

Строение вещества

Молекула – это наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами. Химические свойства молекулы определяются ее составом и строением. Из молекул состоят вещества в газообразном и парообразном состоянии.

Многие вещества разлагаются на более простые. Существуют, однако, и такие – их называют *химическими элементами*, – которые дальнейшему разложению не поддаются. *Атом* – это наименьшая частица химического элемента, сохраняющая его химические свойства.

Атомы можно расщепить на еще более мелкие частицы – *протоны* p (электрический заряд $= +1$), *нейтроны* n (заряд $= 0$) и *электроны* e (электрический заряд $= -1$). Химический элемент это вид атомов с одинаковым положительным зарядом ядра.

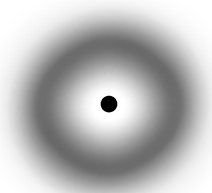
Планетарная модель строения атомов была предложена Э.Резерфордом. Согласно этой модели атом состоит из положительного заряженного ядра, очень малого по размерам, в котором сосредоточена почти вся масса атома, и электронов, движущихся вокруг ядра по своим орбитам и образующих электронную оболочку атома. Ядра атомов, в свою очередь, состоят из протонов и нейтронов. В атоме столько же электронов, сколько и протонов. Атом электрически нейтрален.

Квантовая модель строения атома, предложенная Н.Бором и развитая В.Гейзенбергом и М.Борном, рассматривает вероятность нахождения электрона в пространстве вокруг ядра. *Электронное облако* – это квантовомеханическая модель состояния электрона в атоме. Плотность электронного облака отвечает вероятности нахождения электрона в данной части атомного пространства. Наиболее простым строением обладают атомы водорода.

Модели строения атома водорода:



Планетарная



Квантовомеханическая

Строение вещества

Область пространства вокруг ядра, где наиболее вероятно нахождение электрона, называется *орбиталью*. Располагаясь на различных расстояниях от ядра, электроны образуют электронные слои или *энергетические уровни*, которые обозначают начиная от ядра, буквами K, L, M, N, O, P, Q.

Целое число n , обозначающее номер уровня называют *главным квантовым числом*. Оно характеризует энергию электронов, занимающих данный энергетический уровень. Наименьшей энергией обладают электроны первого уровня, наиболее близкого к ядру. Менее прочно связаны с ядром электроны внешнего уровня.

Наибольшее число электронов, которое может находиться на энергетическом уровне, равно удвоенному квадрату главного квантового числа:

$$N = 2n^2$$

здесь: N - число электронов, n - номер уровня или главное квантовое число. На первом ближайшем к ядру энергетическом уровне может находиться не более 2 электронов, на втором - не более 8, на третьем - не более 18, на четвертом - не более 32.

Каждый уровень имеет подуровни. Их число равно главному квантовому числу: на первом уровне – один подуровень, на втором – два, на третьем – три, на четвертом – четыре.

Подуровни, в свою очередь, составлены из орбиталей. На каждой орбитали может находиться не более двух электронов - *принцип Паули*. Если на орбитали находится один электрон, он называется неспаренным, если два, то это – спаренные электроны с противоположными спинами (см. ниже).

Подуровни обозначают латинскими буквами:

s – первый, он состоит из одной s -орбитали; p – второй, состоит из трех p -орбиталей; d – третий, состоит из пяти d -орбиталей, f – четвертый, состоит из семи f -орбиталей.

Состояние электрона в атоме характеризуют (см.след.стр.):

n – главное квантовое число,

l – орбитальное квантовое число,

m – магнитное квантовое число,

s – спин (упрощ. - собственное вращение электрона).

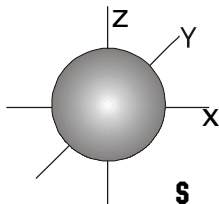
Строение вещества

Энергетические уровни	Орбитали	Квантовые числа			Максим. число электронов		
		n	l	m			
K	1s	1	0	0	2		
	2s		0	0			
L	2p	2	1	-1 0 1	6		
	3s		0	0			
M	3p	3	1	-1 0 1	6		
	3d		2	-2 -1 0 1 2		10	
	4s		0	0			
N	4p	4	1	-1 0 1	6		
	4d		2	-2 -1 0 1 2		10	
	4f		3	-3 -2 -1 0 1 2 3			14

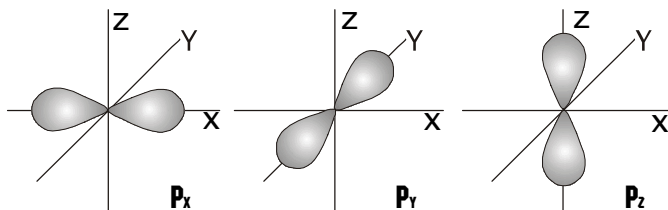
Спин S равен +1/2 и -1/2 для всех слоев и оболочек атома.

Строение вещества

S-орбиталь обладает сферической симметрией, т.е. имеет форму шара. Примером является орбиталь атома водорода ($n = 1$). Ее называют 1s-орбиталью. На каждом энергетическом уровне имеется одна s-орбиталь.



На втором энергетическом уровне ($n=2$) имеется 4 орбитали, одна из которых (2s-орбиталь) имеет сферическую симметрию, три других (p-орбитали) имеют форму гантели и взаимно перпендикулярны в пространстве. Поэтому их обозначают как p_x -орбиталь, p_y -орбиталь, p_z -орбиталь. Каждый энергетический уровень, начиная с $n=2$, имеет три p-орбитали.



Еще более сложные формы, чем p-орбитали, имеют d-орбитали (их пять) и f-орбитали (их семь).

Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням и подуровням изображают в виде электронных формул. Орбиталь с минимальной энергией - это 1s-орбиталь. У атома водорода (H) она занята единственным электроном. Электронная формула водорода: $1s^1$. Оба электрона атома гелия (He) размещаются на 1s-орбитали. Его электронная формула: $1s^2$.

У последующих элементов заполняется L-уровень, причем сначала орбитали s-подуровня, а затем орбитали p-подуровня. Электронная формула лития Li: $1s^2 2s^1$, берилия Be: $1s^2 2s^2$, бора B: $1s^2 2s^2 2p^1$ и т.д. У последующих элементов после заполнения L-уровня заполняется M, затем N-уровень.

Периодический закон

Порядок заполнения электронами энергетических уровней дает теоретическое обоснование периодической системы элементов Д.И.Менделеева(см. след. стр.).

Формулировка периодического закона:

Свойства химических элементов, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядер их атомов.

Возрастание положительных зарядов атомных ядер приводит к периодическому повторению строения внешних электронных оболочек атомов, а поскольку от них зависят химические свойства элементов, то они периодически повторяются.

В *малых периодах* с ростом положительного заряда ядер атомов возрастает число электронов на внешнем уровне (от 1 до 2 – в I периоде и от 1 до 8 – во II и III периодах). В начале периодов (кроме I) находятся щелочные металлы, затем металлические свойства ослабевают; в конце периодов – газы.

В четных рядах *больших периодов* с ростом заряда ядра число электронов на внешнем уровне остается постоянным (1 или 2) и пока идет заполнение следующего уровня, свойства элементов в четных рядах изменяются медленно. В нечетных рядах увеличивается число электронов на внешних уровнях (от 1 до 8), и свойства элементов изменяются быстро.

В зависимости от того, какой подуровень последним заполняется электронами, все элементы делятся на четыре типа семейств:

1. s-элементы; заполняется s-подуровень внешнего уровня. Это первые два элемента каждого периода.

2. p-элементы; заполняется p-подуровень внешнего уровня. Это последние 6 элементов каждого периода (кроме I и VII).

3. d-элементы; заполняется d-подуровень второго снаружи уровня, пока на внешнем уровне остается два электрона. Это элементы вставных декад больших периодов.

4. f-элементы; заполняются f-подуровень третьего снаружи уровня, пока на внешнем уровне остается два электрона. Это лантаноиды и актиноиды.

Номер группы, как правило, указывает число электронов, которые могут участвовать в образовании химических связей.

Периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Периоды	Ряды	Группы элементов			
		I	II	III	IV
1	I	H 1 водород 1,0079			
2	II	Li 3 литий 6,941	Be 4 бериллий 9,01218	B 5 бор 10,81	C 6 углерод 12,011
3	III	Na 11 натрий 22,98977	Mg 12 магний 24,305	Al 13 алюминий 26,98154	Si 14 кремний 28,0855
4	IV	K 19 калий 39,0983	Ca 20 кальций 40,08	21 Sc скандий 44,9559	22 Ti титан 47,88
	V	29 Cu медь 63,546	30 Zn цинк 65,39	Ga 31 галлий 69,72	Ge 32 германий 72,59
5	VI	Rb 37 рубидий 85,4678	Sr 38 стронций 87,62	39 Y иттрий 88,9059	40 Zr цирконий 91,22
	VII	47 Ag серебро 107,868	48 Cd кадмий 112,41	In 49 индий 114,82	Sn 50 олово 118,71
6	VIII	Cs 55 цезий 132,9054	Ba 56 барий 137,33	57 La* лантан 138,9055	72 Hf гафний 178,49
	IX	79 Au золото 196,9665	80 Hg ртуть 200,59	Tl 81 таллий 204,383	Pb 82 свинец 207,2
7	X	Fr 87 франций 223,0197	Ra 88 радий 226,0254	89 Ac* актиний 227,0278	104 Ku курчатовий (261)

*Лантаноиды и **Актиноиды см. на обороте следующего листа.

Периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Группы элементов						
V	VI	VII	VIII			
		H 1 водород 1,0079	He 2 гелий 4,0026			
N 7 азот 14,0067	O 8 кислород 15,9994	F 9 фтор 18,9984	Ne 10 неон 20,179			
P 15 фосфор 30,97376	S 16 сера 32,066	Cl 17 хлор 35,453	Ar 18 аргон 39,948			
23 V ванадий 50,9415	24 Cr хром 51,996	25 Mn марганец 54,938	26 Fe железо 55,847	27 Co кобальт 58,9332	28 Ni никель 58,69	
As 33 мышьяк 74,9216	Se 34 селен 78,96	Br 35 бром 79,904	Kr 36 криптон 83,8			
41 Nb ниобий 92,9064	42 Mo молибден 95,94	43 Tc технеций 98,9072	44 Ru рутений 101,07	45 Rh родий 102,9055	46 Pd палладий 106,4	
Sb 51 сурьма 121,75	Te 52 теллур 127,6	I 53 иод 126,9045	Xe 54 ксенон 131,3			
73 Ta тантал 180,9479	74 W вольфрам 183,85	75 Re рений 186,207	76 Os осмий 190,2	77 Ir иридий 192,22	78 Pt платина 195,08	
Bi 83 висмут 208,9804	Po 84 полоний 208,9824	At 85 астат 209,9871	Rn 86 радон 222,0176			
105 (Ns) нильсборий (262)	106 (EW) экавольфрам (263)	107 (ERe) экарений (262)	108 (EOs) экаосмий (265)	109 (EIr) экаиридий	110 (EPt) экаплатина	

* Лантаноиды и ** Actиноиды см. на обороте листа.

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

* ЛАНТАНОИДЫ

Ce 58 церий 140,12	Pr 59 празеодим 140,9077	Nd 60 неодим 144,24	Pm 61 прометий 144,9128	Sm 62 самарий 150,4	Eu 63 европий 151,96
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

Gd 64 гадолиний 157,25	Te 65 тербий 158,925	Dy 66 диспрозий 162,5	Ho 67 гольмий 164,9304	Er 68 эрбий 167,26	Tm 69 тулий 168,9342
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

Yb 70 иттербий 173,04	Lu 71 лютеций 174,967
------------------------------------	------------------------------------

** АКТИНОИДЫ

Th 90 торий 232,0381	Pa 91 протактиний 231,0359	U 92 уран 238,029	Np 93 нептуний 237,0482	Pu 94 плутоний 244,0642	Am 95 америций 243,0614
-----------------------------------	---	--------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

Cm 96 кюрий 247,0703	Bk 97 берклий 247,0703	Cf 98 калифорний 251,0796	Es 99 эйнштейний 252,0828	Fm 100 фермий 257,0951	Md 101 менделевий 258,0986
-----------------------------------	-------------------------------------	--	--	-------------------------------------	---

(No) 102 нобелий 259,1	(Lr) 103 лоуренсий 260,1054
-------------------------------------	--

Относительные атомные массы приведены по Международной таблице 1983 года.

Для элементов 104 – 108 в скобках приведены массовые числа наиболее долгоживущих изотопов.

Названия и символы элементов, приведенные в круглых скобках, не являются общепринятыми.

Химические элементы

<i>Наименование</i>	<i>Символ</i>	<i>Атомный номер</i>	<i>Атомная масса</i>	<i>Первооткрыватель и год открытия</i>
Азот	N	7	14,0067	Д.Резерфорд, 1772
Активный	Ac	89	227,0278	А.Дебьерн, 1899
Алюминий	Al	13	26,98154	Х.К.Эрстед, 1825
Америций	Am	95	243,0614	Г.Сиборг и др., 1944
Аргон	Ar	18	39,948	У.Рамзай, Д.Рэлей, 1894
Астат	At	85	209,9871	Д.Корсон, К.Мак-Кензи, Э.Сегре, 1940
Барий	Ba	56	137,33	Г.Дэви, 1774
Бериллий	Be	4	9,01218	Л.Воклен, 1798
Берклий	Bk	97	247,0703	Г.Сиборг и др., 1949
Бор	B	5	10,81	Л.Ж.Гей-Люссак, Л.Ж.Тенар, 1808
Бром	Br	35	79,904	Ж.Балар, 1826
Ванадий	V	23	50,9415	Г.О.Роско, 1869
Висмут	Bi	83	208,9804	И.Потт, 1739
Водород	H	1	1,0079	Г.Кавендиш, 1766
Вольфрам	W	74	183,85	К.В.Шееле, 1781
Гадолиний	Gd	64	157,25	Ж.Мариньяк, 1880
Галлий	Ga	31	69,72	Л. деБуабодран, 1875
Гафний	Hf	72	178,49	Д.Костер и др., 1922
Гелий	He	2	4,0026	Ж.Жансен, Дж.Лоузер, Э.Франкланд, 1868
Германий	Ge	32	72,59	К.А.Винклер, 1886
Гольмий	Ho	67	164,9304	П.Клеве, 1879
Диспрозий	Dy	66	162,5	Л. деБуабодран, 1886
Европий	Eu	63	151,96	Э.Демарсе, 1901
Железо	Fe	26	55,847	Известно до Р.Х.
Золото	Au	79	196,9665	Известно до Р.Х.
Индий	In	49	114,82	Р.Рейх, И.Рихтер, 1863
Иод	I	53	126,9045	Б.Куртуа, 1811
Иридий	Ir	77	192,22	С.Теннант, 1804
Иттербий	Yb	70	173,04	Ж.Мариньяк, 1878
Иттрий	Y	39	88,905	Ю.Гадолин, 1794

Химические элементы

<i>Наименование</i>	<i>Символ</i>	<i>Атомный номер</i>	<i>Атомная масса</i>	<i>Первооткрыватель и год открытия</i>
Кадмий	Cd	48	112,41	Ф.Штрөмейер, 1817
Калий	K	19	39,0983	Г.Дэви, 1807
Калифорний	Cf	98	251,0796	Г.Сиборг и др., 1950
Кальций	Ca	20	40,08	Г.Дэви, 1808
Кислород	O	8	15,9994	К.В.Шееле, 1772
Кобальт	Co	27	58,9332	Ю.Брандт, 1735
Кремний	Si	14	28,0855	Ж.Л.Гей-Люссак, Л.Ж.Тенар, 1811
Кригтон	Kr	36	83,8	Рамзай,Траверс,1898
Ксенон	Xe	54	131,3	Рамзай,Траверс,1898
Курчатовий	Ku	104	(261)	Г.Н.Флеров, сотр., 1964
Кюрий	Cm	96	247,0703	Г.Сиборг и др., 1944
Лантан	La	57	138,9055	К.Мосандер, 1839
Литий	Li	3	6,941	А.Арфведсон, 1817
Лоуренсий	Lr	103	260,1054	А.Гиорсо,1961
Лютеций	Lu	71	174,967	Урбэн, Джеймс,1907
Магний	Mg	12	24,305	Г.Дэви, 1808
Марганец	Mn	25	54,938	Ю.Ган, 1774
Медь	Cu	29	63,546	Известно до Р.Х.
Менделевий	Md	101	258,0986	А.Гиорсо и др., 1955
Молибден	Mo	42	95,94	К.В.Шееле, 1778
Мышьяк	As	33	74,9216	АльбертВеликий,1250
Натрий	Na	11	22,98977	Г.Дэви, 1807
Неодим	Nd	60	144,24	А.фонВельсбах,1842
Неон	Ne	10	20,179	Рамзай,Траверс,1898
Нептуний	Np	93	237,0482	Э.М.Макмиллан, Ф.Х.Эйблсон, 1940
Никель	Ni	28	58,69	А.Кроншгедт, 1751
Ниобий	Nb	41	92,9064	Ч.Хатчет, 1801
Нобелий	No	102	259,1	США, СССР, 1966

Химические элементы

<i>Наименование</i>	<i>Символ</i>	<i>Атомный номер</i>	<i>Атомная масса</i>	<i>Первооткрыватель и год открытия</i>
Олово	Sn	50	118,71	Известно до Р.Х.
Осмий	Os	76	190,2	С.Теннант, 1804
Палладий	Pd	46	106,4	У.Волластон, 1803
Платина	Pt	78	195,08	Известна с древн.
Плутоний	Pu	94	244,0642	Г.Сиборг и др., 1940
Полоний	Po	84	208,9824	М. и П.Кюри, 1898
Празеодим	Pr	59	140,9077	Ауэр фон Вельсбах, 1855
Прометий	Pm	61	144,9128	Гленденин,Кориэлл, Дж.Маринский,1942
Протактиний	Pa	91	231,0359	О.Ган, Л.Мейтнер, Ф.Содди,Д.Кранстон, 1918
Радий	Ra	88	226,0254	М.и П.Кюри, Ж.Бемюн, 1898
Радон	Rn	86	222,0176	Э.Дорн, 1900
Рений	Re	75	186,207	И.и В.Ноддак, О.Берг, 1925
Родий	Rh	45	102,9055	У.Волластон, 1804
Ртуть	Hg	80	200,59	Известна до Р.Х.
Рубидий	Rb	37	85,4678	Р.Бунзен,Г.Кирхгоф, 1861
Рутений	Ru	44	101,07	К.К.Клаус, 1844
Самарий	Sm	62	150,4	Л.деБуабодран,1879
Свинец	Pb	82	207,2	Известен до Р.Х.
Селен	Se	34	78,96	Й.Берцелиус, 1817
Сера	S	16	32,066	Известна до Р.Х.
Серебро	Ag	47	107,868	Известно до Р.Х.
Скандий	Sc	21	44,9559	Л.Ф.Нильсон, 1879
Стронций	Sr	38	87,62	А.Крофорд, 1808
Сурьма	Sb	51	121,75	Известна до Р.Х.
Таллий	Tl	81	204,383	У.Крукс, 1861
Тантал	Ta	73	180,9479	А.Г.Эжеберг, 1802

Химические элементы

<i>Наименование</i>	<i>Символ</i>	<i>Атомный номер</i>	<i>Атомная масса</i>	<i>Первооткрыватель и год открытия</i>
Теллур	Te	52	127,6	Ф.Мюллер, 1782
Тербий	Tb	65	158,925	К.Мосандер, 1843
Технеций	Tc	43	98,9072	Э.Сегре, К.Перье, 1937
Титан	Ti	22	47,88	У.Грегор, 1790
Торий	Th	90	232,0381	Й.Берцелиус, 1828
Тулий	Tm	69	168,9342	П.Клеве, 1879
Углерод	C	6	12,011	Известен до Р.Х.
Уран	U	92	238,029	М.Клапрот, 1789
Фермий	Fm	100	257,0951	А.Гиорсо, С.Томпсон, Г.Хиггинс, 1952
Фосфор	P	15	30,97376	Х.Брандт, 1669
Франций	Fr	87	223,0197	М.Перей, 1939
Фтор	F	9	18,9984	А.Муассан, 1886
Хлор	Cl	17	35,453	К.Шееле, 1774
Хром	Cr	24	51,996	Л.Н.Воклен, 1797
Цезий	Cs	55	132,9054	Р.Бунзен, Г.Кирхгоф, 1860
Церий	Ce	58	140,12	К.Мосандер, 1839
Цинк	Zn	30	65,39	Извест. со ср.веков
Цирконий	Zr	40	91,22	М.Клапрот, 1789
Эйнштейний	Es	99	252,0828	А.Гиорсо, С.Томпсон, Х.Хиггинс, 1952
Эрбий	Er	68	167,26	К.Мосандер, 1843
Нильсборрий	(Ns)	105	(262)	Г.Н.Флеров с сотр., 1970
Экавольфрам	(EW)	106	(263)	Г.Н.Флеров с сотр., 1974
Экарений	(ERe)	107	(262)	Г.Флеров, сотр., 1976
Экаосмий	(EOs)	108	(265)	Оганесян, сотр., 1984
Экаиридий	(EIr)	109		
Экаплатина	(EPt)	110		

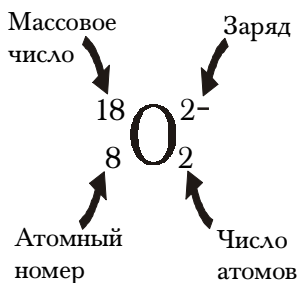
Химические элементы

Номенклатура групп химических элементов

<i>Название группы</i>	<i>Химические элементы</i>
Щелочные металлы	Li, Na, K, Rb, Cs, Fr;
Щелочноземельные металлы	Mg, Ca, Sr, Ba, Ra;
Лантаноиды	Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu;
Редкоземельные элементы	Sc, Y, La, лантаноиды;
Благородные металлы	Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au;
Галогены	F, Cl, Br, I, At;
Халькогены	O, S, Se, Te;
Пниктогены	N, P, As, Sb, Bi;
Инертные элементы или благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn.
Неметаллические элементы	Инертные элементы, галогены, халькогены, пниктогены, H, C, Si, Ge и B

Обозначения химических элементов

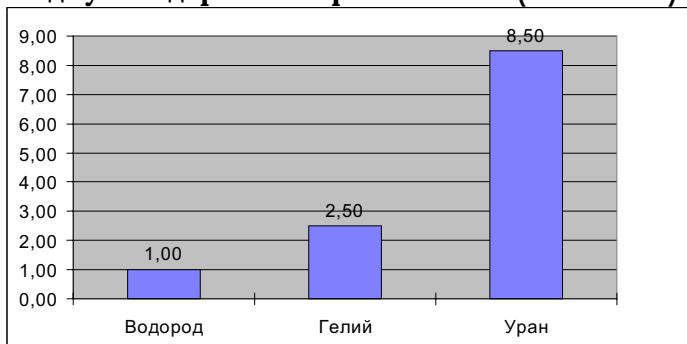
(на примере кислорода O)



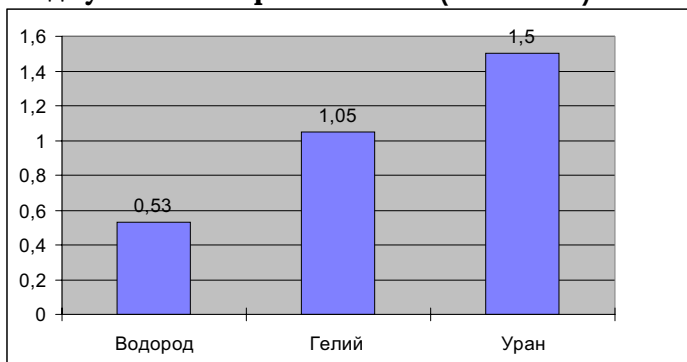
Элементы обозначаются химическими знаками, которые состоят из первой или первых букв латинских названий элементов. Химический знак обозначает: 1) название элемента, 2) 1 атом элемента, 3) 1 моль элемента, 4) относительную атомную массу элемента, 5) атомный номер.

Размеры и массы атомов

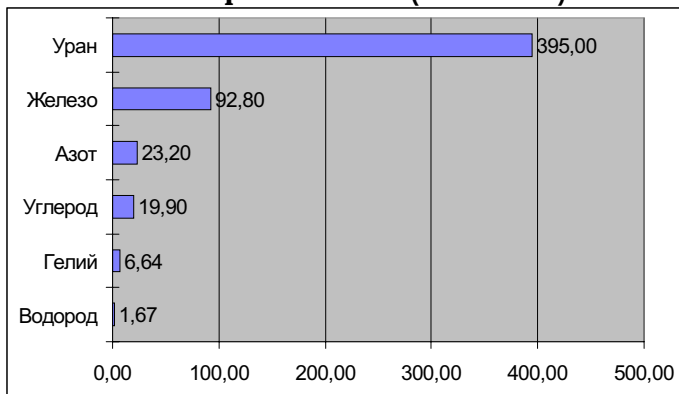
Радиусы ядер некоторых атомов ($\text{см} \cdot 10^{-13}$)



Радиусы некоторых атомов ($\text{см} \cdot 10^{-8}$)

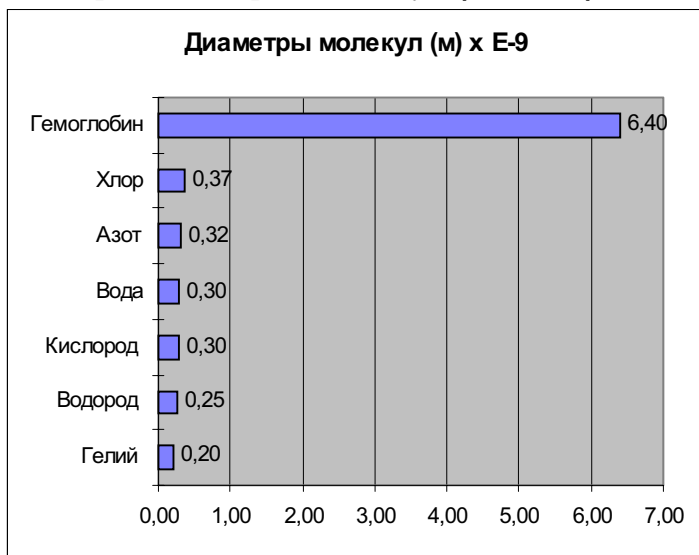


Массы некоторых атомов ($\text{кг} \cdot 10^{-27}$)

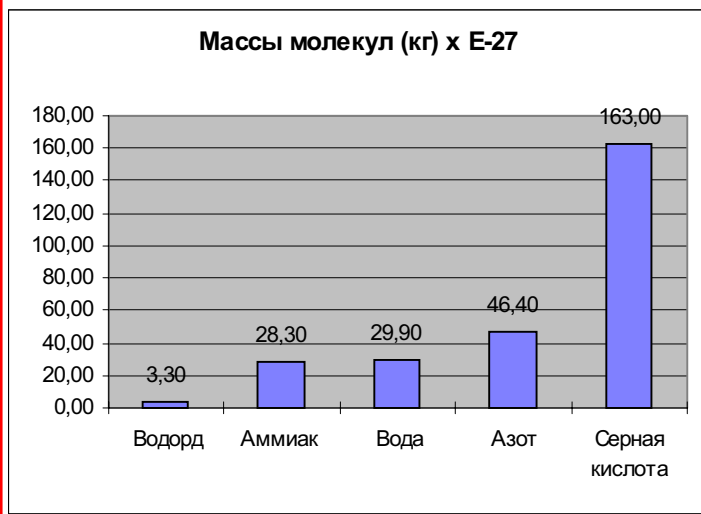


Размеры и массы молекул

Размеры некоторых молекул ($\text{м} \cdot 10^{-9}$)



Массы некоторых молекул ($\text{кг} \cdot 10^{-27}$)



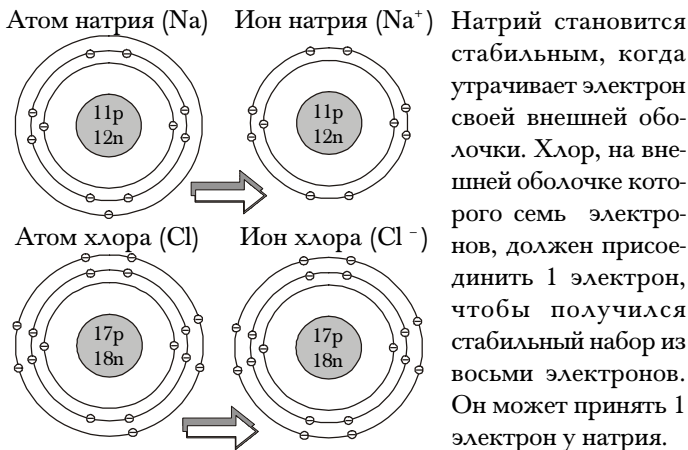
Связи между атомами

У атомов на внешнем уровне может быть от одного до восьми электронов. Если на внешнем уровне содержится максимальное число электронов, то это – *завершенный* уровень. Такие уровни имеют атомы инертных газов: у гелия на внешнем уровне 2 электрона (s^2), у остальных – по 8 электронов (s^2p^6). Они характеризуются большой прочностью. Атомы других элементов имеют *незавершенные* энергетические уровни. В процессе химического взаимодействия они завершают их. Это достигается образованием общих электронных пар, присоединением или отдачей электронов, после чего атомы становятся более стабильными. Атомные ядра не изменяются, поэтому атомы остаются атомами того же элемента, который вступил в реакцию.

Химическая связь осуществляется: у s- и p-элементов внешними электронами, у d-элементов – внешними (s) и предвнешними d-электронами, у f-элементов – s, d и f-электронами. Химическая связь имеет электрическую природу.

Типы химических связей: *ионная, ковалентная, водородная и металлическая.*

Ионная связь



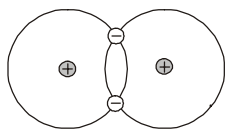
В результате переноса электрона образуются противоположно заряженные ионы – натрия и хлора. Они притягиваются, образуя кристаллы хлористого натрия – поваренной соли NaCl .

Связи между атомами

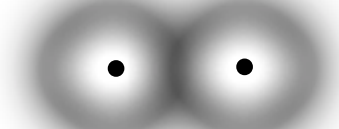
Ковалентная связь

Ковалентная связь образуется, когда у двух атомов возникает обобщенная пара электронов – по одному электрону от каждого атома. Если атомы одинаковы, связь – *неполярная*.

Молекула водорода (пример неполярной связи)



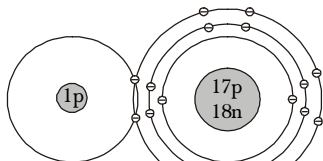
Планетарная модель



Модель электронного облака

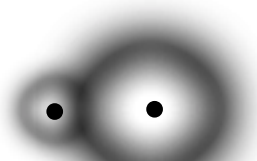
При возникновении между двумя атомами одного и того же элемента ковалентной связи эти атомы с равной силой притягивают обобщественную пару электронов, так что большую часть времени электроны находятся между ними. Если же атомы принадлежат разным элементам, то один из них притягивает электроны сильнее, и обобщенные электроны по большей части находятся возле него. Такую связь называют *полярной*.

Молекула хлористого водорода (пример полярной связи)



δ^+ (водород) δ^- (хлор)

Планетарная модель



δ^+ δ^-

Модель электронного облака

В зависимости от их полярности связи между атомами можно расположить в непрерывный ряд, на одном конце которого находятся неполярные (электрически симметричные) ковалентные связи, а на другом конце – ионная связь, резко асимметричная, поскольку всеми участвующими в ее образовании электронами завладевает один атом. Между этими двумя крайними точками находятся полярные ковалентные связи.

Основные понятия химии

Химический элемент – это вид атомов с одинаковым положительным зарядом ядра.

Простые вещества – это вещества, образованные из атомов одного элемента (напр., железо или азот). *Сложные вещества*, или химические соединения, – это вещества, образованные атомами разных элементов (напр., вода). Свойства вещества относятся к совокупности атомов, свойства элемента – к отдельным атомам.

Многие химические элементы образуют несколько простых веществ, различных по строению и свойствам (напр., кислород – кислород и озон; углерод – алмаз, графит и карбин). Такое явление называют *аллотропией*, а образовавшиеся вещества – аллотропными модификациями.

Относительной атомной массой (A_r) элемента называется масса его атома, выраженная в атомных единицах массы. Она показывает во сколько раз масса атома данного элемента больше $1/12$ массы атома изотопа углерода ^{12}C (напр., для водорода $A_r = 1,0079$).

Относительной молекулярной массой M_r вещества называется масса его молекулы, выраженная в атомных единицах массы. Она показывает во сколько раз масса молекулы данного вещества больше $1/12$ массы атома изотопа углерода ^{12}C (напр., для воды $M_r = 18,01534$).

Моль – это количество вещества, содержащее столько структурных единиц (молекул, атомов, ионов или др.), сколько содержится атомов в $0,012 \text{ кг}$ изотопа углерода ^{12}C . Число частиц в 1 моле любого вещества одно и то же. Оно равно $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль (постоянная Авогадро). Массу вещества, взятого в количестве 1 моль, называют *молярной массой*.

Состав молекул сложных веществ изображают с помощью *химических формул*, показывающих из каких элементов состоит молекула и в каких соотношениях находятся эти элементы (напр., молекула серной кислоты – H_2SO_4).

Химические уравнения изображают в виде химических формул и знаков. В левой части уравнения – формулы веществ, вступающих в реакцию, в правой – формулы веществ, образующихся в результате реакции.

Соединения и их формулы

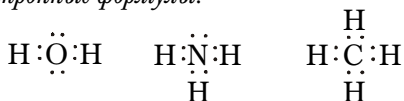
Соединением называют вещество, в котором с помощью связей атомы двух или нескольких элементов объединены в определенном соотношении. Состав соединений изображается в виде химических формул: *эмпирических, электронных и структурных*. В качестве примера приведем формулы молекул воды, аммиака и метана.

Эмпирические формулы:



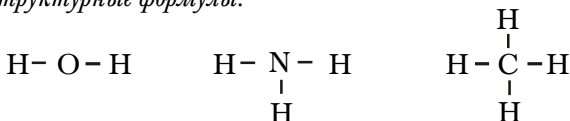
Эмпирические или молекулярные формулы отображают только состав молекул: вид и число атомов в молекуле.

Электронные формулы:



Электронные формулы состоят из символов элементов, вокруг которых точками обозначены внешние электроны, а между атомами связующие электронные пары. Они изображают порядок соединения атомов в молекуле.

Структурные формулы:



Структурные формулы, или формулы строения, – это формулы, где каждая связующая пара электронов обозначается штрихом. Они изображают порядок соединения атомов в молекуле и их взаимосвязь.

Валентность

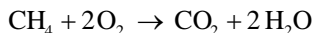
Электроны, которые участвуют в образовании химических связей между атомами, называют *валентными*. У химических элементов *общее число валентных электронов, как правило, равно номеру группы периодической системы Д.И. Менделеева*.

Валентность определяют как число атомов одновалентного элемента, с которыми соединяется один атом данного элемента. Так в соляной кислоте HCl хлор одновалентен, в воде H₂O кислород двухвалентен, в аммиаке NH₃ азот трехвалентен, в метане CH₄ углерод четырехвалентен.

Химические реакции

Молекулы находятся в непрерывном движении и сталкиваются друг с другом. Сильное соударение высвобождает энергию, достаточную для перегруппировки электронов в двух столкнувшихся молекулах и образования новых связей, т.е. новых соединений. Это явление и называют *химической реакцией*.

Реакции записывают в виде уравнений. В качестве примера приведем уравнение горения метана:

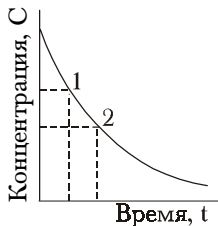


В этом уравнении исходные вещества (метан и кислород) указаны слева, а продукты реакции (диоксид углерода и вода) – справа, после стрелки. Стрелка в уравнении обращена в сторону более низкой суммарной энергии связей, т.е. указывает направление реакции.

Скорость химических реакций

Под скоростью химической реакции понимают изменение концентрации одного из реагирующих веществ в единицу времени при неизменном объеме системы.

Для реакции, протекающей по уравнению $\text{A} + \text{B} = \text{C} + \text{D}$ по мере расходования вещества А скорость реакции будет уменьшаться:



Скорость реакции – это изменение концентрации $C_2 - C_1$ для определенного промежутка времени $t_2 - t_1$:

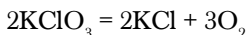
$$V = - \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} = - \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

На скорость реакции влияют: концентрации реагирующих веществ, температура и энергия активации, т.е. энергия, которую надо сообщить молекулам для того, чтобы они вступили в реакцию; в некоторых реакциях – присутствие катализатора.

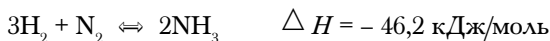
Химические реакции

Необратимые и обратимые реакции

Необратимыми называют реакции, которые протекают только в одном направлении и завершаются полным превращением исходных реагирующих веществ в конечные вещества. Примером является разложение бертолетовой соли при нагревании:



Обратимыми называют реакции, которые протекают одновременно в двух взаимно противоположных направлениях. Примером является синтез аммиака из водорода и азота с выделением теплоты:



Химическое равновесие

Обратимые реакции не доходят до конца и заканчиваются установлением химического равновесия, как например, в реакции синтеза аммиака равновесие наступает тогда, когда в единицу времени будет образовываться столько же молекул аммиака, сколько их будет распадаться на молекулы водорода и азота. Химическое равновесие – это такое состояние системы реагирующих веществ, когда скорости прямой и обратной реакций равны между собой. Состояние равновесия зависит от концентраций реагирующих веществ, температуры и для газов – давления. При изменении этих параметров происходит *смещение* химического равновесия.

Принцип Ле Шателье

Направление смещения химического равновесия определяется принципом *подвижного равновесия*, известного как принцип Ле Шателье: *если на систему, находящуюся в равновесии, производится какое-либо воздействие (изменяется концентрация, температура или давление), то оно препятствует протеканию той из двух противоположных реакций, которая ослабляет это воздействие.*

Как пример, - реакция синтеза аммиака: если внешнее воздействие выразится в увеличении концентрации азота или водорода, то для уменьшения их концентрации направление реакции сместится вправо, к образованию аммиака.

Стехиометрические законы

Закон сохранения массы

Масса веществ, вступающих в реакцию равна массе веществ, образующихся в результате реакции.

Закон постоянства состава

Всякое чистое вещество молекулярной структуры независимо от способов его получения всегда имеет постоянный качественный и количественный состав (напр., вода всегда состоит из водорода и кислорода в соотношении 11,19% водорода и 88,81% кислорода).

Закон эквивалентов

Элементы взаимодействуют друг с другом в строго определенных количественных отношениях. Химическим эквивалентом элемента называется такое его количество, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. Эквивалентная масса (\mathcal{E}) – это масса 1 эквивалента (г/моль) вещества (напр., 1 эквивалент хлора равен 35,453 г/моль). Соотношение между эквивалентной массой \mathcal{E} , молярной массой атомов A и стехиометрической валентностью элемента B : $\mathcal{E} = A/B$.

Вещества взаимодействуют между собой в количествах, пропорциональных их химическим эквивалентам.

Закон кратных отношений

Если два элемента молекулярной структуры образуют между собой несколько соединений, то массовые количества одного элемента, соединяющиеся с одним и тем же массовым количеством другого элемента, относятся между собой как небольшие целые числа (напр., для N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 количества кислорода, приходящегося на одно и то же количество азота относятся между собой как 1 : 2 : 3 : 4 : 5).

Закон простых объемных отношений

Объемы вступающих в реакцию газов (при одинаковых для них температурах и давлениях) относятся друг к другу, а также к объемам участвующих газообразных продуктов как небольшие целые числа.

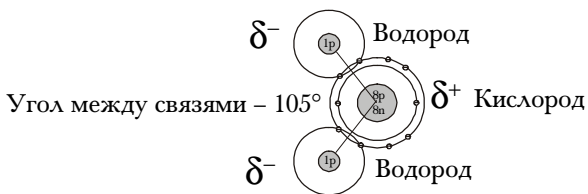
Растворы

Растворы – это однородные системы, состоящие из двух и более компонентов и продуктов их взаимодействия. По агрегатному состоянию растворы бывают жидкие (напр., растворы солей в воде), твердые (напр., сплав никеля и меди) и газообразные (напр., воздух).

Концентрацией раствора называют количество растворенного вещества, содержащегося в определенном количестве раствора или растворителя. *Концентрированный раствор* содержит такое количество растворенного вещества, которое сравнимо с количеством растворителя. *Разбавленный раствор* содержит очень малое количество растворенного вещества по сравнению с растворителем. *Процентная концентрация* (по массе) выражается числом граммов растворенного вещества в 100 граммах раствора. *Молярная концентрация* выражается числом молей растворенного вещества в 1 литре раствора. *Нормальная концентрация* выражается числом эквивалентов вещества, содержащегося в 1 литре раствора. Раствор, в одном литре которого содержится 1 эквивалент (экв) вещества, называется нормальным.

Растворимость веществ в воде

Свойства воды определяются структурой ее молекул. В молекуле воды атом кислорода ковалентно связан с двумя водородными атомами так, что молекула воды – полярна:



Молекулы воды связаны между собой водородными связями, которые быстро образуются и также быстро разрушаются в результате соударения молекул. Благодаря своей полярной природе вода обладает способностью растворять ионные вещества и другие полярные соединения. В воде растворяется больше веществ, чем в любой другой жидкости. В воде могут растворяться твердые, жидкие и газообразные вещества.

Диссоциация

Многие вещества при растворении в воде распадаются на ионы, т.е. *диссоциируют*.

Кислота – это вещество, диссоциирующее в воде с образованием ионов водорода H^+ (напр., соляная кислота $H^+ Cl^-$).

Основание (в случае щелочных металлов – *щелочь*) – это вещество, выделяющее в воду гидроксил-ионы (OH^-) или обладающее способностью присоединять в растворе ионы водорода (напр., $Na^+ OH^-$).

Соль – это вещество, образующее при диссоциации ни ионов водорода, ни гидроксил-ионов (напр., поваренная соль – $Na^+ Cl^-$).

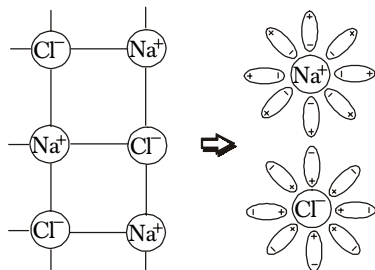
Кислотность или щелочность раствора характеризуется показателем, известным как рН. Шкала рН охватывает значения от 0 до 14. Нейтральной реакции (ни кислотной, ни щелочной) соответствует рН 7. Меньше рН 7 – кислые значения, больше – щелочные. Чистая вода нейтральна.



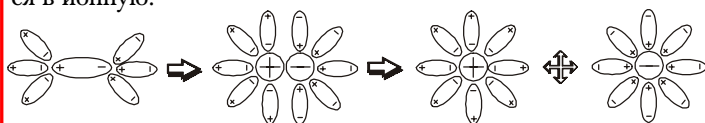
Шкала рН – это логарифмическая шкала, на которой отложены логарифмы концентрации водородных ионов (напр., раствор с рН 5 содержит 10^{-5} моль H^+ на 1 литр). Поскольку шкала логарифмическая, то кислотность раствора, например, с рН 5 в 10 раз больше, чем раствора с рН 6 и в 100 раз больше, чем раствора с рН 7.

Диссоциация

Легче всего диссоциируют вещества с ионной связью. При их растворении диполи воды ориентируются вокруг положительного и отрицательного ионов. Между ионами и диполями воды возникают силы взаимного притяжения. В результате связь между ионами ослабевает, и происходит переход ионов из кристалла в раствор. При этом образуются гидратированные ионы, химически связанные с молекулами воды:



Аналогично диссоциируют и молекулы, образованные по типу полярной ковалентной связи. Здесь также вокруг каждой полярной молекулы вещества ориентируются диполи воды. В результате этого взаимодействия происходит смещение электронной пары (облака), и полярная молекула превращается в ионную:



Электролиты

Вещества, растворы или расплавы которых проводят электрический ток, называются электролитами. К электролитам относятся кислоты, основания и почти все соли, к неэлектролитам – большинство органических соединений. Электролитическая диссоциация – обратимый процесс и характеризуется степенью электролитической диссоциации:

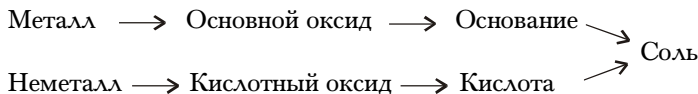
$$\alpha = n/N,$$

где α – это отношение числа распавшихся на ионы молекул n к общему числу растворенных молекул N .

Неорганические соединения

Классы неорганических соединений:
оксиды, кислоты, основания и соли.

Связь классов неорганических соединений



Оксиды

Оксидами называются сложные вещества, состоящие из двух элементов, один из которых кислород. Если элемент образует несколько оксидов, то после названия в скобках римской цифрой указывается степень окисления, напр., FeO – оксид железа (II), Fe₂O₃ – оксид железа (III).

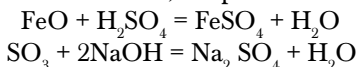
Основные оксиды – это такие оксиды, которым соответствуют основания, напр., оксиду Na₂O соответствует NaOH. Основные оксиды образуются только металлами. Основные оксиды щелочных и щелочноземельных металлов при взаимодействии с водой образуют основания, напр.:



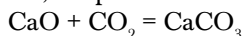
Кислотные оксиды (или ангидриды кислот) – это такие оксиды, которым соответствуют кислоты, напр., оксиду SO₃ соответствует кислота H₂SO₄. Кислотные оксиды образуются неметаллами и некоторыми металлами, проявляющими большую степень окисления. Большинство кислотных оксидов при взаимодействии с водой образуют кислоты, напр.:



Амфотерные оксиды – это такие оксиды, которые в зависимости от условий проявляют основные и кислотные свойства. К ним относятся некоторые оксиды металлов: ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃ и др. Амфотерные оксиды с водой не взаимодействуют, но реагируют и с кислотами, и с основаниями, при этом образуется соль и вода, напр.:



Взаимодействие основных и кислотных оксидов приводит к образованию солей, напр.:



Неорганические соединения**Кислоты и их соли**

<i>Кислота</i>	<i>Формула</i>	<i>Соль</i> (название - пример)
Азотистая	HNO_2	<i>Нитрит</i> калия KNO_2
Азотная	HNO_3	<i>Нитрат</i> натрия NaNO_3
Бромистоводородная	HBr	<i>Бромид</i> натрия NaBr
Дихромовая	H_2CrO_7	<i>Дихромат</i> калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Иодистоводородная	HI	<i>Иодид</i> калия KI
Марганцевая (VII) (перманганатная)	HMnO_4	Калия <i>манганат</i> (VII) (<i>перманганат</i> калия) KMnO_4
Метафосфорная	$(\text{HPO}_3)_n$	<i>Метафосфат</i> калия $(\text{KPO}_3)_n$
Метакремнивая	$(\text{H}_2\text{SiO}_3)_n$	<i>Метасиликат</i> натрия $(\text{Na}_2\text{SiO}_3)_n$
Ортокремнивая	H_4SiO_4	<i>Силикат</i> натрия Na_4SiO_4
Серная	H_2SO_4	<i>Сульфат</i> меди CuSO_4
Сернистая	H_2SO_3	<i>Сульфит</i> кальция CaSO_3
Сероводородная	H_2S	<i>Сульфид</i> натрия Na_2S
Соляная	HCl	<i>Хлорид</i> кальция CaCl_2
Тиоциановая	HSCN	<i>Тиоцианат</i> аммония NH_4SCN
Угольная	H_2CO_3	<i>Карбонат</i> кальция CaCO_3
Фосфорная	H_3PO_4	<i>Фосфат</i> кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Фтористоводородная	HF	<i>Фторид</i> калия KF
Хромовая	H_2CrO_4	<i>Хромат</i> калия K_2CrO_4
Хлорноватая	HClO_3	<i>Хлорат</i> калия KClO_3
Хлорноватистая	HClO	<i>Гипохлорит</i> натрия NaClO

Важнейшие химические свойства кислот – взаимодействие с металлами, основными оксидами, основаниями и солями.

Основания

Важнейшие химические свойства оснований:

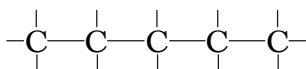
1. взаимодействие с кислотами с образованием соли и воды.
2. Взаимодействие щелочей с кислотными оксидами с образованием соли и воды.
3. Взаимодействие щелочей с растворами различных солей.

Органические соединения

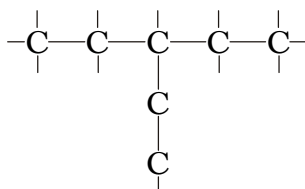
Углеродные цепи

Жизнь – это всевозможные превращения множества разнообразных крупных молекул, главным элементом в которых является *углерод*. Когда-то считалось, что такие молекулы образуются только в живых организмах, поэтому их и называют *органическими соединениями*. Свойства атомов углерода уникальны для жизни. Один углеродный атом способен образовывать четыре ковалентные связи, а большое число таких атомов может объединяться в длинные цепи, у которых есть и более короткие углеродные цепочки. Эти углеродные цепи и составляют «скелет» органических молекул:

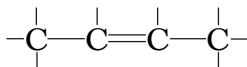
Неразветвленная цепь



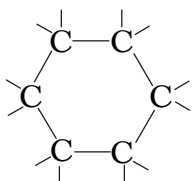
Разветвленная цепь



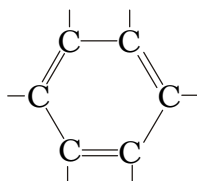
Цепь с двойной связью



Шестиуглеродное
кольцо



Шестиуглеродное
с двойными связями



Органические соединения

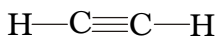
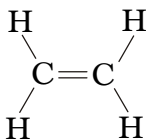
Предельные (насыщенные) углеводороды

Предельными называются углеводороды, в молекулах которых атомы углерода связаны между собой одинарной связью, а все остальные валентности насыщены атомами водорода. Их называют также парафинами или алканами. Они образуют ряд соединений, отличающихся группами CH_2 . Исходный углеводород ряда – метан CH_4 , далее следуют этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} и т.д. Общая формула предельных углеводородов: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.

Непредельные углеводороды

Непредельными называются углеводороды, в молекулах которых имеются атомы углерода, связанные между собой двойными или тройными связями. Их также называют ненасыщенными. Первыми представителями ряда ненасыщенных углеводородов являются:

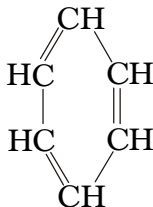
Этилен (с двойной связью) Ацетилен (с тройной связью)



Общая формула непредельных углеводородов: C_nH_{2n} . Углеводороды, содержащие в углеродной цепи две двойные связи, называются диеновыми. Их общая формула: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$.

Ароматические углеводороды

Ароматическими называются углеводороды, в молекулах которых содержатся одно или несколько бензольных ядер. Простейший представитель этого ряда – бензол C_6H_6 :



Общая формула ряда бензола: $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$

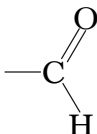
Органические соединения

Кислородосодержащие соединения

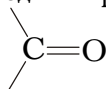
Спирты – это органические соединения, в молекулах которых содержится одна или несколько гидроксильных групп, соединенных с углеводородным радикалом R. Формула ряда *одноатомных* спиртов: $C_nH_{2n+1}OH$ (или R-OH). Примеры – CH_3OH – метиловый спирт, C_2H_5OH – этиловый спирт. Формула *двухатомных* спиртов (гликолей) – $C_nH_{2n}(OH)_2$. Пример – этиленгликоль CH_2OH-CH_2OH . Представитель *трехатомных* спиртов – глицерин: $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$.

Фенолы – это органические соединения, в молекулах которых гидроксильные группы связаны с бензольным кольцом. Пример простейшего фенола – карболовая кислота C_6H_5OH .

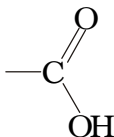
Альдегиды – это органические соединения, в молекулах которых содержится функциональная альдегидная группа:



Кетоны – это органические соединения, в молекулах которых содержится функциональная карбонильная группа, связанная с двумя углеводородными радикалами:



Карбоновые кислоты – это органические соединения, в молекулах которых содержится функциональная карбонильная группа:



При взаимодействии карбоновых кислот со спиртами образуются *сложные эфиры*. *Жиры* – это сложные эфиры глицерина и высших одноосновных жирных кислот. *Мыла* – это соли высших карбоновых (жирных) кислот.

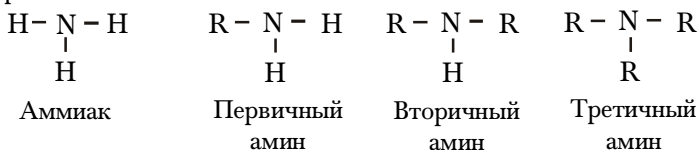
Углеводы – это органические соединения, общая формула которых: $C_n(H_2O)_m$. Пример: $C_6H_{12}O_6$ – глюкоза.

Органические соединения

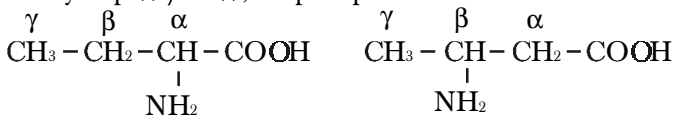
Азотосодержащие соединения

Нитросоединения – это органические вещества, в молекулах которых содержится нитрогруппа NO_2 при атоме углерода. Общая формула этих соединений $\text{R}-\text{NO}_2$.

Амины – это производные аммиака, в которых один, два или все три атома водорода замещены органическими радикалами:



Аминокислоты – это органические соединения, в молекулах которых содержатся одновременно аминогруппа $-\text{NH}_2$ и карбоксильная группа $-\text{COOH}$. По расположению аминогруппы различают α -аминокислоты (аминогруппа – у первого атома углерода), β -аминокислоты (аминогруппа – у второго атома углерода) и т.д., например:

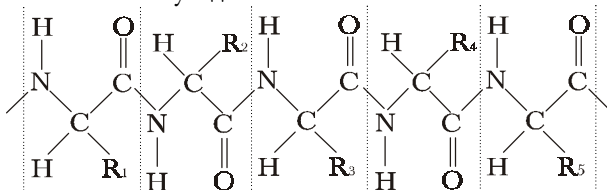


α -аминомасляная кислота

β -аминомасляная кислота

Наиболее важное значение имеют α -аминокарбоновые кислоты. Из них построены белки.

Белки – это природные соединения, построенные из аминокислот. В белках аминокислоты соединены между собой пептидными связями ($-\text{NH}-\text{CO}-$) в цепи. Образование пептидных связей происходит в результате взаимодействия карбоксильной группы одной аминокислоты с аминогруппой другой. Длина цепи может быть сколь угодно большой.



здесь: R_1 , R_2 и т.д. – боковые радикалы аминокислот.

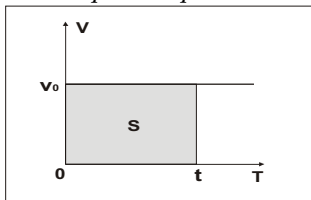
Основные физические константы

Величина	Обозн.	Значение	Единица
Скорость света	c	299792,458	км/с
Магнитная проницаемость вакуума	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	Гн/м
Постоянная Ридберга	R_∞	1,0973731534(13)	$1 \cdot 10^{-7}$ /м
Постоянная тонкой структуры	$1/\alpha$	137,0359895(61)	
Элементарный заряд	e	1,60217733(49)	$1 \cdot 10^{-19}$ Кл
Квант действия (постоянная Планка)	h	6,6260755(40)	$1 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная (число Авогадро)	N_A	6,0221367(36)	$1 \cdot 10^{+23}$ /МОЛЬ
Атомная единица массы	а.е.м.	1,6605525(17)	$1 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя электрона	m_e	9,1093897(54)	$1 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	1,6726231(10)	$1 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя нейтрона	m_n	1,6749286(10)	$1 \cdot 10^{-27}$ кг
Боровский радиус	a_0	5,29177249(24)	$1 \cdot 10^{-11}$ м
Классический радиус электрона	r_e	2,81794092(38)	$1 \cdot 10^{-15}$ м
Универсальная газовая постоянная	R	8,314510(70)	Дж/(МОЛЬ·К)
Постоянная Больцмана	k	1,380658(12)	$1 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Гравитационная постоянная	G	$6,67259 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Нормальное ускорение	g	9,80665	$\text{м}/\text{с}^2$
Отношение Джозефсона	$2e/h$	4,8359767(14)	$1 \cdot 10^{+14}$ Гц/В
Число Фарадея	F	9,6485309(29)	10^{+4} Кл/МОЛЬ
Комптоновская длина:			
волны электрона	λ_{0e}	2,4263088(40)	$1 \cdot 10^{-12}$ м
волны протона	λ_{0p}	1,3214099(23)	$1 \cdot 10^{-15}$ м
волны нейтрона	λ_{0n}	1,3195909(22)	$1 \cdot 10^{-15}$ м
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	V_m	22,41410(19)	10^{-3} м ³ /МОЛЬ

Движение тел

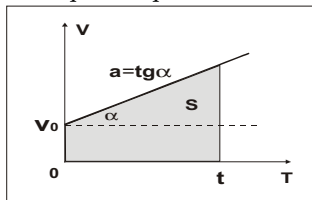
Прямолинейное движение

равномерное



$$v_t = v_0 \quad s = v_0 t$$

равнопеременное

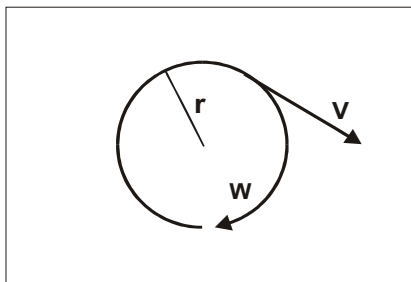


$$v_t = v_0 + at \quad s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

v - скорость, **t** - время, **a** - ускорение, **s** - пройденный путь.

Ускорение	$a(\text{м/сек}^2)$	Замедление	$a(\text{м/сек}^2)$
Поезд метро	1	Торможение автомобиля	4 - 6
Гоночный автомобиль	4,5		
Пассажирский поезд	0,35	Посадка реактивного самолета	5 - 8
Трамвай	0,6		
Запуск ракеты	30 - 90	Наполнение купола парашюта	~ 60
Снаряд в стволе	100000		

Вращательное движение



w – угловая скорость,
v – линейная скорость,
a – центростремительное ускорение,
n – частота вращения (количество оборотов в единицу времени),
T - период вращения,
r - радиус вращения.

$$w = 2\pi n = \frac{2\pi}{T} \quad v = wr \quad a = \frac{v^2}{r} = w^2 r$$

Притяжение тел и законы Ньютона

Две материальные точки, имеющие массы m_1 и m_2 , притягиваются друг к другу с силой:

(R – расстояние между точками,
 G – гравитационная постоянная.)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

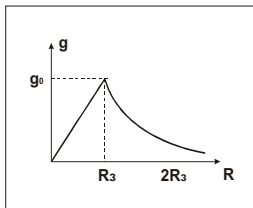
Вес (сила тяжести) покоящегося тела с массой m :

$$P = mg$$

(g – ускорение свободного падения)

Притяжение тел осуществляется посредством гравитационного поля.

График изменения ускорения свободного падения g от расстояния (R_3 – радиус Земли) характеризует изменение напряженности поля тяготения.



Для тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0 , максимальная высота подъема тела над поверхностью:

$$H = v_0 t - \frac{1}{2} g_0 t^2$$

Первый закон Ньютона

Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку они не понуждаются приложенными силами изменить это состояние.

Второй закон Ньютона

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Третий закон Ньютона

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе - взаимодействие двух тел друг на друга равны между собой и направлены в противоположные стороны.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = -m_2 \cdot \vec{a}_2$$

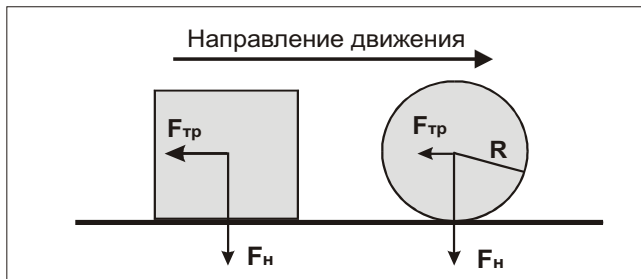
Трение

Сила трения скольжения F_T зависит от природы и качества трущихся поверхностей (учитывается коэффициентом f) и силы нормального давления F_H .

Сила трения качения меньше силы трения скольжения.

$$F_T = fF_H$$

$$F_T = k \frac{F_H}{R}$$



Коэффициенты трения скольжения для некоторых материалов

Соприкасающиеся поверхности	f
Бронза по бронзе	0,2
Бронза по стали	0,18
Дерево сухое по дереву	0,25 - 0,5
Деревянные полозья по снегу и льду	0,035
Кожаный ремень влажный по металлу	0,36
Кожаный ремень сухой по металлу	0,56
Лед по льду	0,028
Медь по чугуну	0,27
Подшипник скольжения при смазке	0,02 - 0,08
Резина (шины) по твердому грунту	0,4 - 0,6
Сталь (или чугун) по феродо или рейбесту	0,22 - 0,45
Сталь по льду (коньки)	0,02 - 0,03
Сталь по стали	0,18
Фторопласт по нержавеющей стали	0,064-0,080
Фторопласт по фторопласту	0,052-0,086
Чугун по бронзе	0,21
Чугун по чугуну	0,16

Плотность вещества

Плотность вещества — это масса **m**, заключенная в объеме **V**.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad d = \frac{P}{V}$$

Удельный вес **d** - вес единицы объема.

Плотность твердых веществ при температуре 20°С

Вещество	г/см ³	Вещество	г/см ³	Вещество	г/см ³
Осмий	22,6	Олово	7,3	Глина	1,8 - 2,6
Платина	21,5	Хром,цинк	7,1	Магний	1,7
Золото	19,3	Титан	4,5	Сахар	1,6
Свинец	11,3	Доломит	2,8 - 2,9	Песок	1,2 - 2,1
Серебро	10,5	Алюминий	2,7	Натрий	1
Медь	9	Дюралюм.	2,6 - 2,9	Воск	0,95
Никель	8,9	Графит	2,3 - 2,7	Каучук	0,9
Бронза	8,8	Фарфор	2,3 - 2,5	Лед	0,88-0,92
Железо	7,9	Асбест	2,1 - 2,8	Литий	0,5

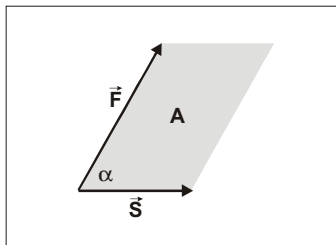
Плотность жидких веществ при температуре 20°С

Вещество	г/см ³	Вещество	г/см ³
Азотная кислота	1,51	Молоко средн. жирн.	1,03
Ацетон	0,791	Морская вода	1,01 - 1,03
Бензин	0,68 - 0,72	Нефть	0,76 - 0,85
Бром	3,12	Ртуть	13,6
Вода	0,99823	Серная кислота	1,83
Глицерин	1,26	Соляная кислота 38%	1,19
Масло вазелинов.	0,8	Хлороформ	1,489
Масло машинное	0,9	Уксусная кислота	1,049
Метиловый спирт	0,792	Этиловый спирт	0,79

Плотность газов при 0°С и нормальном давлении

Вещество	кг/м ³	Вещество	кг/м ³	Вещество	кг/м ³
Азот	1,251	Водород	0,08988	Криптон	3,74
Аммиак	0,771	Воздух	1,293	Неон	0,9
Аргон	1,783	Гелий	0,1785	Озон	2,139
Ацетилен	1,173	Кислород	1,429	Хлор	3,22

Работа, мощность, энергия



Работа силы — это мера передачи движения от одного тела к другому, равная произведению силы на перемещение:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \alpha$$

Работа вращательного движения при повороте на угол α с моментом силы M :

$$A_6 = M \alpha$$

Мощностью N называется величина, равная работе A , совершаемой в единицу времени t :

$$N = \vec{F} \cdot \vec{v} = \frac{A}{t}$$

Мощность вращающегося тела с угловой скоростью ω :

$$N_6 = M \cdot \omega$$

Кинетическая энергия — энергия движения тела, равная работе, которую должны совершить силы при торможении тела.

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

При малых скоростях v :

При больших скоростях,

близких к скорости света c :

(m_0 - масса покоя тела)

$$E_k = m_0 c^2 \left(1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} - 1 \right)$$

Кинетическая энергия вращающегося тела:

(I - момент инерции, ω — угловая скорость)

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Потенциальная энергия тела в поле тяготения Земли:

(R — расстояние от тела до центра Зем-

ли, M — масса Земли, m — масса тела,

G — гравитационная постоянная)

$$E_{II} = -G \frac{M \cdot m}{R}$$

Потенциальная энергия тела на высоте h :

$$E_{II} = mgh$$

Закон сохранения механической энергии

В инерциальной системе отсчета механическая энергия замкнутой системы, в которой нет диссипативных сил, остается постоянной.

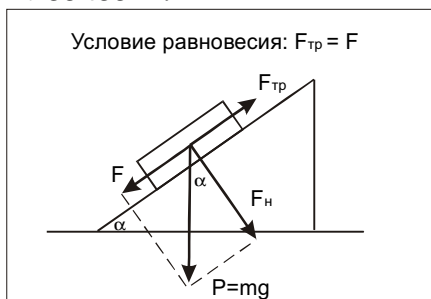
Статика

Центр тяжести твердого тела или системы тел это точка приложения равнодействующей всех сил тяжести, действующих на отдельные точки тела или системы тел.

$$\vec{r}_c = \frac{1}{m} \sum m_i \vec{r}_i$$

Сумма моментов сил тяжести всех частиц тела относительно центра тяжести тела равна нулю.

Условие равновесия тела на наклонной плоскости:



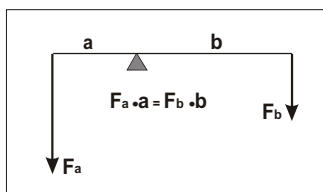
$$F_{тр} = F$$

$$F_{тр} = P \cdot \sin \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f_{II}$$

f_{II} — коэффициент трения покоя.

Рычаг



Рычаг находится в равновесии, если сумма моментов действующих на него сил равна нулю.

Тело	Положение центра тяжести
Шар	В центре
Полушарие	На оси симметрии, смещен от основания на $3/8 R$
Конус	На оси симметрии, смещен от основания на $1/4 H$ (высоты)
Цилиндр	На середине оси цилиндра.

Упругость тел

Закон Гука: напряжение σ пропорционально деформации ε .

При упругой деформации в теле возникают силы упругости, которые препятствуют изменению его формы. Отношение силы упругости F к площади S , на которой распределена сила, называют напряжением σ , ε – относительная продольная деформация. E – модуль Юнга (напряжение, увеличивающее длину l образца в два раза).

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\left(\sigma = \frac{F}{S}\right)$$

$$\left(\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}\right)$$

<i>Материал</i>	<i>E (ГПа)</i>	<i>Материал</i>	<i>E (ГПа)</i>
Сталь легированная	206	Плексиглас	5,25
Чугун ковкий	150	Целлулоид	1,8
Медь катанная	108	Каучук	0,008
Стекло	49 - 78	Резина вулканизир	0,001-0,005

Сжимаемость вещества β – это относительное изменение объема тела при изменении давления на него ΔP на единицу.

$$\Delta V = -V\beta \Delta P$$

Жидкости и газы в поле тяжести

Давление P столба жидкости или газа в однородном поле тяжести пропорционально ρ – плотности и h – высоте столба жидкости):

$$P = \rho g h$$

В сообщающихся сосудах, независимо от их формы, отношение высот столбов жидкостей h обратно пропорционально отношению плотностей жидкостей ρ .

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Закон Архимеда

Тело, погруженное в жидкость или газ, испытывает действие выталкивающей силы, равное весу вытесненной им жидкости или газа.

Движение жидкостей и газов

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости

При стационарном движении идеальной жидкости в любом сечении выполняется условие (P – давление, ρ – плотность, h – высота, v – скорость в данном сечении).

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = const$$

Формула Стокса для движения шара в вязкой среде

Спротивление среды F пропорционально радиусу шара R и его скорости v (η – вязкость жидкости).

$$F = 6\pi\eta Rv$$

Теплота

Количество теплоты ΔQ , полученное телом массы m при увеличении его температуры на Δt (c – удельная теплоемкость):

$$\Delta Q = cm\Delta t$$

Первый закон термодинамики

Сумма количества теплоты, получаемого системой при нагревании и работа, которая совершается над ней внешними силами, равна изменению внутренней энергии.

$$\Delta Q + \Delta A = \Delta U$$

Второй закон термодинамики

Теплота не может самопроизвольно перейти от более холодного тела к более горячему без каких-либо других изменений в системе.

Третий закон термодинамики

Теплоемкость любого тела при приближении к абсолютному нулю стремится к нулю.

Фазовые превращения

Теплота фазового перехода при плавлении: (λ – удельная теплота плавления, m – масса)

$$Q_{пл} = \lambda m$$

Теплота фазового перехода при парообразовании (r – удельная теплота парообразования):

$$Q_{II} = rm$$

Тепловое движение молекул

Тепловое расширение жидких и твердых тел

Длина тела при температуре $t^{\circ}\text{C}$:

(α – коэффициент линейного расширения)

$$l_t = l_0(1 + \alpha t)$$

Объем тела при температуре $t^{\circ}\text{C}$:

(β – коэффициент объемного расширения)

$$V_t = V_0(1 + \beta t)$$

Плотность тела при температуре $t^{\circ}\text{C}$:

l_0, v_0, ρ_0 – параметры тела при 0°C

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \beta t}$$

Теплопроводность – это процесс передачи теплоты вследствие теплового движения молекул.

Количество теплоты Q проходящее за время

t через слой вещества толщиной Δl , площадью S : (λ – коэффициент теплопроводности, $\Delta T/\Delta l$ – градиент температуры)

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S t$$

Диффузия – это процесс выравнивания плотностей, обусловленный переносом вещества посредством молекулярного движения.

Масса вещества M , переносимая через слой вещества толщиной Δl , площадью S за время t

$$M = D \frac{\Delta \rho}{\Delta l} S t$$

($\Delta \rho/\Delta l$ – градиент плотности, D – коэффициент диффузии)

Внутреннее трение (вязкость) – это перенос импульса упорядоченного движения молекулами, переходящими при относительном движении слоев жидкости из одного слоя в другой.

Сила внутреннего трения на площади S :

(Δl – расстояние между слоями, $\Delta v/\Delta l$ – градиент скорости в направлении, перпендикулярном относительной скорости слоев, η – коэффициент вязкости)

$$F_T = \eta \frac{\Delta v}{\Delta l} S$$

Поверхностное натяжение жидкостей

На молекулы жидкости, находящиеся на поверхности, со стороны других молекул действуют силы, направленные внутрь жидкости.

Сила поверхностного натяжения F :

$$F = \alpha l$$

(l – длина края или периметр поверхностного слоя жидкости, α – коэффициент поверхностного натяжения)

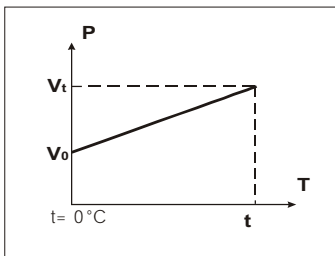
Газовые законы

Уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

(p, V – давление и объем газа массы m ,
 μ – молярная масса, R – универсальная
газовая постоянная)

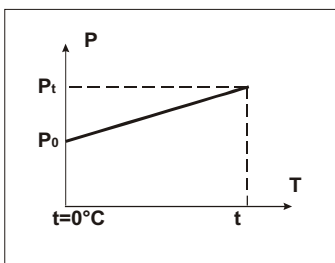
Закон изобары Гей-Люссака



$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right)$$

$P = \text{const}, m = \text{const}$

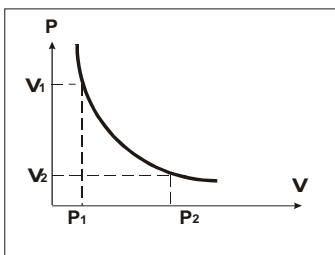
Закон изохоры Шарля



$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right)$$

$V = \text{const}, m = \text{const}$

Закон изотермы Бойля-Мариотта



$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$T = \text{const}, m = \text{const}$

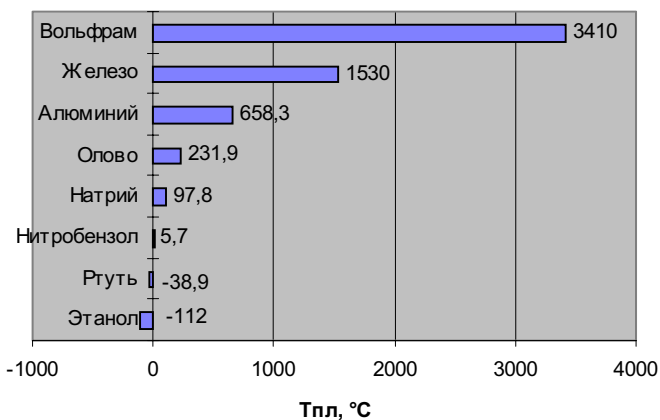
Удельная теплоёмкость C_p , теплота плавления λ и парообразования r , температура плавления $t_{пп}$ и кипения $t_{кип}$

Вещество	C_p при 20°C кДж/(кг·К)	$t_{пп}$, °C	λ кДж/кг	$t_{кип}$, °C	r кДж/кг
Алюминий	0,88	658,3	322-394	2300	9220
Ацетон	2,18	-94,3	96	56,2	524
Бензол	1,705	5,5	127	80,2	396
Висмут	0,13	271	50	1560	855
Глицерин	2,4	-	176	290	825
Германий	0,31	958	478	2700	-
Железо	0,45	1530	293	3050	6300
Золото	0,13	1064,4	66,6	2800	1575
Калий	0,763	64	60,8	760	2080
Латунь	0,38	900	-	-	-
Лед (вода)	4,19	0	334	100	2260
Литий	4,4	186	628	1317	20500
Магний	1,3	651	373	1103	5450
Медь	0,39	1083	214	2360	5410
Натрий	1,3	98	113	883	4220
Нафталин	1,3	80,3	151	218	316
Никель	0,46	1452	243-306	3000	7210
Олово	0,23	231,9	59	2270	3020
Ртуть	0,138	-38,9	11,73	356,7	285
Свинец	0,13	327,3	22,5	1750	880
Серебро	0,235	961,9	88	2184	2350
Спирт эт.	2,43	-114	105	78,3	846
Сталь	0,46	1350	205	-	-
Чугун	0,5	1150	96-138	-	-

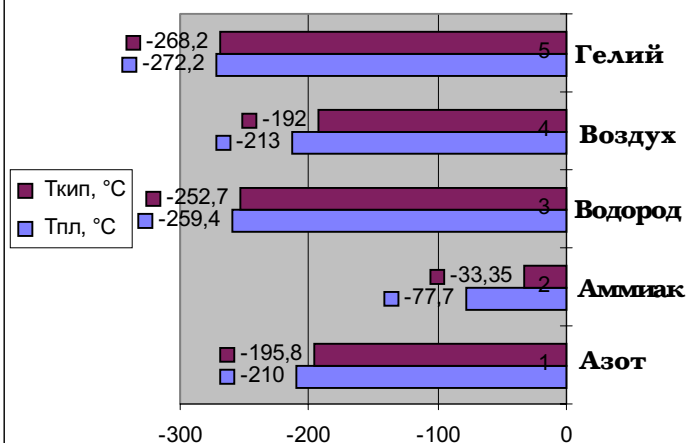
Удельная теплота сгорания топлива (с учетом потери на испарение воды)

Топливо	МДж/кг	Топливо	МДж/кг	Топливо	МДж/кг
Антрацит	19-27	Бензин А-92	44,1	Ацетилен	48,2
Бур. уголь	10-17	Керосин	43	Водород	120
Дрова	10	Мазут	39-41	Кокс. газ	16-19
Торф	8,4-11	Спирт этил.	27,2	Прир.газ	36

Температура плавления некоторых веществ



Температуры плавления и кипения некоторых газов



Коэффициенты теплопроводности материалов при $P_{\text{атм}}$

Вещество	°С	λ , Вт/(м·К)	Вещество	°С	λ , Вт/(м·К)
<i>Газы</i>			<i>Минералы и материалы</i>		
Кислород	0	0,0239	Стекло	18	0,4-1
Азот	-3	0,0237	Древесина	18	0,16-0,25
Воздух	4	0,0226	Асбест	18	0,12
<i>Жидкости</i>			<i>Металлы</i>		
Ртуть	0	7,82	Серебро	0	429
Вода	20	0,599	Медь	0	403
Бензол	22,5	0,158	Железо	0	86,5

Механические колебания и волны

Гармоническое колебание – такое периодическое изменение величины, которое описывается синусоидальным законом:

$$u = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Амплитуда **A** – это наибольшее по модулю значение изменяющейся величины, ω – круговая частота, φ – начальная фаза, $\omega t + \varphi$ – фаза колебания.

Связь круговой частоты ω и периода **T** колебаний с частотой периодических колебаний ν описывается выражением:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

Затухающие колебания обусловлены одновременным действием квазиупругой силы и силы трения (δ – коэффициент затухания).

$$u = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi)$$

Плоские гармонические волны

– процесс распространения синусоидальных возмущений в среде по закону: (**A** – амплитуда, ω – круговая частота, λ – длина волны, **r** – расстояние до источника волны).

$$u = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r\right)$$

Маятники

Период колебаний математического маятника:

(l — длина маятника, g — ускорение свободного падения)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Период колебания груза на пружине:

(m — масса груза, k — жесткость пружины)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Период колебаний крутильно-го маятника:

(I — момент инерции тела, D — крутильная жесткость)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{D}}$$

Период колебаний физического маятника:

(I — момент инерции тела, a — расстояние от центра тяжести тела до оси колебаний, m — масса тела)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga}}$$

Звук

Звук — это упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах, воспринимаемые органами слуха.

Амплитуда звукового давления ΔP связана с амплитудой колебательной скорости u соотношением:

$$\Delta P = \rho v u$$

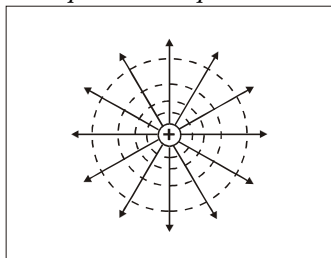
(ρ — плотность среды, v — скорость волны)

Шкала звуковых волн

Частота (Гц)	Наименование	Источники (примеры)
0,5 – 20	Инфразвук	Колебания воды в водоемах, биение сердца.
$2 \cdot 10^4 - 10^{10}$	Слышимые звуки	Голоса, музыкальные инструменты, свистки и т.д.
$20 \cdot 10^4$	Ультразвук	Пьезоэлектрические, магнитострикционные излучатели, летучие мыши, сверчки

Электрический заряд

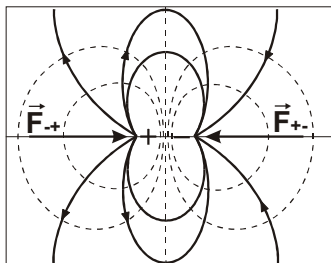
Силовые линии поля точечного электрического заряда



Напряженность электрического поля точечного заряда на расстоянии r :

$$E_T = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Силовые линии поля разноименных точечных зарядов



Закон Кулона для силы F взаимодействия двух зарядов:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Q_1 и Q_2 – заряды, находящиеся на расстоянии r ,
 ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ_0 – электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля равномерно заряженного шара (r – расстояние от центра шара):

$$E_{ш} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Напряженность электрического поля заряженного длинного цилиндра на расстоянии r от оси цилиндра (τ – линейная плотность заряда):

$$E_{ц} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Работа в электростатическом поле с разностью потенциалов U при перемещении заряда Q :

$$A = QU$$

Конденсаторы

Емкость конденсаторов

Емкость конденсатора – отношение заряда на одной из обкладок к разности потенциалов между ними:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Емкость плоского конденсатора с площадью обкладок S и расстоянием между ними d :

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

Емкость цилиндрического конденсатора и коаксиального кабеля (l – длина конденсатора, b и a – радиусы внешнего и внутреннего цилиндров):

$$C = \frac{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 l}{\ln(b/a)}$$

Соединение конденсаторов

Емкость n параллельно соединенных конденсаторов:

$$C_{ПАР} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Емкость n последовательно соединенных конденсаторов определяется из выражения:

$$\frac{1}{C_{ПОС}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Электроизолирующие материалы

Материал	ε	ρ , Ом·см	Материал	ε	ρ , Ом·см
Воск пчелиный	2,8-2,9	$2 \cdot 10^{+10}$ - $2 \cdot 10^{+15}$	Слюда	4-5,5	$1 \cdot 10^{+13}$ - $- 1 \cdot 10^{+14}$
Канифоль	3,5	$5 \cdot 10^{+16}$	Стекло	4-10	$1 \cdot 10^{+11}$ - $1 \cdot 10^{+14}$
Мрамор	8-10	$1 \cdot 10^{+10}$	Фарфор	6,5	$3 \cdot 10^{+14}$
Парафин	2,2-2,3	$3 \cdot 10^{+18}$	Шеллак	3,5	$1 \cdot 10^{+16}$
Полистирол	2,2-2,8	$5 \cdot 10^{+15}$ - $- 5 \cdot 10^{+17}$	Шифер	6-7	$1 \cdot 10^{+8}$
Резина	2,6-3	$4 \cdot 10^{+13}$	Янтарь	2,7-2,9	$1 \cdot 10^{+18}$

ρ – удельное сопротивление, ε – диэлектрическая проницаемость.

Электрический ток

Постоянный ток

Работа **A** тока силы **I** с напряжением на участке цепи **U** за время **t**:

$$A = IUt$$

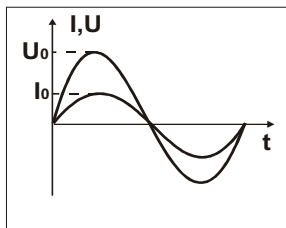
Работа тока, связанная с изменением внутренней энергии проводника (выделением тепла) при отсутствии э.д.с.:

$$A = \frac{U^2}{r} t$$

Работа тока, связанная с изменением внутренней энергии проводника (независимо от наличия или отсутствия э.д.с.):

$$A = I^2 r t$$

Переменный ток



Для переменного синусоидального тока действующие значения силы тока **I** и напряжения **U**:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Мощность, выделяемая в цепи током с разностью фаз φ между током **I** и напряжением **U**:

$$P = UI \cos \varphi$$

Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока с частотой **f** и индуктивностью **L**:

$$r_L = 2\pi f L$$

Емкостное сопротивление в цепи переменного тока с частотой **f** и емкостью **C**:

$$r_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Сопротивление контура, состоящего из последовательно соединенных активного сопротивления **r**, индуктивности **L**, емкости **C**:

$$Z = \sqrt{r^2 + (r_L - r_C)^2}$$

Формула Томпсона для периода **T** свободных колебаний замкнутого контура, состоящего из индуктивности **L** и емкости **C**:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Электрический ток

Закон Ома — соотношение между силой тока I , напряжением U на концах цепи и сопротивлением r :

$$I = \frac{U}{r}$$

Сопротивление проводника длины l , с поперечным сечением S , удельным сопротивлением ρ :

$$r = \rho \frac{l}{S}$$

Удельное сопротивление проводников (ρ , мкОм·м)

Вещество	ρ	Вещество	ρ	Вещество	ρ
Алюминий	0,028	Медь	0,017	Серебро	0,016
Вольфрам	0,055	Олово	0,12	Сталь	0,1 – 0,14
Железо	0,1	Ртуть	0,98	Цинк	0,059
Золото	0,024	Свинец	0,22	Чугун	0,5 – 0,8

Соединение сопротивлений

Сопротивление последовательно соединенных n сопротивлений:

$$r_{ПЭС} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

При параллельном соединении n сопротивлений сопротивление цепи определяется из соотношения:

$$\frac{1}{r_{ПАР}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

Электролиты и заряд аккумулятора

При напряжении U на клеммах источника, э.д.с. ε и сопротивлении аккумулятора r , зарядный ток:

$$I_3 = \frac{U - \varepsilon}{r}$$

Первый закон Фарадея определяет массу вещества, выделившегося на электроде при электролизе (Q — количество электричества, прошедшее через электролит, k — электрохимический эквивалент)

$$m = kQ$$

Второй закон Фарадея определяет электрохимический эквивалент (F — постоянная Фарадея, μ — молярная масса, n — валентность)

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n}$$

Шкала электромагнитных волн

<i>Наименование</i>	<i>Длина</i>	<i>Частота</i>	<i>Источники</i>	
Низкочастотные электрические колебания	>100 км	0-3 кГц	Генераторы тока, звуковые генераторы	
Радиоволны:	100 км - 1 мм	3 кГц - 3 ТГц	Генераторы электрических колебаний. Используются в телеграфии, радиовещании, радиолокации, телевидении.	
мириаметровые	100-10 км	3-30 кГц		
километровые (низкие частоты)	10-1 км	30-300 кГц		
гектометровые (средние частоты)	1 км-100 м	300 кГц-3 МГц		
декаметровые (высокие частоты)	100-10 м	3-30 МГц		
метровые	10-1 м	30 МГц - 300 МГц		Для исследования свойств веществ.
дециметровые	1 м-10 см	300 МГц-3 ГГц		
сантиметровые	10-1 см	3-30 ГГц	В радиолокации, радиоспектроскопии, радиоастрономии.	
миллиметровые	1 см-1 мм	30-300 ГГц		
децимиллиметровые	1-0,1 мм	300 ГГц-3 ТГц		
Инфракрасное излучение	2 мм - 760 нм	150 ГГц-400 ТГц	Инфракрасная спектроскопия.	
Видимое излучение (свет)	760нм - 380 нм	400 ТГц-800 ТГц	При изменении состояний электронов на внешних оболочках,	
Ультрафиолетовое излучение	380-3 нм	800 ТГц-100 ПГц		
Рентгеновское излучение	10 нм - 1 пм	30 ПГц-300 ЭГц	на внутрен. оболочках атомов.	
Гамма-излучение	<10 пм	>300 ЭГц	При возбуждении ядер.	

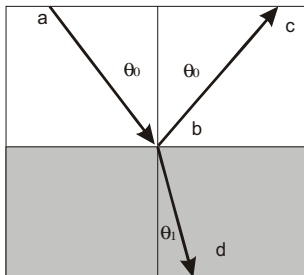
Оптика

Испускаемый точечным источником световой поток Φ (где I — сила света)

$$\Phi = 4\pi I$$

Освещенность — отношение светового потока Φ , падающего на поверхность, к площади этой поверхности S

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

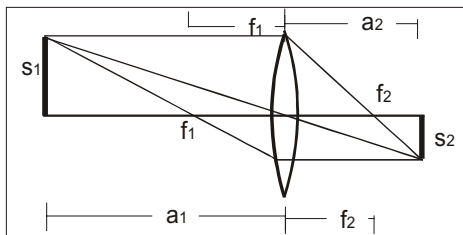


При падении луча на границу раздела двух сред **угол падения равен углу отражения, а угол преломления θ_1 связан с углом падения θ_0 соотношением:**

$$n = \frac{\sin\theta_0}{\sin\theta_1} = \frac{c}{V}$$

Величину n называют показателем преломления для данной длины волны (c и V — скорости света в соответствующих средах).

Линзы



f — фокусное расстояние, r_1 и r_2 — радиусы кривизны поверхностей линзы.

Формула тонкой линзы

$$-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f}; \quad -f_1 = f_2 = f$$

Если f выражено в метрах, это формула для оптической силы $d=1/f$, выраженной в диоптриях.

Освещенность на примерах

<i>Освещение</i>	<i>Освещенность E, лк</i>
Солнечными лучами в полдень	100 000
В фотостудии при съемке	10 000
На открытом месте в пасмурный день	1000
В светлой комнате вблизи окна	100
Необходимое для чтения	30-50
На экране кинотеатра	20-80
От полной луны	0,2
От ночного неба в безлунную ночь	0,0003

Длина волн видимой части спектра

<i>Цвет</i>	<i>Границы, нм</i>	<i>Цвет</i>	<i>Границы, нм</i>
Фиолетовый	380-450	Желто-зел.	550-575
Синий	450-480	Желтый	575-585
Голубой	480-510	Оранжевый	585-620
Зеленый	510-550	Красный	620-760

Показатели преломления относительно воздуха

<i>Твердые тела</i>	<i>n</i>	<i>Жидкие тела</i>	<i>n</i>
Алмаз	2,417	Масло коричное	1,601
Топаз	1,63	Анилин	1,586
Слюда	1,56-1,60	Масло гвоздичное	1,532
Сахар	1,56	Глицерин	1,47
Лед	1,31	Вода	1,333

Квантовые свойства света

Энергия фотона ϵ зависит от частоты излучения ν (h – постоянная Планка)

$$\epsilon = h\nu$$

Основное уравнение фотоэффекта:

Наибольшая скорость V_m , вылетевших при фотоэффекте электронов, не зависит от силы света, а определяется частотой падающего света ν (A – работа выхода, m_e – масса электрона)

$$h\nu = A + \frac{m_e v_m^2}{2}$$

Атомы, ядра, радиоактивность

Согласно полуклассической модели Бора-Зоммерфельда электроны в атоме движутся вокруг ядра по круговым и эллиптическим орбитам.

Радиусы стационарных круговых орбит определяются из соотношения:

$$m_e v_n r_n = \frac{hn}{2\pi}$$

(h – постоянная Планка, $n = 1, 2, 3, \dots$)

Состояние электрона в атоме определяется 4-мя квантовыми числами: главным квантовым числом n , орбитальным квантовым числом l (от 0 до $n-1$), магнитным квантовым числом m (от $-l$ до l), спином $s = 1/2$.

Атомное ядро любого элемента состоит из протонов и нейтронов (нуклонов). Количество нуклонов называют массовым числом A . Число нейтронов в ядре равно $N=A-Z$, где Z – атомный номер ядра или порядковый номер в периодической системе элементов Менделеева.

Ядра, имеющие одинаковый заряд Z_e (одинаковое количество протонов), но разное количество нейтронов, называют **изотопами**.

Ядра, у которых число нейтронов или протонов равно 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 120, называют магическими ядрами. У них наибольшая стабильность.

Некоторые из тяжелых ядер самопроизвольно распадаются с образованием новых ядер и излучением большой энергии.

Это явление называют **радиоактивностью**.

Изменение числа радиоактивных ядер за время t (N_0 – начальное число ядер, T – период полураспада, за который распадается половина ядер).

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Активность нуклида – отношение количества распавшихся атомов к промежутку времени распада.

$$a = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Радиоактивное излучение вызывает ионизацию вещества, поглощающего энергию излучения.

Керма – отношение суммы первоначальных кинетических энергий всех заряженных частиц, образующихся при косвенной ионизации, к массе вещества.

$$K = \frac{W}{m}$$

Некоторые радиоактивные изотопы

Поряд- ковый номер	Название элемента	Наиболее значимый изотоп		Изотоп с наибольшим периодом полураспада	
		Символ	Период полураспада	Символ	Период полураспада
4	Бериллий	⁷ Be	53 дня	¹⁰ Be	2,5 · 10 ⁺⁶ лет
6	Углерод	¹⁴ C	5569 лет	¹⁴ C	5569 лет
27	Кобальт	⁶⁰ Co	5,24 лет	⁶⁰ Co	5,24 лет
38	Стронций	⁹⁰ Sr	27,7 лет	⁹⁰ Sr	27,7 лет
48	Кадмий	¹¹³ Cd	5,1 лет	¹¹³ Cd	5,1 лет
61	Прометий	¹⁴⁷ Pm	2,7 лет	¹⁴⁵ Pm	18 лет
82	Свинец	²⁰⁹ Pb	3,3 часа	²¹⁰ Pb	23,3 лет
84	Полоний	²¹⁰ Po	138,4 дней	²⁰⁹ Po	103 лет
88	Радий	²²⁶ Ra	1620 лет	²²⁶ Ra	1620 лет
90	Торий	²³² Th	1,4 · 10 ⁺¹⁰ лет	²³² Th	1,4 · 10 ⁺¹⁰ лет
92	Уран	²³⁵ U	7,1 · 10 ⁺⁸ лет	²³⁸ U	4,5 · 10 ⁺⁹ лет
		²³³ U	1,6 · 10 ⁺⁵ лет		
93	Нептуний	²³⁹ Np	2,3 дня	²³⁷ Np	2,14 · 10 ⁺⁶ лет
94	Плутоний	²³⁹ Pu	24360 лет	²⁴⁴ Pu	7,6 · 10 ⁺⁶ лет
95	Америций	²⁴¹ Am	435 лет	²⁴³ Am	7370 лет
97	Берклий	²⁴⁹ Bk	314 дней	²⁴⁷ Bk	1380 лет
98	Калифорний	²⁵² Cf	2,63 лет	²⁵¹ Cf	900 лет

Предельно допустимые дозы облучения

1 группа		2 группа		3 группа	
мДж/ кг · нед	мДж/ кг · год	мДж/ кг · нед	мДж/ кг · год	мДж/ кг · нед	мДж/ кг · год
Облучение профессиональное					
1	50	3	150	6	300
Облучение в смежных помещениях					
0,1	5	0,3	15	0,6	30
Облучение населения					
0,01	0,5	0,1	5	0,2	10

I группа - гонады, хрусталик и кровянообразные органы. II группа - мышцы, жир. ткань, печень, почки, железы, желудочно-кишечный тракт, легкие. III группа - кожа, кости.

Элементарные частицы

Наименование	Символ	Масса (МэВ)	Электрический заряд (-1,0,+1)	Время жизни (с)
фотон		0	0	стабилен
Лептоны и антилептоны				
электрон, позитрон	e^-, e^+	0,511003	-1,+1	стабильны
электрон, нейтрино	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	$<3 \cdot 10^{-5}$	0	стабильно
мюон	μ^-, μ^+	105,6593	-1,+1	$2,19713 \cdot 10^{-6}$
мюонное нейтрино	$\nu, \bar{\nu}$	$<0,51$	0	стабильно
тау-лептон	τ^-, τ^+	1784	-1,+1	$3,4 \cdot 10^{-13}$
тау-нейтрино	$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$	<250	0	стабильно?
Мезоны				
пионы	π^+, π^-	139,567	+1,-1	$2,603 \cdot 10^{-8}$
	π^0	134,963	0	$0,831 \cdot 10^{-16}$
каоны	K^+, K^-	493,67	+1,-1	$1,237 \cdot 10^{-8}$
	K^0, \bar{K}^0	497,7	0	$0,89 \cdot 10^{-10}$ $5,18 \cdot 10^{-8}$
эта-мезон	η	548,8	0	$2,5 \cdot 10^{-17}$
D-мезоны	D^+, D^-	1869,4	+1,-1	$8 \cdot 10^{-13}$
	D^0, \bar{D}^0	1864,7	0	$4 \cdot 10^{-13}$
F-мезоны	F^+, F^-	2021	+1,-1	$<5 \cdot 10^{-13}$
Барионы				
протон	p, \bar{p}	938,28	+1,-1	стабилен
нейтрон	n, \bar{n}	939,573	0	918
<i>Гипероны:</i>				
ламда-гиперон	$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1115,6	0	$2,63 \cdot 10^{-10}$
сигма-гипероны	$\Sigma^+, \bar{\Sigma}^+$	1189,37	+1,-1	$8 \cdot 10^{-11}$
	$\Sigma^0, \bar{\Sigma}^0$	1192,48	0	$5,8 \cdot 10^{-20}$
	$\Sigma^-, \bar{\Sigma}^-$	1197,39	-1,+1	$1,484 \cdot 10^{-10}$
кси-гипероны	$\Xi^0, \bar{\Xi}^0$	1314,9	0	$2,9 \cdot 10^{-10}$
	$\Xi^-, \bar{\Xi}^-$	1321,3	-1,+1	$1,64 \cdot 10^{-10}$
омега-гиперон	$\Omega^-, \bar{\Omega}^-$	1672,2	-1,+1	$0,82 \cdot 10^{-10}$
«очарованные» гипероны	$\Lambda_c, \bar{\Lambda}_c$	2282	-1,+1	$2 \cdot 10^{-13}$
	$\Sigma_c, \bar{\Sigma}_c$	2450	0	?

Кварки – составные элементы мезонов и барионов

<i>Кварк</i>	<i>Электрич. заряд</i>	<i>Странность s</i>	<i>«Очарован- ние» c</i>	<i>«Красота» b</i>
d (down)	-1/3	0	0	0
u (up)	2/3	0	0	0
s (strange)	-1/3	-1	0	0
c (charm)	2/3	0	1	0
b (beauty)	-1/3	0	0	1
t (top)	2/3	0	0	0

Барионный заряд у всех кварков равен 1/3, у соответствующих им антикварков -1/3. У каждого кварка 3 состояния: синее, красное, желтое (1,2,3).

Примеры: составная формула протона: $p=(u_1, u_2, d_3)$;

составная формула нейтрона: $n=(d_1, d_2, u_3)$.

Взаимодействия

<i>Тип взаимодействия</i>	<i>Радиус действия</i>	<i>Действующие частицы</i>	<i>Частицы - переносчики взаимодействия</i>		
			<i>Название</i>	<i>Масса</i>	<i>Спин</i>
Сильное	от $1 \cdot 10^{-13}$ до $1 \cdot 10^{-14}$	Кварки	Глюоны	0	1
Электро- магнитное	∞	Заряжен- ные частицы	Фотон	0	1
Слабое	$<1 \cdot 10^{-14}$	Лептоны, кварки	Векторные бозоны: W^-, W^+	81 гЭв	1
			Z^0	96 гЭв	1
Гравита- ционное	∞	Все частицы	Гравитон (пока не обнаружен)	0	2

Схемы превращения элементарных частиц