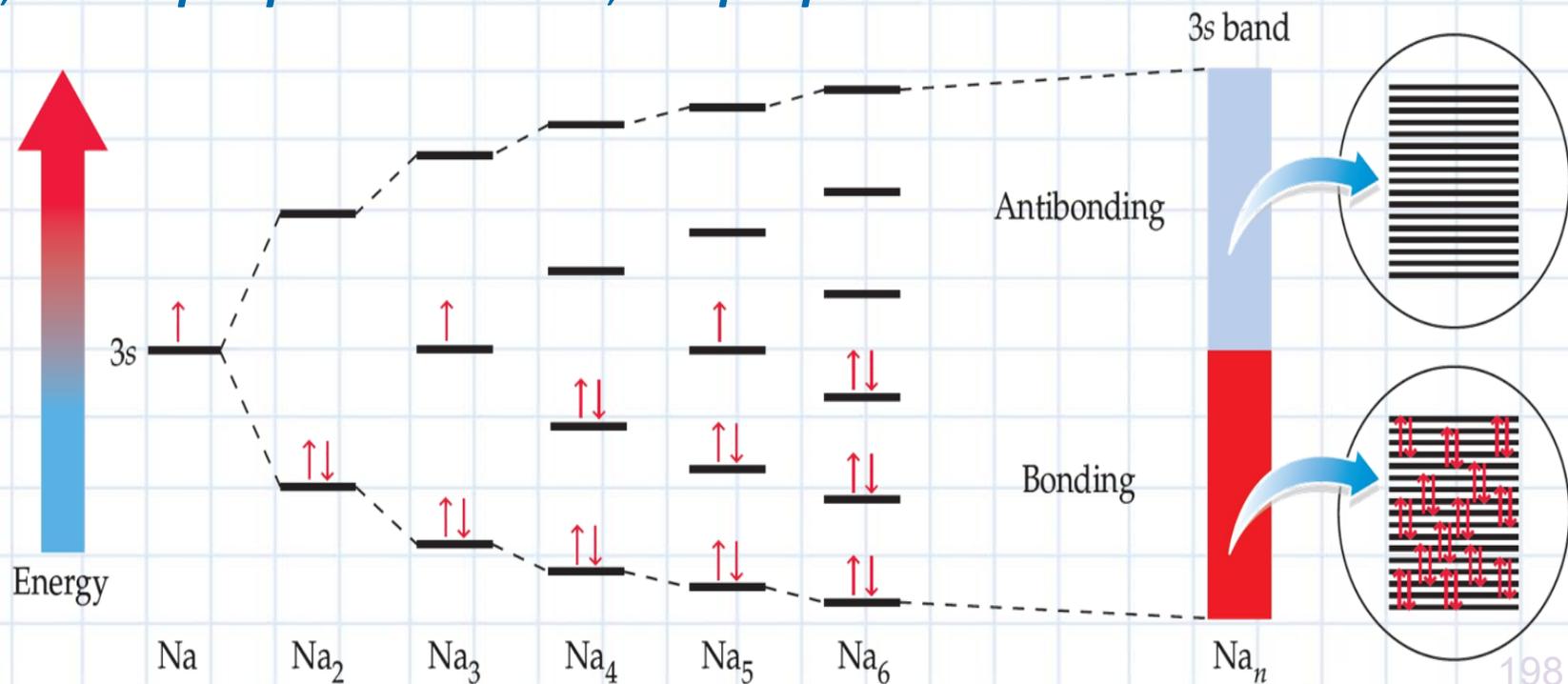
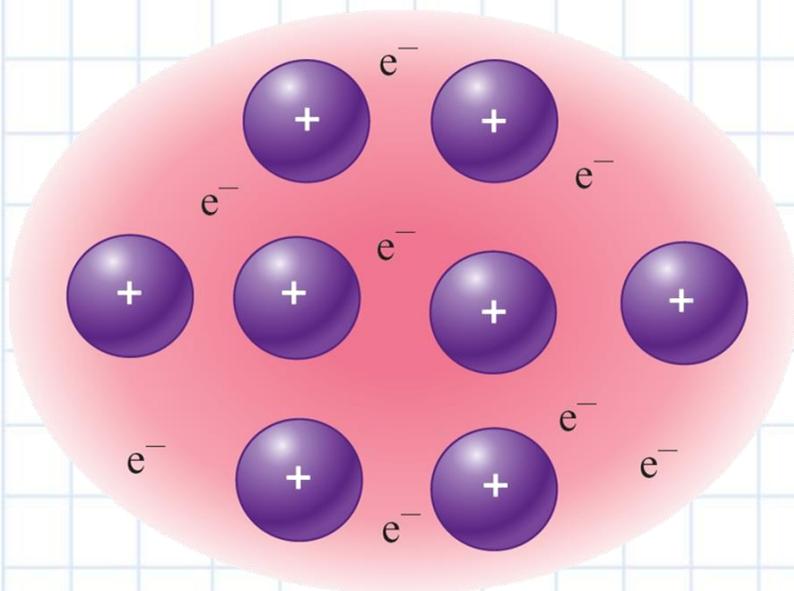
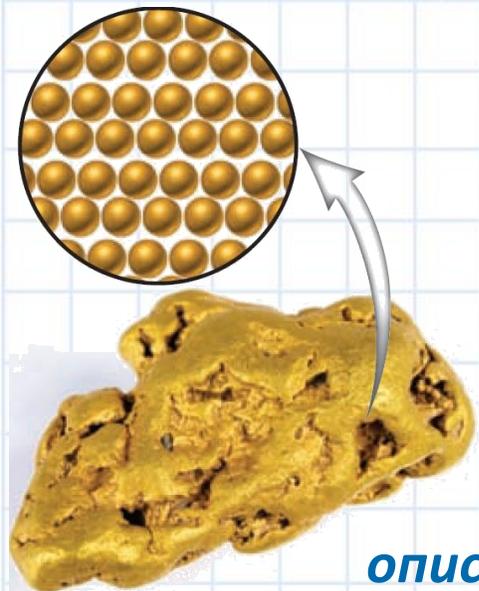
*для веществ с атомной кристаллической решёткой характерны высокая твёрдость и тугоплавкость, высокие температуры кипения и плавления; они являются диэлектриками и имеют крайне низкую растворимость в различных растворителях:*



# АТОМНО-МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

характеризуется отсутствием между атомами металла в узлах решётки направленных ковалентных связей, а взаимосвязь атомов происходит за счёт электромагнитного взаимодействия ядер атомов и делокализованных валентных электронов (металлическая связь);

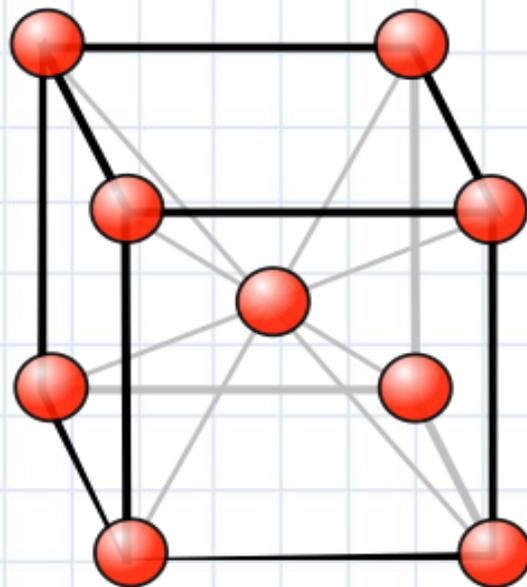
описывается физическими свойствами, такими как прочность, пластичность, теплопроводность, электропроводимость, непрозрачность и блеск:



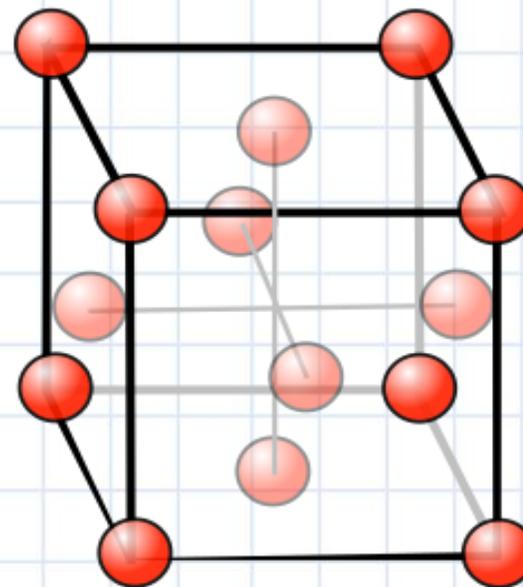


# АТОМНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

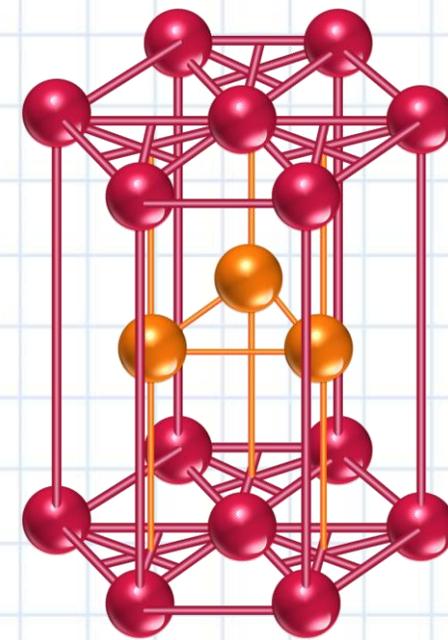
для металлов характерны кристаллические решётки с высокими координационными числами:



**ОЦК** (к.ч. 8, 68%):  
Li, Na, K, Rb, Cs,  
Ba, V, Cr, Mo, W,  
Mn, Fe



**ГЦК** (к.ч. 12, 74%):  
Cu, Ca, Ag, Au,  
Al, Pb, Co, Ni, Rh,  
Pd, Ir, Pt



**ГПУ** (к.ч. 12, 74%):  
Be, Mg, Zn, Cd,  
Ru, Os



# ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

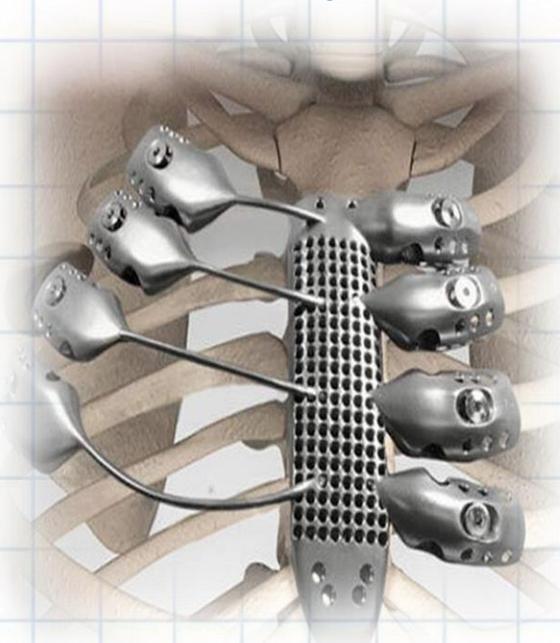
**интерметалли́д** — **соединение включения двух или более металлов;**

**для интерметаллидов характерна преимущественно металлическая связь между атомами в решётке, однако известны интерметаллиды с ионным и ковалентным типами химической связи; интерметаллиды обладают, как правило, высокой твёрдостью и высокой химической стойкостью, имеют более высокую температуру плавления, менее пластичны, чем исходные металлы и сообщают повышенную хрупкость сплавам, в структуру которых они входят, т. к. связь между атомами в решётке является переходной от металлической к ковалентной или ионной;**

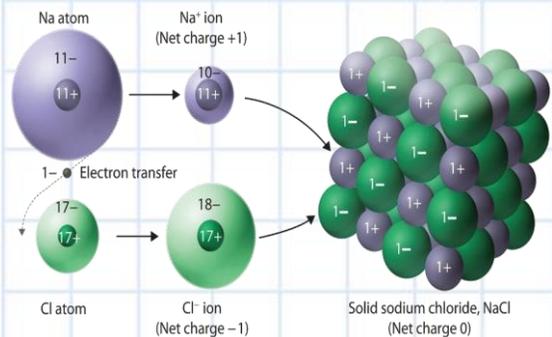
**некоторые из интерметаллидов обладают полупроводниковыми свойствами, причём, чем ближе к стехиометрии соотношение элементов, тем выше электрическое сопротивление;**

**никелид титана  $TiNi$ , известный под маркой «нитинол», обладает памятью формы — после закалки изделие может быть деформировано механически, но примет исходную форму при небольшом нагреве;**

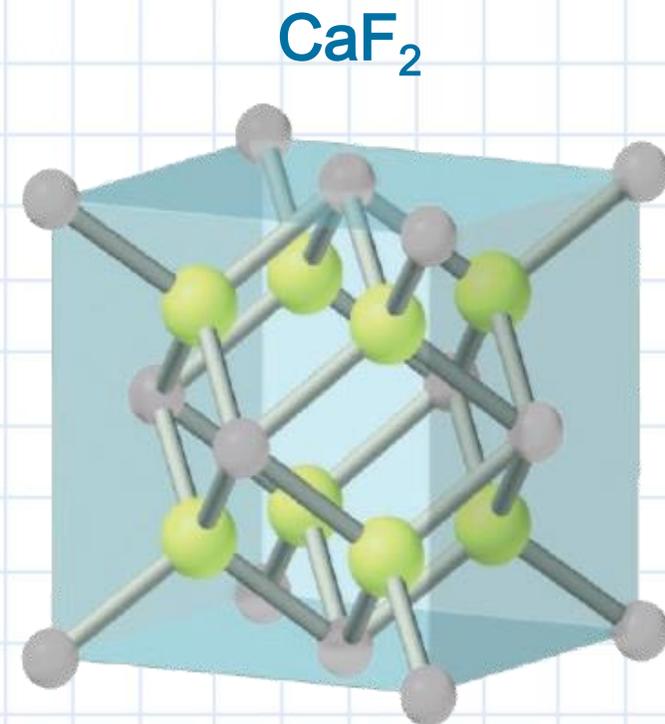
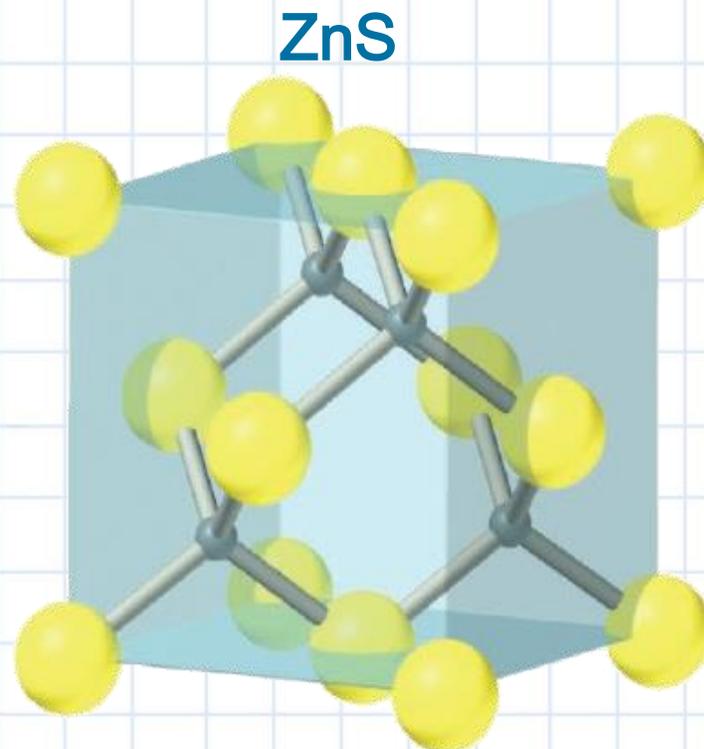
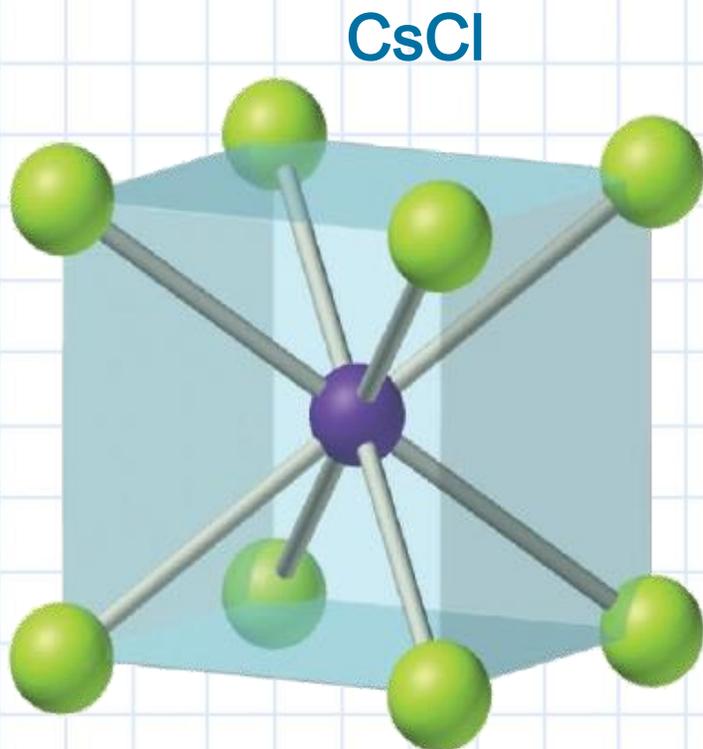
**в местах контакта различных металлов и их сплавов, постепенное образование интерметаллидов приводит к образованию пор, что приводит к ослаблению механической прочности контакта и ухудшению электрических характеристик материала**



# ИОННАЯ СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

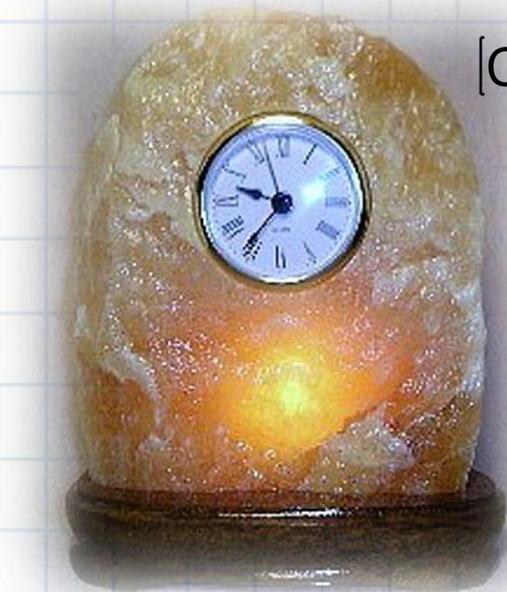
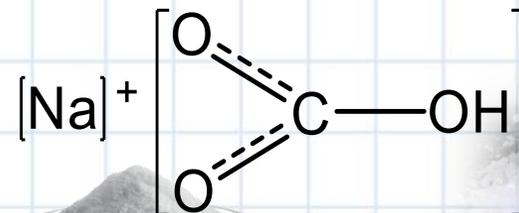
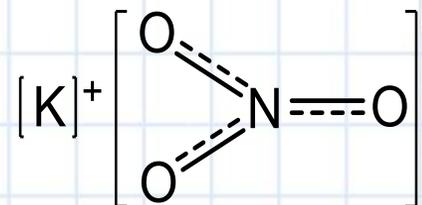
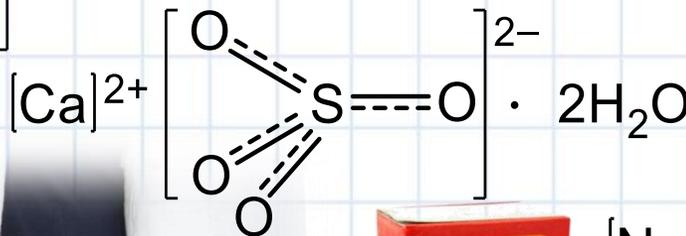
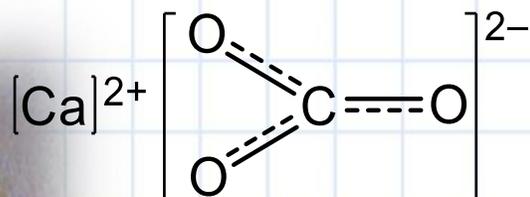
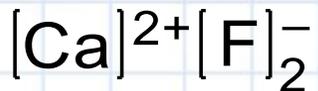


*кристаллическая структура, в узлах решётки которой находятся ионы (катионы и анионы), между которыми реализуются ионные связи, характеризующиеся высокой прочностью, ненаправленностью и ненасыщенностью, т.е. количество связанных частиц определяется координационным числом:*



# ИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

ионные соединения образованы противоположно заряженными ионами, между которыми возникает сильное электромагнитное взаимодействие, поэтому они характеризуются высокой прочностью, хрупкостью, высокими температурами плавления и кипения, растворимостью в воде (в зависимости от прочности кристаллической решётки), электропроводимостью в расплавленном состоянии и в растворах:

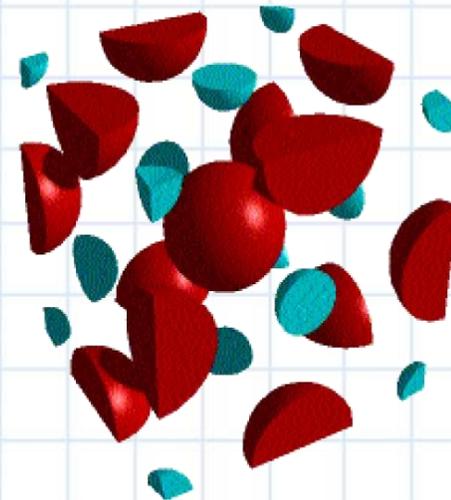
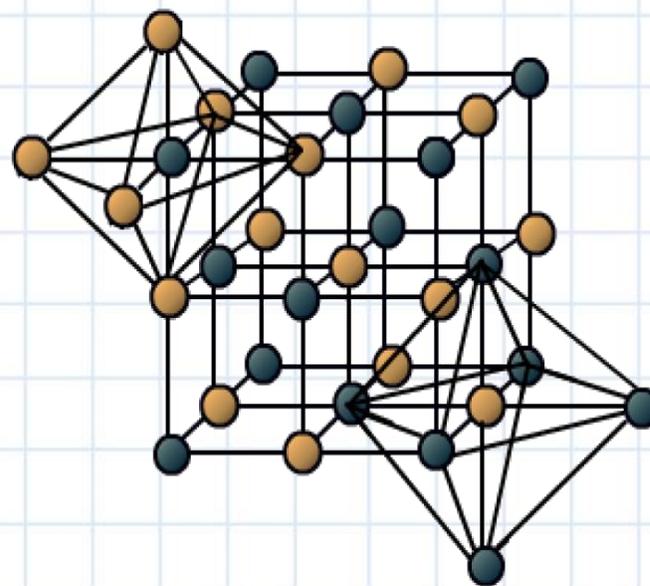
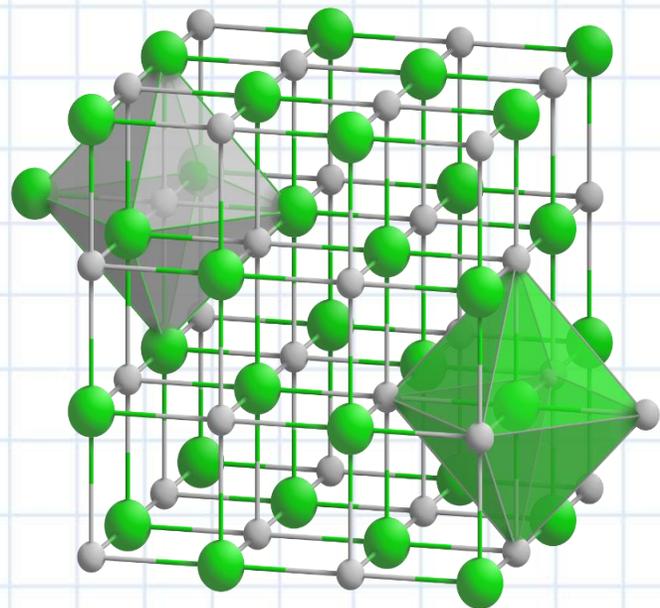
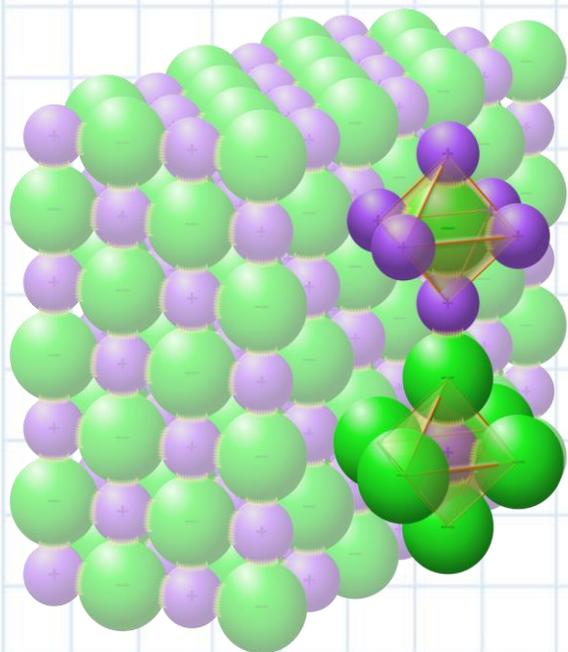


# ИОННАЯ СТРУКТУРА ХЛОРИДА НАТРИЯ

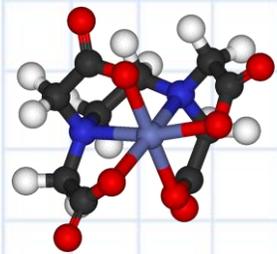
## структура кристалла поваренной соли NaCl:

структура представляет собой две вложенные гранецентрированные кубические решётки катионов натрия и хлорид-анионов, причём узлы одной кристаллической решётки попадают на середины рёбер кубических ячеек другой кристаллической решётки;

базис решётки —  $8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$  хлорид-иона и  $12 \cdot 1/4 + 1 = 4$  иона натрия;  
 $a = 0,565$  нм;  $\eta = 52,3$  % ; координационное число и натрия, и хлора равно 6;



изоструктурными являются соединения: MgO, TiO, TiC, NaI, KCl, RbF, AgCl, SrS



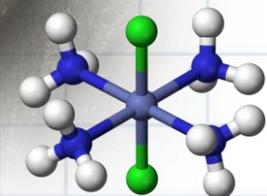
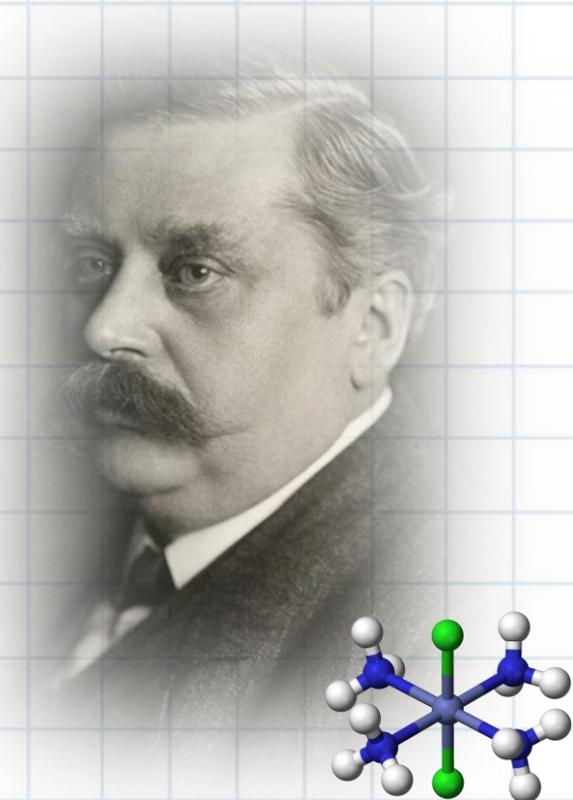
# КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

*сложные частицы, способные к самостоятельному существованию в узлах кристаллической решётки или в растворах, образованные из реально существующих более простых частиц.*

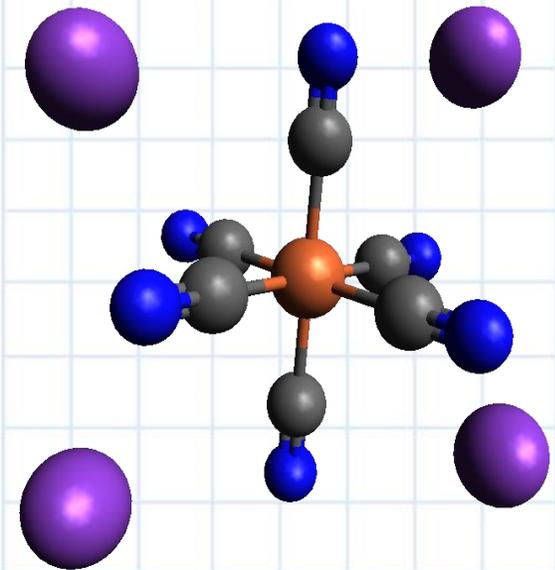
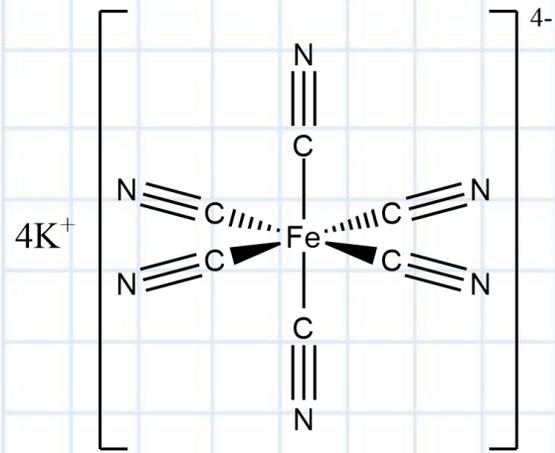
*координационная теория была создана в 1893 г. Альфредом Вёрнером (1866-1919, Цюрих) — швейцарский химик, лауреат Нобелевской премии по химии в 1913 г.*

## **основные положения:**

- 1) комплексные соединения характеризуются наличием центрального иона — комплексообразователя;**
- 2) центральный ион окружён лигандами, число которых определяется координационным числом, как правило, дважды превышающим степень окисления комплексообразователя;**
- 3) комплексообразователь и лиганд образуют внутреннюю сферу комплекса, заряд которой равен алгебраической сумме зарядов всех комплексообразователей и лигандов;**
- 4) в состав внешней сферы входят ионы противоположного знака;**



# ФОРМУЛА КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



комплексобразователь

лиганды



координационное число

внешняя сфера

внутренняя сфера, комплексный анион

комплексобразователь

лиганды



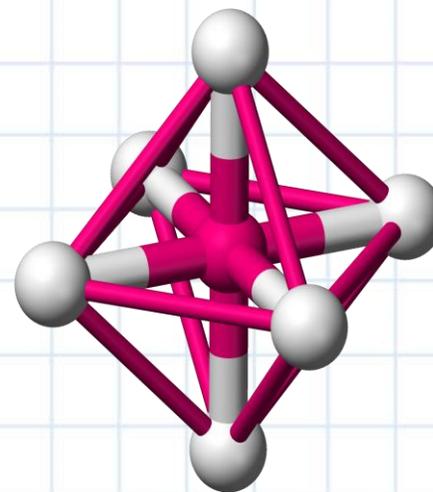
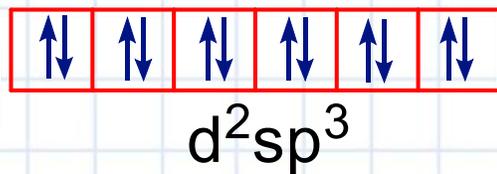
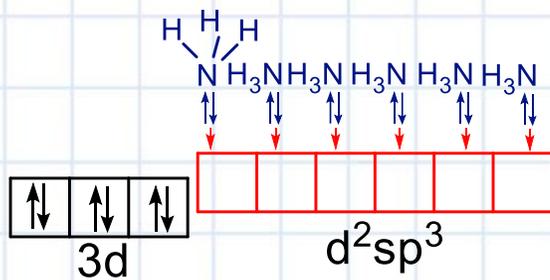
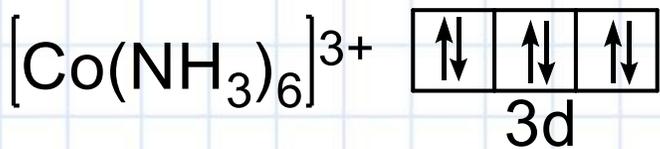
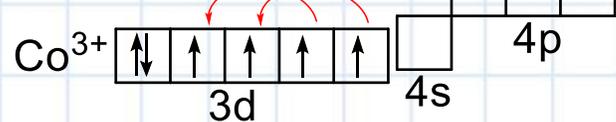
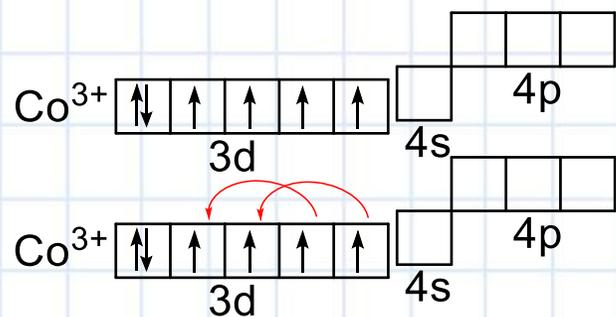
внешняя сфера

координационное число

внутренняя сфера, комплексный катион

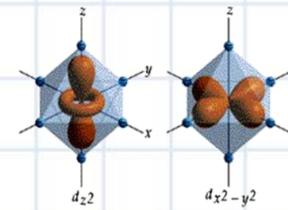
# СТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- 1) связь между комплексообразователем и лигандами образуется по донорно-акцепторному механизму, где лиганды являются донорами НЭП, а центральный элемент является акцептором;
- 2) атомные орбитали комплексообразователя подвергаются гибридизации и этим определяют геометрию комплекса;
- 3) при наличии неспаренных электронов на внешнем уровне комплекс проявляет парамагнитные свойства, а полное отсутствие неспаренных электронов обуславливает диамагнитные свойства;
- 4) наиболее прочные связи образуются с использованием *d*-орбиталей, следовательно, *d*-элементы являются типичными комплексообразователями;

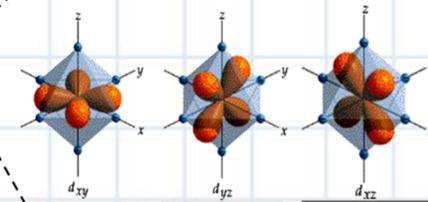
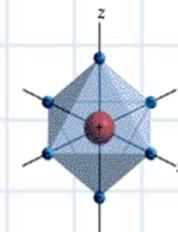


## d-Orbitals and Ligand Interaction (Octahedral Field)

Ligands approach metal



*d*-orbitals pointing directly at axis are affected most by electrostatic interaction



# НАЗВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

## система Вернера:

используется для обозначения соединений, рассматриваемых с позиций координационной теории; первое слово — название аниона с корнем латинского названия элемента-комплексообразователя и суффиксом «-ат» с указанием степени окисления по способу Штока; второе слово — русское название катиона в родительном падеже; элементы, связанные с центральным элементом аниона обозначаются префиксом по латинскому корню с числительной приставкой и суффиксом «-о» (исключение  $\text{H}_2\text{O}$  — «аква») и рассматриваются как лиганды:

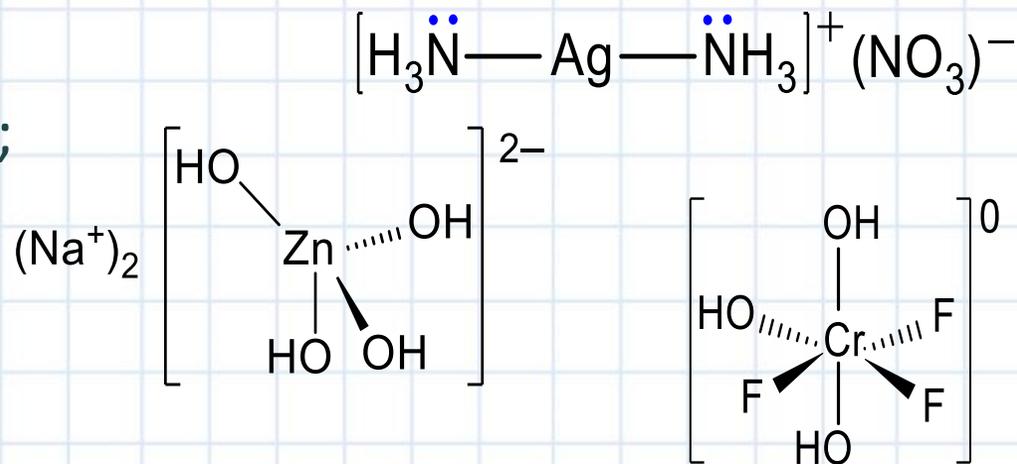
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{SO}_4)$  — сульфат тетраамминмеди(II);

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2](\text{NO}_3)$  — нитрат диамминсеребра(I);

$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$  — тетрагидроксоцинкат натрия;

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  — гексацианоферрат(III) калия;

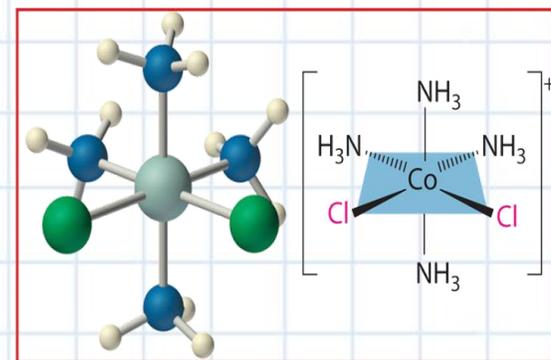
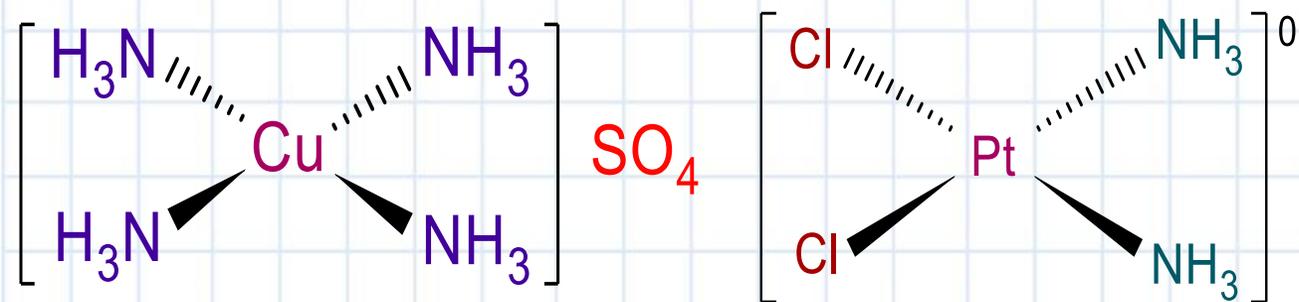
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3\text{F}_3]$  — трифторотриаквахром(III)



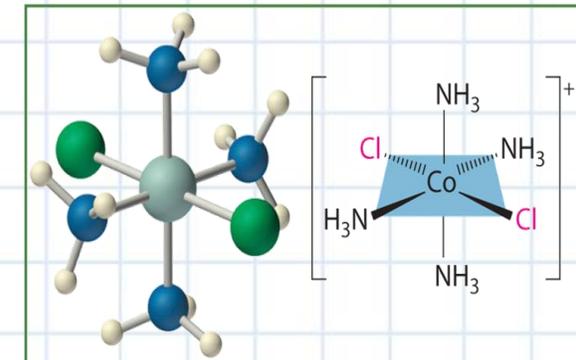


# ГРУППЫ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**аммиакаты:**  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$  и др;



(a) Red form



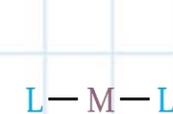
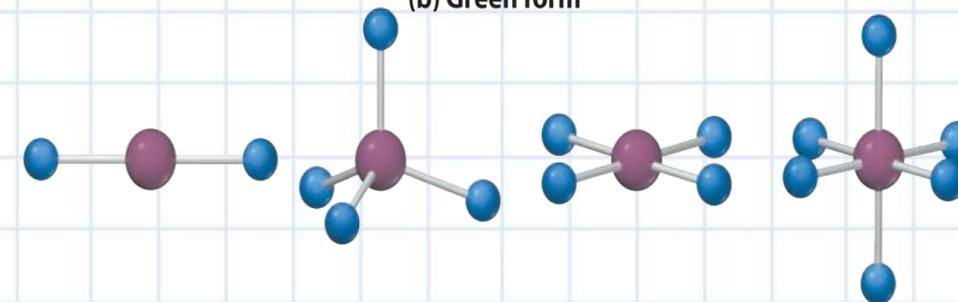
(b) Green form

**гидрозокомплексы:**  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ ,  $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$  и др;

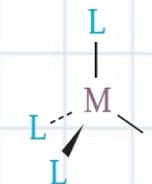
**аквакомплексы:**  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$ ,  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$  и др;

**ацидокомплексы:**  $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$ ,  $\text{H}_2[\text{SiF}_6]$ ,  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  и др;

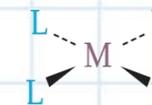
**карбонилы:**  $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ ,  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  и др;



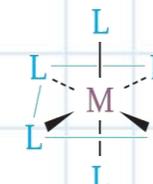
Linear  
(two-coordinate)



Tetrahedral  
(four-coordinate)

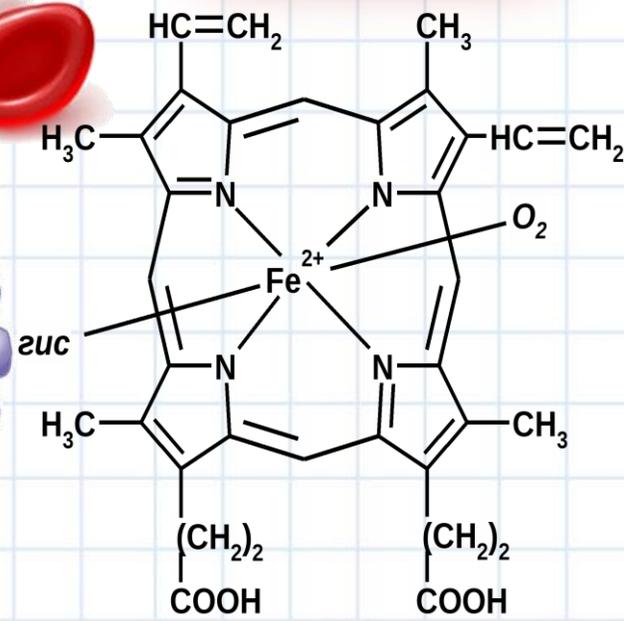
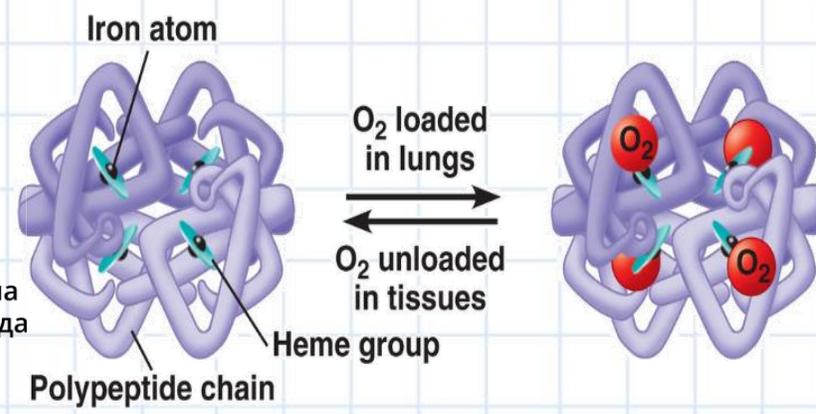
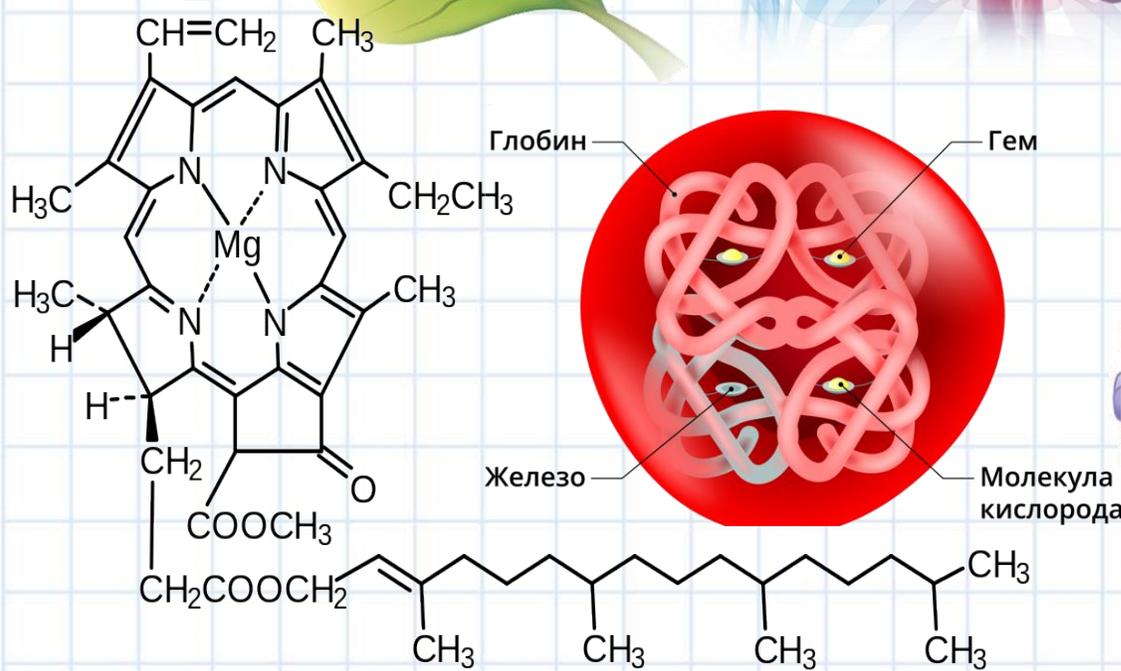
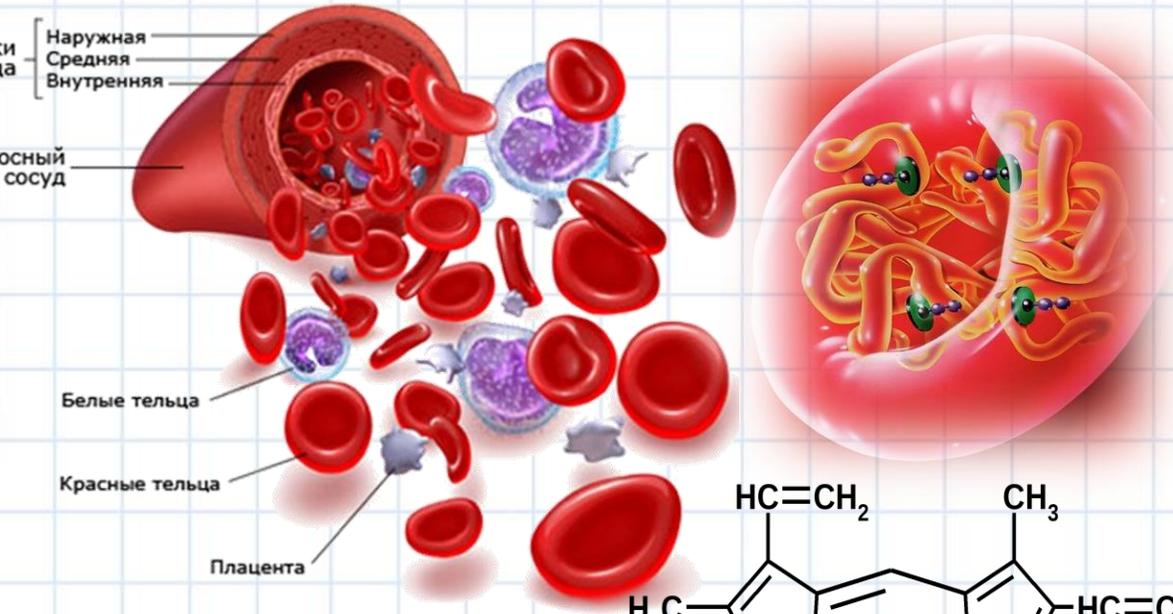
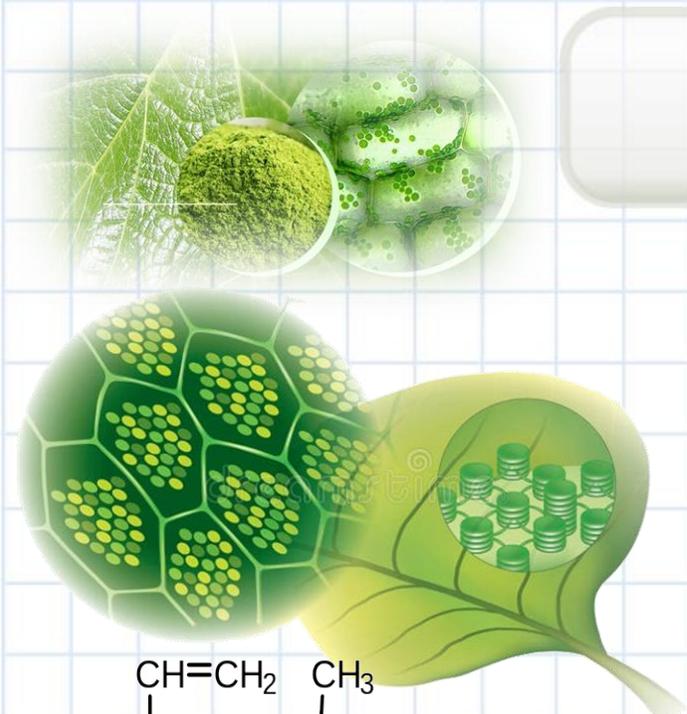


Square planar  
(four-coordinate)

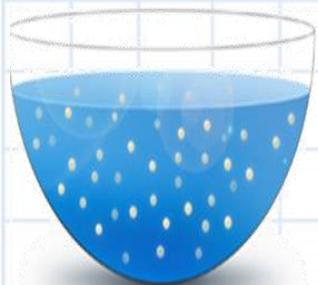


Octahedral  
(six-coordinate)

# КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПРИРОДЕ



# ДИСПЕРСНАЯ СИСТЕМА

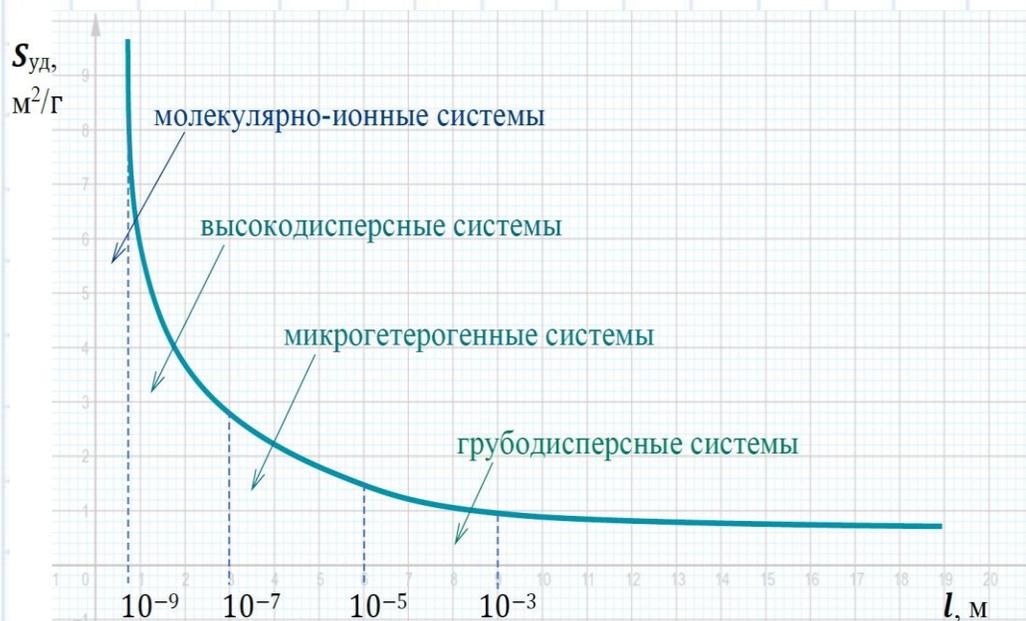


дисперсная фаза  
дисперсионная среда

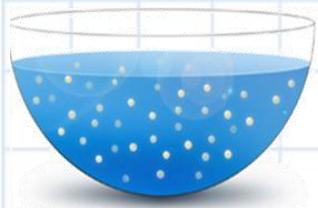
от латинского *dispersio* — рассеяние, *dispersus* — рассеянный, рассыпанный;

**система, в которой одно или несколько веществ (дисперсная фаза) равномерно распределено в другом веществе (дисперсионная среда) с сильно развитой поверхностью между ними;**

по размерам частиц фазы дисперсные системы подразделяют на: **грубодисперсные, низкодисперсные — суспензии, порошки и др. с размером частиц больше  $10^{-5}$  м; тонкодисперсные, микрогетерогенные системы, от  $10^{-5}$  м до  $10^{-7}$  м — взвеси, пасты, пены, эмульсии, гели...; высокодисперсные, ультрамикрогетерогенные системы, коллоиды с размером частиц дисперсной фазы от  $10^{-7}$  м до  $10^{-9}$  м — аэрозоли, лиозоли, солидозоли**



Дисперсная фаза	газ	жидкость	твёрдая
Дисперсионная среда			
<b>газообразная</b>	—	аэрозоль, туман, облака, дезодорант...	дым, пыль, смог, порошки и т.п.
<b>жидкая</b>	пена, пены, взбитые сливки, муссы и т.п.	эмульсия, сливки, масло, майонез, крем, кровь, нефть и т.п.	лиозоль, краски, глина, паста, ил, латекс и т.п.
<b>твёрдая</b>	почва, пемза, пенобетон, вулканическая лава, пробка, полиуретан, пенополимеры, микропора и т.п.	гель, желе, желатина, агар-агар, жемчуг, вода в бетоне, латекс в полимере и т.п.	солидозоль, сплавы, бетон, композиты, стёкла, минералы и т.п.



дисперсная фаза  
дисперсионная среда

# СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

## микрoгетерогенные

более  $10^{-4}$  —  $10^{-7}$  м

взвеси микроорганизмов, эмульсии,  
суспензии, взвеси эритроцитов

гетерогенные

частицы видны в оптический  
микроскоп

термодинамическая и кинетическая  
неустойчивость

быстро стареют и оседают

отражают свет

частицы задерживаются бумажным  
фильтром

## ультрамикрoгетерогенные

$10^{-7}$  —  $10^{-9}$  м

жемчуг, молоко, майонез, стекло, золь  
гидроксида железа в воде

гетерогенные

частицы фиксируются в электронном  
ультрамикроскопе

термодинамическая и кинетическая  
относительная устойчивость

стареют во времени, но заметно не  
оседают

рассеивают свет, опалесцируют

частицы задерживаются  
ультрафильтрами

## молекулярные и ионные

менее  $10^{-9}$  м

растворы неэлектролитов и  
электролитов

гомогенные

частицы не фиксируются  
современными микроскопами

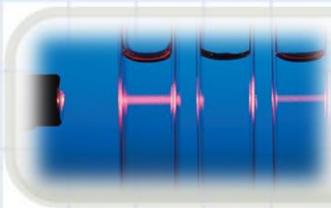
термодинамическая и  
кинетическая устойчивость

не стареют и не оседают

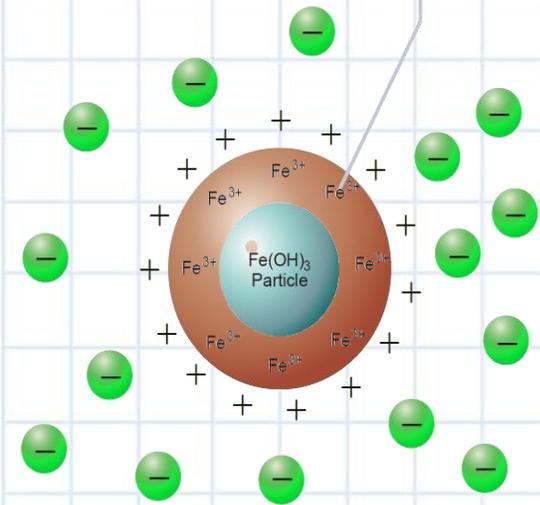
абсолютно прозрачны

частицы не задерживаются на  
фильтрах

# ЛИОФОБНАЯ СИСТЕМА



Colloidal particle



Fe(OH)<sub>3</sub> particle surrounded by Cl<sup>-</sup> ions

от древнегреческого λύω — растворять и φόβος — страх, боязнь;  
 дисперсная система с высоким межфазовым натяжением; характеризуется большой межфазовой свободной энергией, следовательно, система является агрегативно неустойчивой и требует присутствия стабилизатора;  
 структурной единицей является мицелла (от латинского micella — крошка) — отдельная частица дисперсной фазы лиофобного золя в жидкой среде; мицелла состоит из ядра кристаллической или аморфной структуры и поверхностного слоя, включающего связанные молекулы воды; ядро мицеллы окружено двумя слоями ионов (двойным электрическим слоем, ДЭС);

мицелла

число положительных и отрицательных зарядов в мицелле в целом одинаково, и поэтому она электронейтральна;

поверхностный слой мицеллы образован адсорбированными молекулами или ионами стабилизирующего электролита

агрегат

потенциалопределяющие ионы

противоионы



ядро

адсорбционный плотный слой

диффузный рыхлый слой

коллоидная частица (гранула)

# ЛИОФИЛЬНАЯ СИСТЕМА

от древнегреческого λύω — растворять и φιλέω — любить;  
гомогенные дисперсные системы, образованные ассоциатами дифильных молекул, лиофильные группы которых обращены к растворителю, а лиофобные группы соединяются друг с другом, образуя ядро;

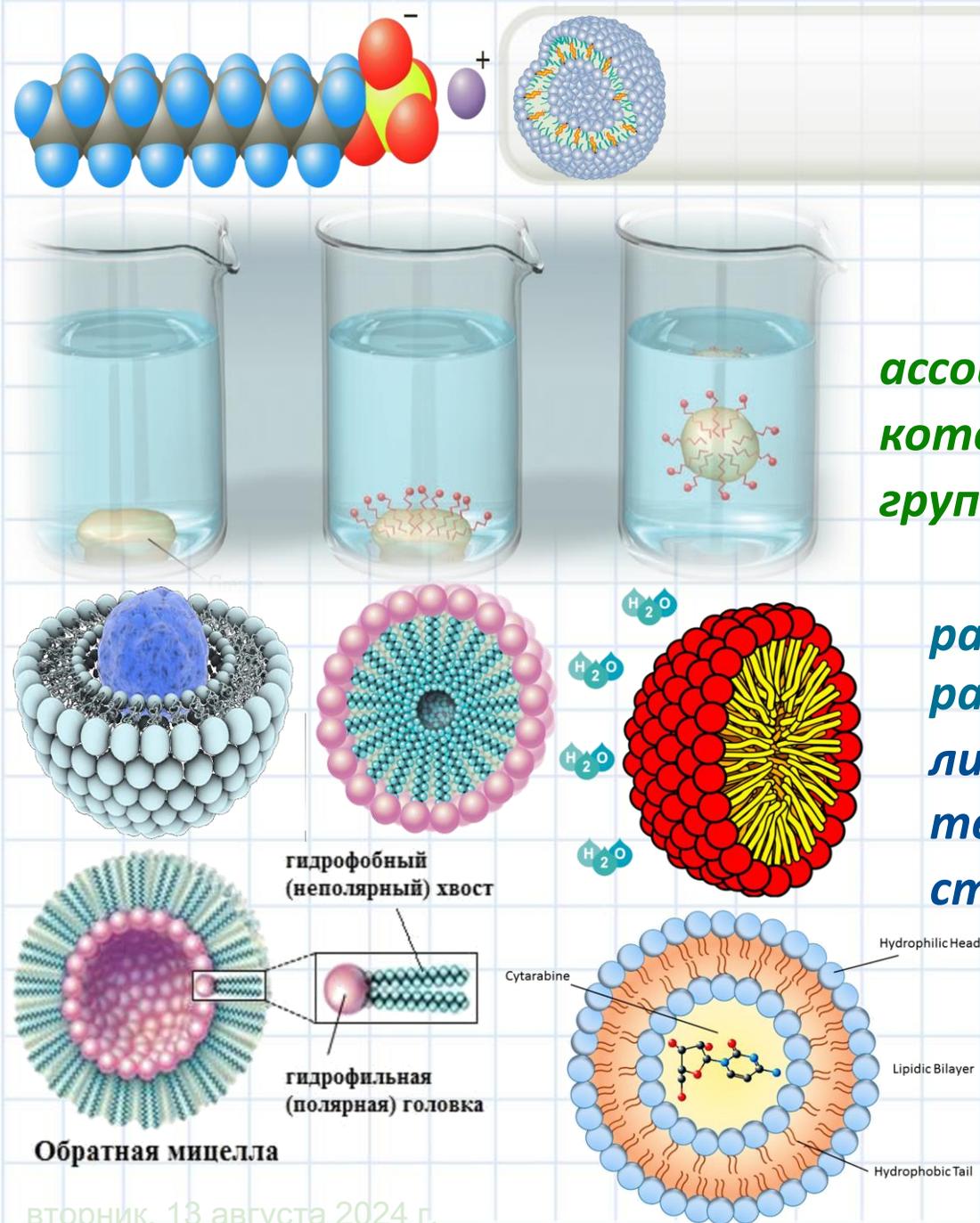
к лиофильным системам относятся:

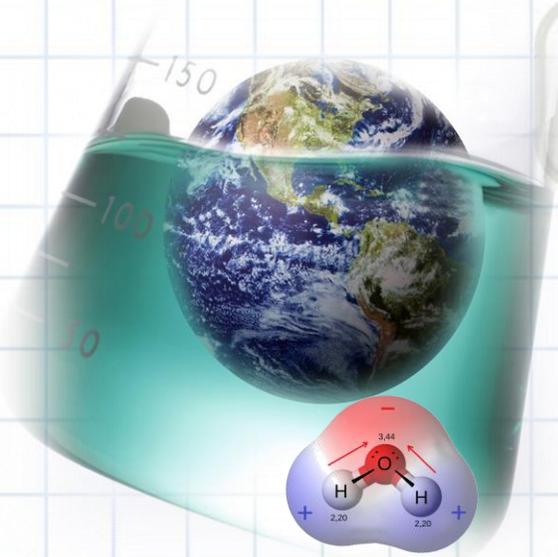
растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) и растворы высокомолекулярных соединений (ВМС); лиофильные системы в отличие от лиофобных золь термодинамически устойчивы и обратимы;

структурной единицей является (гидратированная)

макромолекула (ВМС), а не мицелла

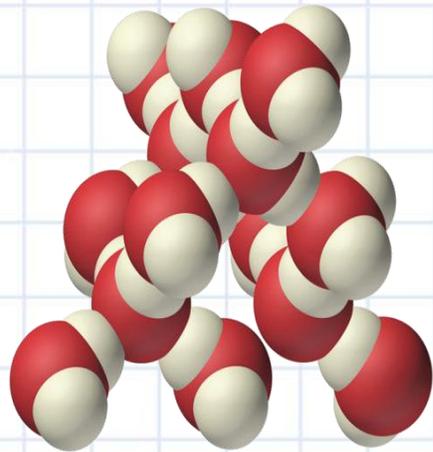
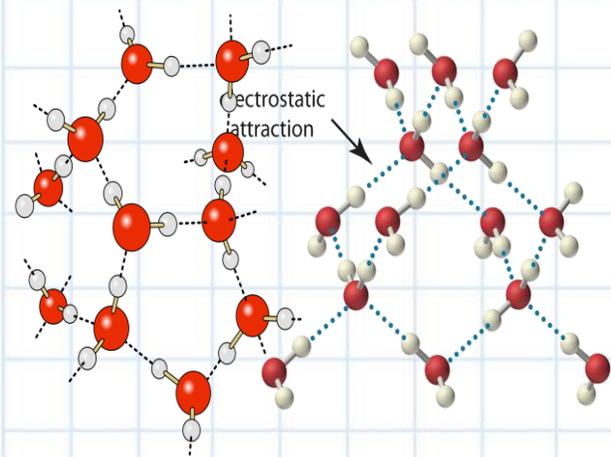
(как у лиофобных золь); лиофильные системы являются истинными растворами высокомолекулярных соединений (ВМС)





**оксид водорода — бинарное неорганическое соединение  $\text{H}_2\text{O}$ ;**  
**вода при н.у. может находиться в трёх фазовых состояниях одновременно;**  
**плотность воды при  $25^\circ\text{C}$  составляет  $997\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  и растёт до  $1\text{ т}\cdot\text{м}^{-3}$  при  $4^\circ\text{C}$ ,**  
**но между  $4^\circ\text{C}$  и  $0^\circ\text{C}$  плотность воды уменьшается, т.о. при замораживании**  
**объём воды увеличивается на 1 %;**

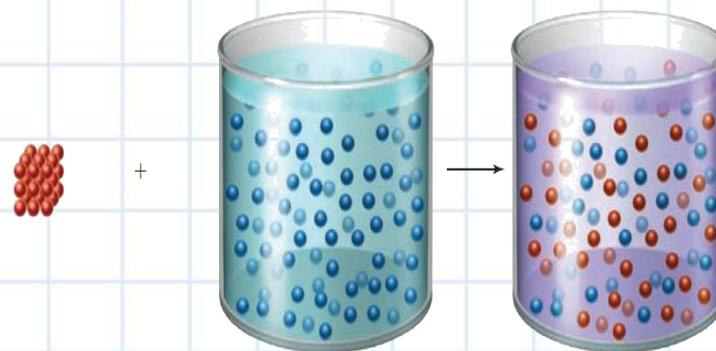
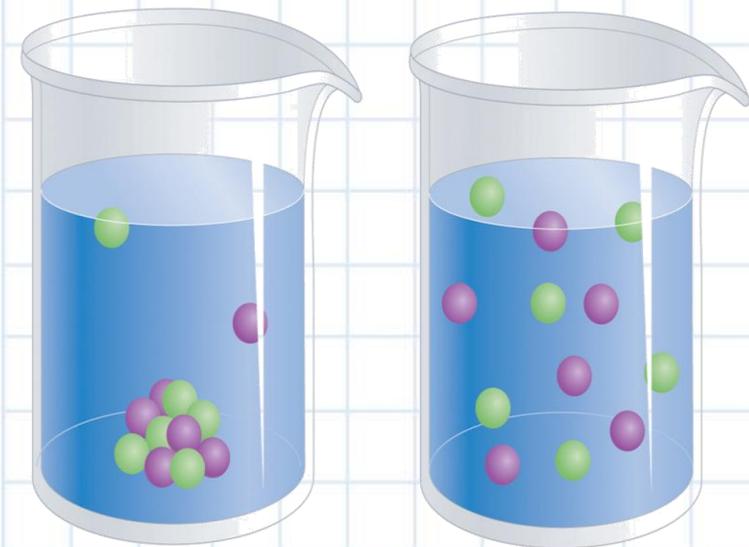
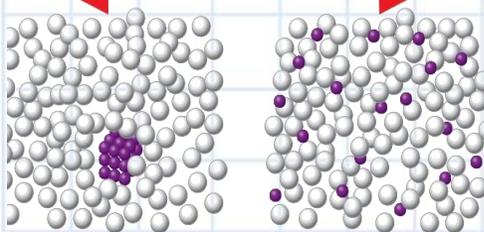
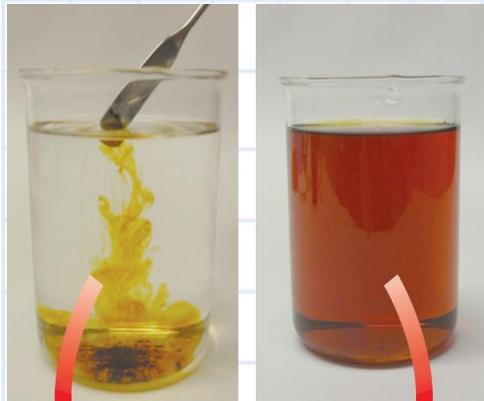
**теплоёмкость воды в 5 раз больше теплоёмкости песка, что делает её хорошим охладителем,**  
**т.о. океаны Земли отвечают за смягчение климата на нашей планете, обеспечивая существование**  
**жизни; полярность молекул воды, высокое значение диэлектрической проницаемости и наибольшее,**  
**после ртути, поверхностное натяжение определяют воду, как универсальный растворитель;**



**вода смачивает большинство веществ и такие**  
**вещества называются гидрофильными; другие**  
**вещества, такие как жиры, воск и пластики, не**  
**намокают, т.е. являются гидрофобными; капиллярный**  
**эффект обеспечивает движение воды в почве и по**  
**корням растений, и крови по кровеносным сосудам**

# РАСТВОРЫ

*однофазная система переменного состава, состоящая из двух или более компонентов с частицами размером менее  $10^{-9}$  м*



Solid

Liquid

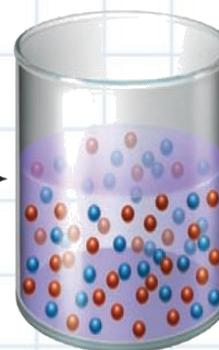
Solution



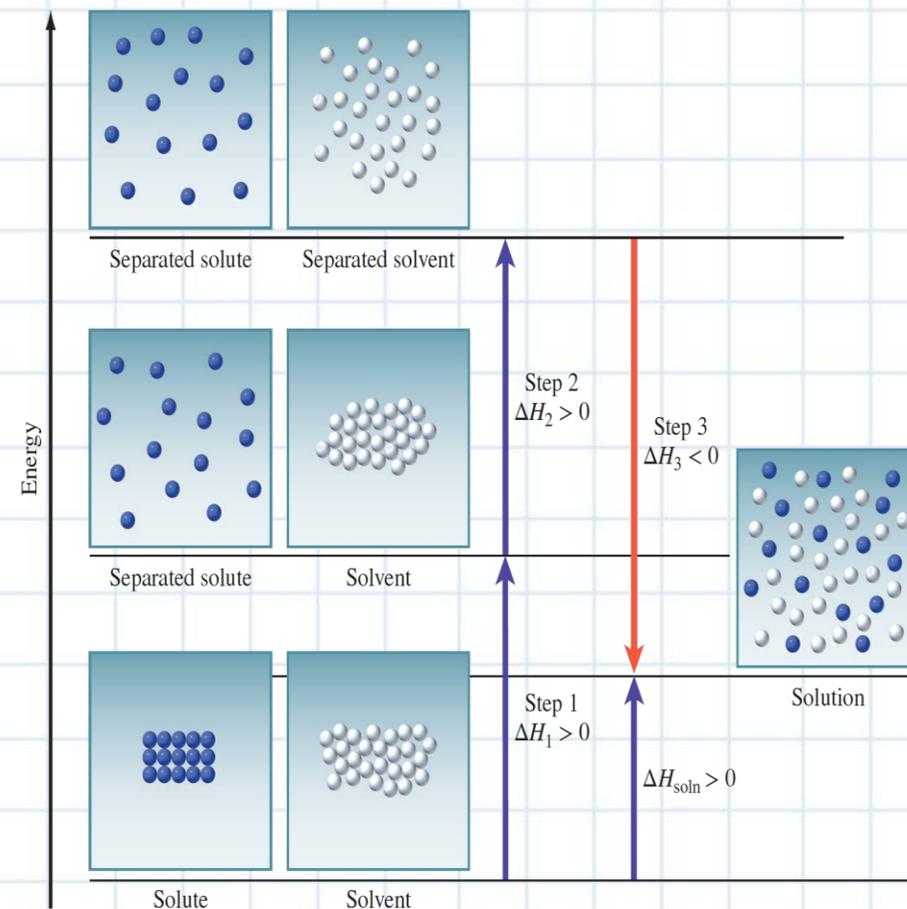
Liquid 1



Liquid 2



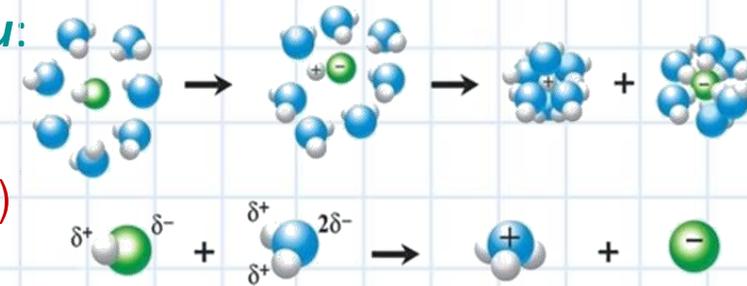
Solution



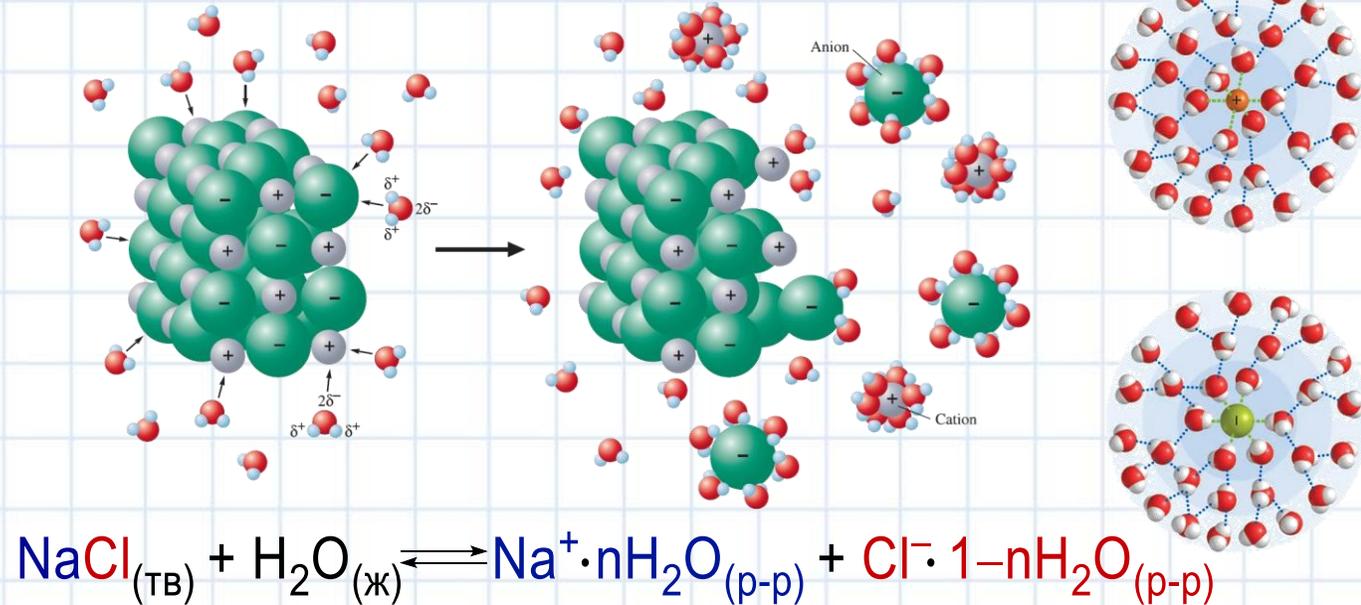
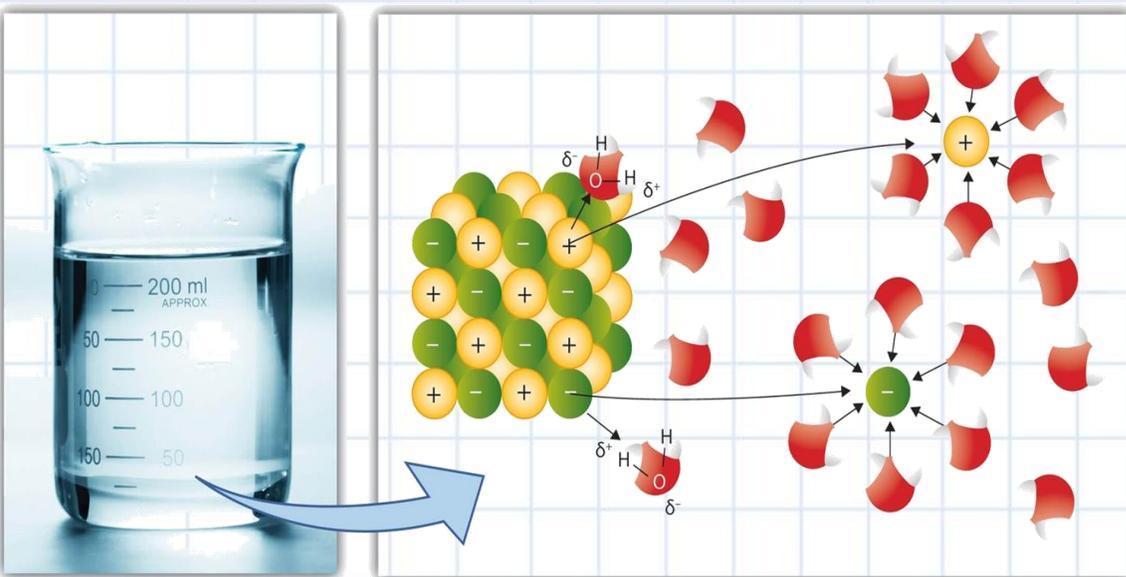
# РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

*равновесный процесс распада электролита в растворе на ионы под действием молекул воды — электролитическая диссоциация;*

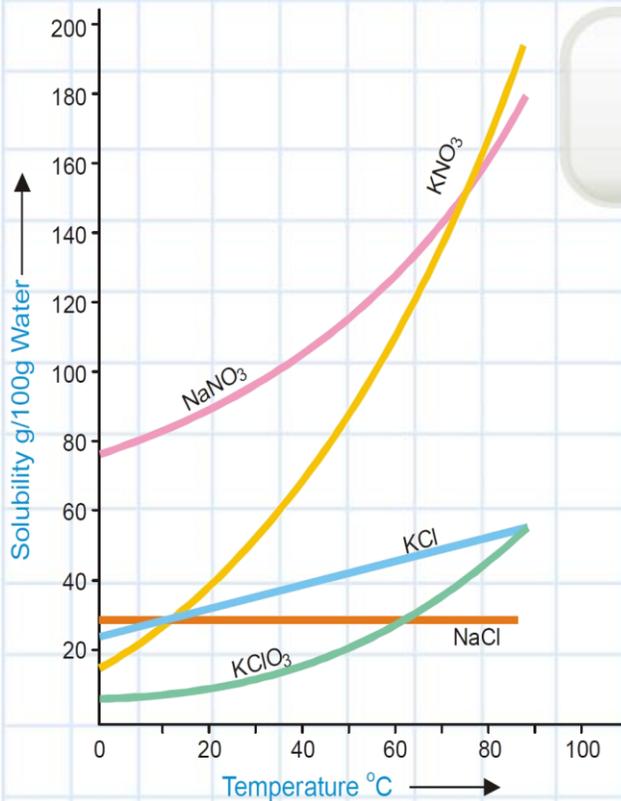
*механизм диссоциации соединений с полярным типом химической связи:*



*с ионным типом химической связи:*



# РАСТВОРИМОСТЬ



**способность вещества растворяться в определённом растворителе;**  
**растворитель** — компонент, фазовое состояние которого не изменяется при образовании раствора; в растворах, образующихся при смешении газа с газом, жидкости с жидкостью, твёрдого вещества с твёрдым растворителем, считается компонент, количество которого преобладает;

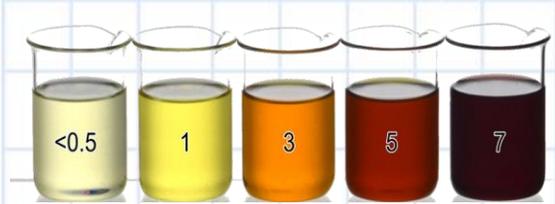
**насыщенный раствор** — раствор, в котором содержание растворённого вещества соответствует его растворимости при данной температуре и фиксированном давлении;

**концентрированный раствор** — раствор, по содержанию растворённого вещества, являющийся насыщенным или близким к насыщению;

**разбавленный** — раствор, по содержанию растворённого вещества, далёкий от насыщения.

**ненасыщенный раствор** — раствор, в котором содержание растворённого вещества меньше его растворимости при данной температуре и фиксированном давлении;

**пересыщенный раствор** — раствор, в котором содержание растворённого вещества превышает значение его растворимости при данной температуре и фиксированном давлении;



# КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СОСТАВА РАСТВОРА

**массовая доля вещества,  $\omega$** , безразмерная — **отношение массы компонента  $A$  к массе системы:**

$$\omega(A) = \frac{m(A)}{\sum m(\text{компоненты системы})}$$

**часто эту величину выражают в %**

$$\omega(A) \times 100 \%$$

**объёмная доля,  $\varphi$** , безразмерная — **отношение объёма компонента  $A$  к объёму всей системы:**

$$\varphi(A) = \frac{V(A)}{\sum V(\text{компоненты системы})}$$

**мольная доля,  $\chi$** , безразмерная — **отношение количества компонента  $A$  к общему количеству всех компонентов системы:**

$$\chi(A) = \frac{n(A)}{\sum n(\text{компоненты системы})}$$

**молярная концентрация,  $C_M$** , моль·л<sup>-1</sup> — **отношение количества компонента  $A$  к объёму системы:**

$$C_M(A) = \frac{n(A)}{V}$$

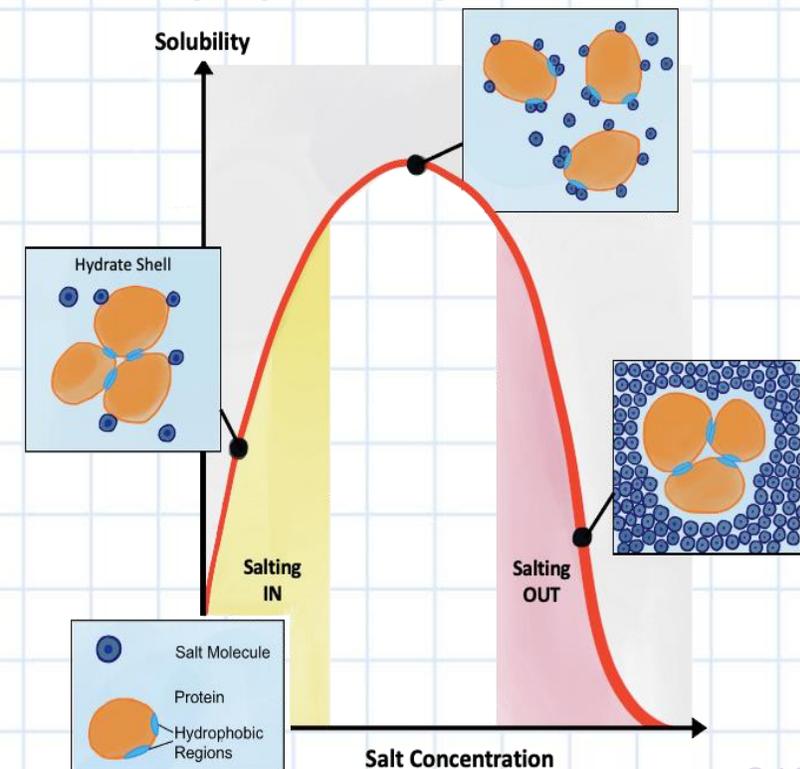
# ВЫСАЛИВАНИЕ

*выделение растворённого компонента из раствора прибавлением вещества, обладающего большей растворимостью;*

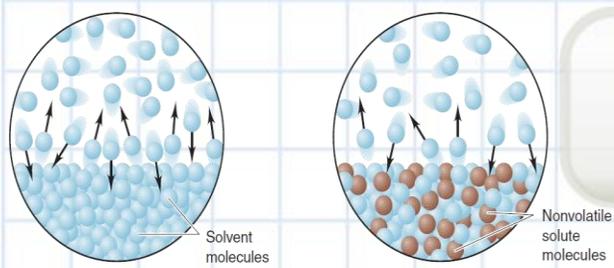
*И. М. Сеченовым было установлено, что растворимость газов в растворителе резко понижается при растворении в нём других жидких или твёрдых веществ; это явление объясняется большей энергией сольватации, гидратации, твёрдых и жидких веществ при растворении по сравнению с большинством газообразных веществ;*

$$K C_b (B - Ba) = \lg \frac{\chi_0(\text{газ})}{\chi(\text{газ})} ; \quad \chi(\text{газ}) = \chi_0(\text{газ}) \cdot e^{-K C_b (B - Ba)}$$

*с ростом содержания кислорода в крови, облегчается выделение из неё углекислого газа, и, наоборот, с ростом парциального давления диоксида углерода растворимость кислорода в крови возрастает; поэтому при удушье углекислым газом необходим приток свежего воздуха, а лучше, вдыхание чистого кислорода; высаливание используется для осаждения ВМС: белков или ДНК; количество соли для осаждения отличается для разных белков, поэтому используют точную концентрацию электролита для осаждения целевого белка*

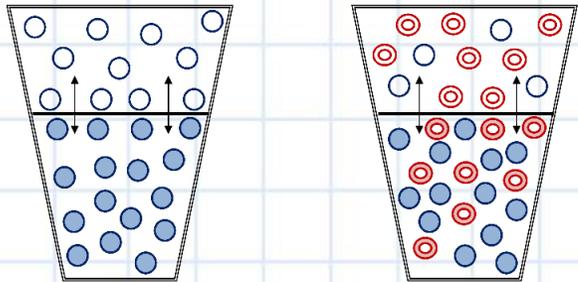


# КОЛЛИГАТИВНЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ



от английского *colligate* – связывать, обобщать;

свойства, обусловленные самопроизвольным движением частиц, т.е. свойства растворов, зависящие только от количества частиц, но не зависящие от их природы;



чистый растворитель  
(вода)

раствор газа в воде

закон Дальтона 1801 г.:  $p(\text{газа}) = p(\text{пара над раствором}) \cdot \chi(\text{газа в растворе})$ ;

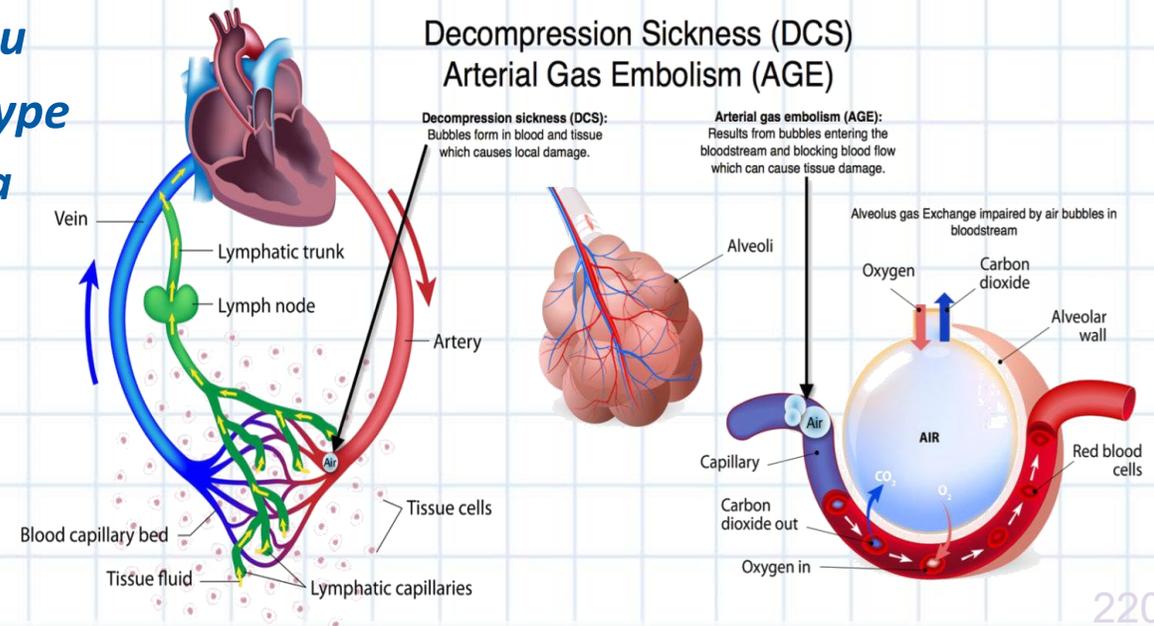
$$p_{\text{пара}} = p_1 + p_2 + \dots + p_i \quad \text{с увеличением температуры раствора}$$

при постоянном давлении растворимость газа уменьшается;

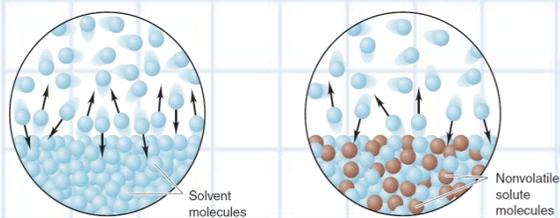
закон Генри 1803 г.:  $\chi(\text{газа в растворе}) = p(\text{общее}) \cdot K(\text{константа Генри})$ ;

растворимость газа при постоянной температуре прямо пропорциональна общему давлению над раствором:

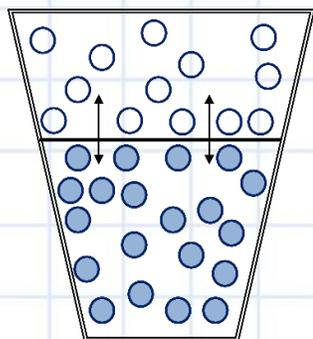
кессонная болезнь и горная болезнь:



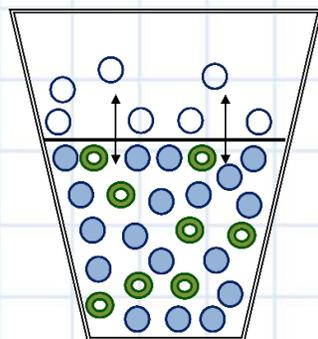
# ЗАКОНЫ РАУЛЯ



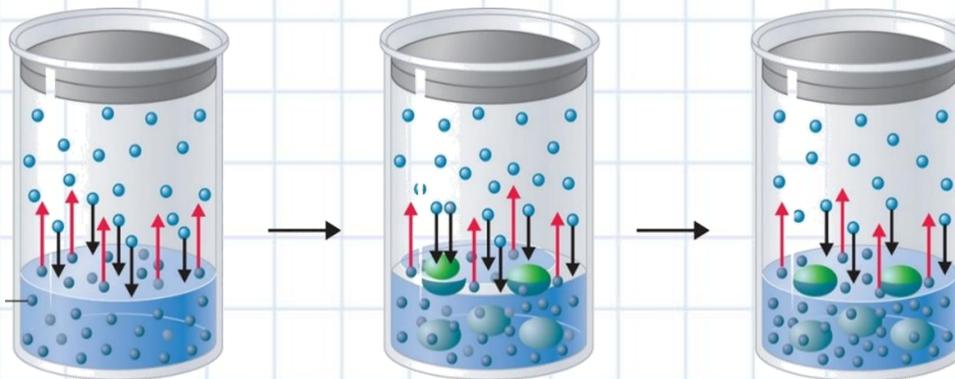
*Франсуа Мари Рауль, Франция 1887 г.: чем больше частиц растворённого вещества в растворе, тем меньше парциальное давление растворителя над раствором; понижение давления пара приводит к тому, что раствор кипит при более высокой температуре, чем растворитель и замерзает при более низкой температуре, чем растворитель:*



чистый растворитель  
(вода)



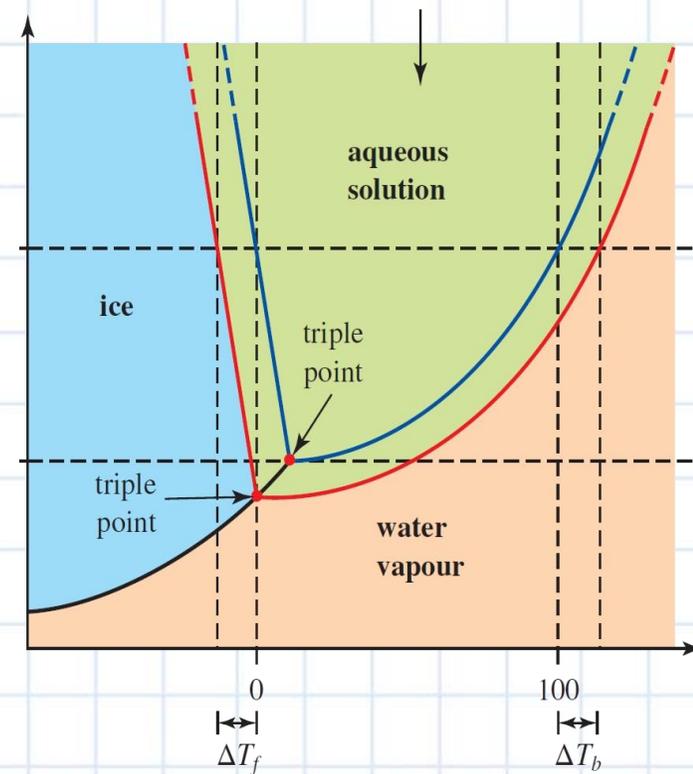
раствор твёрдого вещества в воде



$$(p_0 - p) / p_0 = \chi(\text{в-ва});$$

$$T_{f^0} - T_f = i \cdot K C_m;$$

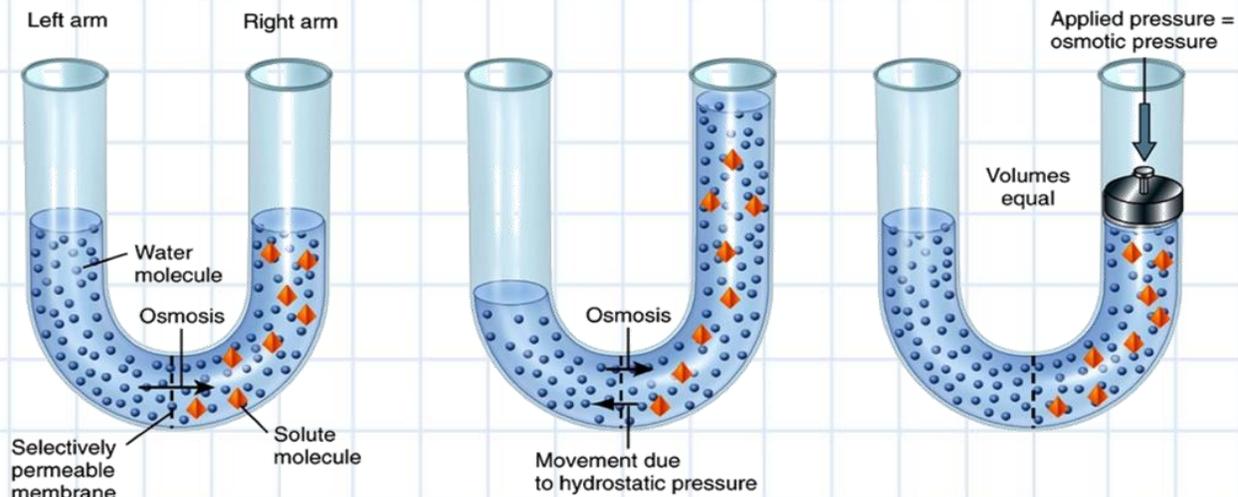
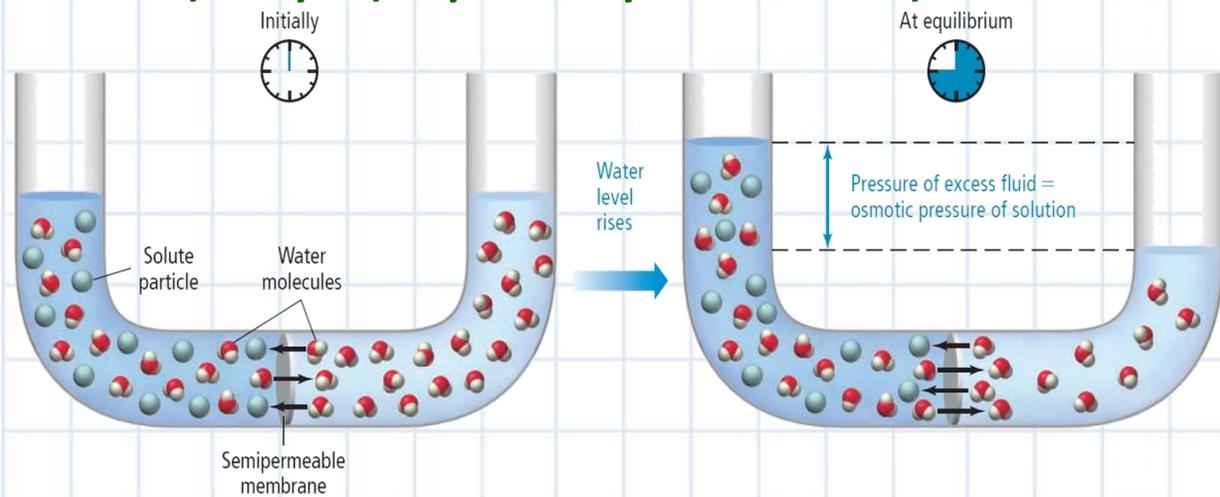
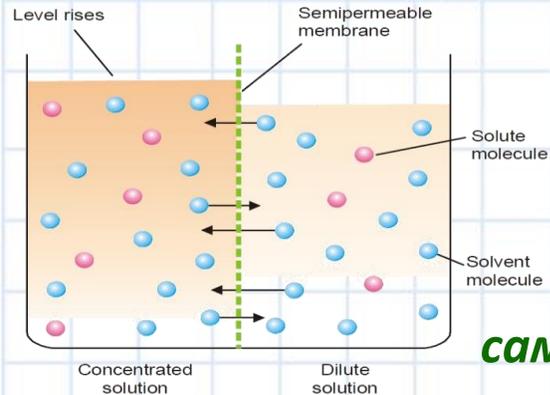
$$T_{b^0} - T_b = i \cdot E C_m;$$



- — молекулы воды в растворе
- — молекулы водяного пара
- ⊙ — частицы вещества в растворе

от греческого *ὄσμος* — толчая, давка

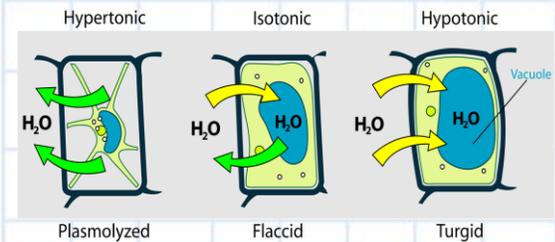
**самопроизвольный процесс диффузии растворителя через полупроницаемую мембрану из объёма с меньшей концентрацией растворённого вещества в сторону большей концентрации растворённого вещества:**



**осмотическое давление,  $p_{осм}$  — избыточное гидростатическое давление на раствор, отделённый от растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается диффузия растворителя через мембрану;**

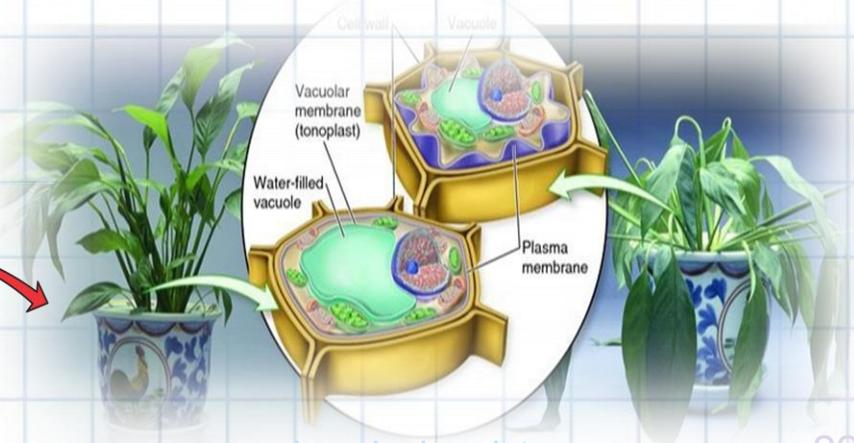
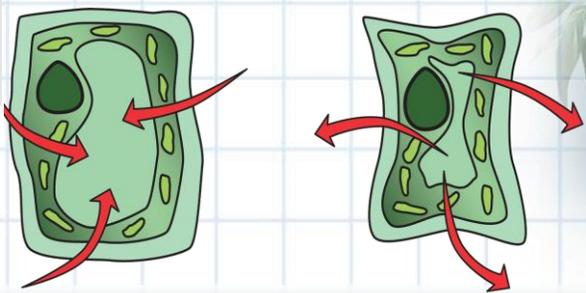
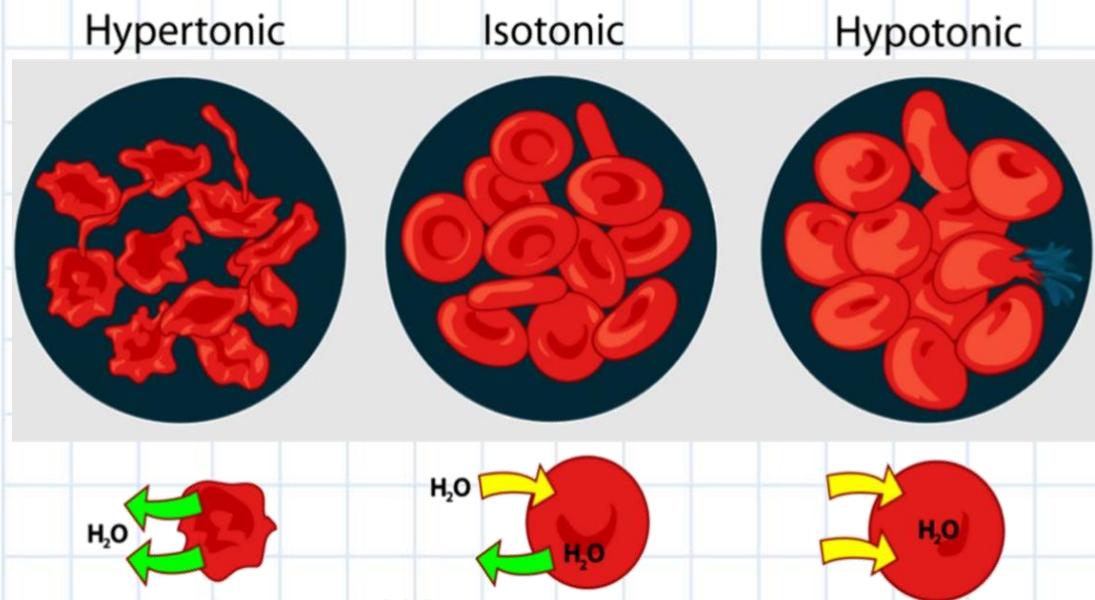
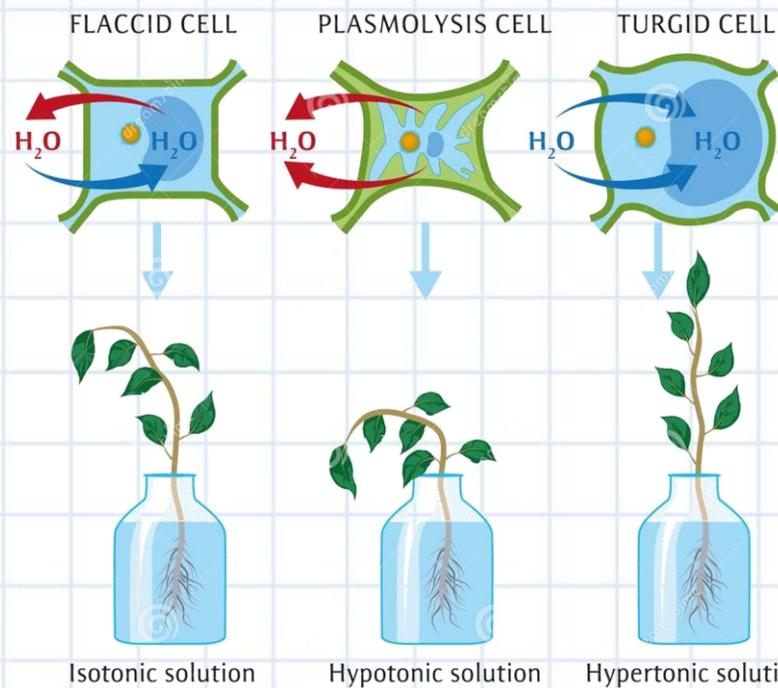
**уравнение Вант-Гоффа 1886 г.:  $p_{осм} = i \cdot C_b \cdot R \cdot T$  (частиц растворённого вещества)  $\cdot R \cdot T$**

# ОСМОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ



*в клетках растений осмотическое давление достигает 0,5-2 МПа, а у растений на засоленных почвах, оно может достигать 17 мПа; тургор животных клеток, за редким исключением, невысок и осмотическое давление не превышает 0,1 мПа;*

*$p_{осм}$  крови составляет 740-780 кПа; осмоляльность плазмы крови равна 0,3 моль·кг<sup>-1</sup>; она обусловлена ионами: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>; глюкозой, карбамидом, белками;*





# ИОНЫ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

*свойства гидратированных ионов отличаются от свойств негидратированных ионов, например:*

*негидратированный ион хрома  $\text{Cr}^{3+}$  — голубовато-серый в безводных кристаллах гидроксида хрома(III), но имеет фиолетово-лиловый цвет, когда гидратирован, т.е. связан с молекулами воды  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , и приобретает изумрудно-зелёный цвет, когда связан с гидроксид-ионами в комплексный анион  $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$*

## Cobalt (III) complexes

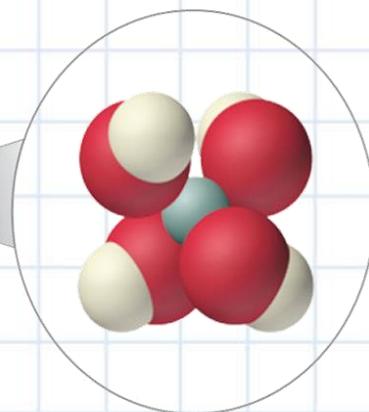
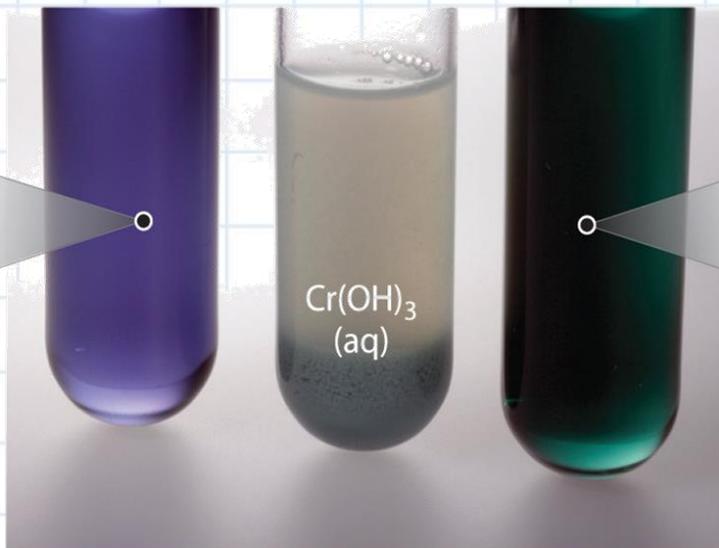
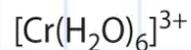
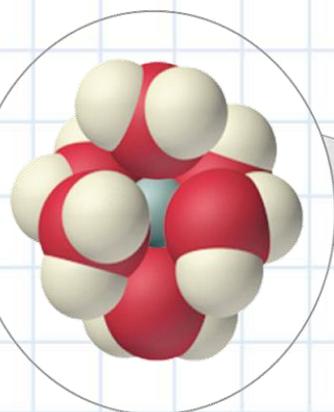


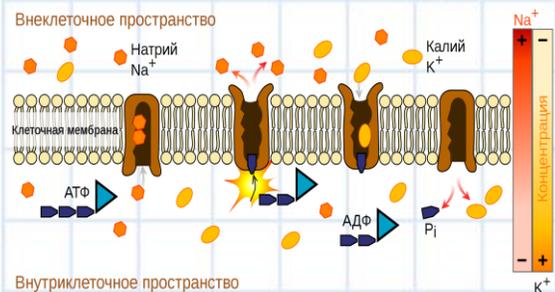
Ethlene Diamine

Carbonate

EDTA (Alkaline)

EDTA (Acid)





# ИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ

**степень диссоциации,  $\alpha$  — доля частиц электролита, распавшихся на ионы  $N_D$ , от общего числа растворенных частиц  $N_p$ ; может быть выражена в процентах:**

$$\alpha = \frac{N_D}{N_p}; \alpha = \frac{N_D}{N_p} \cdot 100\%;$$

**константа диссоциации, (ионизации)  $K_D$ :**

$$K_D(Kat_n An_m) = \frac{[Kat^{m+}]^n \cdot [An^{n-}]^m}{[Kat_n An_m]}; \quad K_D(CH_3COOH) = \frac{[H^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

**закон разбавления Оствальда 1888 г.: степень диссоциации слабого электролита увеличивается с разбавлением раствора:**

$$K_D = \frac{\alpha^2 \cdot C_M(\text{электролит})}{(1 - \alpha)}; \quad \alpha \approx \sqrt{\frac{K_D}{C_M(\text{электролит})}}$$

**закон разбавления Оствальда применим только для растворов слабых электролитов, не содержащих веществ, усиливающих или подавляющих диссоциацию электролита**



# КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОЙ БАЛАНС

*вода является очень слабым амфотерным электролитом:*  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + (\text{OH})^-$

$$K_{\text{д}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{[\text{H}^+] \cdot [(\text{OH})^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,8 \times 10^{-16} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \text{ при } 22^\circ \text{C};$$

*количество в 1 дм<sup>3</sup> воды:*  $n(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ г} / 18 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} \approx 55,56 \text{ моль}$ ; следовательно,

$$[\text{H}^+] \cdot [(\text{OH})^-] = 1,8 \times 10^{-16} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 55,56 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} = 10^{-14} \text{ моль}^2 \cdot \text{л}^{-2};$$

*величина  $[\text{H}^+] \cdot [(\text{OH})^-] = 10^{-14} \text{ моль}^2 \cdot \text{л}^{-2}$  при 22° С является константой и называется ионным произведением воды  $K_w$ ;*

*т.к. в воде концентрации ионов равны, то:*  $[\text{H}^+] = [(\text{OH})^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ;

*при добавлении кислоты концентрация ионов водорода увеличивается и уменьшается*

*концентрация гидроксид-ионов, а при добавлении щёлочи наблюдается обратная зависимость, т.о.*

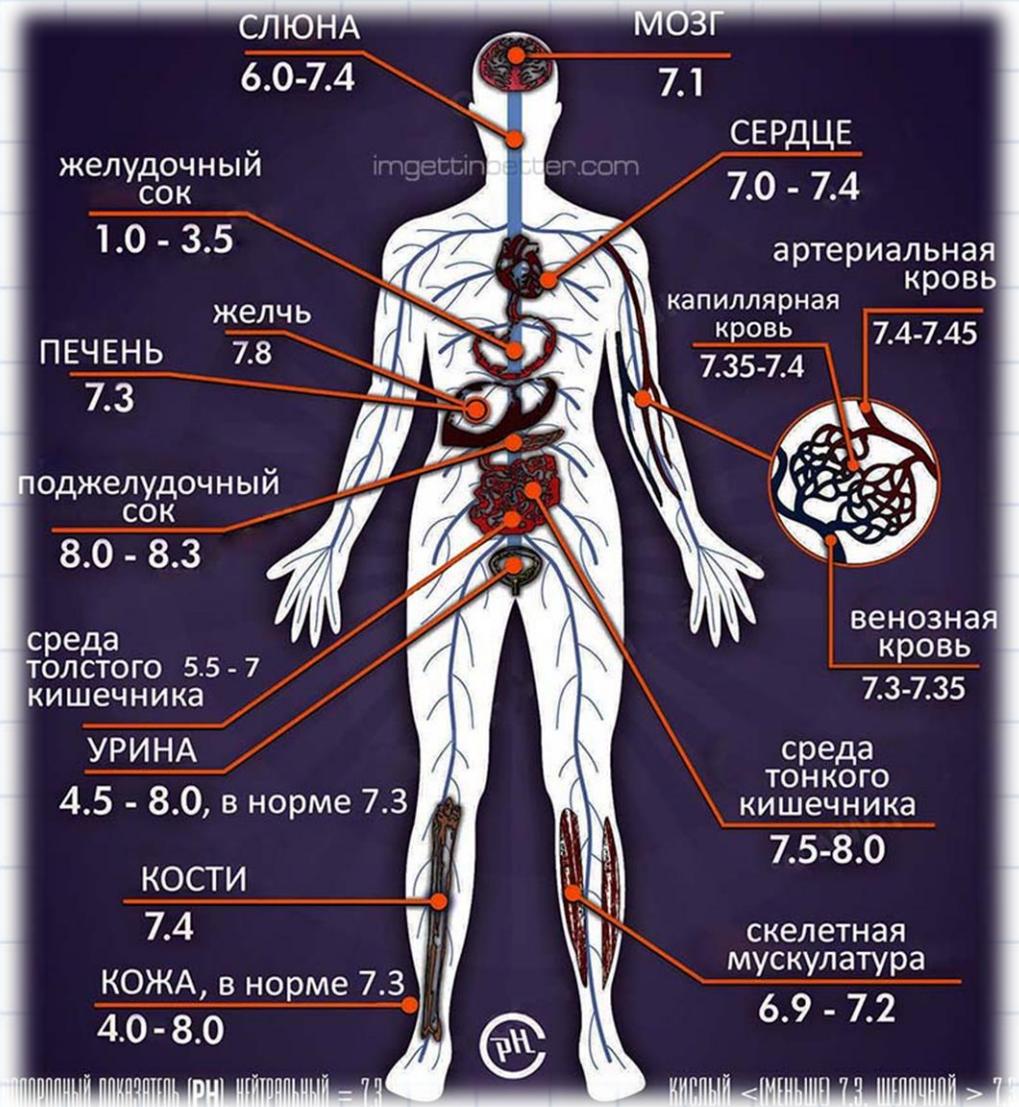
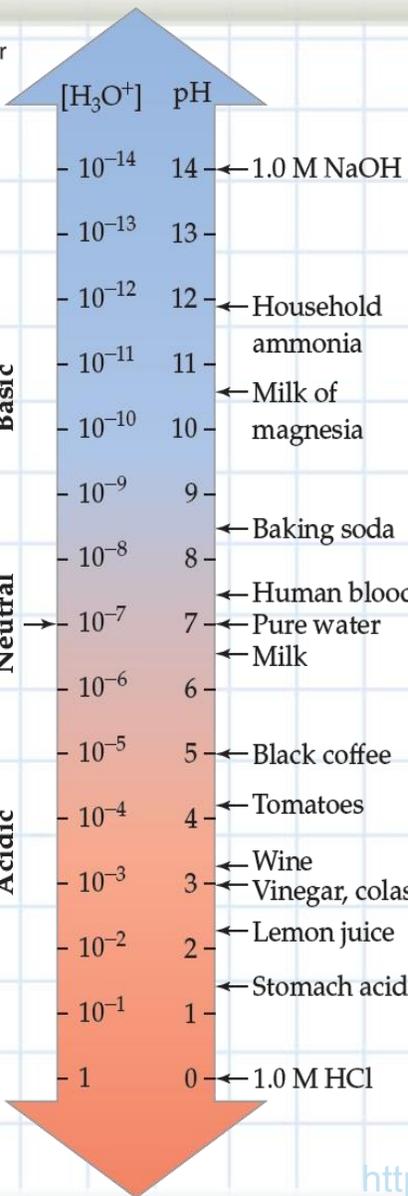
*концентрация ионов водорода в растворе может служить мерой кислотности или щёлочности*

*среды; в 1909 г. Сёренсен ввёл значение отрицательного десятичного логарифма концентрации*

*водородных ионов, которое называют водородным показателем  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ ; тогда для*

*нейтральной среды  $\text{pH} = 7$ , для кислых растворов  $\text{pH} < 7$ , а для щелочных растворов  $\text{pH} > 7$*

# pH – ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ



водородный показатель (pH) нейтральный = 7,3      кислый < (меньше) 7,3      щелочной > 7,3



# КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Indicator	Low pH color	Transition pH range	High pH color
Thymol blue (first transition)	red	1.2–2.8	yellow
Thymol blue (second transition)	yellow	8.0–9.6	blue
Methyl yellow	red	2.9–4.0	yellow
Bromophenol blue	yellow	3.0–4.6	purple
Congo red	blue-violet	3.0–5.0	red
Methyl orange	red	3.1–4.4	orange
Bromocresol green	yellow	3.8–5.4	blue-green
Methyl red	red	4.4–6.2	yellow
Bromocresol purple	yellow	5.2–6.8	purple
Bromothymol blue	yellow	6.0–7.6	blue
Phenol red	yellow	6.8–8.4	red
Naphtholphthalein	colorless to reddish	7.3–8.7	greenish to blue
Cresol Red	yellow	7.2–8.8	reddish-purple
Phenolphthalein	colorless	8.3–10.0	fuchsia
Thymolphthalein	colorless	9.3–10.5	blue
Alizarine Yellow R	yellow	10.2–12.0	red
Litmus	red	4.5–8.3	blue

Substance	pH	Color	Substance	pH	Color
Hydrochloric Acid 10M	-1.0	Red	Milk	6.5	Green
Battery acid	0.5	Red	Pure Water	7.0	Green
Gastric acid	1.5–2.0	Red	Healthy human saliva	6.5–7.4	Green
Lemon juice	2.4	Red-Orange	Blood	7.34–7.45	Teal
Cola	2.5	Orange	Seawater	7.7–8.3	Blue
Vinegar	2.9	Orange	Hand soap	9.0–10.0	Dark Blue
Orange or apple juice	3.5	Light Orange	Household ammonia	11.5	Dark Blue
Beer	4.5	Yellow	Bleach	12.5	Dark Blue
Acid Rai	<5.0	Yellow	Household lye	13.5	Dark Blue
Coffee	5.0	Yellow	Caustic Soda	13.9	Dark Grey
Tea or healthy skin	5.5	Yellow			

# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

*растворы, сохраняющие постоянной величину рН при разбавлении водой и добавлении небольших количеств кислоты или основания;*

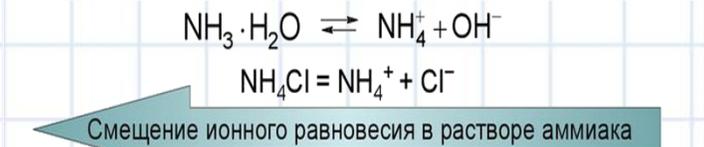
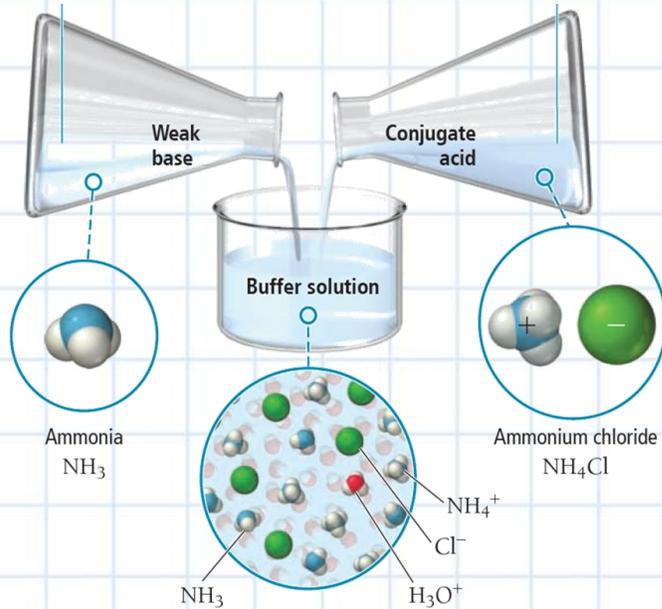
*I тип слабое основание и его соль, аммиачный буфер:*



*II тип слабая кислота и её соль, ацетатный буфер:*



*III тип смесь солей многоосновных кислот, фосфатный буфер:*



$$K = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$$

$$[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}] \approx C_{\text{NH}_3}$$

$$[\text{NH}_4^+] \approx C_{\text{соли}}$$

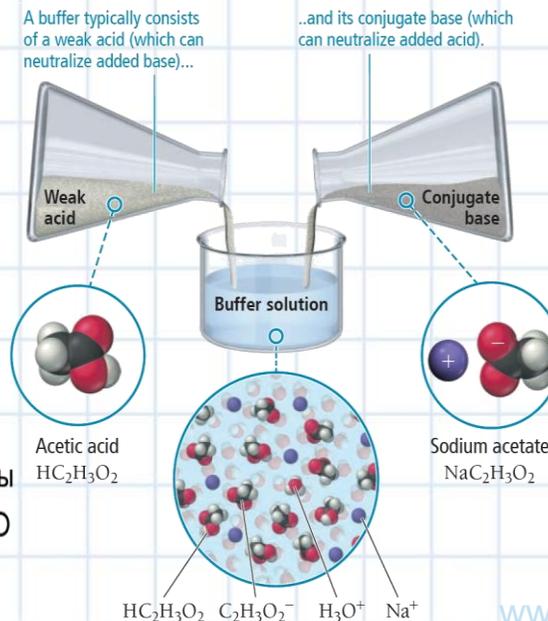
$$[\text{OH}^-] = \frac{K \cdot [\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K \cdot C_{\text{NH}_3}}{C_{\text{соли}}}$$

рН не изменяется

- при разбавлении
- при добавлении сильной кислоты
- при добавлении щелочи

$$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$$


# ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ

*для малорастворимых электролитов в растворе:*



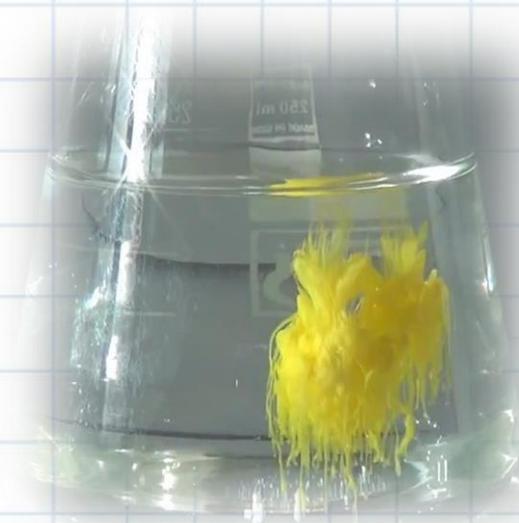
*величина  $[\text{Kat}^{m+}]^n \cdot [\text{An}^{n-}]^m$  при 20° С является константой и называется произведением растворимости ПР; ПР связано с растворимостью S:*

*молярная растворимость вещества S, моль/л —  
количество растворённого вещества,  
содержащееся в одном литре его насыщенного раствора;*

$$S(\text{Kat}_n\text{An}_m) = \sqrt[n+m]{\frac{\text{ПР}(\text{Kat}_n\text{An}_m)}{n^n \cdot m^m}};$$

$[\text{Kat}^{m+}]^n \cdot [\text{An}^{n-}]^m > \text{ПР}(\text{Kat}_n\text{An}_m)$  — *в растворе выпадает осадок;*

$[\text{Kat}^{m+}]^n \cdot [\text{An}^{n-}]^m < \text{ПР}(\text{Kat}_n\text{An}_m)$  — *в растворе осадок не образуется*



13.08.2024 8:18

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!  
УСПЕХОВ В РАБОТЕ!  
ДО ВСТРЕЧИ.**



**Лямин Алексей Николаевич**  
**КОГОАУ ДПО «ИРО Кировской области» г. Киров**

[www.lyaminchemistry.ucoz.ru](http://www.lyaminchemistry.ucoz.ru)