

СПРАВОЧНИК

МОЛОДОГО

ЛАБОРАНТА-

ХИМИКА

**ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**



ПРЕДИСЛОВИЕ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве справочного пособия для средних профессионально-технических училищ

Рецензенты: С. Т. Кумок, канд. техн. наук (Научно-исследовательский институт резиновых и латексных изделий); М. П. Урусова, преподаватель спецкурса СГПТУ № 127 Москвы

Совершенствование развитого социализма невозможно без широкого применения химии во всех отраслях народного хозяйства. На совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса 11 июня 1985 г. говорилось о необходимости укрепления связи науки и техники, приближения их к нуждам общественного производства¹.

Для подготовки квалифицированных рабочих в современных условиях необходимо широко использовать последние достижения науки и технического прогресса. Сегодня от молодого человека, вступающего в самостоятельную жизнь, — рабочего, техника, инженера — требуются самое современное образование, высокое интеллектуальное и физическое развитие, глубокое знание научно-технических и экономических основ производства, сознательное, творческое отношение к труду².

Все это имеет непосредственное отношение к подготовке в профтехучилищах специалистов среднего звена (лаборантов, техников и др.) для различных отраслей химической промышленности. Учащиеся профтехучилищ должны не только в совершенстве владеть практическими навыками, но и получить хорошую теоретическую подготовку. Например, для учащихся профтехучилищ, готовящих лаборантов химического анализа для химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности со сроком обучения 3 года, недостаточно знаний курса химии в объеме средней школы. В настоящее время создаются новые учебники и учебные пособия, программы, методики обучения перестраиваются с учетом новых требований.

Цель настоящего пособия — помочь учащимся ориентироваться в большом объеме теоретического материала по различным разделам неорганической, органической и аналитической химии, электрохимии, общей химической технологии, лабораторной практике, технике безопасности в химическом производстве.

¹ См.: Горбачев М. С. Коренный вопрос экономической политики партии: Доклад на совещ. в ЦК КПСС по вопросам ускорения науч.-техн. прогресса 11 июня 1985 г. — М.: 1985.

² См.: О реформе общеобразовательной и профессиональной школы: Сборник документов. М., 1984.

Тикунова И. В., Артеменко А. И., Малеванный В. А.
Справочник молодого лаборанта-химика. — М.:
Высш. шк., 1985. — 247 с., ил.

95 к.

Излагаются сведения по различным разделам химии. Подробно рассматриваются физико-химические методы анализа неорганических и органических соединений. Приводятся сведения о КИП и автоматических регуляторах. Материал об оборудовании химических лабораторий дан с учетом специализации учащихся.

Для учащихся профтехучилищ, а также может быть использован при подготовке рабочих на производстве.

Т 1801000000—426
052(01)—85 2—85

ББК 24
54

РАЗДЕЛ I

СВЕДЕНИЯ ПО ОБЩЕЙ ХИМИИ

АТОМНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАССЫ

Атом — наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все его химические свойства.

Молекула — наименьшая частица вещества, способная к самостоятельному существованию и обладающая химическими свойствами данного вещества.

Абсолютная атомная масса — истинная масса атома элемента, выраженная в граммах. Абсолютная масса атома углерода составляет $1,993 \cdot 10^{-23}$ г, кислорода — $2,667 \cdot 10^{-23}$ г, водорода — $1,674 \times 10^{-24}$ г.

Относительная атомная масса — частное от деления абсолютной массы элемента на $1/12$ абсолютной атомной массы изотопа углерода ^{12}C (так называемую углеродную единицу — у. е.).

Относительная молекулярная масса — частное от деления абсолютной массы молекулы соединения на $1/12$ абсолютной массы изотопа углерода ^{12}C . Молекулярная масса химического соединения равна сумме атомных масс всех атомов, составляющих молекулу соединения.

Моль — количество вещества, содержащее столько структурных единиц (молекул, атомов, ионов, электронов или других частиц), сколько их содержится в 12 г (точно) чистого изотопа ^{12}C .

СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Закон сохранения массы вещества (М. В. Ломоносов, 1748): масса веществ, вступивших в химическую реакцию, равна массе веществ, образовавшихся в результате реакции.

Закон постоянства состава (Пруст, 1808): всякое чистое вещество независимо от способа его получения всегда имеет постоянный качественный и количественный состав.

Закон кратных отношений (Д. Дальтон, 1803): если два элемента 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.

В отдельных случаях закон кратных отношений не выполняется, например для соединений переменного состава, для веществ, молекулы которых состоят из большого числа атомов.

Закон эквивалентов (открыт в конце XVIII в.): вещества взаимодействуют между собой в количествах, пропорциональных их химическим эквивалентам. Химическим эквивалентом называется такое его количество, которое соединяется с единицей (точнее — с 1,008) массы водорода или замещает то же количество водорода в химических реакциях. Химический эквивалент не является постоянной величиной, он зависит от валентности элемента.

Эквивалентная масса (\mathcal{E}) — это масса одного эквивалента вещества (г/моль). Эквивалентная масса (\mathcal{E}) равна частному от деления атомной массы элемента (A) на валентность элемента (B) в данном соединении: $\mathcal{E} = A/B$. Например, эквивалент серы в SO_2 и SO_3 соответственно равен $32/4 = 8$ и $32/6 = 5,33$.

Закон простых объемных отношений, или «химический» закон (Гей-Люссак, 1808): объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу, а также к объемам образующихся газообразных продуктов как небольшие целые числа.

Закон Авогадро (Авогадро, 1811): в равных объемах различных газов при одинаковых условиях (температуре и давлении) содержится одинаковое число молекул.

Из закона Авогадро вытекают два следствия. 1. 1 моль любого газа при одинаковых условиях занимает один и тот же объем. При нормальных условиях (давление $1,01325 \cdot 10^5$ Па, температура 0°C) этот объем равен 22,4 л. В этом объеме находится $6,023 \cdot 10^{23}$ молекул газообразного вещества (число Авогадро). 2. Массы равных объемов двух газов, взятых при одинаковом давлении и температуре, относятся друг к другу как их молекулярные массы: $m_1/m_2 = M_1/M_2$.

Отношение массы определенного объема одного газа к массе такого же объема другого газа (взятого при тех же условиях) называется плотностью первого газа по второму (обозначается буквой D). Тогда $M_1/M_2 = D$ и, следовательно, $M_1 = M_2 \cdot D$, т. е. молекулярная масса газа равна его плотности по отношению к другому газу, умноженной на молекулярную массу второго газа. Обычно плотность газа определяют по отношению к водороду (D_{H_2}) или воздуху ($D_{\text{возд}}$): $M = 2,0158 \cdot D_{\text{H}_2}$ или $M = 29 \cdot D_{\text{возд}}$, где 2,0158 и 29 — соответственно молекулярные массы водорода и воздуха. (Так как воздух является смесью газов, то говорят о его средней молекулярной массе.)

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

В табл. I даны названия (русские и латинские) элементов, порядковые номера их в периодической системе элементов Д. И. Менделеева, относительная атомная масса и год открытия. Атомные массы (с четырьмя значащими цифрами) приведены по Международной таблице 1977 г. Звездочкой обозначены искусственно полученные элементы, древн. — элемент, известный в глубокой древности, средн. — элемент открыт в средние века.

Таблица 1

Продолжение табл. 1

Название		Химический знак	Порядковый номер	Атомная масса	Год открытия
русское	латинское				
Азот	Nitrogenium	N	7	14,01	1772
Актиний	Actinium	Ac	89	[227]	1899
Алюминий	Aluminium	Al	13	26,98	1825
Америций	Americium	Am	95	[243]	1944*
Аргон	Argon	Ar	18	39,95	1894
Астат	Astatium	At	85	[210]	1940*
Барий	Barium	Ba	56	137,3	1774
Бериллий	Beryllium	Be	4	9,012	1797
Берклий	Berkelium	Bk	97	[245]	1950*
Бор	Boron	B	5	10,81	1808
Бром	Bromum	Br	35	79,90	1826
Ванадий	Vanadium	V	23	50,94	1830
Висмут	Bismuthum	Bi	83	209,0	Средн.
Водород	Hydrogenium	H	1	1,008	1766
Вольфрам	Wolfram	W	74	183,9	1781
Гадолиний	Gadolinium	Gd	64	157,3	1880
Галлий	Gallium	Ga	31	69,72	1875
Гафний	Hafnium	Hf	72	178,5	1923
Гелий	Helium	He	2	4,003	1868
Германий	Germanium	Ge	32	72,59	1886
Гольмий	Holmium	Ho	67	164,9	1879
Диспрозий	Dysprosium	Dy	66	162,5	1886
Европий	Europium	Eu	63	152,0	1901
Железо	Ferrum	Fe	26	55,85	Древн.
Золото	Aurum	Au	79	197,0	»
Индий	Indium	In	49	114,8	1863
Иод	Iodum	I	53	126,9	1811
Иридий	Iridium	Ir	77	192,2	1804
Иттербий	Ytterbium	Yb	70	173,0	1878
Иттрий	Yttrium	Y	39	88,9	1794
Кадмий	Cadmium	Cd	48	112,4	1817
Калий	Kalium	K	19	39,10	1807
Калифорний	Californium	Cf	98	[251]	1950*
Кальций	Calcium	Ca	20	40,08	1808
Кислород	Oxygenium	O	8	16,00	1774
Кобальт	Cobaltum	Co	27	58,93	1735
Кремний	Silicium	Si	14	28,09	1823
Криптон	Krypton	Kr	36	83,80	1898
Ксенон	Xenon	Xe	54	131,3	1898
Кюрий	Curium	Cm	96	[247]	1944
Лантан	Lanthanum	La	57	138,9	1839
Литий	Lithium	Li	3	6,94	1817
Лоуренсий	Lawrencium	Lr	103	[256]	1960*
Лютеций	Lutetium	Lu	71	175,0	1907
Магний	Magnesium	Mg	12	24,3	1775
Марганец	Manganum	Mn	25	54,94	1774
Медь	Cuprum	Cu	29	63,54	Древн.
Менделевий	Mendelevium	Md	101	[257]	1955*
Молибден	Molybdenum	Mo	42	95,94	1778
Мышьяк	Arsenicum	As	33	74,92	Древн.
Натрий	Natrium	Na	11	22,99	1807
Неодим	Neodymium	Nd	60	144,2	1885
Неон	Neon	Ne	10	20,18	1898

Название		Химический знак	Порядковый номер	Атомная масса	Год открытия
русское	латинское				
Нептуний	Neptunium	Np	93	237,0	1940*
Никель	Niccolum	Ni	28	58,70	1751
Нйобий	Niobium	Nb	41	92,91	1801
(Нобелий)	Nobelium	(No)	102	[255]	1958*
Олово	Stannum	Sn	50	118,7	Древн.
Осмий	Osmium	Os	76	190,2	1803
Палладий	Palladium	Pd	46	106,4	1803
Платина	Platinum	Pt	78	195,1	1738
Плутоний	Plutonium	Pu	94	[244]	1940*
Полоний	Polonium	Po	84	[209]	1898
Празеодим	Praseodymium	Pr	59	140,9	1885
Прометий	Promethium	Pm	61	[145]	1938
Протактиний	Protactinium	Pa	91	231,0	1917
Радий	Radium	Ra	88	226,0	1898
Радон	Radon	Rn	86	[222]	1900
Рений	Rhenium	Re	75	186,2	1924
Родий	Rhodium	Rh	45	102,9	1803
Ртуть	Hydrargyrum	Hg	80	200,6	Древн.
Рубидий	Rubidium	Rb	37	85,47	1861
Рутений	Ruthenium	Ru	44	101,1	1844
Самарий	Samarium	Sm	62	150,4	1879
Свинец	Plumbum	Pb	82	207,2	Древн.
Селен	Selenium	Se	34	78,96	1817
Сера	Sulfur	S	16	32,06	Древн.
Серебро	Argentum	Ag	47	107,9	»
Скандий	Scandium	Sc	21	44,96	1879
Стронций	Strontium	Sr	38	87,62	1790
Сурьма	Stibium	Sb	51	121,8	Древн.
Таллий	Thallium	Tl	81	204,4	1861
Тантал	Tantalum	Ta	73	180,9	1802
Теллур	Tellurium	Te	52	127,6	1782
Тербий	Terbium	Tb	65	158,9	1843
Технеций	Technetium	Tc	43	98,91	1937
Титан	Titanium	Ti	22	47,90	1791
Торий	Thorium	Th	90	232,0	1828
Тулий	Thulium	Tu	69	168,9	1879
Углерод	Carboneum	C	6	12,01	Древн.
Уран	Uranium	U	92	238,0	1789
Фермий	Fermium	Fm	100	[257]	1953*
Фосфор	Phosphorus	P	15	30,97	1669
Франций	Francium	Fr	87	[223]	1939
Фтор	Fluorum	F	9	19,00	1810
Хлор	Chlorum	Cl	17	35,45	1774
Хром	Chromium	Cr	24	52,00	1797
Цезий	Cesium	Cs	55	132,9	1860
Цинк	Zincum	Zn	30	65,38	Древн.
Цирконий	Zirconium	Zr	40	91,22	1789
Эрбий	Erbium	Er	68	167,3	1843
Эйнштейний	Einsteinium	Es	99	[254]	1953*

СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ АТОМА
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Ядерная модель строения атома. Изотопы

По современным представлениям, атом состоит из положительно заряженного ядра, в котором сосредоточена вся масса атома, и электронного облака, образованного движущимися вокруг ядра электронами. В состав ядра входят положительно заряженные протоны (масса 1,007276 у. е.; заряд $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл) и нейтроны (масса 1,008665 у. е.; заряд отсутствует). Суммарное количество протонов и нейтронов равно массовому числу элемента. Силы, удерживающие протоны и нейтроны в ядре, называются ядерными. Так как атом в целом нейтрален, то суммарный заряд протонов (заряд ядра) равен суммарному заряду электронов. Заряд ядра атома равен порядковому номеру элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Например, порядковый номер лития 3, следовательно, заряд ядра лития равен +3, число электронов в атоме также 3; или: массовое число лития равно 6, следовательно, в ядре лития имеются 3 нейтрона.

Атомы одного и того же элемента могут иметь различные массовые числа, так как их ядра при равном числе протонов содержат разное число нейтронов. Атомы, имеющие одинаковый заряд ядра, но различные массовые числа, называются *изотопами*. Так, кислород имеет изотопы с массовыми числами 16, 17, 18, т. е. ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . В табл. 2 приведены некоторые стабильные изотопы.

Таблица 2. Некоторые стабильные изотопы

Порядковый номер элемента	Элемент	Массовое число	Порядковый номер элемента	Элемент	Массовое число
1	Водород	1; 2	26	Железо	54; 56; 57; 58
2	Гелий	3; 4	29	Медь	63; 65
3	Литий	6; 7	37	Рубидий	85; 87
5	Бор	10; 11	47	Серебро	107; 109
6	Углерод	12; 13	56	Барий	130; 132; 134; 135; 136; 137; 138
7	Азот	14; 15	57	Лантан	138; 139
8	Кислород	16; 18	63	Европий	151; 153
12	Магний	24; 25; 26	78	Платина	190; 192; 194; 195; 196; 198
16	Сера	32; 33; 34	80	Ртуть	196; 198; 199; 200; 201; 202; 204
19	Калий	39; 40; 41	82	Свинец	204; 206; 207; 208

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева

Периодическая система химических элементов создана Д. И. Менделеевым в 1869 г. На с. 9 представлена периодическая система элементов в современном виде. Химические знаки элементов распо-

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	(H)						1 H 1,007	2 He 4,003	
2	3 Li 7,00	4 Be 9,01	5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 18,99	10 Ne 20,18	
3	11 Na 22,99	12 Mg 24,31	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,94	
4	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,88	23 V 50,94	24 Cr 51,99	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93
5	37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,94	43 Tc [98]	44 Ru 101,07	45 Rh 101,07
6	55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	90 Th [232]	91 Pa [231]	92 U [238]	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]

В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов

Литий 3
Литий 4
Литий 5
Литий 6
Литий 7
Литий 8
Литий 9
Литий 10
Литий 11
Литий 12
Литий 13
Литий 14
Литий 15
Литий 16
Литий 17
Литий 18
Литий 19
Литий 20
Литий 21
Литий 22
Литий 23
Литий 24
Литий 25
Литий 26
Литий 27
Литий 28
Литий 29
Литий 30
Литий 31
Литий 32
Литий 33
Литий 34
Литий 35
Литий 36
Литий 37
Литий 38
Литий 39
Литий 40
Литий 41
Литий 42
Литий 43
Литий 44
Литий 45
Литий 46
Литий 47
Литий 48
Литий 49
Литий 50
Литий 51
Литий 52
Литий 53
Литий 54
Литий 55
Литий 56
Литий 57
Литий 58
Литий 59
Литий 60
Литий 61
Литий 62
Литий 63
Литий 64
Литий 65
Литий 66
Литий 67
Литий 68
Литий 69
Литий 70
Литий 71
Литий 72
Литий 73
Литий 74
Литий 75
Литий 76
Литий 77
Литий 78
Литий 79
Литий 80
Литий 81
Литий 82
Литий 83
Литий 84
Литий 85
Литий 86
Литий 87
Литий 88
Литий 89
Литий 90
Литий 91
Литий 92
Литий 93
Литий 94
Литий 95
Литий 96
Литий 97
Литий 98
Литий 99
Литий 100
Литий 101
Литий 102
Литий 103
Литий 104
Литий 105
Литий 106
Литий 107
Литий 108
Литий 109
Литий 110
Литий 111
Литий 112
Литий 113
Литий 114
Литий 115
Литий 116
Литий 117
Литий 118
Литий 119
Литий 120
Литий 121
Литий 122
Литий 123
Литий 124
Литий 125
Литий 126
Литий 127
Литий 128
Литий 129
Литий 130
Литий 131
Литий 132
Литий 133
Литий 134
Литий 135
Литий 136
Литий 137
Литий 138
Литий 139
Литий 140
Литий 141
Литий 142
Литий 143
Литий 144
Литий 145
Литий 146
Литий 147
Литий 148
Литий 149
Литий 150
Литий 151
Литий 152
Литий 153
Литий 154
Литий 155
Литий 156
Литий 157
Литий 158
Литий 159
Литий 160
Литий 161
Литий 162
Литий 163
Литий 164
Литий 165
Литий 166
Литий 167
Литий 168
Литий 169
Литий 170
Литий 171
Литий 172
Литий 173
Литий 174
Литий 175
Литий 176
Литий 177
Литий 178
Литий 179
Литий 180
Литий 181
Литий 182
Литий 183
Литий 184
Литий 185
Литий 186
Литий 187
Литий 188
Литий 189
Литий 190
Литий 191
Литий 192
Литий 193
Литий 194
Литий 195
Литий 196
Литий 197
Литий 198
Литий 199
Литий 200
Литий 201
Литий 202
Литий 203
Литий 204
Литий 205
Литий 206
Литий 207
Литий 208
Литий 209
Литий 210
Литий 211
Литий 212
Литий 213
Литий 214
Литий 215
Литий 216
Литий 217
Литий 218
Литий 219
Литий 220
Литий 221
Литий 222
Литий 223
Литий 224
Литий 225
Литий 226
Литий 227
Литий 228
Литий 229
Литий 230
Литий 231
Литий 232
Литий 233
Литий 234
Литий 235
Литий 236
Литий 237
Литий 238
Литий 239
Литий 240
Литий 241
Литий 242
Литий 243
Литий 244
Литий 245
Литий 246
Литий 247
Литий 248
Литий 249
Литий 250
Литий 251
Литий 252
Литий 253
Литий 254
Литий 255
Литий 256
Литий 257
Литий 258
Литий 259
Литий 260
Литий 261
Литий 262
Литий 263
Литий 264
Литий 265
Литий 266
Литий 267
Литий 268
Литий 269
Литий 270
Литий 271
Литий 272
Литий 273
Литий 274
Литий 275
Литий 276
Литий 277
Литий 278
Литий 279
Литий 280
Литий 281
Литий 282
Литий 283
Литий 284
Литий 285
Литий 286
Литий 287
Литий 288
Литий 289
Литий 290
Литий 291
Литий 292
Литий 293
Литий 294
Литий 295
Литий 296
Литий 297
Литий 298
Литий 299
Литий 300
Литий 301
Литий 302
Литий 303
Литий 304
Литий 305
Литий 306
Литий 307
Литий 308
Литий 309
Литий 310
Литий 311
Литий 312
Литий 313
Литий 314
Литий 315
Литий 316
Литий 317
Литий 318
Литий 319
Литий 320
Литий 321
Литий 322
Литий 323
Литий 324
Литий 325
Литий 326
Литий 327
Литий 328
Литий 329
Литий 330
Литий 331
Литий 332
Литий 333
Литий 334
Литий 335
Литий 336
Литий 337
Литий 338
Литий 339
Литий 340
Литий 341
Литий 342
Литий 343
Литий 344
Литий 345
Литий 346
Литий 347
Литий 348
Литий 349
Литий 350
Литий 351
Литий 352
Литий 353
Литий 354
Литий 355
Литий 356
Литий 357
Литий 358
Литий 359
Литий 360
Литий 361
Литий 362
Литий 363
Литий 364
Литий 365
Литий 366
Литий 367
Литий 368
Литий 369
Литий 370
Литий 371
Литий 372
Литий 373
Литий 374
Литий 375
Литий 376
Литий 377
Литий 378
Литий 379
Литий 380
Литий 381
Литий 382
Литий 383
Литий 384
Литий 385
Литий 386
Литий 387
Литий 388
Литий 389
Литий 390
Литий 391
Литий 392
Литий 393
Литий 394
Литий 395
Литий 396
Литий 397
Литий 398
Литий 399
Литий 400
Литий 401
Литий 402
Литий 403
Литий 404
Литий 405
Литий 406
Литий 407
Литий 408
Литий 409
Литий 410
Литий 411
Литий 412
Литий 413
Литий 414
Литий 415
Литий 416
Литий 417
Литий 418
Литий 419
Литий 420
Литий 421
Литий 422
Литий 423
Литий 424
Литий 425
Литий 426
Литий 427
Литий 428
Литий 429
Литий 430
Литий 431
Литий 432
Литий 433
Литий 434
Литий 435
Литий 436
Литий 437
Литий 438
Литий 439
Литий 440
Литий 441
Литий 442
Литий 443
Литий 444
Литий 445
Литий 446
Литий 447
Литий 448
Литий 449
Литий 450
Литий 451
Литий 452
Литий 453
Литий 454
Литий 455
Литий 456
Литий 457
Литий 458
Литий 459
Литий 460
Литий 461
Литий 462
Литий 463
Литий 464
Литий 465
Литий 466
Литий 467
Литий 468
Литий 469
Литий 470
Литий 471
Литий 472
Литий 473
Литий 474
Литий 475
Литий 476
Литий 477
Литий 478
Литий 479
Литий 480
Литий 481
Литий 482
Литий 483
Литий 484
Литий 485
Литий 486
Литий 487
Литий 488
Литий 489
Литий 490
Литий 491
Литий 492
Литий 493
Литий 494
Литий 495
Литий 496
Литий 497
Литий 498
Литий 499
Литий 500

8

ложены в клетках таблицы. В верхней части клетки указаны порядковые номера элементов; цифры, стоящие рядом с химическим знаком элемента, обозначают атомные массы (по данным 1977 г.). Атомные массы приведены по углеродной шкале. В квадратных скобках даны массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

Периодическая система элементов имеет 7 периодов (горизонтальные ряды), из которых первый, второй и третий содержат по одному ряду элементов и называются малыми периодами, а четвертый, пятый, шестой и седьмой называются большими периодами. Четвертый, пятый и шестой периоды содержат по два ряда элементов, седьмой период — незаконченный. Все периоды, кроме первого, начинаются щелочными металлами и заканчиваются благородными газами. Большие периоды состоят из четных и нечетных рядов. В этих периодах наблюдается двойная периодичность: изменение свойств — в пределах четного ряда и отдельно — в пределах нечетного. Элемент № 57 (лантан) и следующие за ним 14 элементов сходны между собой по химическим свойствам, поэтому они объединены под названием «лантаноиды» и помещены в одну клетку. Элемент № 89 (актиний) и следующие за ним «актиноиды» также помещены в одну клетку.

В периодической системе восемь групп элементов (вертикальные ряды), в которых находятся сходные по химическим свойствам элементы. Каждая группа делится на две подгруппы — главную и побочную.

Расположение электронов в атоме

Электроны движутся с большой скоростью в пространстве вокруг ядра. Нельзя точно сказать, в какой точке этого пространства находится электрон в данный момент, можно говорить лишь о вероятности нахождения электрона на определенном расстоянии от ядра (рис. 1). Такое пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона, называется *орбиталью*.

Состояние электрона в атоме описывается четырьмя квантовыми числами. Первое квантовое число — *главное* (n) — характеризует

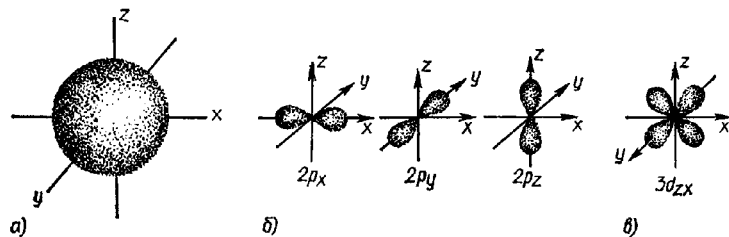


Рис. 1. Форма и ориентация электронных орбиталей:
а — s-орбиталей; б — p-орбиталей; в — d-орбиталей

величину энергии электрона (его энергетический уровень) и принимает любое целочисленное значение от единицы до величины, соответствующей номеру периода, в котором находится данный элемент. Для обозначения энергетического уровня вместо цифр (1, 2, 3 и т. д.) используют также буквенные обозначения (K, L, M, N и т. д.).

Наименьшей энергией обладают электроны первого энергетического уровня ($n = 1$); они наиболее прочно связаны с ядром. Электроны последующих уровней ($n = 2, 3$ и т. д.) характеризуются большим запасом энергии.

Второе квантовое число — *орбитальное* (l) — описывает форму (симметрию) орбиталей и характеризует величину орбитального импульса движущегося электрона. Оно может принимать целочисленные значения от 0 до $n - 1$. Обычно для обозначения соответствующих орбиталей применяют строчные буквы латинского алфавита: s ($l = 0$), p ($l = 1$), d ($l = 2$), f ($l = 3$). Форма и ориентация s-, p-, d-электронных орбиталей приведены на рис. 1. Электроны с различными орбитальными квантовыми числами (s-электроны, p-электроны и т. д.) отличаются различной энергией: их энергия тем больше, чем больше значение l . s-Электроны образуют s-подуровень, p-электроны — p-подуровень и т. д.

Третье квантовое число — *магнитное* (m_l) — определяет пространственную ориентацию и число орбиталей на соответствующем подуровне. Оно принимает целочисленные значения от $-l$ до $+l$. Для s-подуровня возможна одна орбиталь ($m_l = 0$), для p-подуровня — три 2p-орбитали: $2p_x, 2p_y, 2p_z$ ($m_l = -1, 0, +1$), для d-подуровня — пять орбиталей ($m_l = -2, -1, 0, +1, +2$) и т. д.

Четвертое квантовое число — *спиновое* (m_s) — характеризует вращение электрона вокруг собственной оси. В зависимости от направления вращения электрона спиновое число имеет два значения: $+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$. Направления вращения изображают в виде противоположно направленных стрелок (\uparrow) или (\downarrow).

Заполнение электронных слоев происходит в порядке увеличения сумм главного и орбитального квантовых чисел ($n + l$). Так, сумма ($n + l$) для электронов в 3d-орбитали равна $3 + 2 = 5$, а для электронов 4s-орбитали составляет $4 + 0 = 4$. Поэтому заполняется электронами вначале 4s-орбиталь, а затем 3d-орбиталь (см. электронные конфигурации атомов элементов калия, кальция, скандия, титана). Сумма ($n + l$) для электронов 4f-орбитали равна $4 + 3 = 7$, что также больше суммы ($n + l$) для электронов 5s-, 5p- и 6s-орбиталей. Поэтому заполняются 5s-, 5p- и 6s-орбитали.

В атоме не может быть двух электронов, у которых были бы одинаковыми все четыре квантовых числа (*принцип Паули*). Это означает, что на одной орбитали, характеризующейся определенными значениями главного, орбитального и магнитного квантовых чисел, могут находиться лишь два электрона с $m_s = +\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$ (с антипараллельными спинами). Электроны с противоположно направленными спинами, но одинаковыми значениями остальных квантовых чисел называются *спаренными* или *неподеленной электронной парой*. Принцип Паули позволяет рассчитать максимальное число электронов на

Таблица 3. Электронные конфигурации атомов элементов

Продолжение табл. 3

Атомный номер	Элемент	Оболочка																	
		1	2	3		4		5		6		7							
		K	L	M		N		O		P		Q							
		Орбиталь																	
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
1	Водород	1																	
2	Гелий	2																	
3	Литий	2	1																
4	Бериллий	2	2																
5	Бор	2	2	1															
6	Углерод	2	2	2															
7	Азот	2	2	3															
8	Кислород	2	2	4															
9	Фтор	2	2	5															
10	Неон	2	2	6															
11	Натрий	2	2	6	1														
12	Магний	2	2	6	2														
13	Алюминий	2	2	6	2	1													
14	Кремний	2	2	6	2	2													
15	Фосфор	2	2	6	2	3													
16	Сера	2	2	6	2	4													
17	Хлор	2	2	6	2	5													
18	Аргон	2	2	6	2	6													
19	Калий	2	2	6	2	6		1											
20	Кальций	2	2	6	2	6		2											
21	Скандий	2	2	6	2	6	1	2											
22	Титан	2	2	6	2	6	2	3											
23	Ванадий	2	2	6	2	6	3	2											
24	Хром	2	2	6	2	6	5	1											
25	Марганец	2	2	6	2	6	5	2											
26	Железо	2	2	6	2	6	6	2											
27	Кобальт	2	2	6	2	6	7	2											
28	Никель	2	2	6	2	6	8	2											
29	Медь	2	2	6	2	6	10	1											
30	Цинк	2	2	6	2	6	10	2											
31	Галлий	2	2	6	2	6	10	2	1										
32	Германий	2	2	6	2	6	10	2	2										
33	Мышьяк	2	2	6	2	6	10	2	3										
34	Селен	2	2	6	2	6	10	2	4										
35	Бром	2	2	6	2	6	10	2	5										
36	Криптон	2	2	6	2	6	10	2	6										
37	Рубидий	2	8		18			2	6			1							
38	Стронций	2	8		18			2	6			2							
39	Иттрий	2	8		18			2	6	1		2							
40	Цирконий	2	8		18			2	6	2		2							
41	Ниобий	2	8		18			2	6	4		1							
42	Молибден	2	8		18			2	6	5		1							
43	Технеций	2	8		18			2	6	5		2							
44	Рутений	2	8		18			2	6	7		1							
45	Родий	2	8		18			2	6	8		1							
46	Палладий	2	8		18			2	6	10									
47	Серебро	2	8		18			2	6	10		1							
48	Кадмий	2	8		18			2	6	10		2							

Атомный номер	Элемент	Оболочка																	
		1	2	3		4		5		6		7							
		K	L	M		N		O		P		Q							
		Орбиталь																	
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
49	Индий	2		8			18	2	6	10		2	1						
50	Олово	2		8			18	2	6	10		2	2						
51	Сурьма	2		8			18	2	6	10		2	3						
52	Теллур	2		8			18	2	6	10		2	4						
53	Иод	2		8			18	2	6	10		2	5						
54	Ксенон	2		8			18	2	6	10		2	6						
55	Цезий	2		8			18	2	6	10		2	6			1			
56	Барий	2		8			18	2	6	10		2	6			2			
57	Лантан	2		8			18	2	6	10		2	6	1		2			
58	Церий	2		8			18	2	6	10	2	2	6			2			
59	Празеодим	2		8			18	2	6	10	3	2	6			2			
60	Неодим	2		8			18	2	6	10	4	2	6			2			
61	Прометий	2		8			18	2	6	10	5	2	6			2			
62	Самарий	2		8			18	2	6	10	6	2	6			2			
63	Европий	2		8			18	2	6	10	7	2	6			2			
64	Гадолиний	2		8			18	2	6	10	7	2	6	1		2			
65	Тербий	2		8			18	2	6	10	9	2	6			2			
66	Диспрозий	2		8			18	2	6	10	10	2	6			2			
67	Гольмий	2		8			18	2	6	10	11	2	6			2			
68	Эрбий	2		8			18	2	6	10	12	2	6			2			
69	Тулий	2		8			18	2	6	10	13	2	6			2			
70	Иттербий	2		8			18	2	6	10	14	2	6			2			
71	Лютеций	2		8			18	2	6	10	14	2	6	1		2			
72	Гафний	2		8			18	2	6	10	14	2	6	2		2			
73	Тантал	2		8			18			32		2	6	3		2			
74	Вольфрам	2		8			18			32		2	6	4		2			
75	Рений	2		8			18			32		2	6	5		2			
76	Осмий	2		8			18			32		2	6	6		2			
77	Иридий	2		8			18			32		2	6	7		2			
78	Платина	2		8			18			32		2	6	9		1			
79	Золото	2		8			18			32		2	6	10		1			
80	Ртуть	2		8			18			32		2	6	10		2			
81	Таллий	2		8			18			32		2	6	10		2	1		
82	Свинец	2		8			18			32		2	6	10		2	2		
83	Висмут	2		8			18			32		2	6	10		2	3		
84	Полоний	2		8			18			32		2	6	10		2	4		
85	Астат	2		8			18			32		2	6	10		2	5		
86	Радон	2		8			18			32		2	6	10		2	6		
87	Франций	2		8			18			32		2	6	10		2	6		
88	Радий	2		8			18			32		2	6	10		2	6		
89	Актиний	2		8			18			32		2	6	10		2	6	1	
90	Торий	2		8			18			32		2	6	10		2	6	2	
91	Протактиний	2		8			18			32		2	6	10		2	6	1	
92	Уран	2		8			18			32		2	6	10	3	2	6	2	
93	Нептуний	2		8			18			32		2	6	10	4	2	6	1	
94	Плутоний	2		8			18			32		2	6	10	6	2	6		
95	Америций	2		8			18			32		2	6	10	7	2	6		
96	Кюрий	2		8			18			32		2	6	10	7	2	6	1	

Атомный номер	Элемент	Оболочка																
		1	2	3		4		5		6		7						
		K	L	M		N		O		P		Q						
		Орбиталь																
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d
97	Берклий	2	8		18			32			2	6	10	8	2	6	1	2
98	Калифорний	2	8		18			32			2	6	10	10	2	6		2
99	Эйнштейний	2	8		18			32			2	6	10	11	2	6		2
100	Фермий	2	8		18			32			2	6	10	12	2	6		2
101	Менделевий	2	8		18			32			2	6	10	13	2	6		2
102	Нобелий	2	8		18			32			2	6	10	14	2	6		2
103	Лоуренсий	2	8		18			32			2	6	10	14	2	6	1	2
104	Курчатовий	2	8		18			32			2	6	10	14	2	6	2	2

побочных подгрупп радиусы увеличиваются незначительно. Радиусы ионов (табл. 6) отличаются от радиусов атомов. Радиус положительно заряженных ионов меньше, чем радиус нейтрального атома, а отрицательно заряженных — больше.

Валентность

Положением элемента в таблице Д. И. Менделеева определяется его *валентность* — свойство атомов элемента образовывать химическую связь. Обычно номер группы указывает на число электронов, которые могут участвовать в образовании химической связи. Такие электроны называются *валентными*. Однако у элементов побочных подгрупп валентными являются электроны не только внешних, но и предпоследних уровней. В этом и состоит основное различие в свойствах элементов главных и побочных подгрупп. В табл. 7 приведены валентности, наиболее часто проявляемые элементами. Максимальная валентность, как правило, равна номеру группы.

Окислительно-восстановительная способность

Окислительно-восстановительные свойства элементов и их ионов определяются их способностью отдавать или присоединять электроны. Атомы или ионы, присоединяющие электроны, называются *окислителями*, а отдающие их — *восстановителями*.

Способность элемента к отдаче электронов определяется величиной *энергии ионизации* (табл. 8), а способность к присоединению электронов — *величиной сродства атома к электрону* (табл. 9).

Окислительно-восстановительные свойства элементов в большой степени зависят от количества электронов на внешней оболочке и радиуса атома или иона. Если на внешней оболочке находятся 1, 2 или 3 электрона, то элемент может быть только восстановителем — присоединение электронов для него практически невозможно (исключение составляют водород и бор). При наличии 4, 5, 6 или 7 внешних электронов возможно проявление и восстановительных, и окислительных свойств, т. е. в зависимости от условий реакции возможна либо отдача этих электронов, либо присоединение электронов до октета.

С уменьшением радиуса атома или иона увеличивается прочность связи электронов с ядром, что приводит к ослаблению восстановительной и усилению окислительной способности. Увеличение радиуса вызывает обратный эффект: усиливает восстановительную и уменьшает окислительную способность. В главных подгруппах наблюдается усиление восстановительных свойств элементов сверху вниз. В периодах с увеличением порядкового номера происходит ослабление восстановительных и усиление окислительных свойств. У элементов побочных групп незначительный рост радиуса при значительном увеличении заряда ядра приводит не к увеличению, а к уменьшению восстановительных свойств, т. е. к ослаблению активности металлов. Этим и объясняется неактивность Au, Ag, W.

каждом энергетическом уровне и подуровне в атоме. Максимальное число электронов на подуровне вычисляется по формуле $2(2l + 1)$. В соответствии с этой формулой на одной *s*-орбитали может находиться не более двух электронов ($l = 0$), на трех *p*-орбиталях — не более 6 ($l = 1$), на пяти *d*-орбиталях — не более 10 ($l = 2$), на семи *f*-орбиталях — не более 14 электронов ($l = 3$).

Число орбиталей для каждого значения *n* главного квантового числа равно его квадрату (n^2). Общее число электронов, которое может находиться на энергетическом уровне, равно удвоенному квадрату главного квантового числа. Рассчитанное по этой формуле максимальное число электронов в *K*-слое равно 2, в *L*-слое — 8, в *M*-слое — 18 и т. д.

Распределение электронов по орбиталям называется *электронной конфигурацией* данного атома (табл. 3).

Свойства химических элементов и их соединений в связи с положением в периодической системе элементов Д. И. Менделеева

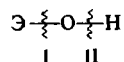
Химические свойства элементов и их соединений являются периодической функцией заряда ядра атома. С ростом заряда ядра, т. е. порядкового номера элемента, периодически меняются строение двух внешних электронных оболочек, радиусы атомов, радиусы и заряды ионов. Эти факторы определяют валентность элемента, его окислительно-восстановительную способность и кислотно-основную характеристику. Количество электронов на двух оболочках (предпоследний и наружный слои) приведено в табл. 4, радиусы атомов — в табл. 5.

В периодах с возрастанием положительного заряда ядра радиусы атомов уменьшаются. В главных подгруппах в связи с ростом числа энергетических уровней радиусы атомов заметно увеличиваются, в

Кислотно-основная характеристика

Элемент или его соединения проявляют *основные* свойства, если его оксид с водой прямо или косвенно дает основание, а с кислотой образует соль. Если же оксид элемента с водой прямо или косвенно образует кислоту, а со щелочью соль, то элемент и его соединения проявляют *кислотные* свойства. Некоторые элементы (Al, Cr, Zn и др.) *амфотерны*, т. е. их гидроксиды проявляют и основные и кислотные свойства.

Диссоциация соединений типа ЭОН может протекать по двум направлениям:



Преимущественное направление диссоциации, определяющее основной или кислотный характер соединения, зависит от положения Э в периодической системе. С ростом заряда и уменьшением радиуса ионов происходит ослабление основных и усиление кислотных свойств. Упрощенно представляя ионную связь (по Косселю) как результат перехода электрона от одного атома к другому, можно наглядно проследить эту зависимость на примере элементов третьего периода. Натрий и магний имеют малый заряд и сравнительно большой радиус; в молекулах NaOH и Mg(OH)₂ ион водорода, имеющий малые размеры, связан с кислородом прочнее, чем ион металла, и диссоциация идет по типу I, т. е. по типу основания.

Таблица 4. Количество электронов на предпоследнем и наружном слоях

Период, ряд	Количество электронов		Примечание
	предпоследний слой	наружный слой	
2-й период, II ряд	2	Номер группы*	
3-й период, III ряд	8	Номер группы	
4-й период, IV ряд	8→16	2	K и Cr на наружном слое имеют 1 электрон
V ряд	18	Номер группы	
5-й период, VI ряд	8→18	1	Sr, Y, Zr, Tc на наружном слое имеют 2 электрона, у Pd — иоль электронов
VII ряд	18	Номер группы 2	Cs и Pt на наружном слое имеют 1 электрон
6-й период, VIII ряд	8→17	Номер группы	
IX ряд (лантаноиды)	18	Номер группы	
7-й период, X ряд	8→10	2	Fr на наружном слое имеет 1 электрон
Актиноиды	10→9→8	2	

* Число электронов равно номеру группы

При переходе к Al(OH)₃ в результате увеличения заряда металла и уменьшения радиуса его иона обе связи становятся равноценными и диссоциация идет по обоим связям. Al(OH)₃ — амфотерный электролит. По мере дальнейшего увеличения заряда Э и уменьшения его радиуса — от кремния к фосфору, сере и хлору — прочность связи Э—O растет, а прочность связи O—H падает, и соединения диссоциируют как кислоты — по типу II.

Внутри подгрупп с увеличением порядкового номера происходит увеличение радиуса, что приводит к усилению основных и ослаблению кислотных свойств: в первой группе самое слабое основание LiOH, а самое сильное — FrOH.

Для элементов, проявляющих переменную валентность, влияние величины заряда выражается в следующей закономерности: в низшей валентности элемент характеризуется основными свойствами, а в высшей — кислотными. Например, Cr²⁺ дает типичное основание Cr(OH)₂; Cr(OH)₃ обладает амфотерными свойствами, а Cr⁶⁺ образует кислоту H₂CrO₄.

Таблица 5. Радиусы атомов (Å)

I группа		II группа		III группа		IV группа		V группа		VI группа		VII группа		VIII группа	
атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус	атом	радиус
Li	1,55	Be	1,13	Sc	1,64	Ti	1,46	V	1,27	Cr	1,27	Mn	1,30	Fe	1,26
Na	1,89	Mg	1,60	Y	1,81	Zr	1,60	Nb	1,39	Mo	1,39	Tc	1,36	Ru	1,34
K	2,36	Ca	1,97	La	1,87	Hf	1,59	Ta	1,40	W	1,40	Re	1,37	Os	1,35
Rb	2,48	Sr	2,15	Ac	2,03	C	0,77	N	0,71	O	0,66	H	0,46	Co	1,25
Cs	2,68	Ba	2,21	B	0,91	Si	1,34	P	1,30	S	1,04	F	0,71	Rh	1,34
Fr	2,80	Ra	2,35	Al	1,43	Ge	1,39	As	1,48	Se	1,60	Cl	0,99	Ir	1,35
Cu	1,28	Zn	1,39	Ga	1,39	Sn	1,58	Sb	1,61	Te	1,70	Br	1,14	He	1,22
Ag	1,44	Cd	1,56	In	1,66	Pb	1,75	Bi	1,82			I	1,33	Ne	1,60
Au	1,44	Hg	1,60	Tl	1,71									Ar	1,92
														Kr	1,98
														Xe	2,18

Таблица 6. Радиусы ионов (Å)

I группа		II группа		III группа		IV группа	
ион	радиус	ион	радиус	ион	радиус	ион	радиус
Li ⁺	0,68	Be ²⁺	0,34	B ³⁺	0,20	C ⁴⁺	0,20
Na ⁺	0,98	Mg ²⁺	0,74	Al ³⁺	0,57	Si ⁴⁺	0,39
K ⁺	1,33	Ca ²⁺	1,04	Sc ³⁺	0,83	Ti ⁴⁺	0,64
Rb ⁺	1,49	Sr ²⁺	1,20	La ³⁺	1,04	Zr ⁴⁺	0,82
Cs ⁺	1,65	Ba ²⁺	1,38	Ce ³⁺	1,02	Hf ⁴⁺	0,82
Cu ⁺	0,98	Zn ²⁺	0,83	Ce ⁴⁺	0,88	Th ⁴⁺	0,95
Cu ²⁺	0,80	Cd ²⁺	0,99	Er ³⁺	0,85	Ce ⁴⁺	0,44
Ag ⁺	0,83	Hg ²⁺	1,12	Ga ³⁺	0,62	Sn ⁴⁺	0,67
Au ⁺	1,37			In ³⁺	0,92	Pb ⁴⁺	0,86
				Tl ³⁺	1,05		

Энергией ионизации атома E называется наименьшая энергия, необходимая для отрыва электрона от атома. Энергия отрыва от атома 1, 2 и 3-го электронов и т. д. последовательно возрастает ($E_1 < E_2 < E_3 < \dots$).

Таблица 8. Энергия ионизации атомов

Порядковый номер элемента	Элемент	Энергия ионизации, эВ			
		E_1	E_2	E_3	E_4
1	H	13,599			
2	He	24,588	54,418		
3	Li	5,392	75,641	122,42	
4	Be	9,323	18,211	153,85	217,66
5	B	8,298	25,156	37,92	259,30
6	C	11,260	24,383	47,87	64,48
7	N	14,534	29,602	47,43	77,45
8	O	13,618	35,118	54,89	77,39
9	F	17,423	34,987	62,65	87,23
10	Ne	21,565	41,080	63,50	97,16
11	Na	5,139	47,304	71,65	98,88
12	Mg	7,645	15,035	80,12	109,30
13	Al	5,986	18,828	28,44	119,96
14	Si	8,152	16,342	33,46	45,13
15	P	10,487	19,730	30,16	51,35
16	S	10,360	23,350	35,00	47,29
17	Cl	12,968	23,800	39,90	53,30
35	Br	11,840	21,800	35,90	47,30
53	I	10,451	19,100	33,00	42,00

Таблица 7. Валентности, наиболее часто проявляемые элементами

Элемент	Валентность	Элемент	Валентность	Элемент	Валентность	Элемент	Валентность
Азот	3, 4, 5	Индий	3	Неон	0	Скандий	3
Активный	3	Иод	1, 5, 7	Нептуний	4, 3, 5, 6	Стронций	2
Алюминий	3					Сурьма	3, 5
Америций	3, 5,	Иридий	3, 4	Никель	2, 3	Таллий	1, 3
	6	Иттербий	3, 2	Необий	5, 3	Тантал	5
Аргон	0	Иттрий	3	Олово	2, 4	Теллур	2, 4,
Астат	1, 5	Кадмий	2	Осмий	8, 4		6
Барий	2	Калий	1	Палладий	2, 4	Тербий	3
Бериллий	2	Калифорний	3	Платина	2, 4	Технеций	7
Беркелий	3, 4	Кальций	2	Плутоний	3, 4,	Титан	4, 3
Бор	3	Кислород	2		5, 6	Торий	4
Бром	1, 5	Кобальт	2, 3	Полоний	2, 4	Тулий	3
Ванадий	5, 3,	Кремний	4	Празеодим	3	Углерод	4, 2
	4	Криптон	0	Прометий	3	Уран	6, 4
Висмут	3	Ксенон	0	Протактиний	5	Фосфор	3, 5
Водород	1	Кюрий	3	Радий	2	Франций	1
Вольфрам	6	Лантан	3	Родон	2	Фтор	1
Гадолиний	3	Литий	1	Рений	7, 6,	Хлор	1, 5,
Галлий	3	Лютеций	3		4		7, 3
Гафний	4	Магний	2	Родий	3, 2	Хром	3, 6,
Гелий	0	Марганец	2, 4,		2		2
Германий	4		6, 7	Ртуть	2	Цезий	1
Гольмий	3	Медь	1, 2	Рубидий	1	Церий	3, 4
Диспрозий	3	Молибден	6, 3,	Рутений	4, 8	Цинк	2
Европий	3, 2		4	Самарий	3, 2	Цирконий	4
Железо	2, 3	Мышьяк	3, 5	Свинец	2, 4	Эрбий	3
Золото	3, 1	Натрий	1	Селен	2, 4,		
		Неодим	3		6		
				Сера	2, 4,		
					6		
				Серебро	1		

Сродство атомов к электрону

Сродством к электрону называется энергетический эффект процесса присоединения электрона к нейтральному атому с образованием отрицательного иона.

Таблица 9. Сродство некоторых атомов к электрону

Порядковый номер элемента	Элемент	Число присоединяемых электронов	Сродство к электрону		Порядковый номер элемента	Элемент	Число присоединяемых электронов	Сродство к электрону	
			эВ	10 ⁻¹⁹ Дж				эВ	10 ⁻¹⁹ Дж
1	H	1	0,75	1,2	11	Na	1	1,21	1,94
2	He	1	-0,53	-0,85	12	Mg	1	-0,4	-0,60
3	Li	1	0,54	0,87	13	Al	1	0,09	0,14
4	Be	1	-0,60	-1,0	14	Si	1	2,00	3,20
5	B	1	0,30	0,5	15	P	1	0,90	1,40
6	C	1	2,10	3,4	16	S	1	1,04	1,67
		4	-30,7	-49,2			2	-3,47	-5,36
7	N	1	-0,69	-1,11	17	Cl	1	3,82	6,12
		3	-23,7	-38,0					
8	O	1	2,33	3,73	35	Br	1	3,54	5,67
		2	-6,76	-10,83					
9	F	1	3,62	5,80	53	I	1	3,23	5,17
10	Ne	1	-0,80	-1,30					

Таблица 10. Относительные электроотрицательности элементов

Периоды	Группы элементов									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	(H) 2,16						H 2,16			He —
2	Li 1,00	Be 1,51	B 2,07	C 2,57	N 3,16	O 3,60	F 4,20			Ne —
3	Na 1,04	Mg 1,26	Al 1,50	Si 1,79	P 2,16	S 2,5	Cl 2,90			Ar —
4	K 0,93	Ca 1,07	Sc 1,22	Ti 1,34	V 1,48	Cr 1,60	Mn 1,64	Fe 1,68	Co 1,75	Ni 1,80
	Cu 1,80	Zn 1,70	Ga 1,87	Ge 2,07	As 2,25	Se 2,51	Br 2,82			Kr —
5	Rb 0,91	Sr 1,02	Y 1,14	Zr 1,25	Nb 1,26	Mo 1,33	Tc 1,40	Ru 1,46	Rh 1,50	Pd 1,39
	Ag 1,46	Cd 1,51	In 1,54	Sn 1,77	Sb 1,87	Te 2,07				Xe —
6	Cs 0,88	Ba 1,00	La* 1,11	Hf 1,26	Ta 1,38	W 1,45	Re 1,51	Os 1,56	Ir 1,60	Pt 1,47
	Au 1,45	Hg 1,47	Tl 1,47	Pb 1,60	Bi 1,72	Po 1,82	At 1,96			Rn —
7	Fr 0,88	Ra 1,00	Ac** 1,02							

* Лантаноиды: 1,11—1,20.
 ** Actиноиды: 1,02—1,30.

Электроотрицательность элементов

Электроотрицательность — это количественная характеристика способности атома в молекуле притягивать к себе электроны. Она равна полусумме энергии ионизации и сродства атома к электрону. Зависимость электроотрицательности от порядкового номера элемента носит периодический характер: электроотрицательность возрастает внутри периода и уменьшается внутри группы периодической системы элементов. На практике пользуются относительными значениями электроотрицательности (ООЭ), принимая за единицу электроотрицательность лития (табл. 10).

При образовании химической связи между атомами от величины ООЭ атомов зависит характер образующейся связи.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ

Ниже приводятся основные физические свойства элементов: плотность, температура плавления и температура кипения, твердость, растворимость в воде и различных химических реагентах.

Плотность, температура плавления и температура кипения элементов

Обозначения и сокращения. Плотность (d) выражается в кг/м^3 (для жидких и твердых тел). Верхний индекс указывает температуру в $^{\circ}\text{C}$; при отсутствии специальных указаний имеется в виду комнатная температура. Плотность газов (обозначена звездочкой) отнесена к нормальному атмосферному давлению ($1,01325 \cdot 10^5$ Па) и температуре 0°C и выражается в г/л. Т. пл. и т. кип. — температуры плавления и кипения приводятся в $^{\circ}\text{C}$ для нормального атмосферного давления или при давлениях в мегапаскалях (МПа), указанных в скобках (1 МПа = 9,8791 ат). Например, т. пл. $817^{(3,6)}$ означает, что вещество плавится при температуре 817°C под давлением 3,6 МПа. Возг. — возгоняется.

Таблица 11. Плотность, температура плавления и температура кипения элементов

Элемент	$d \cdot 10^{-3}$	Т. пл., $^{\circ}\text{C}$	Т. кип., $^{\circ}\text{C}$	Элемент	$d \cdot 10^{-3}$	Т. пл., $^{\circ}\text{C}$	Т. кип., $^{\circ}\text{C}$
Ag	10,49	960,8	2210	Ba	3,76	710	1640
Al	2,70	960,1	2500	Be	1,82	1284	2970
Am	11,70	—	—	Bi	9,80	271,3	1560
Ar	1,78*	—189,4	—185,8	Br	3,12	—5,7	59
As	5,73	817 ^(3,6)	615 (возг.)	С алмаз, аморф, графит	1,8—2,1	3500 (возг.)	
Au	19,32	1063	2947		2,26		
В крист	2,34	2300	2550				

Элемент	$d \cdot 10^{-3}$	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Элемент	$d \cdot 10^{-3}$	Т. пл., °C	Т. кип., °C
Ca	1,54	851	1480	P _{бел}	1,82	44,1	257
Cd	8,65	321	767	P _{красн}	2,20	593 ⁽⁴³⁶⁾	429 (возг.)
Ce	6,77	800	2530	Pb	11,34	327,4	1745
Cl	3,21*	-101	-34,1	Pd	12,02	1554	2940
Co	8,90	1492	2900	Pr	6,76	940	3000
Cr	7,19	1890	2680	Pt	21,45	1769	~3800
Cs	1,90	28,5	688	Ra	5,00	960	1140
Cu	8,90	1083	2543	Rb	1,53	38,5	705
F	1,69*	-219,6	-188,2	Re	20,90	3170	5870
Fe	7,87	1539	2870	Rh	12,44	1963	3700
Ga	5,90	29,8	2230	Rn	9,73*	-71	-61,9
Ge	5,36	959	2700	Ru	12,20	2450	4900
H	0,09*	-259,4	-252,7	S _{ромб}	2,07	112,8	444,6
He	0,18*	-272,2	-268,9	Sb	6,68	630,5	1635
Hf	13,30	2230	5400	Sc	3,02	1539	2700
Hg	13,55	-38,87	356,9	Se	4,79	217	685
In	7,31	156,4	2000	Si	2,33	1420	2600
Ir	22,50	2443	4380	Sm	7,54	1072	1670
I	4,93	113,6	184,3	Sn	7,30	231,9	2620
K	0,86	63,55	776	Sr	2,60	770	1380
Kr	3,74*	-157,2	-153,4	Ta	16,60	3015	5300
La	6,15	920	3470	Te	6,25 ⁽²⁵⁾	449,8	990
Li	0,53	180	1350	Th	11,7 ⁽²⁵⁾	1750	4200
Mg	1,74	651	1107	Ti	4,50	1668	3300
Mn	7,44	1250	2150	Tl	11,85	304	1475
Mo	10,23	2622	4800	U	19,04 ⁽²⁵⁾	1130	3800
N	1,25*	-210	-195,8	V	5,96	1900	3400
Na	0,97	97,7	890	W	19,30	3380	5680
Nb	8,60	2470	4840	Xe	5,85*	-111,8	-108,12
Nd	7,00	1024	3200	Y	4,48	1525	2900
Ne	0,90*	-248,6	-245,9	Zn	7,10	419,50	906,20
Ni	8,90	1453	2140	Zr	6,45	1855	4340
Np	19,50	640	—				
O	1,43*	-218,8	-182,97				
Os	22,60	3027	~5000				

Сравнительная твердость элементов

Приводятся значения твердости некоторых элементов по условной десятибалльной шкале. Элементы расположены в порядке возрастающей твердости. Каждый из них наносит царапину предыдущему элементу и, в свою очередь, получает царапину от последующего.

Cs — 0,2	Pb — 1,5	Cd — 2,0	Ni — 3,8	Cr — 9,0
Rb — 0,3	Ca — 1,5	Au — 2,5	Pt — 4,3	B — 9,5
Na — 0,4	Sr — 1,8	Zn — 2,5	Fe — 4,5	С алмаз — 10
K — 0,5	Sn — 1,8	Ag — 2,7	Mn — 5,0	
P — 0,5	Mg — 2,0	Al — 2,9	Co — 5,5	
Li — 0,6	S — 2,0	Cu — 3,0	Si — 7,0	

Приводятся значения растворимости химических элементов в воде при 20° С. Растворимость газов выражается в миллилитрах газа, приведенных к нормальным условиям, на 100 мл воды.

Азот — 1,60	Криптон — 6,30
Аргон — 3,80	Ксенон — 12,80
Водород — 1,82	Неон — 1,20 (10°С)
Гелий — 1,00	Радон — 23,80
Кислород — 3,10	Хлор — 230

Растворимость (в граммах на 100 г воды) жидкого брома — 3,60, иода — 0,029, фосфора — 0,0003. Бром и хлор, растворяясь в воде, химически взаимодействуют с ней.

Разлагают воду (в обычных условиях): барий, калий, кальций, лантан, литий, магний (разлагает воду очень медленно), натрий, радий, рубидий, стронций, фтор, цезий.

РАЗДЕЛ 2

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

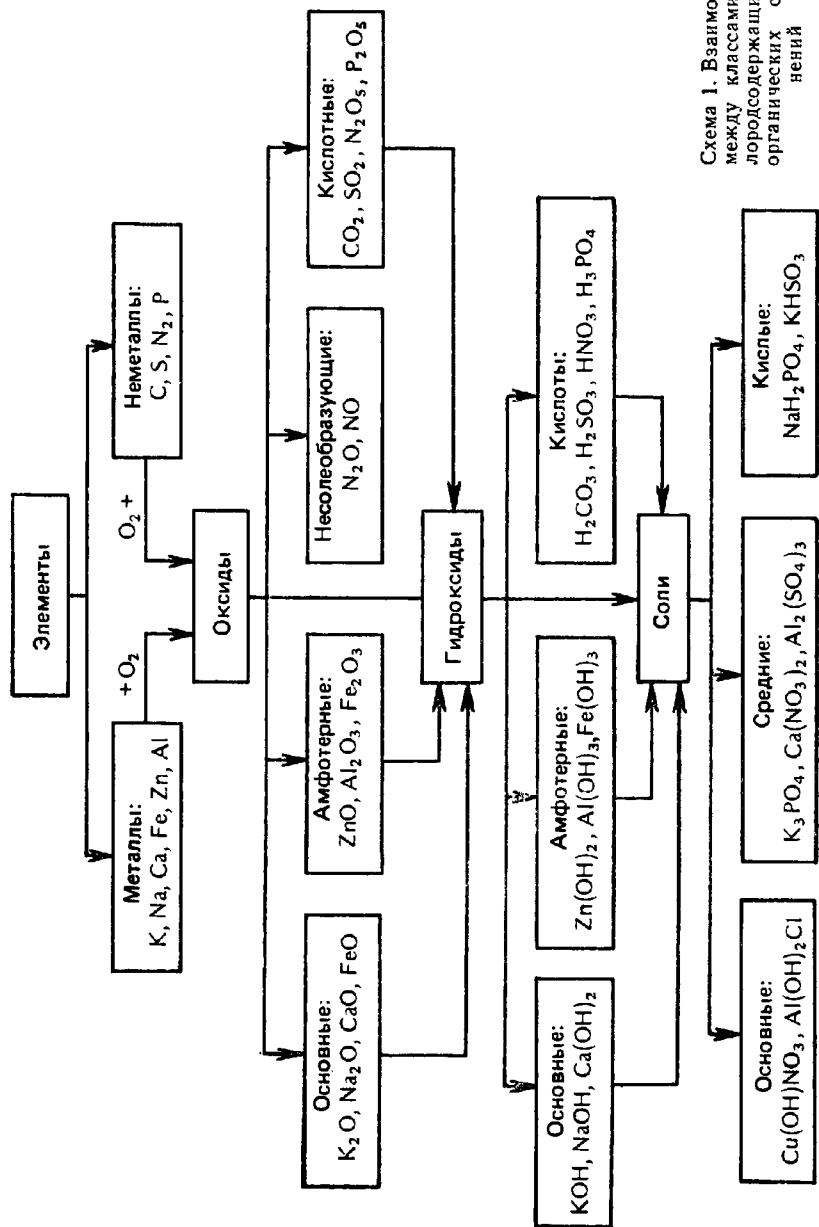
ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Все вещества делятся на *простые* и *сложные*. Простые вещества состоят из одного элемента, сложные — из двух элементов и более. Важнейшими классами неорганических соединений являются оксиды (окислы), гидроксиды (основания), кислоты и соли.

Оксиды — соединения элементов с кислородом. Они подразделяются на солеобразующие и несолеобразующие. В свою очередь, солеобразующие оксиды подразделяются на основные, кислотные и амфотерные. Основные оксиды образуют соли при взаимодействии с кислотами или кислотными оксидами. Кислотные оксиды образуют соль при взаимодействии с основаниями или основными оксидами. Амфотерные оксиды образуют соли при взаимодействии как с кислотами или кислотными оксидами, так и с основаниями или основными оксидами.

Гидроксиды — соединения, содержащие одну или несколько гидроксильных групп ОН. Гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов имеют явно выраженный основной характер, их называют *щелочами*. Гидроксиды других металлов являются слабыми основаниями, или амфотерными соединениями. Основания при электролитической диссоциации в качестве анионов образуют только гидроксид-ионы.

Кислоты — соединения, которые при электролитической диссоциации в качестве катионов образуют только ионы водорода. По химиче-



скому составу различают кислоты *бескислородные* и *кислородсодержащие*.

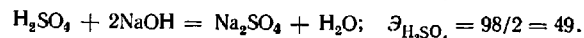
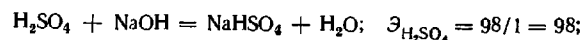
Соли — продукты замещения атомов водорода в кислоте на металл, диссоциирующие в воде на катион металла и анион (кислотный остаток). Соли бывают средними, кислыми и основными. Средние соли — продукты полного замещения атомов водорода в кислоте на металл. Кислые соли — продукты неполного замещения. Основные соли — продукты неполного замещения гидроксильных групп гидроксидов на кислотный остаток. На схеме 1 показана взаимосвязь между основными классами кислородсодержащих неорганических соединений и приведены формулы отдельных представителей этих классов.

Эквивалент оксида равен сумме эквивалентов кислорода и элемента, входящего в состав оксида. Например, эквивалент Na_2O равен сумме эквивалентов натрия и кислорода ($23 + 8 = 31$). Эквивалент оксида можно также вычислить, разделив молекулярную массу оксида на валентность элемента, умноженную на число атомов элемента в оксиде:

$$\vartheta_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{62}{1 \cdot 2} = 31; \quad \vartheta_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{102}{3 \cdot 2} = 17.$$

Эквивалент гидроксида равен сумме эквивалентов металла и гидроксила. Например, эквивалент NaOH равен сумме эквивалентов натрия и гидроксила ($23 + 17 = 40$). Эквивалент гидроксида можно также вычислить, разделив его молекулярную массу на валентность металла, входящего в состав основания (если в реакцию вступают все гидроксильные группы гидроксида): $\vartheta_{\text{NaOH}} = 40/1 = 40$; $\vartheta_{\text{Ca(OH)}_2} = 74/2 = 37$. Если же в реакции участвуют не все гидроксильные группы, то для определения эквивалента гидроксида необходимо молекулярную массу разделить на кислотность гидроксида, определяемую числом вступающих в реакцию гидроксильных групп: $\text{Cu(OH)}_2 + \text{HCl} = \text{Cu(OH)Cl} + \text{H}_2\text{O}$; $\vartheta_{\text{Cu(OH)}_2} = 98/1 = 98$.

Эквивалент кислоты равен сумме эквивалентов водорода и кислотного остатка. Например, эквивалент HCl равен сумме эквивалентов водорода и хлора ($1 + 35,5 = 36,5$). Эквивалент кислоты можно также вычислить, разделив ее молекулярную массу на основность кислоты, которая для данной реакции определяется числом атомов водорода, замещающихся на металл. Так, серная кислота в зависимости от условий реакции может выступать как одноосновная и двухосновная:



Эквивалент соли вычисляют, разделив ее молекулярную массу на произведение числа атомов металла в молекуле соли на валентность металла:

$$\vartheta_{\text{NaCl}} = \frac{58,5}{1} = 58,5; \quad \vartheta_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{342}{2 \cdot 3} = 57.$$

**ХИМИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ. ПРИРОДА И ВИДЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ.
ХИМИЧЕСКИЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ. ХИМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ**

Таблица 12. Эмпирические и графические формулы неорганических соединений

Класс соединений	Эмпирическая формула	Графическая формула
Оксиды:		
кальция	CaO	Ca=O
натрия	Na ₂ O	Na—O Na—O
алюминия	Al ₂ O ₃	Al=O Al—O Al=O
Гидроксиды:		
натрия	NaOH	Na—OH
кальция	Ca(OH) ₂	Ca—O—H Ca—O—H
алюминия	Al(OH) ₃	Al—O—H Al—O—H Al—O—H
Кислоты:		
соляная	HCl	H—Cl
серная	H ₂ SO ₄	H—O—S(=O) ₂ —O—H
ортофосфорная	H ₃ PO ₄	H—O—P(=O)(OH) ₂
Соли:		
средние:		
карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	Na—O—C(=O)—O—Na
сульфат алюминия	Al ₂ (SO ₄) ₃	Al—O—S(=O) ₂ —O—Al Al—O—S(=O) ₂ —O—Al Al—O—S(=O) ₂ —O—Al
кислые:		
гидросульфат натрия	NaHSO ₄	Na—O—S(=O) ₂ —O—H

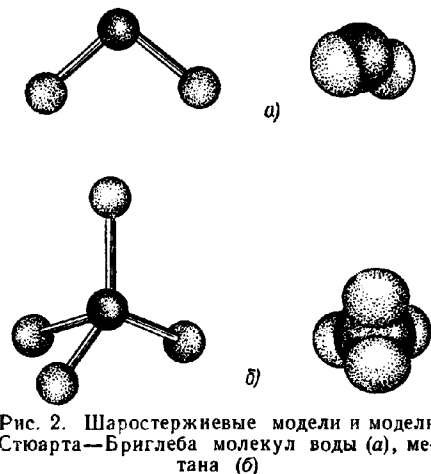
Химическими формулами пользуются для обозначения состава простых и сложных веществ. Химическая формула вещества показывает, из каких элементов состоит данное вещество и сколько атомов каждого элемента входит в состав его молекулы. Например, формула N₂ показывает, что молекула азота состоит из 2 атомов азота; CaSO₄ — в молекуле сульфата кальция содержится 1 атом кальция, 1 атом серы и 4 атома кислорода. Зная химическую формулу вещества, можно определить его молекулярную массу, весовое и процентное отношение элементов, входящих в его состав. Химические формулы бывают эмпирическими, электронными, графическими и структурными.

Эмпирические формулы отражают только качественный и количественный состав молекул (HCl, Al₂O₃). Если соединение образовано двумя неметаллами или неметаллом и металлом, то на первом месте в формуле ставят менее электроотрицательный элемент, например SO₂, N₂O₅, MgO. В порядке исключения пишут NH₃. В формулах ионных соединений на первом месте всегда помещают положительный ион: NaOH, CaCl₂, H₂SO₄. Индексы, стоящие справа от символа элемента, указывают число атомов (простых ионов) элемента или многоатомных ионов, содержащихся в молекуле. Эти индексы определяются зарядами ионов, входящих в состав молекулы. Молекула любого соединения электронейтральна, поэтому, для того чтобы правильно составить химическую формулу, необходимо индекс, равный заряду отрицательного иона, написать у символа положительного иона, и наоборот, например Mg²⁺(PO₄)₃²⁻.

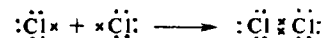
Электронные формулы состоят из символов элементов. Вокруг них точками обозначены электроны свободные и участвующие в образовании связи:



Графические формулы служат для более наглядного изображения химического соединения. При таком изображении символы элементов соединены черточками, изображающими связывающие электронные пары. Количество черточек у каждого элемента равно его валентности в данном соединении. Графическая формула показывает последовательность соединения атомов друг с другом в молекуле (табл. 12).

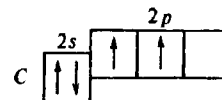


Класс соединений	Эмпирическая формула	Графическая формула
гидроортофосфат алюминия	$Al_2(HPO_3)_3$	
основные:		
гидроксхлорид кальция	$Ca(OH)Cl$	
гидроксосульфат алюминия	$Al(OH)SO_4$	

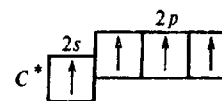


Если связанные ковалентной связью атомы обладают одинаковой электроотрицательностью, то связь будет *неполярной* (H_2 , Cl_2 , N_2 и др.). Если же один из атомов обладает большей электроотрицательностью и в результате этого электронная плотность смещена в его сторону, то такая связь называется *полярной* (HCl , CO , NCN и др.).

Общая электронная пара при химическом взаимодействии 2 атомов образуется за счет имеющих антипараллельные спины неспаренных электронов. Например, в основном состоянии внешний электронный слой атома углерода имеет структуру



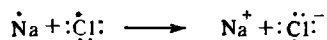
Поэтому в невозбужденном состоянии атом углерода за счет двух неспаренных электронов может образовывать две ковалентные связи. Однако в возбужденном атоме углерода один 2s-электрон переходит на 2p-орбиталь:



В этом случае атом углерода, находясь в возбужденном состоянии и имея 4 неспаренных электрона, образует 4 ковалентные связи. Возбужденное состояние характерно для любого элемента, для которого возможно разделение спаренных электронов и перемещение их на близкую по энергии свободную орбиталь.

Ковалентная связь в отличие от ионной характеризуется направленностью в пространстве. Это означает, что образование ковалентных связей происходит не в любых направлениях пространства, а только в определенных, составляющих друг с другом углы, величина которых зависит от валентного состояния атома, т. е. от типа гибридизации его атомных орбиталей. При образовании молекулы электронные орбитали меняют форму и вместо неравноценных s-, p-, d-орбиталей образуются равноценные *гибридные*. Число гибридных орбиталей равно числу орбиталей, участвующих в процессе гибридизации.

Тип гибридизации определяется природой и количеством участвующих в гибридизации орбиталей. Так, если в образовании гибридных орбиталей участвуют одна s- и одна p-орбиталь, то образуются две sp-гибридных орбитали. Если в гибридизации участвует одна s- и две p-орбитали, то говорят о sp^2 -гибридизации и образовании трех sp^2 -гибридных орбиталей. Смещением одной s- и трех p-орбиталей образуются четыре sp^3 -гибридных орбитали. При этом sp-гибридизация орбиталей встречается у атомов элементов II группы периодической



Ионная связь отличается значительной полярностью.

Ковалентная (неэлектровалентная, или *гомополярная*) связь возникает между атомами, которые незначительно отличаются по электроотрицательности. Связь образуется за счет обобществления электронов (2, 4 или 6), принадлежащих обоим атомам до образования химической связи:

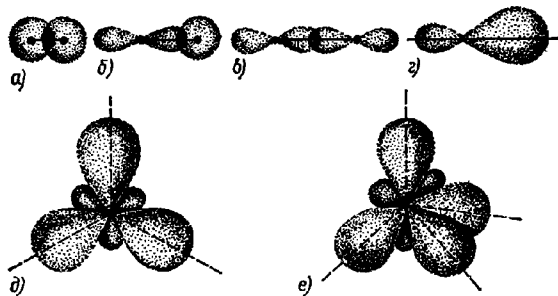


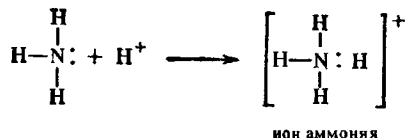
Рис. 3. Взаимное перекрывание орбиталей. Гибридные орбитали:

а — перекрывание s -орбиталей; б — перекрывание s - и p -орбиталей; в — перекрывание p -орбиталей; г — sp -гибридная орбиталь; д — sp^2 -гибридные орбитали; е — sp^3 -гибридные орбитали

системы элементов, sp^2 -гибридизация характерна для элементов III группы, sp^3 -гибридизация — для соединений углерода.

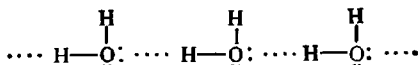
На рис. 3 схематически изображено перекрывание s -орбиталей (а), s - и p -орбиталей (б), p -орбиталей (в) и приведены формы гибридных облаков.

Координационная связь — частный случай ковалентной связи. Эта связь возникает между атомами, один из которых имеет неподеленную электронную пару, а другой — возможность ее присоединения (электроинный пробел):



Атом, который обладает неподеленной парой электронов и отдает их для образования новой химической связи, называется **донором**, а принимающий их атом — **акцептором**. Поэтому такую связь называют **донорно-акцепторной** (или **сепиполярной**).

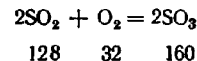
Водородная связь (Н-связь) возникает между атомами, имеющими свободную электронную пару, и водородом, который связан с другим атомом полярной ковалентной связью, например:



Водородная связь играет важную роль во многих химических соединениях, химических и биологических процессах.

Химическим уравнением называется выражение химической реакции с помощью формул. Химическое уравнение реакции — это спо-

соб описания процесса, который дает представление о происшедших качественных и количественных изменениях, например:

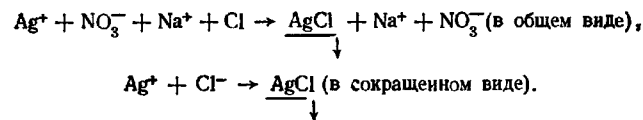


Эта запись дает следующую информацию: оксид серы (IV) реагирует с кислородом с образованием оксида серы (VI); 2 моля оксида серы (IV), реагируя с 1 молем кислорода, дают 2 моля оксида серы (VI). 128 г оксида серы (IV), реагируя с 32 г кислорода, образуют 160 г оксида серы (VI).

Химическое уравнение составляется на основе закона сохранения массы; при записи уравнения реакции коэффициенты уравнения представляют собой наименьшие целые числа.

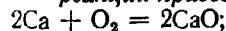
Способы написания уравнения реакции:

с помощью эмпирических формул: $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$;
в ионной форме:



Все реакции можно разбить на несколько типов:

реакции присоединения (из двух и более веществ образуется одно):



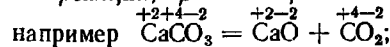
реакции разложения (из одного вещества образуется два или более веществ): $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$;

реакции вытеснения (простое вещество реагирует со сложным с образованием двух новых веществ): $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$;

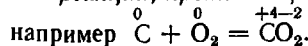
реакции двойного обмена (из двух сложных веществ образуются два новых вещества): $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} = \text{AgCl} + \text{HNO}_3$.

Возможна и другая классификация реакций — деление их на две группы:

реакции, протекающие без изменения степени окисления элементов,



реакции, протекающие с изменением степени окисления элементов,



НОМЕНКЛАТУРА НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Номенклатура неорганических соединений — это система рациональных названий сложных неорганических веществ. В 1959 г. Номенклатурная комиссия Международного союза чистой и прикладной химии (ИЮПАК) разработала принципы международной номенклатуры неорганических соединений. В СССР наряду с прави-

лами международной номенклатуры (МН) сохранилась и система названий по русской номенклатуре (РН).

Оксиды (окислы). Для наименования оксидов (окислов) в настоящее время используют в основном международную номенклатуру. Согласно этой номенклатуре, окислы называются оксидами. Для элементов переменной валентности в скобках римскими цифрами указывается валентность элемента в данном оксиде. Так, соединение MgO по МН называется оксидом магния, Cu_2O и CuO — соответственно оксидом меди(I) и оксидом меди(II), SO_2 и SO_3 — соответственно оксидом серы(IV) и оксидом серы(VI). Соединения элементов с кислородом, содержащие анион O_2^{2-} , называются *пероксидами*, например H_2O_2 — пероксид водорода.

Гидроксиды (основания). Согласно международной номенклатуре, соединения, содержащие в своем составе гидроксильные группы, называются *гидроксидами*. В случае металлов переменной валентности в скобках указывают валентность металлов в данном гидроксиде, например $Fe(OH)_2$ — гидроксид железа(II), $Fe(OH)_3$ — гидроксид железа(III).

Кислоты. Для кислот применяется в основном русская номенклатура, а для наименования их анионов — международная. Согласно русской номенклатуре, названия бескислородных кислот образуются путем прибавления окончания *-водородная* к тому элементу, от которого образована кислота: HCl — хлористоводородная, HBr — бромистоводородная. У кислородсодержащих кислот это окончание отсутствует: HNO_3 — азотная, H_2SO_4 — серная.

Названия кислот, образованные одним и тем же элементом, различаются окончаниями: *-ная, -овая (-евая)* — в кислотах с большим содержанием кислорода (для высшей степени окисления элемента, образующего кислоту) и *-истая, -оватая, -оватистая* — в кислотах с меньшим содержанием кислорода (для низших степеней окисления элемента в убывающем порядке): $HClO_4$ — хлорная кислота, $HClO_3$ — хлорноватая кислота, $HClO_2$ — хлористая кислота, $HClO$ — хлорноватистая кислота.

Названия кислот, представляющие собой гидратные формы одного и того же ангидрида кислоты, но с разным числом молекул воды, отличаются приставками: гидратная форма с наименьшим числом молекул воды — *мета-*, с наибольшим — *орто-*, например $P_2O_5 + H_2O = 2HPO_3$ — метафосфорная кислота; $P_2O_5 + 3H_2O = H_3PO_4$ — ортофосфорная кислота.

Кислоты, содержащие свыше одного атома кислотообразующего элемента в одной и той же степени окисления, называются *изополукислотами*; число атомов этого элемента указывают русской или греческой приставкой, например $H_4P_2O_7$ — дифосфорная кислота.

По международной номенклатуре названия бескислородных кислот образуются из названия кислотного остатка с окончанием *-о* и слова *водород*: HCl — хлороводород, HI — иодоводород.

Соли. Для названия солей в настоящее время используется в основном международная номенклатура. По этой номенклатуре назва-

ние соли складывается из названия металла и латинского названия кислотного остатка. При этом название соли бескислородной кислоты имеет окончание *-ид*, кислородсодержащей кислоты — *-ат* (в случае максимальной валентности кислотообразующего элемента) и *-ит* (в случае более низкой его валентности): соли азотной кислоты — нитраты, азотистой — нитриты, сернистой — сульфиты. Для солей, образованных металлами с переменной валентностью, последняя указывается в скобках: $FeSO_4$ — сульфат железа(II).

Название кислых солей образуется путем добавления к названию аниона приставки *гидро-* (если необходимо, то с соответствующим числительным): KH_2PO_4 — дигидроортофосфат калия, K_2HPO_4 — гидроортофосфат калия.

Названия основных солей образуются аналогичным образом путем добавления приставки *гидроксо-*: $(CuOH)_2CO_3$ — гидроксокарбонат меди, $Mg(OH)Cl$ — гидроксохлорид магния.

Формулы и названия двойных солей начинаются с катиона, имеющего более высокую степень окисленности: $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — алюминий-калий сульфат.

В табл. 13 приведены названия важнейших кислот и их средних (нормальных) солей.

Таблица 13. Номенклатура кислот и их средних солей

Кислота	Название	
	кислоты	средней соли
H_3AsO_4	мышьяковая, орто-	арсенаты, орто-
H_3BO_3	борная, орто-	бораты, орто-
HBr	бромоводород	бромиды
$HBrO_3$	бромноватая	броматы
HCN	циановодород	цианиды
H_2CO_3	угольная	карбонаты
HCl	хлороводород	хлориды
$HClO_3$	хлорноватая	хлораты
$HClO_4$	хлорная	перхлораты
H_2CrO_4	хромовая	хроматы
$H_2Cr_2O_7$	двуххромовая	дихроматы
HI	иодоводород	иодиды
HIO_3	иодноватая	иодаты
$HMnO_4$	марганцовая	перманганаты
HNO_3	азотистая	нитриты
HNO_2	азотная	нитраты
HPO_3	фосфорная, мета-	фосфаты, мета-
H_3PO_4	фосфорная, орто-	фосфаты, орто-
$H_4P_2O_7$	фосфорная, дву-	дифосфаты
H_2S	сероводород	сульфиды
H_2SO_3	сернистая	сульфиты
H_2SO_4	серная	сульфаты
H_2SiO_3	кремниевая	силикаты

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ КЛАССОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В табл. 14—17 приведены способы получения и химические свойства оксидов, гидроксидов, кислот и солей.

Таблица 14. Способы получения и химические свойства оксидов

Способы получения	Химические свойства
<p>1. Взаимодействие простых веществ с кислородом: $\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$</p> <p>2. Разложение оксидов: $4\text{CrO}_3 = 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2$</p> <p>3. Разложение гидроксидов: $2\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons 2\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>4. Разложение кислот: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$</p> <p>5. Разложение солей: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{O}_2$</p> <p>6. Взаимодействие кислот, обладающих окислительными свойствами, с металлами и неметаллами: $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{C} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>1. Взаимодействуют с водой с образованием гидроксидов или кислот: $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$ $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{PO}_4$</p> <p>2. Оксиды металлов взаимодействуют с кислотой с образованием солей (реагируют только основные и амфотерные оксиды): $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$</p> <p>3. Взаимодействуют с гидроксидами с образованием солей (реагируют только амфотерные и кислотные оксиды): $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} = 2\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CO}_2 + \text{NaOH} = \text{NaHCO}_3$</p> <p>4. Основные оксиды взаимодействуют с кислотными с образованием солей: $3\text{MgO} + \text{P}_2\text{O}_5 = \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$</p> <p>5. Некоторые оксиды разлагаются с выделением металла и кислорода: $2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2$ $2\text{Ag}_2\text{O} = 4\text{Ag} + \text{O}_2$</p>

Таблица 15. Способы получения и химические свойства гидроксидов

Способы получения	Химические свойства
<p>1. Взаимодействие активных металлов с водой: $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$ $\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$</p> <p>2. Взаимодействие оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов с водой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$</p> <p>3. Взаимодействие солей с щелочами: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ba}(\text{OH})_2 = 2\text{NaOH} + \text{BaCO}_3$</p> <p>4. Электролиз водных растворов солей: $\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (в растворе в катодном пространстве накапливается NaOH)</p>	<p>1. Гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов диссоциируют в водных растворах: $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{Ba}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{BaOH}^+ + \text{OH}^-$ $\text{BaOH}^+ \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^-$</p> <p>2. Взаимодействуют с кислотными оксидами с образованием солей: $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>3. Взаимодействуют с кислотами (реакция нейтрализации): $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$</p> <p>4. Щелочи взаимодействуют с кремнием и металлами (цинком, алюминием и др.) с выделением водорода: $2\text{NaOH} + \text{Si} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2$</p>

Таблица 16. Способы получения и химические свойства кислот

Способы получения	Химические свойства
<p>1. Взаимодействие кислотных оксидов с водой: $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HPO}_3$ $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3$</p> <p>2. Окисление некоторых простых веществ: $\text{P} + 5\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{NO}$</p> <p>3. Взаимодействие солей (растворимых в воде) с кислотами (сильными или менее летучими, чем получаемая): $\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{NaHSO}_4 + \text{HNO}_3$</p>	<p>1. В растворах диссоциируют одноступенчато (одноосновные) или многоступенчато (многоосновные): $\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ $\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$</p> <p>2. Кислоты, не обладающие окислительными свойствами, реагируют с металлами, стоящими в ряду напряжений левее водорода, с образованием солей и выделением водорода: $\text{Mg} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$</p>

Способы получения	Химические свойства
<p>4. Бескислородные кислоты могут быть получены непосредственно из водорода и неметалла:</p> $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2 \text{HCl}$ $\text{H}_2 + \text{S} = \text{H}_2\text{S}$ <p>Водные растворы таких соединений являются кислотами</p>	<p>Кислоты, обладающие окислительными свойствами, реагируют с активными металлами, а также с некоторыми металлами, расположенными правее водорода в ряду напряжений. При этом вместо водорода образуется вода:</p> $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>3. Взаимодействуют с оксидами металлов и гидроксидами:</p> $\text{CaO} + 2 \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Таблица 17. Способы получения и химические свойства солей

Способы получения	Химические свойства
<p>1. Взаимодействие металлов с неметаллами:</p> $2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$ <p>2. Взаимодействие металлов с кислотами:</p> $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MgSO}_4 + \text{H}_2$ <p>3. Взаимодействие кислот с основными оксидами:</p> $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaO} = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ <p>4. Взаимодействие кислот с гидроксидами (реакция нейтрализации):</p> $3 \text{NaOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ <p>5. Взаимодействие кислот с солями:</p> $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}$ <p>6. Взаимодействие двух солей:</p> $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{BaSO}_4 + 2\text{KCl}$ <p>7. Взаимодействие основных и кислотных оксидов:</p> $\text{MgO} + \text{SiO}_2 = \text{MgSiO}_3$	<p>1. Растворимые в воде соли, образованные сильными гидроксидами и сильными кислотами, диссоциируют по схеме $\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$</p> <p>Растворимые в воде соли, образованные сильными гидроксидами и слабыми кислотами, слабыми гидроксидами и сильными кислотами, слабыми гидроксидами и слабыми кислотами, гидролизуются</p> <p>2. В электрохимическом ряду напряжений каждый предыдущий металл вытесняет последующий из растворов их солей:</p> $\text{Zn} + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{Hg}$ <p>3. Взаимодействуют с щелочами:</p> $\text{CaCl}_2 + 2 \text{NaOH} = \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$ <p>4. Взаимодействуют с кислотами:</p> $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HNO}_3$ <p>5. Взаимодействуют друг с другом:</p> $\text{CaCl}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + 2\text{KCl}$

Способы получения	Химические свойства
<p>8. Взаимодействие гидроксидов с кислотными оксидами:</p> $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <p>9. Взаимодействие металлов с солями (в растворе):</p> $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$	

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В табл. 18 приводятся физические константы некоторых неорганических веществ. Формулы соединений размещены в таблице по алфавиту химических знаков элементов, которые стоят в начале формулы. Названия соединений даны преимущественно по международной номенклатуре, в некоторых случаях в скобках приведены их синонимы. Степень окисленности указана в скобках римскими цифрами.

Обозначения и сокращения. Мол. м. — молекулярная масса; d — плотность твердых и жидких веществ (при комнатной температуре) по отношению к массе воды при 4°C, плотность газов выражена в г/л (при 0°C и давлении $1,01325 \cdot 10^5$ Па); крист. — кристаллический, аморф. — аморфный; т. пл. и т. кип. — температуры плавления и кипения (°C) при давлении $1,01325 \cdot 10^5$ Па (в отдельных случаях при давлениях в МПа, указанных в скобках); разл. — разлагается, возг. — возгоняется, обезв. — обезвоживание гидрата. Если после «разл.», «возг.» или «обезв.» стоит цифра, то это значит, что вещество при данной температуре разлагается, возгоняется или обезвоживается; если цифра стоит перед «разл.» или «обезв.», то это означает, что при данной температуре вещество плавится или кипит и одновременно разлагается или обезвоживается. «Разл.», «возг.», «обезв.» без цифр означают, что при нагревании вещество разлагается, возгоняется или обезвоживается. Если вещество теряет H_2O , CO_2 и т. д. при нагревании, то перед числовым значением температуры стоит минус ($-\text{H}_2\text{O}$, $-\text{CO}_2$). Безв. — безводный. Растворимость твердых и жидких веществ дана в граммах безводного вещества на 100 г воды, для газов — преимущественно в миллилитрах на 100 г воды при температуре 20 и 100°C (иногда при температуре, указанной в скобках). Н. — нерастворимо, р. — растворимо, разл. — химически взаимодействует с растворителем, тр. р. — трудно растворимо, х. р. — хорошо растворимо, ∞ — смешивается с растворителем в любых соотношениях, коллоидн. — коллоидный раствор; орг. раств. — органические растворители. Приведены органические растворители, в которых данное вещество растворяется.

Ац. — ацетон, бз. — бензол, гл. — глицерин, сп. — этиловый спирт, мет. — метиловый спирт, э. — диэтиловый эфир, укс. к. — уксусная кислота.

Таблица 18. Физические константы некоторых неорганических веществ

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°C	при 100°C	
AgBr	бромид серебра	187,77	6,47	434	700, разл.	$1 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	—
AgCN	цианид серебра	133,89	3,95	320, разл.	—	$2 \cdot 10^{-5}$	—	—
Ag ₂ CO ₃	карбонат серебра	275,75	6,08	218, разл.	—	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	—
AgCl	хлорид серебра	143,32	5,56	455	1550	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	—
AgF	фторид серебра	126,87	5,85	435	—	172,0	216(50°C)	—
AgI	йодид серебра	234,77	5,67	552, разл.	разл.	$3 \cdot 10^{-7}$ (30°C)	$3 \cdot 10^{-8}$ (60°C)	—
AgNO ₃	нитрат серебра	169,87	4,35	212	444, разл.	218	900	э., сп.
Ag ₂ O	оксид серебра	231,74	7,52	300, разл.	—	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$ (80°C)	—
Ag ₂ S	сульфид серебра	247,80	7,20	825	разл.	$1 \cdot 10^{-5}$	—	—
Ag ₂ SO ₄	сульфат серебра	311,79	5,46	660	1085, разл.	0,79	1,41	—
AlCl ₃	хлорид алюминия	133,34	2,47	190 (0,25 МПа)	180,7, возг.	46	49, разл.	э., хл.
Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	нитрат алюминия, гидрат	375,14	—	73,60	150, разл.	241(25°C)	—	сп., ац.
Al ₂ O ₃	оксид алюминия	101,96	3,5—4,1	2050	2980	н.	н.	—
Al(OH) ₃	гидроксид алюминия	78,00	2,42	—H ₂ O, 180—200	—2H ₂ O, 300	н.	н.	—
Al ₂ (SO ₄) ₃	сульфат алюминия	342,14	2,71	770, разл.	—	37,2	89,1	—
AlK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	сульфат алюминия — калия (алюмокалиевые квасцы), гидрат	474,39	1,75	обезв.	—	11,4	х. р.	—
AsH ₃	гидрат мышьяка	77,95	3,48 г/л	—116	—62	20 мл	т. р.	—
As ₂ O ₃	оксид мышьяка (III)	197,84	3,7—4,1	313	457,5	2,04(25°C)	11,46	сп.
AuCl ₃	хлорид золота (III)	303,33	3,90	200, разл.	265, возг.	68	х. р.	сп., э.
BN	нитрид бора	24,82	2,34	~3000 давл.	возг.	н.	н.	—
B ₂ O ₃	оксид бора крист.	69,62	1,84	465	1860	1,1(0°C), разл.	15,7, разл.	сп.
BaCO ₃	карбонат бария	197,36	4,30	1450, разл.	—	$2 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	—
BaCl ₂	хлорид бария	208,25	3,92	958	1830	35,7	58,5	—
Ba(NO ₃) ₂	нитрат бария	261,35	3,24	592	разл.	9,2	34,4	—
BaO	оксид бария	153,34	5,72	1923	2000	3,5, разл.	90,8(80°C)	сп.
Ba(OH) ₂	гидроксид бария	171,35	4,5	408	>1000, разл.	3,84	101,4(80°C)	т.р., сп.
BaSO ₄	сульфат бария	233,40	4,5	1580	—	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	—
BeCl ₂	хлорид бериллия	79,92	1,90	404	520	х. р.	х. р.	сп., э.
BeO	оксид бериллия	25,01	3,03	2530	3900	$2 \cdot 10^{-5}$	—	—
BiCl ₃	хлорид висмута	315,34	4,75	230	440	разл.	разл.	сп., э.
Bi(NO ₃) ₃ ·5H ₂ O	нитрат висмута, гидрат	485,0	2,83	>30, обезв.	—5H ₂ O, 80	разл.	разл.	ац.
Bi ₂ O ₃	оксид висмута	465,96	8,90	825	1890	н.	н.	—
Bi(OH) ₃	гидроксид висмута	260,00	4,36	—H ₂ O, 100	—1,5H ₂ O, 400	$1,4 \cdot 10^{-4}$	—	—
CO	оксид углерода (II)	28,01	1,250 г/л	—205	—192	2,3 мл	1,62 мл (50°C)	сп., бз.
CO ₂	оксид углерода (IV)	44,01	1,977 г/л	—56,6 (0,52 МПа)	—78,5, возг.	88,0	44 мл (50°C)	сп., ац.
CaBr ₂	бромид кальция	199,89	3,35	760	810	143	312(105°C)	сп., ац.
CaC ₂	карбид кальция	64,10	2,22	1900—2300	—	разл.	—	—
CaCN ₂	цианамид кальция	80,11	2,29	1300	1090, возг.	тр., р., разл.	разл.	—
CaCO ₃	карбонат кальция	100,09	2,7	500, разл.	—	тр. р.	тр. р.	—
CaCl ₂	хлорид кальция	110,99	2,15	772	1600	74,5	159	сп., ац.
CaF ₂	фторид кальция	78,08	3,18	1403	2500	$1,6 \cdot 10^{-3}$	—	—
CaH ₂	гидрид кальция	42,10	1,70	816(в токе H ₂)	>600, раз.	разл.	—	—
CaHPO ₄ ·H ₂ O	гидроортофосфат кальция, гидрат	172,09	2,31	—	—	0,02	$7,5 \cdot 10^2$, разл.	—
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	дигидроортофосфат кальция, гидрат	252,08	2,22	—H ₂ O, 109	200, разл.	н.	разл.	—
Ca(NO ₃) ₂	нитрат кальция	164,09	2,36	561	разл.	126	364	сп., ац.
CaO	оксид кальция	56,08	3,40	2580	2850	0,12, разл.	разл.	—
Ca(OH) ₂	гидроксид кальция	74,08	2,24	—H ₂ O, 580	разл.	0,165	0,072	—
Ca ₃ (PO ₄) ₂	ортофосфат кальция	310,18	3,14	1670	—	н.	разл.	—
CaSO ₄	сульфат кальция	136,15	2,96	1450	—	0,200	0,162	гл.
CaSO ₄ ·2H ₂ O	сульфат кальция, гидрат	172,17	2,29— —2,33	1,5 H ₂ O, 128	—2H ₂ O, 163	0,241(0°C)	0,222	—
CdCO ₃	карбонат кадмия	172,41	4,25	<360, разл.	—	н.	н.	—
CdCl ₂	хлорид кадмия	183,31	4,10	568	968	114	150	сп.
Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	нитрат кадмия, гидрат	308,47	2,46	60	разл.	149	681	сп.
CdO	оксид кадмия	128,40	7,0(амф.) 8,1 крист.	>900, разл.	1813, возг.	тр. р.	тр. р.	—
CdS	сульфид кадмия	144,46	4,82	1750(10,0 МПа)	возг.	$1,3 \cdot 10^{-4}$	коллоид.	—
CdSO ₄	сульфат кадмия	208,46	4,70	1135	—	77	58,4	—
CeCl ₃	хлорид церия (III)	246,48	3,92(0°C)	805	1730	100	разл.	сп., ац.

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°C	при 100°C	
CeO ₂	оксид церия (IV)	172,13	7,30	2700	—	н.	н.	—
ClO ₂	оксид хлора (IV)	67,45	3,09	—59	9,7	2000 мл (4°C)	разл.	—
CoCO ₃	карбонат кобальта	118,95	4,13	разл.	—	н.	н.	—
CoCl ₂	хлорид кобальта (II)	129,85	3,36	724	1049, возг.	53	106,2	сп., ац.
Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	нитрат кобальта, гидрат	291,03	1,87	—3H ₂ O, 55	—	263(0°C)	х. р.	сп., ац.
CoO	оксид кобальта (II)	74,93	5,7—6,7	1935	2800, разл.	н.	н.	—
CoSO ₄	сульфат кобальта	155,00	3,71	>700, разл.	—	36,2	38,5	сп., мет.
CrCl ₃	хлорид хрома (II)	122,92	2,75	824	1330	х. р.	х. р.	—
CrCl ₃	хлорид хрома (III)	158,38	2,76	1150 (давл.)	возг.	—	—	—
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	нитрат хрома, гидрат	400,15	—	38,5	~125,5, разл.	х. р.	х. р.	сп., ац.
Cr ₂ O ₃	оксид хрома (III)	152,00	5,20	1990; 2265	—	н.	н.	—
CrO ₃	оксид хрома (VI)	100,00	2,70	196	разл.	166, (15°C)	199	э., сп.
Cr ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	сульфат хрома, гидрат	716,43	1,86	—12H ₂ O, 100	—	120	разл.	сп.
KCr(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	сульфат хрома калия (хромкалиевые квасцы), гидрат	499,43	1,83	—	—12H ₂ O, <400	24,4 (25°C)	50	—
CsOH	гидроксид цезия	149,91	3,68	272	—	385(15°C)	305,3(30°C)	сп.
CuBr	бромид меди (I)	143,45 (286,90)	4,72	504	1345	тр. р.	разл.	—
CuBr ₂	бромид меди (II)	223,35	4,71	498	900	126,8	131(50°C)	сп., ац.
[Cu(OH)] ₂ CO ₃	гидроксокарбонат меди	221,12	4,00	>200, разл.	—	н.	разл.	—
CuCl	хлорид меди (I) (хлористая медь)	99,0	3,50	430	1490	тр. р.	тр. р.	—
CuCl ₂	хлорид меди (II) (хлорная медь)	134,45	3,10	630	993, разл.	73	120	сп., мет.
Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	нитрат меди, гидрат	241,60	2,05	114,5	разл.	124,8	247,3	сп.
Cu ₂ O	оксид меди (I)	143,09	6,10	1235	1800, разл.	н.	н.	—
CuO	оксид меди (II)	79,55	6,40	>1000, разл.	—	н.	н.	—
CuSO ₄	сульфат меди	159,61	3,60	200	650, разл.	20,7	77,0	мет.
CuSO ₄ ·5H ₂ O	сульфат меди (серни-кислая медь), гидрат	249,69	2,29	—4H ₂ O, 110	—5H ₂ O, 150	35,6	205	мет.
FeCl ₂	хлорид железа (II)	126,75	2,98	672	1012	62,6	94,2	сп., ац.
FeCl ₃	хлорид железа (III)	162,21	2,80	307	315	91,9	537	сп., э.
Fe(CO) ₅	пентакарбонил железа	195,90	1,46	—21	105	н.	—	сп., э.
Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	гексацианоферрат (II) железа (III) (берлинская лазурь)	859,27	—	170, разл.	—	н.	разл.	—
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	нитрат железа (III), гидрат	404,02	1,68	47,2	125, разл.	204(0°C)	537	сп., ац.
Fe ₃ O ₄	оксид железа (II, III)	231,54	5,20	1550, разл.	—	н.	н.	—
Fe ₂ O ₃	оксид железа (III)	159,70	5,1—5,4	1565	—	н.	н.	—
FeO	оксид железа (II)	71,85	5,7	1420	—	н.	н.	—
Fe(OH) ₃	гидрооксид железа (III)	106,87	3,4—3,9	—1,5H ₂ O, 500	—	2,3·10 ⁻² (18°C)	—	—
FeS	сульфид железа (II)	87,91	4,84	1193	разл.	тр. р.	—	—
FeS ₂ (пирит)	дисульфид железа (II)	119,97	5,00	1171	разл.	5·10 ⁻⁴	—	—
FeSO ₄ ·7H ₂ O	сульфат железа (II), гидрат	278,01	1,90	64	—7H ₂ O, 300	33(0°C)	149(50°C)	—
Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·9H ₂ O	сульфат железа (III), гидрат	562,04	2,10	обезв.	—	х.р.	разл.	ац.
FeSO ₄ ·(NH ₄) ₂ SO ₄ ·12H ₂ O	сульфат аммония железа (II) (соль Мора)	482,91	1,71	40, обезв.	—12H ₂ O, 230	26,4	—	—
H ₃ AsO ₄ ·0,5 H ₂ O	ортомышьяковая кислота, гидрат	150,95	2,0—2,5	35,5	—H ₂ O, 160,0	х.р.	х.р.	сп., гл.
H ₃ BO ₃	борная кислота, орто-	61,84	1,44	185, разл.	—	5	40,3	гл., э.
HBr	бромоводород	80,92	3,5 г/л	—88,5	—67	210 г (10°C)	171 г (50°C)	сп.
HCN	циановодород	27,03	0,901 г/л	—14	26	—	—	сп., э.
HCl	хлороводород	36,47	1,64 г/л	—114,2	—85,1	62,1 г	56,1 г (60°C)	сп., э.
HClO ₄	хлорная кислота	100,47	1,76	—112	39	х.р.	х.р.	—
HF	фтороводород	20,01	0,921 г/л	—87,2	19,5	х.р.	х.р.	—
HI	иодоводород	127,91	5,79 г/л	—50,9	—35,40	х.р.	х.р.	сп.
HNO ₃	азотная кислота (вода)	63,01	1,51	—41	86, разл.	∞	∞	—
H ₂ O	(вода)	18,02	1,00	0	100	—	—	сп., мет.
H ₂ O ₂	пероксид водорода	34,02	1,45	0,43	152	∞	∞	сп., э.
H ₃ PO ₄	фосфорная кислота, орто-	98,00	1,87	42,35	>200, разл.	х.р.	х.р.	сп., э.

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°C	при 100°C	
H ₂ S	сероводород	34,09	1,54 г/л	—85,6	—60,7	258 мл	139 мл	сп.
H ₂ SO ₄	серная кислота	98,07	1,83	10,37	336,5*, разл.	∞	∞	бз., сп.
HgBr ₂	бромид ртути (II)	360,40	6,05	237	325	0,5	5	сп., мет.
Hg(CN) ₂	цианид ртути (II)	252,65	4,00	320, разл.	—	9,3	54	сп., мет.
Hg ₂ Cl ₂	хлорид ртути (I) (каломель)	472,09	7,15	400, возг.	—	2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻² (43°C)	—
HgCl ₂	хлорид ртути (II) (сулема)	271,50	5,42	280	301	6,6	58,3	сп., э.
HgI ₂	йодид ртути (II)	454,40	6,27	259	354	тр.р.	тр.р.	э.
Hg(NO ₃) ₂ ·0,5H ₂ O	нитрат ртути, гидрат	333,61	4,30	79	разл.	х.р.	х.р., разл.	ац.
HgO	оксид ртути (II)	216,59	11,14	500, разл.	—	5·10 ⁻³	0,04	—
HgS(α)	сульфид ртути (II)	232,65	8,10	583,5, возг.	—	1·10 ⁻³	—	—
HgSO ₄	сульфат ртути (II)	296,65	6,44	разл.	—	разл.	разл.	—
KBrO ₃	бромат калия	167,00	3,27	370, разл.	—	6,9	50	—
KBr	бромид калия	119,01	2,75	730	1380	65,8	104,8	сп., гл.
KCN	цианид калия	65,11	1,52	635	—	71,0	122	гл., мет.
K ₂ CO ₃	карбонат калия	38,21	2,43	891	разл.	111,7	155,7	—
KCl	хлорид калия	74,56	1,99	768, разл.	1406	34,6	56,7	гл.
KClO ₃	хлорат калия	122,56	2,32	356	400, разл.	7,3	56,6	сп.
K ₂ CrO ₄	хромат калия	194,21	2,73	968	63	13	79,2	—
K ₂ Cr ₂ O ₇	дихромат калия	294,18	2,69	398	>500, разл.	102	102	—
KF	фторид калия	58,10	2,48	857	1500	96(25°C)	1500	—
K ₃ [Fe(CN) ₆]	гексацианоферрат (III) калия (красная кровяная соль)	329,25	1,89	разл.	—	44	77,5	ац.
K ₄ [Fe(CN) ₆]·3H ₂ O	гексацианоферрат (II) калия (желтая кровяная соль), гидрат	422,39	1,85	—3H ₂ O, 70	разл.	27,8(12°C)	90,6(96°C)	ац.
KHCO ₃	гидрокарбонат калия	100,12	2,17	100, разл.	—	33,5	60(60°C)	—
KH ₂ PO ₄	дигидроортофосфат калия	136,10	2,34	252,6, разл.	—	22,6	83,5 (90°C)	—
K ₂ HPO ₄	гидроортофосфат калия	174,18	—	разл.	—	100	х.р.	сп.
KHSO ₄	гидросульфат калия	136,16	2,2—2,6	210	разл.	51,14	121,6	—
KI	йодид калия	166,01	3,13	686	1323	144	206,4	сп., мет.
KIO ₃	йодат калия	214,01	3,90	560	разл.	8,13	32,3	—
KMnO ₄	перманганат калия	158,04	2,70	200, разл.	—	6,4	25(60°C)	мет., ац.
KNO ₂	нитрит калия	85,10	1,92	298	—	298	413	—
KNO ₃	нитрат калия	101,11	2,11	334	400, разл.	31,6	245	—
KOH	гидроксид калия (едкое кали)	56,11	2,04	380	1324	112	178	сп.
K ₂ O	оксид калия	94,20	2,32	300, разл.	—	разл.	разл.	сп.
K ₂ S	сульфид калия	110,26	1,80	840	—	х.р., разл.	х.р., разл.	сп., гл.
KSCN	роданид калия	97,18	1,89	177	500, разл.	217	670	сп., ац.
K ₂ SO ₃ ·2H ₂ O	сульфит калия, гидрат	194,30	—	разл.	—	90, безв. (0°C)	124, безв.	—
K ₂ SO ₄	сульфат калия	174,27	2,66	1069	>2000	11,11	24,1	—
LiBr	бромид лития	86,86	3,47	549	1300	177	266	сп., ац.
Li ₂ CO ₃	карбонат лития	73,89	2,11	735	разл.	1,33	0,72	—
LiCl	хлорид лития	42,40	2,07	613	1382	78,5	127,5	сп., мет.
LiH	гидрид лития	7,95	0,82	680	850, разл.	разл.	разл.	—
LiNO ₃	нитрат лития	68,95	2,38	252	>600, разл.	76,5	175(60°C)	сп., ац.
LiOH	гидроксид лития	23,95	1,43	462	925, разл.	12,8	17,5	—
Li ₂ SO ₄	сульфат лития	109,95	2,22	860	—	34,2	30,9	—
MgBr ₂	бромид магния	184,11	3,72	711	—	101	125	сп., мет.
MgCO ₃	карбонат магния	84,31	2,98	300, разл.	—	тр.р.	разл.	—
MgCl ₂	хлорид магния	95,23	2,33	718	1412	54,5	73	сп., мет.
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	нитрат магния, гидрат	256,41	1,46	95	—	73	137(90°C)	сп.
MgO	оксид магния	40,32	3,58	2800	3600	6,4·10 ⁻⁴	3·10 ⁻³	—
Mg(OH) ₂	гидроксид магния	58,32	2,4	разл.	—	9·10 ⁻⁴	4·10 ⁻³	—
MgSO ₄	сульфат магния	120,36	2,66	1155, разл.	—	36	68	сп., гл.
MnCO ₃	карбонат марганца	114,95	3,13	разл.	—	6,5·10 ⁻³	—	—
MnCl ₂	хлорид марганца	125,85	2,98	650	1190	74	115	сп.
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	нитрат марганца, гидрат	287,05	1,82	25,80	разл.	132,3	х.р.	сп.
MnO	оксид марганца (II)	70,94	5,45	1785	—	н.	н.	—

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°C	при 100°C	
Mn ₂ O ₃	оксид марганца (III)	157,87	4,5	1080, разл.	—	н.	н.	—
MnO ₂	оксид марганца (IV)	86,94	5,03	535, разл.	—	н.	н.	—
Mn ₃ (PO ₄) ₂ ·7H ₂ O	ортофосфат марганца, гидрат	480,87	амф.	—	—	тр. р.	—	укс. к.
MnSO ₄	сульфат марганца	151,00	3,25	700	850, разл.	64	35	сп.
MoO ₃	оксид молибдена (VI)	143,95	4,5—4,7	795	1155	0,14	2,1(80°C)	—
MoS ₃	сульфид молибдена	160,06	4,8	1185	—	н.	н.	—
N ₂ H ₄ ·H ₂ O	гидразин, гидрат	50,06	1,03	—52	122	∞	∞	сп.
NH ₂ OH·HC1	хлорид гидроксиламмония	69,50	1,67	151	разл.	94,4	х.р.	сп.
NH ₃	аммиак	17,03	0,771 г/л	—77,75	—33,35	51,1	7,4	сп., э.
NH ₄ Br	бромид аммония	97,94	2,43	разл.	394, возг.	75,5	145,6	сп., э.
(NH ₄) ₂ CO ₃	карбонат аммония	96,09	—	58, разл.	—	100(15°C)	разл.	—
NH ₄ Cl	хлорид аммония	53,50	1,53	338, возг.	—	35,7	77,3	сп.
(NH ₄) ₂ CrO ₄	хромат аммония	152,09	1,92	180, разл.	—	40,5(30°C)	разл.	—
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	дихромат аммония	252,06	2,15	185, разл.	—	35,6	155,6	сп.
NH ₄ F	фторид аммония	37,04	1,32	возг.	—	82,6	разл.	сп.
(NH ₄)HCO ₃	гидрокарбонат аммония	79,06	1,58	36—60, разл.	возг.	31,6	43(60°C), разл.	—
(NH ₄) ₂ HPO ₄	гидроортофосфат аммония	132,07	1,62	разл.	разл.	69	106(70°C)	—
NH ₄ H ₂ PO ₄	дигидроортофосфат аммония	115,03	1,80	190	—	37,4	173,2	—
NH ₄ I	йодид аммония	144,94	2,51	разл.	возг.	172,3	250,3	сп., ац.
(NH ₄) ₂ MoO ₄	молибдат аммония	196,01	2,27	разл.	—	разл.	разл.	—
NH ₄ NO ₃	нитрат аммония	80,04	1,73	169,6	210, разл.	178	1010	сп., мет.
NH ₄ SCN	роданид аммония	76,13	1,31	149,6	172, разл.	170	х.р.	сп., мет.
(NH ₄) ₂ SO ₄	сульфат аммония	132,13	1,77	>350, разл.	—	75,4	103,3	—
NO	оксид азота (II)	30,01	1,34 г/л	—163,7	—151,8	4,7 мл	2,63 мл	ац., сп.
N ₂ O	оксид азота (I)	44,01	1,98 г/л	—90,7	—88,5	130 мл(0°C)	57 мл(25°C)	сп., э.
N ₂ O ₅	оксид азота (V)	108,01	1,64	32, возг., разл.	разл.	разл.	разл.	хл.
NO ₂ (или N ₂ O ₄)	диоксид азота (IV)	46,01 (92,02)	1,49(0°C)	—11,2	21,3, разл.	р., разл.	разл.	хл.
NaBO ₂	метаборат натрия	65,80	2,4	966	1431	25,4	125,2	—
Na ₂ B ₄ O ₇	тетраборат натрия	201,26	2,37	741	1575, разл.	2,6	52,5	—
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	тетраборат натрия (бура), гидрат	381,37	1,73	—5H ₂ O, 60	—10H ₂ O, 400	2,5	39,1	э.
NaBr	бромид натрия	102,89	3,21	750	1393	90,5	121	сп., мет.
NaCN	цианид натрия	49,01	1,60	563,7	1496	58,2	х.р.	—
NaSCN	роданид натрия	81,08	—	287	—	139	х.р.	сп.
Na ₂ CO ₃	карбонат натрия	105,99	2,53	851	разл.	21,5	45,5	—
NaCl	хлорид натрия	58,44	2,16	800	1440	36,0	39,1	гл.
NaClO ₃	хлорат натрия	106,44	2,49	255	разл.	100	204	мет., гл.
NaClO ₄	перхлорат натрия	122,44	—	482, разл.	—	201	330	сп., мет.
Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O	дихромат натрия, гидрат	298,04	2,50	320(безв.)	—2H ₂ O, 100	180	433	—
Na ₂ CrO ₄ ·10H ₂ O	хромат натрия, гидрат	342,15	1,48	—4H ₂ O, 20	—	х.р.	х.р.	—
NaF	фторид натрия	41,99	2,79	995	1700	4,2	5,0	—
NaHCO ₃	гидрокарбонат натрия	84,01	2,20	—CO ₂ , 160	—	9,6	16,4(60°C)	сп., гл.
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	гидроортофосфат натрия	358,16	1,52	—5H ₂ O, 35,1	—12H ₂ O, 100	7,66	104,1	—
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	дигидроортофосфат натрия	156,01	1,9	—1H ₂ O, 100	—2H ₂ O, 200	112	448	—
NaHS	гидросульфид натрия	56,06	1,79	350	—	х.р.	—	сп.
NaHSO ₄	гидросульфат натрия	120,06	2,74	>315	разл.	28,6(0°C)	50	—
NaI	йодид натрия	149,89	3,67	661	1300	178,7	302	сп., гл.
Na ₂ MoO ₄	молибдат натрия	205,92	3,28	687	—	68	84	—
NaNH ₂	амид натрия	39,01	—	206	400, разл.	разл.	разл.	—
NaNO ₂	нитрит натрия	69,00	2,17	271	>320, разл.	84,5	163	э., мет.
NaNO ₃	нитрат натрия	85,00	2,26	306	380, разл.	87,5	180	—
Na ₂ O ₂	пероксид натрия	77,98	2,5	460, разл.	—	разл.	разл.	—
NaOH	гидроксид натрия (едкий натр)	40,00	2,13	328	1378	109	347	сп., гл.
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	ортофосфат натрия, гидрат	380,12	1,62	73,4	до 200, обезв.	25,8	157(70°C)	—
Na ₄ P ₂ O ₇	дифосфат натрия	265,90	2,50	880	—	6,2	40,26	—
NaPO ₃	метафосфат натрия	101,96	2,48	627,6	—	14	32,5	—
Na ₂ S	сульфид натрия	78,04	1,86	920	—	19	57,3(90°C)	—
Na ₂ SO ₃	сульфит натрия	126,05	2,63	разл.	—	26,9	26,6	—
Na ₂ SO ₄	сульфат натрия	142,05	2,70	885	—	19,4	42,5	гл.

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°	при 100°C	
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	сульфат натрия (глауберова соль)	322,19	1,46	-10 H ₂ O, 32,4	—	х.р.	х.р.	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	тиосульфат натрия (гипосульфит натрия)	248,17	1,73	45—50	100, обезв.	71,0	245	—
Na_2SiO_3	метасиликат натрия	122,06	2,40	1088	—	р.	92,3(90°C)	—
Na_2WO_4	вольфрамат натрия	293,83	4,18	698	—	72,4	97,2	—
$\text{Ni}(\text{CO})_4$	тетракарбонил никеля	170,74	1,32	-25	43; 180, разл.	0,018(9,8°C)	—	сп., э.
NiCl_2	хлорид никеля	129,61	3,55	973—987, возг.	—	59,7(10°C)	87,6	сп.
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	нитрат никеля, гидрат	290,80	2,05	56,7	110, разл.; -3H ₂ O, 95	238,5(0°C)	х.р.	сп.
NiO	оксид никеля (II)	74,69	7,45	1990	—	н.	н.	—
$\text{Ni}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	оксид никеля (III)	—	4,83	600, разл.	—	н.	н.	—
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	гидроксид никеля (II)	92,71	4,1	разл.	—	тр.р.	тр.р.	—
NiSO_4	сульфат никеля	154,76	3,68	-SO ₃ , 840	—	38,3	77	—
PbI_3	бромид фосфора (III)	270,69	2,85	-40,5	173,3	разл.	разл.	э.хл.
PbI_5	бромид фосфора (V)	430,49	—	<100, разл.	106, разл.	разл.	разл.	хл., CS ₂
PCl_3	хлорид фосфора (III)	137,33	1,56	-94	76	разл.	разл.	э.хл.
PCl_5	хлорид фосфора (V)	208,24	2,11	166,8 (давл.)	159, возг.	разл.	разл.	CCl ₄ , CS ₂
PH_3	фосфин	34,00	1,53 г/л	-133,5	-87,8	26 мл (17°C)	н.	сп., э.
P_2O_5 (или P_4O_{10})	иодид фосфора оксид фосфора (V) (фосфорный ангидрид)	411,69 141,94	4,18 2,39	61 569(давл.)	разл. 359, возг.	разл. разл.	разл. разл.	CS ₂ —
POCl_3	оксохлорид фосфора (V)	153,33	1,67	1,2	105	разл.	разл.	—
P_2S_5	сульфид фосфора (V)	222,29	2,03	290	514	разл.	разл.	—
PbBr_2	бромид свинца	367,00	6,66	370	918	0,84	4,77	гл.
PbCrO_4	хромат свинца	323,22	6,12	844	разл.	$4,3 \cdot 10^{-6}$	тр.р.	—
PbCl_2	хлорид свинца	278,12	5,85	501	956	0,99	3,34	—
PbF_2	фторид свинца	245,21	8,24	855	1290	0,064	—	—
PbI_2	иодид свинца	461,00	6,16	400	868	0,07	0,44	—
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	нитрат свинца	331,20	4,53	470, разл.	—	52,2	127	мет., пир.
PbO	оксид свинца (II) (глет)	223,21	9,4—9,6	888	1473	$1,7 \cdot 10^{-3}$	—	укс.к.
Pb_3O_4	оксид свинца (II, IV) (сурик)	685,60	9,1	500, разл.	—	н.	н.	укс.к.
PbO_2	оксид свинца (IV), диоксид свинца	239,20	9,40	290, разл.	—	н.	н.	—
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	гидроксид свинца	241,20	—	-H ₂ O, 145	—	$1,5 \cdot 10^{-2}$	—	укс.к.
PbS	сульфид свинца	239,30	7,5	1114	1281	н.	н.	—
PbSO_4	сульфат свинца	303,28	6,20	1000, разл.	—	$4,110^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}(50^\circ\text{C})$	—
PbSiO_3	мета-силикат свинца	283,30	6,50	766	—	н.	н.	—
RaCl_2	хлорид радия	296,93	4,91	900	—	24,5	р.	—
Rb_2CO_3	карбонат рубидия	230,94	—	740, разл.	—	223	р.	сп.
RbCl_2	хлорид рубидия	120,92	2,76	715	1383	91,2	138,9	—
RbNO_3	нитрат рубидия	147,47	3,11	313	—	53,3	452	ац.
SF_4	фторид серы (VI)	146,05	6,50 г/л	-51 (давл.)	-64	тр.р.	—	сп.
SO_2	оксид серы (IV), сернистый газ, сернистый ангидрид	64,06	2,93 г/л	-72,7	-10,1	11,5	2,1(90°C)	сп.
SO_3	оксид серы (VI), серный ангидрид	80,07	1,92	16,8	44,9	разл.	разл.	—
SO_2Cl_2	сульфурилхлорид, хлористый сульфурил	134,96	1,67	-54,1	69,1	разл.	разл.	бз., сп.
SOCl_2	тионилхлорид, хлористый тионил	118,98	1,66	-104,5	78,8	разл.	разл.	бз., хл.
HSO_3Cl	хлорсульфоновая кислота	116,52	1,77 (18°C)	-80,5	165, разл.	разл.	разл.	—
SbCl_3	хлорид сурьмы (III)	228,11	3,14	73	223	931,5	∞	сп.
SbCl_5	хлорид сурьмы (V)	299,02	2,34	4	140, разл.	разл.	разл.	—
Sb_2O_3	оксид сурьмы (III)	291,50	5,23— 5,74	656	1500	тр.р.	тр.р.	укс.к.
Sb_2S_3	сульфид сурьмы (III)	339,68	4,64	547	—	$1,7 \cdot 10^{-4}$	разл.	—
Sb_2S_5	сульфид сурьмы (V)	403,80	4,12	135, разл.	—	н.	н.	—
SeO_2	оксид селена (IV)	110,96	3,95	340 (давл.)	337, возг.	264(22°C)	472(65°C)	сп., ац.
SiC	карбид кремния	40,10	3,20	3,22	>2700, разл.	н.	н.	—

Формула	Название	Мол. м.	d	Т. пл., °C	Т. кип., °C	Растворимость		
						в воде		в органическом соединении
						при 20°C	при 100°C	
SiCl ₄	хлорид кремния	169,90	1,48	—70 (давл.)	57,6	разл.	разл.	—
SiH ₄	силан	32,12	1,44 г/л	—185	—111,8	разл.	разл.	—
SnCl ₂	хлорид олова (II)	189,60	3,95	247	623	83,9(0°C), разл.	269,8(15°C), разл.	сп., э., ац.
SnCl ₄	хлорид олова (IV)	260,50	2,23	—32	114	р., разл.	разл.	э.
SnO ₂	оксид олова (IV)	150,69	6,95	1127, разл.	—	н.	н.	—
SnS ₂	сульфид олова (IV)	182,83	4,50	разл.	—	н.	н.	—
SnSO ₄	сульфат олова	214,77	—	360, разл.	—	19	18,1	—
SnBr ₂	бромид олова	247,43	5,12	215,5	620	85,9(0°C), разл.	222,5 разл.	сп.
SrCO ₃	карбонат стронция	147,63	3,70	1497 (6 МПа)	—CO ₂ , 1340 1250	1,1·10 ⁻³	0,065	—
SrCl ₂	хлорид стронция	158,53	3,05	873	—	53	100,8	—
Sr(NO ₃) ₂	нитрат стронция	211,63	2,99	570	—	70,5	100(90°C)	сп.
SrO	оксид стронция	103,62	4,70	2430	разл.	р., разл.	р., разл.	—
SrSO ₄	сульфат стронция	183,68	3,96	1600	—	0,0114	0,0113(95°C)	—
SrS	сульфид стронция	119,68	3,70	2000	921; 1100,	тр.р., разл.	разл.	сп.
ThCl ₄	хлорид тория	373,85	4,59	770	разл.	х. р.	х. р.	сп., э.
ThO ₂	оксид тория	264,02	9,87	3050	4400	н.	н.	—
TiCl ₄	хлорид титана (IV)	189,71	1,73	—23	136,5	р.	разл.	сп.
TiO ₂	оксид титана (IV) (рутил)	7990	4,20	1640, разл.	—	н.	н.	—
TiCl	хлорид таллия (I)	239,82	7,00	430	806	0,3	2,38	—
Tl ₂ O	оксид таллия (I)	424,74	—	300	1865, разл.	х. р.	х. р.	—
Tl ₂ SO ₄	сульфат таллия (I)	504,80	6,77	632	разл.	4,9	18	—
UO ₂	оксид урана (IV)	270,03	10,82	~2800	—	н.	н.	—
UCl ₄	хлорид урана (IV)	379,84	4,87	590	792	разл.	разл.	—
V ₂ O ₃	оксид ванадия (III)	149,88	4,87	1970	3000	тр.р.	тр.р.	—
V ₂ O ₅	оксид ванадия (V)	181,88	3,36	675	700, разл.	тр.р.	тр.р.	—
VCl ₄	хлорид ванадия (IV)	192,75	1,87	—25,7	152	разл.	разл.	сп., э.
W ₂ C	карбид вольфрама	379,71	16,06	~2800	~6000	н.	н.	—
WO ₂	оксид вольфрама (IV)	215,95	12,11	1270	1700	н.	н.	—
WO ₃	оксид вольфрама (VI)	231,85	7,16	1473	1670	н.	н.	—
ZnCO ₃	карбонат цинка	125,37	4,44	—CO ₂ , 300	—	тр.р.	—	—
ZnBr ₂	бромид цинка	225,21	4,20	392	702	447	672	сп., э.
ZnCl ₂	хлорид цинка	136,29	2,90	~315	733	368	614	сп., э., ац.
ZnF ₂	фторид цинка	103,38	4,84	872	1500	тр.р.	р.	—
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	нитрат цинка, гидрат	297,45	2,13	36,4	—6H ₂ O, 131	324,5	р.	сп.
ZnO	оксид цинка	81,38	5,5—5,6	1800, возг.	—	(безв., 117) тр.р.	—	—
Zn(OH) ₂	гидроксид цинка	99,40	3,051	125, разл.	—	тр.р.	—	—
ZnS	сульфид цинка	97,45	4—4,1	1830 (давл.)	1180, возг.	тр.р.	тр.р.	—
ZnSO ₄	сульфат цинка	161,45	3,74	740, разл.	—	53,8	60,6	—
ZrO ₂	оксид циркония	123,22	5,73	2700	—	н.	н.	—

Название	Химическая формула
Аммиачная вода (нашатырный спирт)	NH_3 (водный раствор)
Барит (тяжелый шпат), минерал	BaSO_4
Белый мышьяк	As_2O_3
Белая сажа	$n \text{SiO}_2 \cdot m \text{H}_2\text{O}$
Бертолетова соль	KClO_3
Бордосская жидкость	Смесь водного раствора (0,5 — 1%) CuSO_4 с известковым молоком (0,5 — 1%) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Бура	PbO
Глет свинцовый	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Гипосульфит	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Гlaubерова соль (мирабилит)	Al_2O_3
Глинозем	Раствор KClO и KCl в воде
Жавелева вода	Na_2SiO_3 или K_2SiO_3
Жидкое стекло	SnS_2
Золото сусальное	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ в избытке воды
Известковое молоко	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Известь гашеная (едкая)	CaO
Известь жженая (негашеная)	$2\text{CaO} + \text{NaOH}$
Известь натронная	Hg_2Cl_2
Каломель	SiC
Карборунд	NaOH
Каустик, сода каустическая	HgS
Киноварь	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Квасцы алюмокалевые	$\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$
Криолит (минерал)	
Крон:	PbCrO_4 и ZnCrO_4
желтый	Cr_2O_3
зеленый	
Купорос:	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
медный	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
железный	$\text{H}_2\text{SO}_4 (90,5 — 92,5)$
Купоросное масло	CaCO_3
Мед	Смесь конц. HNO_3 и H_2SO_4 (1:2)
Нитрующая смесь	Раствор SO_3 в конц. H_2SO_4
Олеум	NaCl
Поваренная соль	SiO_2
Силикагель	NaHCO_3
Сода питьевая (двууглекислая)	CO_2 в твердом состоянии
Сухой лед	C
Технический углерод	CO
Угарный газ	Смесь HNO_3 и HCl (1:3)
Царская водка	Fe_3C
Цементит	

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

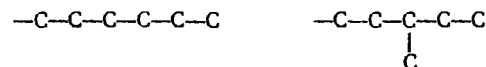
Органические соединения — это углеводороды и их многочисленные производные, в состав которых могут входить многие элементы периодической системы. Органические соединения обладают рядом характерных особенностей, которые отличают их от неорганических. Почти все они (за редким исключением) горючи, большинство из них не диссоциирует на ионы, что обусловлено природой ковалентной связи — основной химической связи в органических веществах.

Среди органических соединений распространено явление *изомерии*. Оно заключается в том, что вещества, обладающие одинаковым составом и молекулярной массой, имеют различные физические и химические свойства, что обусловлено различием их строения. К таким соединениям, называемым *изомерами*, относятся, например, этиловый спирт $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ и диэтиловый эфир $\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Все органические соединения в зависимости от строения углеродной цепи (углеродного скелета) классифицируются следующим образом.

1. Ациклические соединения — соединения с открытой (незамкнутой) цепью углеродных атомов (прямой или разветвленной):



Такие соединения называются также алифатическими соединениями или соединениями жирного ряда. Они могут быть предельными, или насыщенными (парафины, или алканы), и непредельными, или ненасыщенными, соединениями ряда этилена (олефины, или алкены) и ацетилен (алкины).

II. Циклические соединения — соединения, в которых углеродные атомы образуют циклы, делятся на:

1. *Карбоциклические (изоциклические)* — циклические соединения, образованные только углеродными атомами. Они подразделяются на *алициклические* (нафены) и *ароматические* соединения. Алициклические соединения могут быть насыщенными (циклоалканы, или циклопарафины) и ненасыщенными (циклоалкены, или циклоолефины).

2. *Гетероциклические соединения* — циклы, в состав которых кроме атомов углерода входят и другие атомы — гетероатомы (O, S, N и др.).

Родоначальником всех классов органических соединений являются **углеводороды** — наиболее простые органические соединения, состоящие из углерода и водорода.

При замещении одного или нескольких атомов водорода в углеводородах на другие атомы или группы атомов (функциональные группы) образуются различные производные углеводородов — классы органических соединений (табл. 20).

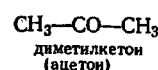
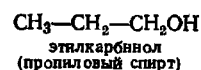
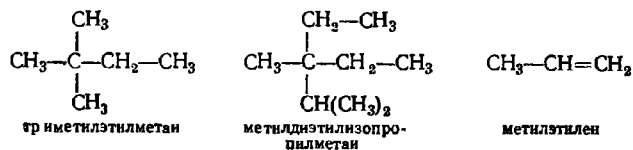
Таблица 20. Основные производные углеводородов — классы органических соединений

Классы органических соединений	Функциональная группа, определяющая класс органических соединений
Галогенопроизводные	—Гал (Cl, Br, F, I)
Спирты, фенолы	—OH
Альдегиды	—CHO
Кетоны	>C=O
Простые эфиры	—O—R
Сложные эфиры	—COOR
Карбоновые кислоты	—COOH
Тиоспирты	—SH
Тиоэфиры	—SR
Сульфокислоты	—SO ₃ H
Амины	—NH ₂
Имины	=NH
Амиды	—CONH ₂
Нитрилы	—C≡N
Нитросоединения	—NO ₂
Нитрозосоединения	—NO
Гидразины	—NH—NH ₂
Гидразосоединения	—NH—NH—
Азо- и diaзосоединения	—N=N—; —N≡N

НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

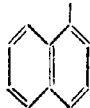



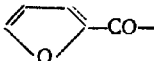
Для названия органических соединений чаще всего используют две номенклатуры — рациональную и систематическую (ИЮПАК). Кроме того, химики пользуются и тривиальными (исторически возникшими) названиями органических веществ.

В *рациональной номенклатуре* за основу принимается название простейшего члена гомологического ряда (родоначальника) конкретного класса углеводородов, а остальные члены гомологического ряда рассматриваются как его производные. В случае предельных (насыщенных) углеводородов за основу названия берется метан, непредельных (ненасыщенных) углеводородов — соответственно этилен или ацетилен, спиртов — метиловый спирт (карбинол) и т. д. Все замещающие группы рассматриваются как радикалы:



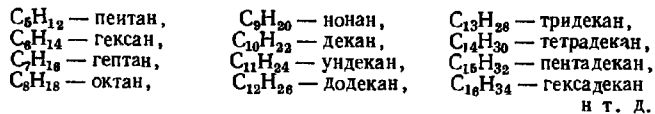
Первые четыре члена гомологического ряда предельных углеводородов (алканов) имеют тривиальные названия (метан, этан, про-

Таблица 21. Наиболее часто встречающиеся углеводородные радикалы

Радикал	Название*	Радикал	Название
CH_3-	метил	$\text{CH}_2=\text{C}-$	винилиден
$\text{CH}_2=$	метилен	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$	пропенил
$\text{CH}\equiv$	метин	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$	аллил
C_2H_5-	этил	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-$	изопропенил
$\text{CH}_3-\text{CH}=-$	этильден	C_6H_5-	фенил
$\text{CH}_3-\text{C}\equiv$	этильдин	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-$	бензил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	н-пропил	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-$	толил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=-$	пропилиден	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=-$	бензилиден
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-$	изопропил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-$	стирил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	н-бутил		1-нафтил
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}_2-$	изобутил (первичный)		2-нафтил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$	втор.-бутил		2-фурил
$(\text{CH}_3)_3\text{C}-$	трет.-бутил		2-тиенил
$\text{C}_6\text{H}_{11}-$	н-пентил (амил)	$\text{CH}_3-\text{CO}-$	ацетил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \end{array}$	изопентил (изоамил)	$-\text{OC}-\text{CO}-$	оксалил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2- \end{array}$	неопентил трет.-пентил	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}-$	бензоил
$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	этилен	$-\text{OC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$	терефталойл
$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	триметилен		2-фурил
$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил	$\text{CH}_3-\text{O}-$	метокси (аналогично «этоксид» и т. д.)
$\text{CH}\equiv\text{C}-$	этинил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{O}-$	феноксид

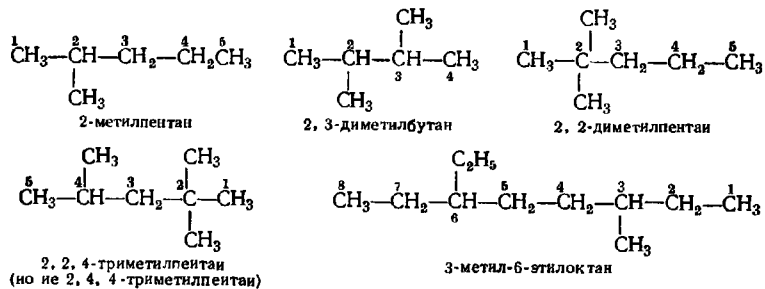
* В приведенных названиях радикалов используют обозначения: н — нормальный, втор. — вторичный, трет. — третичный.

пан, бутан). Названия последующих гомологов производятся от греческих числительных с добавлением окончания «ан»:

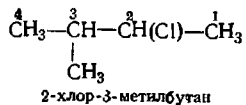


При отрыве от молекулы алкана одного или нескольких атомов водорода образуются углеводородные радикалы. В зависимости от числа потерянных водородных атомов радикалы могут быть одно-, двух- и трехвалентными.

В основу *систематической номенклатуры* положено название самой длинной нормальной (неразветвленной) цепи с добавлением (в качестве приставки) названия боковых ответвлений (радикалов). С этой целью выделяют наиболее длинную цепь углеродных атомов, которые нумеруют с того конца, к которому ближе радикал. Указывая место радикала в цепи, называют его, а затем добавляют название главной цепи. При этом атомы углерода в цепи нумеруют так, чтобы цифры, указывающие положение заместителей (радикалов), были наименьшими. Если радикалов несколько, то цифрой отмечают каждый из них. Количество одинаковых радикалов обозначается приставками *ди-*, *три-*, *тетра-* и т. д. Радикалы перечисляются в порядке возрастающей сложности. Более простыми считаются радикалы с меньшим числом углеродных атомов:

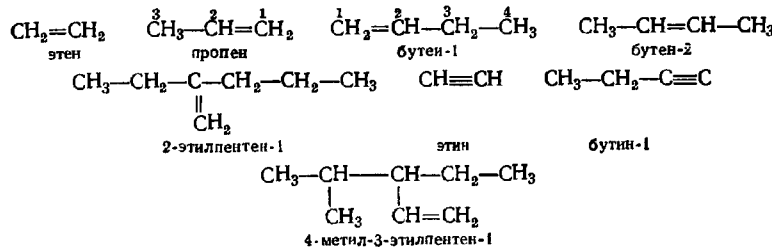


Если в качестве заместителей выступают атомы галогенов, нитрогруппа (NO_2) или аминогруппа (NH_2), то при нумерации им отдается предпочтение:



Ненасыщенные углеводороды с двойной связью называются *алкенами*, тройной — *алкинами*. В номенклатуре ИЮПАК их названия образуются от названий соответствующих алканов с заменой окончания *-ан* на *-ен* (этиленовые углеводороды) и на *-ин* (ацетиленовые угле-

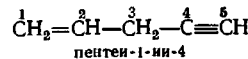
водороды). Кратная связь обязательно включается в главную цепь. Нумерация цепи начинается с того конца, к которому ближе эта связь. Атомам углерода у кратной связи отдается предпочтение даже в том случае, если другие насыщенные углеродные атомы имеют заместители:



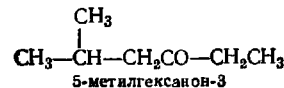
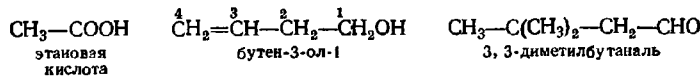
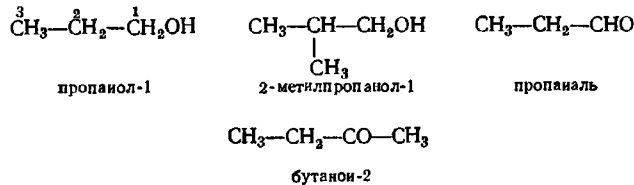
Количество кратных связей одного рода обозначают окончаниями *-диен*, *-триен*, *-диин* и т. д.:

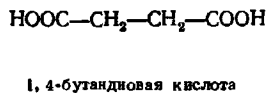
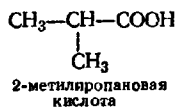


Двойная связь имеет преимущество перед тройной при нумерации:

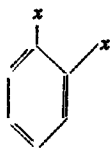


Названия спиртов по правилам ИЮПАК образуются из названий соответствующих углеводородов с прибавлением окончания *-ол*, альдегидов *-аль*, кетонов — *-он*, карбоновых кислот — *-овая*. Нумерацию углеродных атомов в формулах этих соединений начинают с того конца цепи, к которому ближе расположена функциональная группа. Количество одинаковых функциональных групп обозначается приставками *ди-*, *три-* и т. д.:

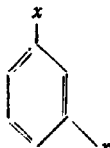




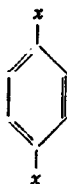
Ароматические углеводороды (арены) с одним ядром обычно рассматривают как производные бензола. Положение заместителей в бензольном кольце можно указывать цифрами или, если заместителей только два, использовать буквенные обозначения: *о*(орто), *м*(мета), *п*(пара), соответствующие положениям 1,2; 1,3; 1,4:



орто(*о*); 1,2

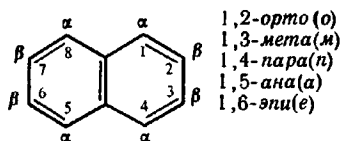


мета(*м*); 1,3

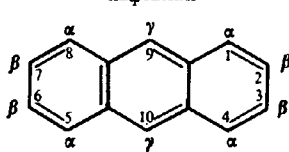


пара(*п*); 1,4

В ароматических углеводородах, содержащих два или несколько бензольных ядер, нумерация заместителей производится следующим образом:

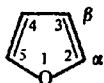


нафталин



антрацен

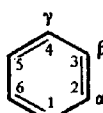
Для гетероциклических соединений допускается применение различных номенклатур. Широко используются тривиальные названия. Нумерацию в цикле начинают с гетероатома (старшинство гетероатомов определяется порядком O, S, N):



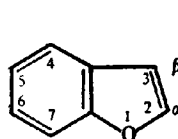
фуран



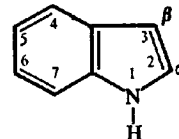
пиррол



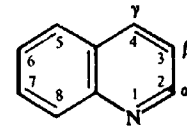
пиридин



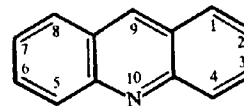
кумарин
(бензофуран)



индол
(бензопиррол)



хинолин



акридин

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ВАЖНЕЙШИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В табл. 22 приводятся физические константы ряда органических соединений. Для них приведены наиболее распространенные тривиальные, полутривиальные и иногда систематические названия. Для некоторых соединений даны синонимы названий. Систематические названия, поясняющие структуру соединений, даны для всех веществ. В качестве *систематических* даются преимущественно названия, принятые Правилами ИЮПАК. В отдельных случаях соединения включены в алфавитный перечень под старыми систематическими названиями, укоренившимися в русской химической терминологии.

Обозначения и сокращения: разл. — разлагается, возг. — возгоняется, безв. — безводный, давл. — плавится под давлением, взр. — взрывается, гор. — горячий; хол. — холодный, разн. — разные растворители, р. — растворимо, н. — нерастворимо, тр. р. — трудно растворимо, х. р. — хорошо растворимо, ∞ — смешивается в любых соотношениях, орг. раств. — органический растворитель, ац. — ацетон, бз. — бензол, гл. — глицерин, мет. — метиловый спирт, сп. — этиловый спирт, тол. — толуол, укс. к. — уксусная кислота, хл. — хлороформ, э. — диэтиловый эфир. Растворимость в воде дана в граммах вещества (для газов — в мл) на 100 г воды при температуре 20° С (если растворимость дана при другой температуре, то последняя указана в скобках). *d* — относительная плотность веществ при 20° С (или при другой температуре — в скобках), а также газов в сжиженном состоянии при 0° С и давлении 1,01325·10⁵ Па. Т. пл. и т. кип. — температуры плавления и кипения в °С при давлении 1,01325·10⁵ Па (или при давлениях, указанных в скобках, выраженных в МПа); *n*_D²⁰ — показатель преломления при 20° С (или при температуре, указанной в скобках).

Таблица 22. Физические константы некоторых органических соединений

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. растворителе
Адипиновая (гександио- вая) кислота	$\text{CO}_2\text{H}(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$	146,14	1,366	153	265 0,07 МПа)	—	1,5(15°C)	сп., э.
Азобензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{NC}_6\text{H}_5$	182,23	1,203	68	296	—	н.	сп., бз.
Акриловая (пропеновая) кислота	$\text{CH}_2=\text{CHCO}_2\text{H}$	72,06	1,062(16°C)	13	141	1,4224	∞	сп., э.
Акрилонитрил (пропен- нитрил)	$\text{CH}_2=\text{CHCN}$	53,06	0,806	—83	78—79	1,3911	р.	сп., э.
Акролеин (пропеналь)	$\text{CH}_2=\text{CHCHO}$	56,06	0,841	—87,7	52,5	1,3998	40	сп., э.
Аллен (пропадиен)	$\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$	40,07	0,6699 (—40°C)	—146	—32	—	—	—
Аллил бромистый (3-бром- пропен)	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Br}$	120,98	1,398	—119,4	71,3	1,4655	н.	сп., э., хл.
Аллил иодистый (3-иод- пропен)	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{I}$	167,98	1,848(12°C)	—99,3	103	—	н.	сп., э., хл.
Аллил хлористый (3-хлорпропен)	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}$	76,53	0,938	—136,4	44,6	1,4154	н.	сп., э., бз.
Аллилен (пропин)	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$	40,06	—	—104,7	—23,3	—	тр. р.	сп.
Аллиловый спирт (2-про- пен-ол-1)	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}$	58,08	0,854	—129	96,6	1,4135	∞	сп., э., бз.
<i>n</i> -Амил бромистый (1-бромпентан)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{Br}$	151,05	1,224(15°C)	—95,3	129,7	1,4444	н.	сп., э.
<i>изо</i> -Амил бромистый (1-бром, 3-метилбутан)	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{Br}$	151,05	1,210(15°C)	—112	121	1,4433	н.	сп., э.
<i>n</i> -Амил иодистый (1-иод- пентан)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{I}$	198,05	1,510	—86	157	1,4955	н.	сп., э.
<i>изо</i> -Амил иодистый (1-иод, 3-метилбутан)	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{I}$	198,05	1,515(18°C)	—	147,7	—	н.	сп., э.
<i>n</i> -Амил хлористый (1-хлорпентан)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{Cl}$	106,60	0,887(15°C)	—99	108,4	1,4119 (18°C)	н.	сп., э.
<i>изо</i> -Амил хлористый (1-хлор, 3-метилбутан)	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{Cl}$	106,60	0,893	—	99,4	1,4112 (18°C)	н.	сп., э.
<i>n</i> -Амиламин (1-аминопен- тан)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	87,17	0,767	—55	104	—	р.	сп., э.
<i>n</i> -Амилацетат	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OCOCH}_3$	130,19	0,875	—75	149,2	1,4023	н.	сп., э., ал., бз.
<i>n</i> -Амиловый спирт (пен- танол-1)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{OH}$	88,15	0,814	—79	137,8	1,4101	2,7(22°C)	сп., э.
<i>изо</i> -Амиловый спирт (3-метилбутанол-1)	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	88,15	0,812	—117,2	132	1,4058	2,6	сп., э., бз.
<i>p</i> -Аминобензойная кис- лота	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	137,14	—	187	возг.	—	0,3(13°C)	сп., э.
<i>ε</i> -Аминокапроновая (6-аминогексановая) кислота	$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_5\text{CO}_2\text{H}$	131,18	—	203	—	—	р.	—
<i>p</i> -Аминосалициловая (4-амино-2-оксibenзой- ная) кислота	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_3(\text{OH})\text{CO}_2\text{H}$	153,14	—	220, разл.	—	—	р.	сп., тр. р., э.
<i>o</i> -Аминофенол (2-гидро- ксианилин)	$\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	109,13	—	174	возг.	—	1,7(0°C)	сп., э.
<i>m</i> -Аминофенол (3-гидро- ксианилин)				123	—	—	2,6(0°C)	сп., тр. р.
<i>p</i> -Аминофенол (4-гидро- ксианилин)				185, разл.	возг.	—	1,1(0°C)	сп.
ω -Аминоэнантовая (7-амин- огептановая) кислота	$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$	145,20	—	195	—	—	р.	—
Анизол (метоксибензол)	$\text{CH}_3\text{OC}_6\text{H}_5$	108,14	0,995	—37,3	155	1,5170	н.	сп., э., бз.
<i>o</i> -Анизидин (2-метокси- анилин)	$\text{CH}_3\text{OC}_6\text{H}_4\text{NH}_2$	123,16	1,092 1,061(57°C)	5,2	225	1,5754	тр. р.	сп., э.
<i>p</i> -Анизидин (4-метокси- анилин)				57,2	243	1,5559 (67°C)	тр. р.	сп., э.
Анилин (фениламин)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	93,13	1,022	—6,2	184,4	1,5863	3,6(18°C)	сп., э., бз.
Анилин солянокислый (анилин, гидрохлорид)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$	129,59	1,222(40°C)	198	245	—	р.	сп.
Антраиловая (<i>o</i> -аминобензойная) кис- лота	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	137,14	—	145	возг.	—	0,4	сп., э.
Антрахинон (9, 10-дигид- роантрацен-9, 10-дион)	$(\text{C}_6\text{H}_4)_2(\text{CO})_2$	208,22	1,438	286, возг.	379—381	—	н.	тр. р., сп. э., бз.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. растворе
Аспирин (ацетилсалициловая кислота, уксуснокислый эфир салициловой кислоты)	$\text{CH}_3\text{COOC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	180,16	—	135	140, разл.	—	1,37	сп., э., хл.
Ацетальдегид (этаналь)	CH_3CHO	44,05	0,783(18°C)	—123,3 (18°C)	20,8	1,3316	∞	сп., э., бз.
Ацетамид (амид уксусной кислоты, этанамид)	CH_3CONH_2	59,07	1,159	82—83	222	—	97,5	сп., гл., хл.
Ацетанилид (анилид уксусной кислоты, N-фенилацетамид)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCOCH}_3$	135,17	1,210 (4°C)	114	305	—	0,56 (25°C)	сп., мет., хл., э.
Ацетил хлористый (этанойлхлористый ацетилхлорид)	CH_3COCl	78,50	1,105	—112	51—52	1,3898	разл.	э., бз., хл.
Ацетилен (этин)	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	26,04	1,173 г/л(0°C)	—80,8 (0,17МПа)	—83,8, возг.	—	100 мл (18°C)	ац., сп., бз., хл., укс. к.
Ацетон (пропанон)	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58,08	0,792	—94,6	56,5	1,3591	∞	сп., э., хл.
Ацетонитрил (нитрил уксусной кислоты, этанитрил)	CH_3CN	41,05	0,783	—44,9	81,6	1,3442	∞	сп., э.
Ацетоуксусный эфир (этиловый эфир ацетоуксусной кислоты, этилацетоацетат)	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	130,14	1,028	<—45	180, разл.	1,4209 (16°C)	14,3	сп., э.
Ацетофенон (метилфенилкетон)	$\text{CH}_3\text{COC}_6\text{H}_5$	120,15	1,026	20,5	202,3	1,5342	н.	сп., э., хл., бз.
Бензальдегид (бензойный альдегид)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$	106,13	1,049	—26	179	1,5456	0,33	сп., э.
Бензанилид (анилид бензойной кислоты, N-фенилбензамид)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCOC}_6\text{H}_5$	197,24	1,310	163	118 (0,0013 МПа)	—	н.	сп., э., бз.
Бензидин (4, 4'-диамино-бифенил)	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$	184,24	1,250	128	401,7	—	0,04 (12°C)	сп., э.
Бензил хлористый (α-хлортолуол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$	126,59	1,103(18°C)	—39	179,4	1,5415 (15°C)	н., разл.	сп., э.
Бензиламин (α-аминотолуол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{NH}_2$	107,16	0,982	—	184,5	1,5441	∞	сп., э.
Бензилден хлористый (бензаль хлористый)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHCl}_2$	161,03	1,256(14°C)	—16	207	1,5502	н.	сп., э.
Бензиловый спирт (α-окситолуол, фенилметанол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	108,14	1,045	—15,5	205	1,5396	4(17°C)	сп., э., ац.
Бензойл хлористый (хлорангидрид бензойной кислоты)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCl}$	140,57	1,219 (15°C)	—0,6	198	1,5537	разл.	э., бз.
Бензоила пероксид	$(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO})_2\text{O}_2$	242,23	—	108	разл.	—	тр. р.	сп., э., бз.
Бензойная (бензолкарбоновая) кислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$	122,12	1,266(15°C)	122,5	249,2	1,5397 (15°C)	0,30	сп., э., ац., мет., бз., хл.
Бензойный ангидрид (бензангидрид)	$(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO})_2\text{O}$	226,23	1,199(15°C)	42	360	1,5767 (15°C)	н.	сп., э.
Бензол (бензен, феи)	C_6H_6	78,11	0,869	5,5	80,1	1,5017	0,8	сп., э., ац. и др.
Бензолсульфокислота (бензолсульфоновая кислота)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$	158,18	—	65—66	разл.	—	р.	сп., э.
Бензолсульфохлорид (хлорангидрид бензолсульфокислоты, бензолсульфонилхлорид)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{Cl}$	176,62	1,383(15°C)	14,5	251,5	—	н., разл., гор.	сп., э.
Бензотрихлорид (α, α, α-трихлортолуол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CCl}_3$	195,48	1,372	—4,75	220,7	1,5584	н., разл.	сп., э., бз.
Бензофенон (дифенилкетон)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COC}_6\text{H}_5$	182,22	1,085(50°C)	49	306, возг.	—	н.	сп., э., хл.
Бромбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	157,02	1,495	—30,6	156,2	1,5604	0,045 (30°C)	сп., э., бз.
Бутадиен-1,3(дивинил)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	54,09	0,650(—6°C)	—208,9	—4,54	—	н.	бз., э., хл., сц., ац.
n-Бутан	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	58,12	0,600 (ж., °C)	—138,4	—0,5	—	15 мл (17°C)	сп., э.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. раст- ворителе
изо-Бутан (2-метилпропан)	$(CH_3)_2CHCH_3$	58,12	2,673 г/л	-159,4	-11,4	—	13 мл (17°C)	э., хл., сп.
н-Бутиламин (1-аминобу- тан)	$C_4H_9CH_2CH_2NH_2$	73,14	0,739(25°C)	-50	77,8	—	∞	сп., э.
изо-Бутиламин (1-амино, 2-метилпропан)	$(CH_3)_2CHCH_2NH_2$	73,14	0,731	-83	68—69	—	∞	сп., э.
н-Бутил бромистый (1-бромбутан)	$C_4H_9CH_2CH_2Br$	137,03	1,277	-112,4	101,6	1,4398	р.	сп., э.
изо-Бутил бромистый (1-бром, 2-метилпропан)	$(CH_3)_2CHCH_2Br$	137,03	1,272(15°C)	-118,5	91 (0,53 МПа)	1,4361	н.	сп., э.
н-Бутил иодистый (1-нод- бутан)	$C_4H_9CH_2CH_2I$	184,02	1,617	-103,5	129,9	1,4998	н.	сп., э.
изо-Бутил иодистый (1-нод-2-метилпропан)	$(CH_3)_2CHCH_2I$	184,02	1,606	-90,7	120	1,4960	н.	сп., э.
н-Бутил хлористый (1-хлорбутан)	$C_4H_9CH_2CH_2Cl$	92,57	0,887	-123,1	78,5	1,4015	тр. р.	сп., э.
изо-Бутил хлористый (1-хлор, 2-метилпропан)	$(CH_3)_2CHCH_2Cl$	92,57	0,884(15°C)	-131,2	68,9	1,4010 (15°C)	н.	сп., э.
н-Бутилен (бутен-1)	$CH_3CH_2CH=CH_2$	56,11	0,668 (ж., 0°C)	-185,3	-6,3	1,3792	н.	сп., э.
изо-Бутилен (2-метил- прспен)	$(CH_3)_2C=CH_2$	56,11	0,595(ж.)	-140,4	-6,9	1,3811	н.	сп., э.
Бифенил (дифенил)	$(C_6H_5)_2$	154,21	1,180(0°C)	70,5	255	—	н.	сп., мет., ∞, э.
н-Бутиловый спирт (бутанол-1)	$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$	74,12	0,810	-89,5	117,2	1,3991	9(15°C)	сп., э.
изо-Бутиловый спирт (2-метилпропанол-1)	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2OH$	74,12	0,803	-108	108	1,3977 (15°C)	9,5	сп., э.
н-Бутиловый спирт вто- ричный (пропанол-2)	$CH_3CH_2CH(OH)CH_3$	74,12	0,808	-114,7	100	1,3949 (25°C)	12,5	сп., э.
Бутиловый спирт третич- ный (2-метилпропанол-2)	$(CH_3)_3COH$	74,12	0,789	25,5	82,8	1,3878	х. р.	сп., э.
н-Валериановая кислота (пентаановая кислота)	$CH_3(CH_2)_4CO_2H$	102,13	0,939	<-35	186,4	1,4086	3,7(16°C)	сп., э.
изо-Валериановая кис- лота (3-метилбутановая кислота)	$(CH_3)_2CHCH_2CO_2H$	102,13	0,933	-37	176,7	1,4043	4,2	сп., э.
Винилацетат (виниловый эфир уксусной кислоты)	$CH_3CO_2CH=CH_2$	86,09	0,932	<-84	73	1,3958	2	сп., э.
Винил бромистый (бром- этен)	$CH_2=CHBr$	106,96	1,529(11°C)	-138	5,8	—	н.	сп., э.
Винил иодистый (иодэтен)	$CH_2=CHI$	153,95	2,080(0°C)	—	56	—	—	—
Винил фтористый (фтор- этен)	$CH_2=CHF$	46,04	0,853	—	-72	—	н.	сп., ац.
Винил хлористый (хлор- этен)	$CH_2=CHCl$	62,49	(ж., -26°C) 0,920	-153,7	13,4	—	тр. р.	сп., э.
Винилиден хлористый (1,1-дихлорэтен)	$CH_2=CCl_2$	96,94	(ж., 15°C) 1,250(15°C)	-122,5	31,7	1,4271	н.	—
Гексаметилендиамин (1,6- гександиамин)	$NH_2(CH_2)_6NH_2$	116,21	—	42	204—205	—	р.	сп., э., бз., хл.
Гексаметилентетрамин (уротропин)	$(CH_2)_6N_4$	140,19	—	возг.	разл.	—	150	сп.
н-Гексан	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	86,18	0,660	-95,3	68,7	1,3754	1,38·10 ⁻³ (15,5°C)	э., хл., сп.
Гексахлорэтан	CCl_3CCl_3	236,74	2,091	—	187, возг.	—	н.	сп., э.
н-Гексиловый спирт (гексанол-1)	$CH_3(CH_2)_5CH_2OH$	102,18	0,819	-51,6	157,2	1,4133	0,59	сп., э.
н-Гептан	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	100,21	0,684	-90,6	98,4	1,3876	5,2·10 ⁻³ (15,5°C)	э., хл.
н-Гептиловый спирт (гептанол-1)	$CH_3(CH_2)_6CH_2OH$	116,20	0,824	-34,6	176,3	1,4215	0,09	сп., э.
Гликоколь (глицин)	$NH_2CH_2CO_2H$	75,07	1,610	233, разл.	—	—	25,3 (25°C)	—
Глицерин (пропантриол- 1, 2, 3)	$CH_2OH(CH_2OH)_2$	92,10	1,260	17,9	290, разл.	1,4729	∞	сп.
Глутаровая (пентадн- овая) кислота	$CO_2H(CH_2)_3CO_2H$	132,12	1,429(15°C)	97,5	200 (0,014 МПа)	—	64	сп., э., бз., хл.
н-Декан	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	142,29	0,730	-30	174	1,4120	н.	сп., э.
Диазоаминобензол	$C_6H_5N=NNHC_6H_5$	197,24	—	96—98	разл., взр.	—	н.	э., бз., гор., сп.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. рас- творителе
Диазометан	CH_2N_2	42,04	—	—145	—23; 200, взр.	—	разл.	сп., э.
Дибутилфталат	$\text{C}_8\text{H}_4(\text{CO}_2\text{C}_4\text{H}_9)_2$	278,35	1,047	—35	340	1,4925 (25°C)	0,04 (25°C)	сп., э.; ац., бз.
Диметиламин	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	45,08	0,680(0°C)	—96	7,4	1,3500 (17°C)	р.	сп., э.
Диметиланилин	$\text{C}_6\text{H}_5\text{N}(\text{CH}_3)_2$	121,18	0,956	2,5	193	1,5582	тр. р.	сп., э., бз.
Диметилсульфат	$(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$	126,13	1,332	—26,8	188,6	1,3874	тр. р.	сп., э., бз.
Диметилформамид	$\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$	73,09	0,950(25°C)	—61	153	1,4269 (25°C)	р.	сп., э., ац., CS ₂
Диметилфталат	$\text{C}_8\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2$	194,19	0,188(25°C)	—	280 (0,1 МПа)	1,5155	0,4	сп., э.
м-Динитробензол	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$	168,12	1,575	89,8	300—302	—	0,047 (15°C)	сп., бз., хл., тол.
о-Динитробензол			1,565(17°C)	117,4	319	—	0,01	сп., хл., бз.
п-Динитробензол			1,625(18°C)	174,2	(0,11 МПа) 299 (0,11 МПа), возг.	—	0,18 (100°C)	бз., хл., сп., укс. к.
2,4-Динитротолуол	$\text{C}_6\text{H}_3\text{CH}_3(\text{NO}_2)_2$	182,14	1,521(15°C)	70,5	300, разл.	—	н.	бз., гор., сп.
2,4-Динитрофенол	$\text{C}_6\text{H}_3\text{OH}(\text{NO}_2)_2$	184,11	1,681(24°C)	114—115	возг.	—	0,5	сп., бз., э., хл.
2,4-Динитрохлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2\text{Cl}$	202,55	1,697(22°C)	51	315, разл.	—	н.	э., бз., гор., сп.
Диоксан	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	88,10	1,034	11,8	101,3	1,4224	∞	сп., бз., э.
Дифениламин	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$	169,23	1,159	54	302	1,5882 (77°C)	0,03	э., мет., сп., бз.
Дифенилметан (дитан)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	168,24	1,001 (26°C)	26—27	316—362	1,5788 (17°C)	н.	сп., э., хл.
Дифениловый (фенило- вый) эфир	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_6\text{H}_5$	170,21	1,073	28	259	1,5826 (24°C)	тр. р.	сп., э., укс.к.
о-Дихлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	147,00	1,305	—17,5	180—183	1,5518 (22°C)	н.	сп., э., бз.
п-Дихлорбензол			1,458	53	174	1,5210 (80°C)	н.	э., хл., бз., гор. сп.
Дихлордиформетан	CCl_2F_2	120,91	1,486 (—30°C)	—160	—28	—	н.	сп., э.
Диэтиламин	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$	73,14	0,706	—50,0	55,2	1,3873 (18°C)	р.	сп., э.
N,N-Диэтиланилин	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NC}_6\text{H}_5$	149,24	0,935	—38,8	215,5	1,5411 (22°C)	1,44 (12°C)	сп., э., хл.
Диэтиленгликоль	$(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$	106,12	1,118	—6,5	244,5	1,4472	∞	сп., э., ац.
Диэтилсульфат	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{SO}_4$	154,19	1,180	—24,5	208, разл.	1,4010 (18°C)	н.	сп., э.
Изопрен (2-метилбута- диен-1,3)	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$	68,12	0,681	—120 (т. замерз.)	34,1	1,4194	н.	сп., э.
Иодбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{I}$	204,05	1,838(15°C)	—31,4	188,7	1,6213 (18°C)	н.	сп., э., хл.
Иодоформ (триодметан)	CHI_3	393,73	4,008	119, возг.	>120, разл.	—	0,01 (25°C)	сп., э., ац., хл.
н-Каприловая (октановая) кислота	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$	144,22	0,910	16,2	237,5	1,4275	—	сп., э., бз., хл.
н-Каприновая (декановая) кислота	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CO}_2\text{H}$	172,27	0,886 (40°C)	31,5	268,4	1,4286 (40°C)	тр. р.	сп., э., бз., хл.
ε-Капролактан	$\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}$ — (75°C)	113,16	1,020 (75°C)	70	262,5	1,4768 (75°C)	~400	сп., э., бз., хл.
н-Капроновая (гексановая) кислота	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$	116,16	0,922	—1,5	205,3, возг.	1,4144	1,1	сп., э.
Карбанилд (N,N'-дифе- нил мочевины)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCONHC}_6\text{H}_5$	212,25	1,239	240	260	—	тр. р.	э.
Кетен (этенон)	$\text{CH}_2=\text{CO}$	42,04	—	—134,6	—41	—	разл.	ац., э.
о-Крезол (2-метилфенол)	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	108,14	1,047	30	191,5	1,5453	2,45	разн.
м-Крезол (3-метилфенол)			1,034	11,3	202,3	1,5398	2,35	разн.
п-Крезол (4-метилфенол)			1,034	36	202,5	1,5395	1,94	разн.
Крононовая (2-бутиновая) кислота	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCO}_2\text{H}$	86,09	1,018	72	184,7	1,4228 (80°C)	8,3 (15°C)	—
Крононовый альдегид (2-бутеналь)	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO}$	70,09	0,858 (15°C)	—69	102,2	1,4384 (17°C)	18,1 (20°C)	сп., э., бз.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. растворе
о-Ксилол (1,2-диметилбензол)	$C_8H_4(CH_3)_2$	106,17	0,881	—25	144	1,5070 (17°C)	н.	сп., э.
м-Ксилол (1,3-диметилбензол)			0,864	—47,4	139,3	1,4972	н.	сп., э.
п-Ксилол (1,4-диметилбензол)			0,861	13,2	138,5	1,5004	н.	сп., э.
Кумол (изопропилбензол)	$C_9H_8CH(CH_3)_2$	120,19	0,862	—96,03	152,39	1,4915	н.	ац., CCl_4
Лауриновая (додекановая) кислота	$CH_3(CH_2)_{10}CO_2H$	200,32	0,869 (50°C)	44,3	225 (0,013 МПа)	1,4183 (82°C)	н.	сп., э., мет., бз.
Левулиновая кислота	$CH_3COCH_2CH_2CO_2H$	116,12	1,139	33—35	245—246	1,4420 (16°C)	р.	сп., э.
Лимонная кислота	$C_6H_8(OH)(CO_2H)_3$	192,13	1,542	153	разл.	—	133	сп., э.
Линолевая кислота	$C_{17}H_{31}CO_2H$	280,45	0,903	—9,5	230 (0,0021 МПа)	1,4711	н.	сп., э.
Линоленовая кислота	$C_{17}H_{29}CO_2H$	278,44	0,905	—	230 (0,002 МПа)	—	н.	сп., э.
Маленная (пнс-бутен-диновая) кислота	$CO_2HCH=CHCO_2H$	116,07	1,590	130,5	135, разл.	—	78,8 (25°C)	сп., э., ац.
Малеиновый ангидрид	$OCOCH=CHCO$	98,06	0,934	54	202, возг.	—	16,3 (30°C)	ац., хл.
Малоновая (пропадионовая) кислота	$CO_2HCH_2CO_2H$	104,06	1,631 (15°C)	135,6	разл.	—	138 (16°C)	сп., э., мет.
Малоновый эфир (диэтиловый эфир малоиновой кислоты)	$CH_2(CO_2C_2H_5)_2$	160,17	1,055	—49,9	198,9	1,4143	2,08	сп., э., хл., бз.
н-Масляная (бутановая) кислота	$CH_3(CH_2)_2CO_2H$	88,10	0,964	—4,7	164	1,3991	∞	сп., э.
изо-Масляная (2-метилпропановая) кислота	$(CH_3)_2CHCO_2H$	88,10	0,950	—47,0	154,7	1,3930	20	сп., э., хл.
н-Масляный альдегид (бутааль)	$CH_3CH_2CH_2CHO$	72,11	0,817	—99	75,7	1,3843	3,7	сп., э.
Мезитила оксид	$CH_3COCH=C(CH_3)_2$	98,15	0,865	—59	130	1,4494 (13°C)	3,0	сп., э.
Метакриловая (2-метилпропеновая) кислота	$CH_2=C(CH_3)CO_2H$	86,09	1,015	16	160,5	1,4314	р.	сп., э.
Метан	CH_4	16,04	0,717	—182,5	—161,5	—	9 мл	сп., э.
Метил бромистый (бромметан)	CH_3Br	94,95	1,732 (0°C)	—93,7	3,6	—	тр. р.	сп., э., хл., бз.
Метил иодистый (иодметан)	CH_3I	141,94	2,279	—66,5	42,5	1,5293	1,4	сп., э.
Метил хлористый (хлорметан)	CH_3Cl	50,49	2,310 г/л	—97,6	—23,7	—	400 мл	сп., укс. к., хл.
Метилакрилат	$CH_2=CHCOOCH_3$	86,09	0,953	—	80,5	1,3984	—	сп., э.
Метиламин	CH_3NH_2	31,06	0,699 (—10,8°C)	—92,5	7,55 (0,1 МПа)	—	х. р.	сп., э.
Метиланилин	$C_6H_5NHCH_3$	107,16	0,989	—57	196	1,5702	н.	сп., э., хл.
Метилениодистый (диометан)	CH_2I_2	267,84	3,325	6	181, разл.	1,7560 (10°C)	1,42	сп., э.
Метилен хлористый (дихлорметан)	CH_2Cl_2	84,93	1,336	—96,8	40	1,4237	2	сп., э.
Метилметакрилат	$CH_2=C(CH_3)COOCH_3$	100,12	0,936	—48	100	1,4337	н.	сп., э.
1-Метилнафталин	$C_{10}H_7CH_3$	142,21	1,025 (14°C)	—19	244,6	—	н.	сп., э.
Метиловый спирт (метанол)	CH_3OH	32,04	0,792	—97,8	64,7	1,3312 (15°C)	∞	разл.
Метиловый эфир (диметиловый эфир, метокси-метан)	CH_3OCH_3	46,07	1,617 г/л	—138,8	—23,7	—	3700 мл (18°C)	—
Монохлоруксусная (хлорэтановая) кислота	CH_2ClCO_2H	94,50	1,580	61—62	189,5	1,4297 (65°C)	х. р.	сп., хл., бз.
Мочевина (карбамид)	H_2NCONH_2	60,06	1,335	132,7	разл.	—	108, ∞ гор.	сп., мет.
Муравьиная (метаиновая) кислота	HCO_2H	46,03	1,220	8,6	100,8	1,3714	∞	сп., э.
Нафталин	$C_{10}H_8$	128,18	1,145	80,2	218	1,5823 (99°C)	0,003	э., бз., тол., хл.
1-Нафтиламин	$C_{10}H_7NH_2$	143,19	1,120	50	301	1,6703 (51°C)	0,17	сп., э.
2-Нафтиламин			1,060 (98°C)	112	306,1	1,6493 (98°C)	р. гор.	сп., э.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. раст-ворителе
1-Нафтол	$C_{10}H_7OH$	144,17	1,224(4°C)	96	280	1,6206(99°C)	н., хол.	сп., э., хл., бз.
2-Нафтол			1,217(4°C)	123	286	—	0,074(25°C)	сп., бз., хл., бз.
о-Нитроанилин			1,442(15°C)	71,5	260, разл.	—	р., гор.	сп., хл., э.
м-Нитроанилин			1,430	144	285, разл.	—	0,1	сп., мет., э.
п-Нитроанилин	$O_2NC_6H_4NH_2$	138,13	1,437(14°C)	148	260, разл.	—	0,08	мет., сп., бз.
н-Нитробензойная кислота			1,550(32°C)	240—242	возг.	—	0,02(15°C)	сп., мет., э., ал.
Нитробензол	$C_6H_5NO_2$	123,11	1,203	5,7	210,9	1,5530	0,19	разл.
Нитроглицерин (тринитрат глицерина)	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227,09	1,601(15°C)	13,2	260, взр.	1,4820	0,18	сп., э., хл.
Нитрозобензол	C_6H_5NO	107,11	—	68	57—59	—	н.	сп., э., хл.
Нитрометан	CH_3NO_2	61,04	1,144(15°C)	—28,5	101,5(0,1 МПа)	1,3813(21,6°C)	9,5	сп., э.
1-Нитронафталин	$C_{10}H_7NO_2$	173,17	1,331(4°C)	61,5	304	—	н.	э., хл., сп.
1-Нитропропан	$CH_3CH_2CH_2NO_2$	89,09	1,008(24°C)	—108	131,6	1,4003(24°C)	1,4	сп., э.
2-Нитропропан	$CH_3CH(NO_2)CH_3$	89,09	1,024(0°C)	—93	120,3	—	1,7	сп., э.
2-Нитротолуол	$C_6H_4(CH_3)NO_2$	137,14	1,163	—4	222,3	1,5474	0,7(30°C)	сп., э., бз., хл.
4-Нитротолуол			1,226(15°C)	51,19	237,7	—	—	э., ал., хл., бз.
2-Нитрофенол	$O_2NC_6H_4OH$	139,11	1,295(45°C)	45	216	—	0,21	сп., э., бз.
3-Нитрофенол			1,485	97	134	—	1,35	сп., э., бз.
4-Нитрофенол			1,479	114	279, разл.	—	1,6(25°C)	сп., э., хл.
о-Нитрохлорбензол			1,368	33	245	—	н.	э., сп., бз.
п-Нитрохлорбензол	$ClC_6H_4NO_2$	157,56	1,520	83	212	—	н.	э., гор. сп.
Нитроэтан	$CH_3CH_2NO_2$	75,07	1,047(24,3°C)	—90	114,8	1,3901(24,3°C)	4,5	сп., э., хл.
н-Нонан	$CH_3(CH_2)_7CH_3$	128,26	0,718	—53,7	150,7	1,4056	н.	сп., э.
н-Нонилловый спирт (нонаол-1)	$CH_3(CH_2)_7CH_2OH$	144,26	0,828	—5	213,5	1,4358(15°C)	н.	сп., э.
н-Октан	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	114,24	0,703	—56,8	124,7	1,3975	1,5·10 ⁻⁸ (16°C)	э.
изо-Октан (2,2,4-триметилпентан)	$(CH_3)_2CHCH_2C(CH_3)_3$	114,24	0,692	—107,4	99,3	1,3916	н.	э.
Октилен-1 (октен-1)	$CH_3(CH_2)_5CH=CH_2$	112,22	0,715	—102	122	1,4088	н.	сп., э.
н-Октиловый спирт (октано-1)	$CH_3(CH_2)_6CH_2OH$	130,24	0,827	—16,7	194,5	1,4304	р.	сп., э.
Олеиновая кислота (цис-9-октадеценовая кислота)	$C_{17}H_{33}CO_2H$	282,47	0,900(12°C)	16	223(0,013 МПа)	1,4582	н.	сп., э., хл., бз.
Пальмитиновая (гексадекановая) кислота	$CH_3(CH_2)_{14}CO_2H$	256,43	0,853(62°C)	64	390	1,4304(70°C)	н.	сп., э.
Параальдегид (парацетальдегид, 2,4,6-триметил-1,3,5-триоксан)	$(CH_2CHO)_3$	132,16	0,994	12,6	128	1,4049	16,6(13°C)	сп., э., хл.
Пералгоновая (нонаиновая) кислота	$CH_3(CH_2)_7CO_2H$	158,24	0,906	12,5	253—254	1,4307	н.	сп., э., хл.
н-Пентан	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	72,15	0,626	—129,7	36,1	1,3577	0,036(16°C)	э.
изо-Пентан (2-метилбутан)	$(CH_3)_2CHCH_2CH_3$	72,15	0,620	—160	28	1,3537	н.	э.
Пикриновая кислота (2,4,6-тринитрофенол)	$C_6H_2OH(NO_2)_3$	229,11	1,763	121,8	>300, взр.	—	1,4	сп., ал., бз.
Пириаколин (3,3-диметилбутанон-2)	$CH_3COC(CH_3)_3$	100,16	0,800(16°C)	—52,5	106,2	—	2,5(15°C)	сп., э., ал.
Пирдин	C_5H_5N	79,10	0,982	—42	115,6	1,5092	—	сп., э., бз.
Пирогаллол (1,2,3-тригидрооксibenзол)	$C_6H_3(OH)_3$	126,11	1,453(4°C)	132,5—133,5	309	—	62,5(25°C)	сп., э.
Пирокатехин (о-дигидрооксibenзол)	$C_6H_4(OH)_2$	110,11	1,371(15°C)	105	240	—	45,1	сп., э., бз., хл.
Пиррол (азол)	C_4H_5N	67,09	0,967	—	130—131	1,5035	н.	сп., э., бз.
Пропан	$CH_3CH_2CH_3$	44,10	2,014 г/л(0°C)	—187,7	—42,1	—	65 мл	э.
н-Пропил бромистый (1-бромпропан)	$CH_3CH_2CH_2Br$	123,00	1,353	—109,9	70,8	1,4341	0,25	сп., э.
изо-Пропил бромистый (2-бромпропан)	$CH_3CHBrCH_3$	123,00	1,310	—89	59,4	1,4285(15°C)	0,32	сп., э.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	γ_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. раство- рителе
н-Пропил иодистый (1-иодпропан)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{I}$	169,99	1,743	—98,8	102,5	1,5055	0,11	сп., э.
изо-Пропил иодистый (2-иодпропан)	$\text{CH}_3\text{CHICH}_3$	169,99	1,703	—90	85,9	1,5026	0,14	сп., э., бз., хл.
н-Пропил хлористый (1-хлорпропан)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$	78,54	0,891	—122,8	46,6	1,3884	0,27	сп., э.
изо-Пропил хлористый (2-хлорпропан)	$\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$	78,54	0,859	—117	34,8	1,3811 (15°C)	0,31	сп., э.
н-Пропилбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	120,20	0,862	—99,2	159,5	1,4925	0,006	—
Пропилен (пропен)	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	42,08	1,915 г/л	—187,7	—47,8	—	45 мл	сп., укс. к.
Пропилена оксид	$\text{OCH}_2\text{CHCH}_3$	58,08	0,830	—	35	1,3667	р.	сп., э.
н-Пропиловый спирт (пропанол-1)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	60,10	0,804	—127	97,2	1,3850	∞	сп., э.
изо-Пропиловый спирт (пропанол-2)	$(\text{CH}_3)_2\text{CHON}$	60,10	0,789	—89,5	82,4	1,3776	∞	сп., э., бз.
Пропионовая (пропановая) кислота	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$	74,08	0,992	—22	141,4	1,3874	∞	сп., э., хл.
Пропионовый альдегид (пропаналь)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$	58,08	0,807	—81	47,5—49	1,3636	20	сп., э.
Резорцин (м-дигидрокси- бензол)	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	110,11	1,285(15°C)	110	276,5	—	229 (30°C)	сп., э., гл., бз.
Салициловая кислота (о-гидроксibenзойная кислота)	$\text{HOC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	138,12	1,443	159	211 (0,00026 МПа)	—	0,18	сп., э., ац., хл.
Салициловый (о-гидрокси- бензойный) альдегид	$\text{HOC}_6\text{H}_4\text{CHO}$	122,12	1,167	—7	197	1,5735	тр. р.	сп., э., бз.
Сахароза (свекловичный сахар, α, D-глюкопира- нозил-β, D-фруктофура- нозид)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	342,30	1,588(15°C)	186, разл.	разл.	—	204	мет.
Семикарбазид (аминомо- чевина, карбамсилгид- разин)	$\text{H}_2\text{NCONHNH}_2$	75,07	—	96	—	—	р.	сп.
Стеариновая (октадеканов- ая) кислота	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	284,49	0,848(70°C)	70	287 (0,013 МПа)	1,4335 (70°C)	0,034 (25°C)	гор. сп., хл., э.
Стирол (винилбензол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	104,15	0,906	—30,6	146	1,5462	тр. р.	сп., э., мет. ац.
Сульфаниловая кислота (п-анилисульфоная кислота, п-аминобен- золсульфоная кис- лота)	$\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	173,19	—	288, разл.	—	—	1,08	—
Терефталевая кислота (1,4-бензолдикарбоно- вая кислота)	$\text{HO}_2\text{CC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	166,13	—	—	300, возг.	—	тр. р.	гор. сп.
Тетрагидронафталин (тет- ралин)	C_{10}H_8	132,21	0,973(18°C)	—31	206—207	—	н.	сп., э.
Тетрагидрофуран (фурани- дин, тетраметилен- оксид)	$\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$	72,11	0,888(21°C)	—65	65—66	1,4076 (21°C)	р.	сп., э.
Тетрафторэтилен (пер- фторэтилен, тетрафтор- этен)	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	100,02	—	—142,5	—76,3	—	н.	—
Тетраэтилсвинец (ТЭС)	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$	323,44	1,653	—	200, разл.	1,5198	н.	э.
Тетраэтоксилан	$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	208,25	0,933	—	165,5	—	разл.	сп., э.
Тиомочевина (тиокарбамид, диамид тиоугольной кислоты)	NH_2CSNH_2	76,12	1,405	182	разл.	—	9,18 (18°C)	сп.
Тиофен	$\text{SCH}=\text{CHCH}=\text{CH}$	84,14	1,064	—38,2	84	1,5246	н.	сп., бз., э.
Толуол (метилбензол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	92,14	0,867	—95	110,6	1,4969	0,047 (16°C)	сп., э., бз., хл.
п-Толуолсульфокислота (п-толуолсульфоная кислота)	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	172,20	—	92	140 (0,027 МПа)	—	р.	сп., э.
о-Толуидин (2-метил- анилин)	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$	107,16	0,999	—16,3	199,7	1,5688	1,50 (25°C)	сп., э.
м-Толуидин (3-метиланилин)			0,989	—31,5	203,3	1,5686	тр. р.	сп., э.
п-Толуидин (4-метиланилин)			1,046	44—45	200,3	1,5532 (59°C)	0,74	сп., э., мет., ац.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. растворителе
м-Толуилендиамин } п-Толуилендиамин } п-Толуолсульфамид п-Толуолсульфохлорид	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$ $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$ $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{Cl}$	122,18 171,22 190,65	— — —	99 64 137,5	283—285 273—274 —	— — —	р., гор. р. 0,2(0°C)	сп., э. сп., э., гор.бз. сп.
2,4,6-Трибромфенол Триметиламин Триметилен (циклопропан)	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})\text{Br}_3$ $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$	330,82 59,11 42,08	2,545 0,671(0°C) 0,720(—79°C)	96 —117,2 —126,6	возг. 3,5 —34	— — —	0,007 р. н.	сп., э. сп., э., гл. сп., э.
1,3,5-Тринитробензол	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_3$	213,11	1,688	122,5	разл., взр.	—	0,04 (16°C)	мет., хл., бз., тр. р., сп., э. э., хл., бз.
Трифенилфосфат	$(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_3\text{PO}$	326,29	—	49	245 (0,0015 МПа)	—	н.	сп., э.
Трихлоруксусная (трихлорэтановая) кислота	$\text{CCl}_3\text{CO}_2\text{H}$	163,39	1,588(70°C)	58	196,5	—	120 (25°C)	сп., э.
Уксусная (этановая) кислота	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	60,05	1,049	16,7	118,5	1,3721	∞	сп., э. и др.
Уксусный альдегид (этаналь)	CH_3CHO	44,05	0,783	—123,5	20,8	—	∞	сп., бз., хл.
Уксусный ангидрид (ацетагидрид)	$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	102,09	1,082	—73,1	140,0	1,3901	разл.	э., бз.
Ундекан	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}_3$	156,31	0,740	—25,7	195,9	1,4172	н.	сп., э.
Феикантрен	$\text{C}_{14}\text{H}_{16}$	178,24	1,182	100	340,2	1,6567 (129°C)	—	э., бз., хл., ац.
Феннлгидразин	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHNH}_2$	108,14	1,098	23	241, разл.	1,6081	12,6	сп., э., хл., бз.
N-Фенилгидроксиламин	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHOH}$	109,13	—	81—82	—	—	2	сп., э., хл., гор. бз.
о-Фенилендиамин (1,2-диаминбензол)	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$	108,14	1,142(10°C)	102—103	256—258	—	4,2 (35°C)	сп., э., хл.
м-Фенилендиамин (1,3-диаминбензол)				63—64	284—287	1,6339 (58°C)	35,1 (25°C)	сп., э.
п-Фенилендиамин (1,4-диаминбензол)				140	267	—	3,8 (24°C)	сп., э., хл.
Фенилуксусная (α-толу- ловая) кислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$	136,15	1,228	76	265,5	—	1,66	сп., э., хл.
β-Фенилэтиловый спирт (2-фенилэтанол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	122,17	1,023	—27	219—221	1,5337 (17°C)	1,6	э., сп.
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	94,11	1,071(25°C)	43	181,2	1,5403 (45°C)	8,2(15°C)	сп., э., хл.
Фенолфталеин	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$	318,33	1,300	261	возг.	—	0,18	сп., э.
Формальдегид (метаналь)	HCHO	30,03	0,815 (—20°C)	—92	—21	—	х. р.	э.
Формамид (амид муравьиной кислоты)	HCONH_2	45,04	1,139	2,5	210,7, разл.	1,4472	∞	сп.
Фосген (хлорагидрид угольной кислоты)	CCl_2	98,91	1,376(0°C)	—118	8,2	—	разл.	бз., тол. укс. к., э.
Фруктоза (плодовый сахар)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180,16	1,669 (17,5°C)	102—104	разл.	—	х. р.	сп., ац.
о-Фталевая (1,2-бензол- дикарбоновая) кислота	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{H})_2$	166,14	1,593	200, разл.	—	—	0,54 (14°C)	сп.
Фталевый ангидрид	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O}$	148,12	1,527(4°C)	131,6	285, возг.	—	тр. р.	сп.
Фталимид	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{NH}$	147,13	—	238	возг.	—	0,06 (25°C)	гор., укс. к.
Фумаровая (транс-бутен- дновая) кислота	$\text{CO}_2\text{HCH}=\text{CHCO}_2\text{H}$	116,07	1,635	287	290	—	0,7 (25°C)	сп.
Фуран	$\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CHO}$	68,08	0,940	—	32	1,4216	н.	сп., э.
Фурфурол (2-фуральдегид; 2-фураиметаналь)	$\text{C}_4\text{H}_3\text{OCHO}$	96,09	1,159	—36,5	162	1,5261	9,1 (13°C)	сп., э.
Хинолин (бензопиридин)	$\text{C}_9\text{H}_7\text{N}$	129,16	1,095	—15	237,7	1,6268	6	сп., э., ац.
п-Хинон (п-бензохинон)	$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$	108,10	1,318	115,7	возг.	—	р., гор.	сп., э.
Хлораль (трихлорэтаналь)	CCl_3CHO	147,39	1,512	—57,5	98	1,4557	х. р.	сп., э., хл.
Хлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	112,56	1,107	—45,2	132,1	1,5248	0,0488 (30°C)	сп., э., хл., бз.
1-Хлорнафталин	$\text{C}_{10}\text{H}_7\text{Cl}$	162,62	1,194	—17	259,3	1,6332	н.	сп., э., бз.
Хлоропрен (2-хлорбутад- иен-1,3)	$\text{CH}_2=\text{CCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$	88,54	0,958	—	59,4	1,4583	тр. р.	разн.
Хлороформ (трихлорметан)	CHCl_3	119,38	1,489	—63,5	61,2	1,4455	1,0 (15°C)	ац.
Хлорпикрин (нитротрихлорметан)	CCl_3NO_2	164,38	1,651 (22,8°C)	—64	112	1,4608 (22°C)	н.	сп., э.

Название	Формула	Мол. м.	d	Т. пл.	Т. кип.	n_D^{20}	Растворимость	
							в воде	в орг. рас- творителе
o-Хлорфенол } п-Хлорфенол } Цианамид	$\text{ClC}_6\text{H}_4\text{OH}$ H_2NCN	128,56 42,04	1,240(18°C) 1,306 1,073(48°C)	7 43 44—45	175,6 217 140 (0,0025 МПа)	— — 1,4418 (48°C)	2,85 2,71 х. р.	сп., э. сп., э. х. р. сп., э.
Циановая кислота Циклогексан Циклогексанол (анол)	HOCN C_6H_{12} $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$	43,03 84,16 100,16	1,140(0°C) 0,779 0,962	0 6,5 25,4	разл. 80,8 160—161	— 1,4266 1,4610 (37°C)	тр. р. н. 5,67 (15°C)	э., бз., хл. сп., э. сп., э.
Циклогексанон (анон) Циклопропан (тримети- лен)	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$ C_3H_6	98,15 42,08	0,948 0,689 (—40°C)	—45 —127	155—156 —33	— 1,3770 (—40°C)	2,4 (31°C) н.	сп., э. сп., э.
Четырехбромистый угле- род (тетрабромметан)	CBr_4	331,65	3,420, α -форма, β -форма	48,4; 90,1 —187	189,6, разл. —128	1,5942 (99°C)	0,024 (30°C)	сп., э., хл.
Четырехфтористый угле- род (тетрафторметан)	CF_4	88,00	—	—	—	—	тр. р.	—
Четыреххлористый угле- род (тетрахлорметан)	CCl_4	153,82	1,595	—23,0	76,8	1,4603	0,08	сп., э., хл., бз.
Щавелевая (этандиовая) кислота	$\text{HO}_2\text{CCO}_2\text{H} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	126,07	1,653	101,5 (быстр. нагрев.)	189,5 безв., возг.	—	9,5	—
Энантовая (гептановая) кислота	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CO}_2\text{H}$	130,19	0,918	10,5	223	1,4216	0,24 (15°C)	сп., э.
Эпихлоргидрин (1-хлор- 2,3-эпоксипропан)	$\text{OCH}_2\text{CHCH}_2\text{Cl}$	92,53	1,180(25°C)	—25	117 (0,1 МПа)	1,4397 (16,1°C)	<5	сп., э.
Этан	CH_3CH_3	30,07	1,357 г/л (0°C)	—182,8	—88,6	—	4,7 мл	сп.
Этаноламин (2-аминоэтан- ол)	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	61,08	1,022	10,5	172,2	1,4539	∞	сп., э., хл.
Этилакрилат Этилацетат	$\text{CH}_2=\text{CHCO}_2\text{C}_2\text{H}_5$ $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	100,12 88,11	0,925(15°C) 0,901	— —83,6	99,5 77,16	— 1,3728	тр. р. 8,6	— разн.
Этил бромистый (бром- этан)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$	108,97	1,456	—119	38,4	1,4239	0,96 (17,5°C)	сп., э. и др.
Этил иодистый (иодэтан)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{I}$	155,97	1,933	—108,5	72,4	1,5168	0,4	сп., э., бз., хл.
Этил хлористый (хлор- этан)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	64,52	0,921(0°C)	—138,7	12,2	—	0,57	сп., э. и др.
Этиламин (этанамин) Этилбензол Этилен (этен)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$ $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	45,08 106,17 28,05	0,706(0°C) 0,867 1,245 г/л (0°C)	—80,6 —94,4 —169,2	16,6 136,2 —103,7	— 1,4959 —	∞ тр. р. 25,6 мл (0°C)	сп., э. сп., э. сп., э.
Этилена оксид (1,2-эпо- ксиэтан)	$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$	44,05	0,882(10°C)	—111,3	10,7	1,3596 (7°C)	∞	сп., э.
Этилен бромистый (1,2- дибромэтан)	$\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{Br}$	187,87	2,179	10	131,7	1,5379	0,43 (30°C)	сп., э., хл.
Этилен хлористый (1,2- дихлорэтан)	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$	98,96	1,258 (17°C)	—35,3	83,7	1,4443	0,87	сп., э., хл.
Этиленгликоль (этандиол- 1,2, глицоль)	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	62,07	1,116	—12,6	197,9	1,4319	∞	сп., мет., ал.
Этилендиамин (этандин- амин-1,2)	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	60,10	0,899	8,5	116,5	1,4540 (26°C)	∞	сп.
Этиленхлоргидрин (2-хлорэтанол)	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$	80,51	1,202	—67,5	129	1,4419	∞	разл.
Этиленциангидрин Этилиден иодистый (1,1- динодэтан)	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CN}$ CH_3CHI_2	71,08 281,86	1,059(0°C) 2,840(0°C)	— —	220—222 179	— —	р. н.	сп., тр. р. э. сп., э.
Этилиден хлористый (1,1- дихлорэтан)	CH_3CHCl_2	98,96	1,175 (20°C)	—96,7	57,3	—	0,7	сп., э.
Этилинитрат	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONO}_2$	91,07	1,100	—102	88,7	1,3848 (21,5°C)	3,09 (55°C)	сп., э.
Этиловый спирт (этанол) Этиловый (диэтиловый) эфир (этоксипропан)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	46,07 74,12	0,789 0,714	—117,3 —116,3	78,3 34,6	1,3614 1,3542 (17°C)	∞ 7,5	разн. сп., хл., бз.
Этилцеллозольв (2-это- ксиэтанол)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	90,12	0,931	—70	135,1	1,4030	∞	сп., э., хл., ал.
Янтарная (бутандиовая) кислота	$\text{CO}_2\text{H}(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$	118,09	1,564 (16°C)	183	235, разл.	—	6,8	сп., мет., ал.
Янтарный ангидрид (сукцинангидрид)	$(\text{CH}_2\text{CO})_2\text{O}$	100,07	1,234	119,5	261	—	р., разл.	э., хл.

Насыщенные (предельные) углеводороды (алканы)

Углеводороды, в молекулах которых углеродные атомы связаны между собой простой (одинарной) связью (σ -связью), называются *насыщенными* или *предельными* углеводородами.

Общая формула насыщенных углеводородов C_nH_{2n+2} . Атомы углерода в таких углеводородах находятся в первом валентном состоянии, которому соответствует sp^3 -гибридизация.

Простая связь (σ -связь) образуется за счет перекрывания двух орбиталей s -электронов или перекрыванием орбитали s -электрона (например, атома водорода) с sp^3 -гибридными орбиталями атома углерода (при образовании, например, молекулы метана) или за счет перекрывания двух sp^3 -гибридных орбиталей атомов углерода (при образовании C—C-связи в предельных углеводородах).

Таблица 23. Некоторые способы получения насыщенных углеводородов

Название реакции	Примеры
Гидрирование угля	$nC + 2nH_2 \xrightarrow[\text{кат.}]{} C_nH_{2n+2}$
Гидрирование непредельных углеводородов (алкенов)	$CH_2=CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3-CH_3$
Реакция Вюрца	$C_2H_5-I + 2Na + I-C_2H_5 \rightarrow C_2H_5-CH_2-C_2H_5 + 2NaI$
Сплавление солей карбоновых кислот со щелочью	$CH_3-COONa + NaOH \rightarrow CH_4 + Na_2CO_3$
Восстановление галогенпроизводных насыщенных углеводородов	$CH_3-I + HI \rightarrow CH_4 + I_2$

Таблица 24. Основные реакции насыщенных углеводородов

Название реакции	Примеры
Реакции замещения: галогенирование	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$
нитрование	$C_4H_{10} + HNO_3 \rightarrow C_4H_9NO_2 + H_2O$
сульфирование	$C_{10}H_{22} + H_2SO_4 \rightarrow C_{10}H_{21}SO_3H + H_2O$
сульфохлорирование	$C_6H_{14} + SO_2 + Cl_2 \rightarrow C_6H_{13}SO_2Cl + HCl$
Дегидрирование	$C_3H_8 \xrightarrow[\text{кат.}]{} C_3H_6 + H_2$
Окисление	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

В реакциях замещения замена атома водорода на другие атомы или группы атомов легче происходит у третичного атома углерода, труднее — у вторичного и еще труднее — у первичного.

Углеводороды, в молекулах которых углеродные атомы связаны друг с другом двойной связью, называются *ненасыщенными* или *непредельными* углеводородами ряда этилена (олефинами, алкенами). Общая формула этиленовых углеводородов C_nH_{2n} . Атомы углерода в таких углеводородах находятся во втором валентном состоянии, которому соответствует sp^2 -гибридизация.

Двойная связь (C=C) состоит из одной простой (σ -связи) и одной π -связи. Простая связь расположена в плоскости, в которой находятся все ядра атомов углерода и водорода. Вторая связь (π -связь) образуется двумя негибридизованными $2p$ -электронами углеродных атомов и лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости σ -связи.

Ненасыщенные соединения, содержащие в молекуле две двойные связи, называются *диеновыми* углеводородами (алкадиенами, или диолефинами). Общая формула таких соединений C_nH_{2n-2} . Если двойные связи расположены рядом (при одном углеродном атоме), то диеновые углеводороды называются *кумулярованными* или *алленовыми*, например $CH_2=C=CH_2$ — пропadiен (аллен).

Если двойные связи разделены одной простой, то углеводороды называются *сопряженными* или *конъюгированными*: $CH_2=CH-CH=CH_2$ — бутадиен-1,3 (дивинил).

Если двойные связи разделены двумя или несколькими простыми связями, то непредельные углеводороды называются *изолированными* или *несопряженными*: $CH_2=CH-CH_2-CH=CH_2$ — гексадиен-1,5.

Таблица 25. Некоторые способы получения этиленовых углеводородов

Название реакции	Примеры
Крекинг алканов и пиролиз нефти	$C_4H_{10} \xrightarrow{t} CH_3-CH_3 + CH_2=CH_2$ $\xrightarrow{t} CH_2=CH-CH_3 + CH_4$
Дегидрогенизация алканов	$C_4H_{10} \xrightarrow[-H_2]{} CH_2=CH-CH_2CH_3$ $(CH_3-CH=CH-CH_3) \xrightarrow[-H_2]{} CH_2=CH-CH=CH_2$
Дегидратация спиртов	$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_3 \xrightarrow[-2H_2]{} CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$ $CH_3CH_2OH \xrightarrow[\text{кат.}]{} CH_2=CH_2 + H_2O$

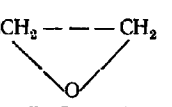
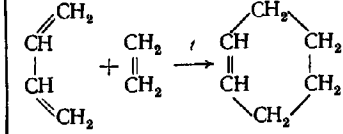
Диеновые углеводороды с сопряженными двойными связями обладают высокой реакционной способностью. Они могут присоединять реагент как по одной или двум отдельным двойным связям (1,2-при-

соединение), так и к двум противоположным концам молекулы (1,4-присоединение).

При нонном присоединении галогеноводородов к несимметричным алкинам (при обычных условиях) водород присоединяется по месту двойной связи к наиболее гидрогенизированному (связанному с наибольшим числом водородных атомов) атому углерода, а галоген — к менее гидрогенизированному атому углерода (правило Марковникова).

Отклонение от этого правила: если реакция протекает в присутствии пероксидных соединений или кислорода (по радикальному механизму), то порядок присоединения галогеноводорода (в основном бромистого водорода) будет идти против правила Марковникова («пероксидный эффект» Хараши).

Таблица 26. Основные реакции этиленовых углеводородов

Название реакции	Примеры
Присоединение	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH}_3$ $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CHCl} - \text{CH}_3$ $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_3 + \text{H} - \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CHONH} - \text{CH}_3$
Полимеризация	$n\text{CH}_2 = \text{CH}_2 \rightarrow [-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -]_n$ $n\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 \rightarrow [-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 -]_n$
Окисление: горение действие водного раствора KMnO_4 при нагревании действие водного раствора KMnO_4 при комнатной температуре (реакция Вагнера) каталитическое окисление (реакция Прилежаева)	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + 4\text{KMnO}_4 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{MnO}_2 + 4\text{KOH}$ $3\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$ $2\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Ag}} 2\text{CH}_2 - \text{CH}_2$ <p style="text-align: center;">  ОКСИД этилена </p>
Реакции Дильса-Альдера (диеновые синтезы)	

Ненасыщенные (непредельные) углеводороды ряда ацетилена (алкины)

Углеводороды, в молекулах которых углеродные атомы связаны друг с другом тройной связью ($\text{C}\equiv\text{C}$), называются *ацетиленовыми углеводородами* или *алкинами*. Общая формула ацетиленовых углеводородов с одной тройной связью $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$. Атомы углерода в ацети-

леновых углеводородах находятся в третьем валентном состоянии, которому соответствует sp -гибридизация.

Тройная связь образована одной σ -связью (перекрывание двух гибридных sp -атомных орбиталей) и двумя π -связями (перекрывание двух негибридных p -орбиталей от каждого соседнего углеродного атома). π -Связь в тройной связи расположена на одной линии, представляющей собой ось трех σ -связей. Две π -связи расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Таблица 27. Некоторые способы получения ацетиленовых углеводородов

Название реакции	Примеры
Разложение карбида кальция водой	$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
Действие спиртового раствора щелочи на дигалогенопроизводные углеводородов	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CHCl}_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{KCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
Крекинг или пиролиз природного газа или углеводородов нефти	$2\text{CH}_4 \xrightarrow{1500^\circ\text{C}} \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$ $\text{C}_2\text{H}_6 \xrightarrow{1200^\circ\text{C}} \text{C}_2\text{H}_2 + 2\text{H}_2$

Таблица 28. Основные реакции ацетиленовых углеводородов

Название реакции	Примеры
Присоединение	$\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{H}_2} \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \xrightarrow{\text{H}_2} \text{CH}_3 - \text{CH}_3$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CHBr} = \text{CHBr} \xrightarrow{\text{Br}_2} \text{CHBr}_2 - \text{CHBr}_2$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \rightarrow \text{CHCl} = \text{CHCl}$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{HgSO}_4} \text{CH}_3 - \text{CHO}$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCN} \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CHCN}$ <p style="text-align: center;">акрилонитрил</p> $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{ZnO}} \text{CH}_3 - \text{COOCH} = \text{CH}_2$ <p style="text-align: center;">винилацетат</p>
Полимеризация	$2\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow{\text{Cu}_2\text{Cl}_2} \text{CH}\equiv\text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2$ <p style="text-align: center;">винилацетилен</p> $3\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow[450^\circ\text{C}]{\text{акт. уголь}} \text{C}_6\text{H}_6$ <p style="text-align: center;">бензол</p> $4\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow[\text{циклооктатетраен}]{\text{соед. Ni}} \text{C}_8\text{H}_8$
Замещение	$\text{CH}\equiv\text{CH} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow \text{Ag} - \text{C}\equiv\text{C} - \text{Ag} + 4\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">ацетиленид серебра</p>
Окисление	$3\text{CH}\equiv\text{CH} + 8\text{KMnO}_4 \rightarrow 3\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{KOH} + 8\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Углеводороды, молекулы которых содержат один или несколько циклов (колец) неароматического характера, называются *алициклическими* соединениями. По характеру связей они могут быть насыщенными (циклоалканы) и ненасыщенными (циклоалкены).

Таблица 29. Некоторые способы получения алициклических углеводородов

Название реакции	Примеры
Действие цинковой пыли на спиртовой раствор дигалогенпроизводного алкана	$\text{ClH}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{Zn} \rightarrow \text{H}_2\text{C}-\underset{\text{CH}_2}{\text{CH}_2} + \text{ZnCl}_2$
Пиролиз кальциевых солей двухосновных кислот	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CO} \\ \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{Ca} \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2-\text{CO} \end{array} \xrightarrow{t} \text{CaCO}_3 + \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ (\text{CH}_2)_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{O} \end{array} \xrightarrow{[\text{H}]} \text{C}_8\text{H}_{16}$ циклопентан
Гидрирование бензола и его гомологов	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{H}_2/\text{Ni}} \text{C}_6\text{H}_{11}\text{CH}_3$ метилциклогексан
Присоединение этилена или ацетилена к алкадиену	$\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{CH}=\text{CH}_2 \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \xrightarrow{t} \text{C}_6\text{H}_{10}$ циклогексен
Пиролиз циклоалкенов	$\text{C}_6\text{H}_8 \xrightarrow{t} \text{C}_6\text{H}_6$ циклопентен циклопентадиен

Таблица 30. Основные реакции алициклических углеводородов

Название реакции	Примеры
Раскрытие циклов	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \end{array} \xrightarrow{\text{H}_2/\text{Ni}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ циклопропан $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array} \xrightarrow{\text{H}_2/\text{Ni}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ циклобутан
Замещение	$\text{C}_6\text{H}_{10} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_9\text{Br} + \text{HBr}$
Окисление	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array} \xrightarrow{[\text{O}]} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$ циклогексан адипиновая кислота
Каталитическая дегидрогенизация (реакция Зелинского)	$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{CH}_3 \xrightarrow[\text{t}^\circ\text{C}]{\text{кат.}} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + 3\text{H}_2$ метилциклогексан толуол

Углеводороды, молекулы которых содержат устойчивую циклическую группировку (бензольное кольцо), обладающую особыми физическими и химическими свойствами, называются *ароматическими* соединениями (аренами). К ним относятся бензол и его производные, а также нафталин, антрацен и др.

Ароматичность — это совокупность особых свойств, которыми обладают органические вещества, содержащие в молекуле бензольное кольцо или некоторые гетероциклические структуры. Эти свойства обусловлены равномерным распределением π -электронной плотности в кольце и плоскостным строением молекулы. Несмотря на формальную ненасыщенность, бензол и его производные более склонны к реакциям замещения, чем присоединения, и обладают высокой стабильностью.

Связь между углеродными атомами в молекуле бензола называется *ароматической*.

Таблица 31. Некоторые способы получения ароматических углеводородов

Название реакции	Примеры
Сухая перегонка каменного угля	Каменный уголь \xrightarrow{t} коксовый газ + кокс + аммиачная вода + каменноугольная смола Каменноугольная смола \rightarrow фенол, бензол, нафталин, антрацен, пиридин, тиофен Большое количество ароматических соединений
Простая перегонка, пиролиз или крекинг некоторых сортов нефти (например, уральской)	
Ароматизация алканов	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array} \xrightarrow{\text{кат.}} \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} + 4\text{H}_2$ 2,5-диметилгексан п-ксилол
Дегидрогенизация циклоалканов (реакция Зелинского)	$\text{C}_6\text{H}_{11}-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{кат.}} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3 + 3\text{H}_2$ метилциклогексан толуол
Полимеризация ацетилена	$3\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow[\text{бензол}]{\text{кат.}} \text{C}_6\text{H}_6$
Декарбонилирование солей ароматических кислот	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{COONa} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{Na}_2\text{CO}_3$
Реакция Фриделя-Крафуса	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \xrightarrow{\text{AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}_2\text{H}_5 + \text{HCl}$
Реакция Вюрца—Фиттига	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + 2\text{Na} + \text{Br}-\text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}_2\text{H}_5 + 2\text{NaBr}$ бромбензол этилбензол

Таблица 32. Основные реакции ароматических углеводородов

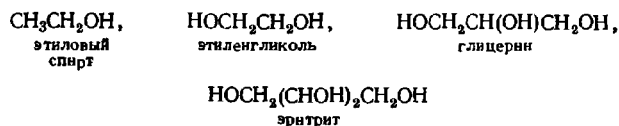
Название реакции	Примеры
Реакции замещения:	
галогенирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \xrightarrow[\text{хлорбензол}]{\text{кат.}} \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$
нитрование	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HNO}_3 \xrightarrow[\text{нитробензол}]{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
сульфирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{—SO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
алкилирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{Cl} \xrightarrow{\text{AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{HCl}$
ацилирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{COCl} \xrightarrow{\text{AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3 + \text{HCl}$ ацетилхлорид ацетофенон
Реакции присоединения:	
гидрирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2 \xrightarrow[\text{циклогексан}]{\text{Pd}} \text{C}_6\text{H}_{12}$
галогенирование	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ гексахлорциклогексан

КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Спирты (алкоголи)

Производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на соответствующее число гидроксильных групп (ОН), называются *спиртами (алкоголями)*.

Общая формула спиртов R—ОН. Характер радикала R определяет насыщенность или ненасыщенность спиртов, а от числа гидроксильных групп зависит его атомность. Спирты бывают одноатомными, двухатомными, трехатомными, четырехатомными и т. д., например:



В зависимости от характера углеродного атома (первичный, вторичный или третичный), с которым связана гидроксильная группа, различают спирты первичные, вторичные и третичные, например:



Если гидроксильная группа связана с углеродом боковой цепи в ароматических углеводородах, то такие гидроксильные производные

называют *ароматическими спиртами*, например $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ — бензиловый спирт.

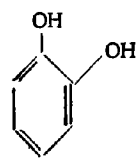
Таблица 33. Некоторые способы получения спиртов

Название реакции	Примеры
Гидролиз галогенопроизводных	$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{NaOH} &\longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{NaCl} \\ \text{CH}_3\text{—CHCl—CH}_2\text{Cl} + 2\text{NaOH} &\longrightarrow \\ &\longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{NaCl} \end{aligned}$
Гидратация этиленовых углеводов	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H—OH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
Восстановление альдегидов и кетонов	$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{—CHO} + \text{H}_2 &\longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \\ \text{C}_6\text{H}_5\text{—CHO} + \text{H}_2 &\longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH} \\ \text{CH}_3\text{—CO—CH}_3 + \text{H}_2 &\longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3 \end{aligned}$
Гидролиз (омыление) сложных эфиров	$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} &\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \\ &\longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \end{aligned}$

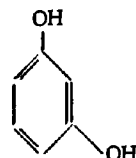
Таблица 34. Основные реакции спиртов

Название реакции	Примеры
Образование алкоголятов	$2\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{Na} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{ONa} + \text{H}_2$ метилат натрия
Образование простых эфиров	$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{I—C}_2\text{H}_5 &\longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{NaI} \\ 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} &\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$
Образование сложных эфиров	$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} &\xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{SO}_4} \\ &\rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$
Замещение гидроксильной группы на галоген	$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HCl} &\longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \\ \text{CH}_3\text{OH} + \text{PCl}_5 &\longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{POCl}_3 + \text{HCl} \end{aligned}$
Дегидратация спиртов	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Окисление	$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} &\xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3\text{CHO} \\ &\text{уксусный альдегид} \\ \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3 &\xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3\text{COCH}_3 \\ &\text{ацетон} \end{aligned}$

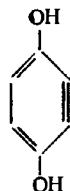
Органические соединения, содержащие гидроксильную группу, связанную непосредственно с бензольным ядром, называются *фенолами*. В зависимости от числа гидроксильных групп в ядре различают одно-, двух- и трехатомные фенолы:



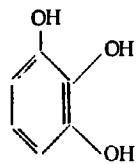
пирокатехин
(бенздиол-1, 2)



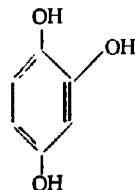
резорцин
(бенздиол-1, 3)



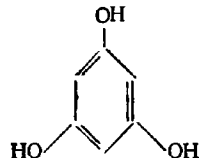
гидрохинон
(бенздиол-1, 4)



пирогаллом
(бензентриол-1, 2, 3)



оксигидрохинон
(бензентриол-1, 2, 4)



флороглюцин
(бензентриол-1, 3, 5)

Таблица 35. Некоторые способы получения фенолов

Название реакции	Примеры
Окисление изопропилбензола (кумола)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}(\text{CH}_3)_2 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OOH})(\text{CH}_3)_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{CH}_3\text{COCH}_3$ <p>кумол гидропероксид кумола фенол</p>
Гидроксирование галогенопроизводных	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaCl}$ <p>фенол</p>
Щелочное плавление	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{Na} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <p>фенолят натрия</p>

Название реакции	Примеры
Образование фенолятов	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O}$
Образование простых и сложных эфиров	$\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{I}-\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{OCH}_3 + \text{NaI}$ <p>анизол</p> $\text{CH}_3\text{COCl} + \text{NaOC}_6\text{H}_5 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_6\text{H}_5 + \text{NaCl}$ <p>фенилацетат</p>
Гидрирование	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} \xrightarrow{[\text{H}]} \text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$ <p>циклогексанол</p>
Галогенирование	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{Br}_3 + 3\text{HBr}$ <p>2, 4, 6-трибромфенол</p>
Сульфирование	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{SO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O}$ <p>оксibenзолсульфокислота</p>
Нитрование	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>нитрофенол</p>
Реакция фенола с ацетоном	$2\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{CH}_3\text{COCH}_3 \rightarrow \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ <p>4, 4'-диоксидифенилпропан (диан)</p>
Образование фенолформальдегидных полимеров	$(n+1) \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + n\text{CH}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}^+} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\left[\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2-\text{CH}_2\right]_{n-1}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ <p>новолачный полимер (термопластичный)</p>

АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ

Производные углеводородов, в молекулах которых содержится карбонильная группа, называются *альдегидами* и *кетонами* (*оксосоединениями*). Если карбонильная группа связана с одним радикалом и водородом (или двумя атомами водорода), такие оксосоединения называются альдегидами (группа —СНО называется альдегидной группой): R—СНО. Соединения, в которых карбонильная группа соединена с двумя одинаковыми или разными радикалами, называются кетонами: R—СО—R'.

В зависимости от характера радикалов, связанных с карбонильной группой, альдегиды и кетоны могут быть насыщенными и ненасыщенными.

Карбонильная группа — одна из наиболее активных функциональных групп. Ее двойная связь состоит из одной σ - и одной π -связи. В отличие от обычной двойной углерод-углеродной связи в этиленовых углеводородах двойная связь в карбонильной группе сильно поляризована (за счет разности электроотрицательностей атомов кислорода и углерода):

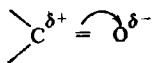


Таблица 37. Некоторые способы получения альдегидов и кетонов

Название реакции	Примеры
Окисление спиртов	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ <p style="text-align: center;">пропанол-1 пропаналь</p> $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$ <p style="text-align: center;">пропанол-2 пропанон</p>
Оксосинтез (карбонилирование)	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow \begin{cases} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO} \\ \text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CHO} \end{cases}$ <p style="text-align: center;">2-метилпропаналь</p>
Пиролиз кальциевых, марганцевых или магниевых солей карбоновых кислот	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \xrightarrow{t} \text{CaCO}_3 + \text{CH}_3\text{COCH}_3$
Гидратация ацетилена и его гомологов (реакция Кучерова)	$\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} [\text{CH}_2=\text{CHON}] \rightarrow \text{CH}_3-\text{CHO}$ <p style="text-align: center;">виниловый спирт</p>
Гидролиз дигалогенопроизводных	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5-\text{CHO} + 2\text{HCl}$ <p style="text-align: center;">1,1-дихлорпропан пропаналь</p> $\text{C}_2\text{H}_5\text{CCl}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{COCCH}_3 + 2\text{HCl}$ <p style="text-align: center;">2,2-дихлорбутан бутанон</p>

Таблица 38. Основные реакции альдегидов и кетонов

Название реакции	Примеры
Реакции присоединения по двойной связи карбонильной группы: водорода	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3\text{COCH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHONCH}_3$
циановодорода	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{HCN} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CN}$ <p style="text-align: center;">оксинитрил</p>

Название реакции	Примеры
гидросульфита натрия	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{SO}_3\text{Na}$
реактива Гриньяра	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{C}_2\text{H}_5\text{MgBr} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{OMgBr} \xrightarrow{\text{HBr}} \text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{C}_2\text{H}_5 + \text{MgBr}_2$
аммиака	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})\text{NH}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">ацетальдимин</p> $6\text{HCHO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ <p style="text-align: center;">гексаметилентетрамин (уротропин)</p>
спиртов	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{HOCH}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})\text{OC}_2\text{H}_5$ <p style="text-align: center;">полуацеталь</p>
Реакции замещения: образование оксимов и гидразонов	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2\text{N}-\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{N}-\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">гидроксиланн альдоксим</p> $\text{CH}_3\text{COCH}_3 + \text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{N}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">гидразон</p>
образование диалогенопропизов	$\text{CH}_3\text{COCH}_3 + \text{PCl}_5 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CCl}_2 + \text{POCl}_3$ <p style="text-align: center;">2,2-дихлорпропан</p>
Реакции окисления	$\text{CH}_3\text{CHO} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+\text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COONH}_4 + 2\text{Ag} + 3\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">реакция «серебряного зеркала»</p> $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2\text{CH}_3 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COOH}$ <p style="text-align: center;">пентанон-3</p>
Реакции полимеризации	$3\text{CH}_3\text{CHO} \xrightarrow{\text{H}^+} \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{CH} \quad \text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{O} \end{array}$ <p style="text-align: center;">паральдегид</p> $n\text{HCHO} \xrightarrow[\text{H}_2\text{O}]{\text{H}^+} \left[-\text{O}-\text{CH}_2- \right]_n$ <p style="text-align: center;">параформ</p> $2\text{CH}_3\text{CHO} \xrightarrow{\text{OH}^-} \text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO} + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">бутанол-3-аль (альдоль) кротоновый альдегид (бутен-2-аль)</p>
Реакции конденсации (альдольная и кротоновая)	

КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Производные углеводородов, в молекулах которых содержится одна или несколько карбоксильных групп ($-\text{COOH}$), называются *карбонowymi кислотами*. Общая формула карбонowych кислот $\text{R}-\text{COOH}$. В зависимости от характера радикалов, связанных с карбоксильной группой, карбонowe кислоты бывают предельными и непредельными. Число карбоксильных групп определяет *основность* карбонowych кислот (с одной группой — одноосновные, с двумя — двухосновные и т. д.).

Таблица 39. Некоторые способы получения карбонowych кислот

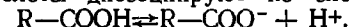
Название реакции	Примеры
Окисление алканов, спиртов, альдегидов и кетонов	$\text{CH}_3\text{CHO} \xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3-\text{COOH}$ уксусная кислота
Оксисинтез (карбонилирование)	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \begin{cases} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COOH} \end{cases}$ 2-метилпропановая кислота
Гидролиз нитрилов	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{N} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}^+} \text{CH}_3-\text{COOH} + \text{NH}_3$
Гидролиз тригалогенопроизводных	$\text{CH}_3-\text{CBr}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{HBr}$
Взаимодействие гидроксида натрия с оксидом углерода (II)	$\text{CO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{HCOONa} \xrightarrow{\text{H}^+} \text{HCOOH}$ муравьиная кислота
Окисление двухатомных спиртов	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{[\text{H}]} \text{OHC}-\text{CHO} \xrightarrow{[\text{O}]} \text{HOOC}-\text{COOH}$ этиленгликоль глиоксаль щавелевая кислота

Таблица 40. Основные реакции карбонowych кислот

Название реакции	Примеры
Образование солей	$\text{CH}_3-\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3-\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$
Образование галогенангидридов	$\text{CH}_3-\text{COOH} + \text{PCl}_5 \rightarrow \text{CH}_3-\text{COCl} + \text{POCl}_3 + \text{HCl}$ хлористый ацетил
Образование ангидридов	$2\text{CH}_3-\text{COOH} \rightarrow (\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ уксусный ангидрид
Образование сложных эфиров	$\text{CH}_3-\text{COOH} + \text{HOC}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ этилацетат
Декарбонилирование	$\text{HOOC}-\text{COOH} \rightarrow \text{HCOOH} + \text{CO}_2$

По количеству углеродных атомов в радикале кислоты делят на *нижние* (с небольшой молекулярной массой) и *высшие* (от C_{10} и выше).

Карбонowe кислоты диссоциируют по схеме



В ряду одноосновных карбонowych кислот наиболее сильной является муравьиная кислота, в ряду двухосновных — щавелевая кислота.

УГЛЕВОДЫ

Углеводы — органические соединения, содержащие в молекуле одновременно альдегидную или кетонную группу и несколько спиртовых групп, т. е. углеводы — это *многоатомные альдегидоспирты* (полиоксисальдегиды) или *многоатомные кетонспирты* (полиоксикетоны).

Все углеводы можно разделить на две большие группы: *простые* углеводы (моносахариды, или монозы) и *сложные* углеводы (полисахариды, или полиозы). В свою очередь, сложные углеводы подразделяют на *низкомолекулярные* (сахароподобные) углеводы — олигосахариды — и *высокомолекулярные* (несахароподобные).

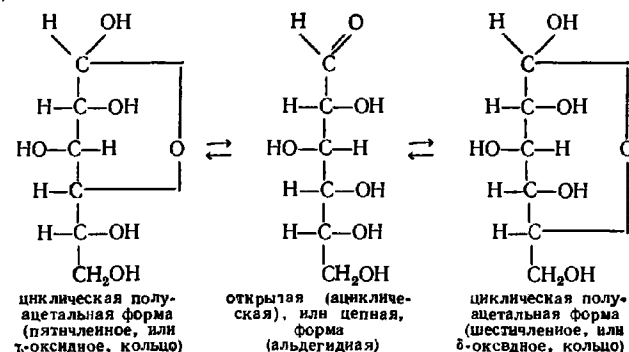
Моносахариды (монозы)

Общая формула моносахаридов $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$. В зависимости от характера оксогруппы (альдегидная или кетонная), входящей в состав молекулы моносахаридов, последние делятся на *альдозы* (полиоксисальдегиды) и *кетозы* (полиоксикетоны). По числу углеродных атомов моносахариды делят на *тетрозы* (C_4), *пентозы* (C_5), *гексозы* (C_6) и т. д. В природе чаще встречаются пентозы $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ и гексозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

Альдогексозы: глюкоза, галактоза, манноза, аллоза, гулоза, идоза, талоза, альтроза.

Кетогексозы: фруктоза, сорбоза, тагатаза, психоза.

Моносахариды существуют в нескольких таутомерных формах. Например, глюкоза в водном растворе существует в трех формах: *открытой* (альдегидной) и двух *циклических* (пятичленной и шестичленной):



Фруктоза также существует в растворе в виде открытой (кетонной) или двух циклических (γ -, δ -) формах.

В кристаллическом состоянии моносахариды имеют строение *внутренних циклических полуацеталей* (преимущественно шестичленных, или δ -оксидных, форм).

Проекционные α - и β -формы глюкозы и фруктозы в перспективной шестичленной циклической форме имеют вид

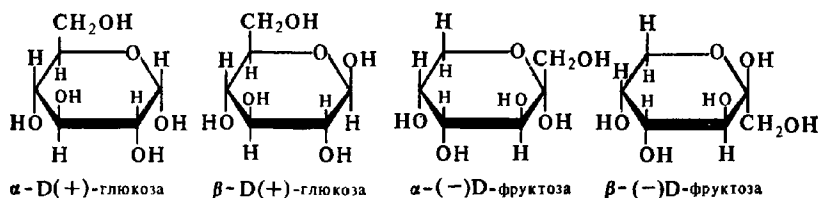


Таблица 41. Некоторые способы получения моносахаридов

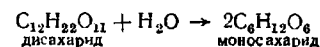
Название реакции	Примеры
Фотосинтез	$n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{h\nu} \text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n + n\text{O}_2$ хлорофилл
Гидролиз ди- и полисахаридов	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ дисахарид моносахарид $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ полисахарид моносахарид
Неполное окисление шестиатомных спиртов	$2(\text{CHON})_4 \xrightarrow{[\text{O}]} (\text{CHON})_4 + \text{C}=\text{O}$ сорбит альдогексоза кетогексоза

Таблица 42. Основные реакции моносахаридов

Название реакции	Примеры
Спиртовое брожение	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{[\text{дрожжи}]} 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$
Восстановление	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{H}_2} \text{HOCH}_2(\text{CHON})_4\text{CH}_2\text{OH}$ D-глюкоза D-сорбит
Окисление	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{HOOC}-(\text{CHON})_4-\text{COOH} \text{ или } \text{HOCH}_2-(\text{CHON})_4-\text{COOH}$ D-сахарная кислота D-глюконовая кислота
Алкилирование	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{HOCH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{11}(\text{OCH}_3)\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$ D-глюкоза O-метил-D-глюкозид
Ацилирование	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 5(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7(\text{COCH}_3)_5\text{O}_6 + 5\text{CH}_3\text{COOH}$

Общая формула дисахаридов $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. К дисахаридам относятся *сахароза* (свекловичный или тростниковый сахар), *лактоза* (молочный сахар), *мальтоза* (солодовый сахар), *целлобиоза* и др.

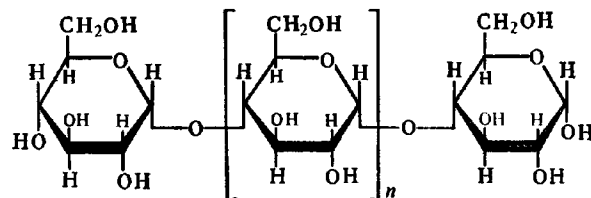
При гидролизе молекула дисахарида распадается на две одинаковые или различные молекулы моносахаридов:



Полисахариды

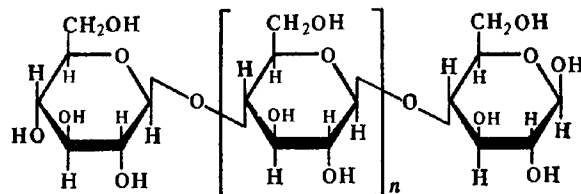
Общая формула полисахаридов $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Основными представителями несакхароподобных полисахаридов являются *крахмал* и *целлюлоза* (клетчатка).

В состав крахмала входят два полисахарида: *амилоза* (20—30%) и *амилопектин* (70—80%). Эти полисахариды построены из остатков α -D-глюкозы:



Макромолекулы амилозы построены линейно, а амилопектина — с разветвлениями.

В состав целлюлозы входят остатки молекул β -D-глюкозы:



Макромолекулы целлюлозы имеют линейное строение.

Таблица 43. Основные реакции полисахаридов

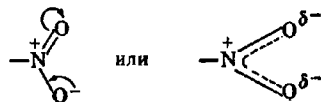
Название реакции	Примеры
Гидролиз: крахмала	$(C_6H_{10}O_5)_n \xrightarrow{H^+} \text{растворимый крахмал} \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_m \rightarrow \text{декстрины}$ $\rightarrow \frac{n}{2} C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow n C_6H_{12}O_6$ <p style="text-align: center;">мальтоза глюкоза</p>
целлюлозы	$(C_6H_{10}O_5)_n \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_x \rightarrow \frac{n}{2} C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow n C_6H_{12}O_6$ <p style="text-align: center;">целлюлоза амилоид целлобиоза глюкоза</p>
Образование ксантогена целлюлозы	$[C_6H_7O_2(OH)_2ONa]_n + nCS_2 \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_2OCSNa]_n$ <p style="text-align: center;">ксантогенат целлюлозы</p>
Образование нитрата целлюлозы	$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + 3nHNO_3 \xrightarrow{H_2SO_4} [C_6H_7O_2(ONO_2)_3]_n + 3nH_2O$

АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

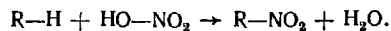
Нитросоединения

Производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на одну или несколько нитро-групп ($-\text{NO}_2$), называются *нитросоединениями*.

Строение нитрогруппы можно представить в виде структур:



Общая формула нитросоединений $\text{R}-\text{NO}_2$. Основным методом получения нитросоединений является реакция парофазного или жидкофазного нитрования алканов:



Нитрогруппа делает подвижными водородные атомы в α -положении углеводородной цепи.

Таблица 44. Основные реакции нитросоединений

Название реакции	Примеры
Восстановление	$\text{CH}_3\text{NO}_2 + 6\text{H} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Таутомерия первичных и вторичных нитросоединений	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{N} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O} \end{array} \xrightleftharpoons[\text{HCl}]{\text{NaOH}} \text{CH}_3-\text{CH}=\text{N} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \rightleftharpoons$ $\xrightleftharpoons[\text{HCl}]{\text{NaOH}} \text{CH}_3-\text{CH}=\text{N} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{ONa} \end{array}$
Взаимодействие первичных и вторичных нитросоединений с азотистой кислотой	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NO}_2 + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow \text{CH}_3-\underset{\text{NO}_2}{\text{CH}}-\text{N}=\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">нитроловая кислота</p> $\rightleftharpoons \text{CH}_3-\underset{\text{NO}_2}{\text{C}}=\text{N}-\text{OH}$ $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{NO}_2 + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{NO}_2)\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">псевдонитрол</p>

Амины

Производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на одну или несколько амино-групп ($-\text{NH}_2$), называются *аминами*. Общая формула аминов $\text{R}-\text{NH}_2$.

Амины можно рассматривать как производные аммиака, получаемые замещением атомов водорода алкильными группами. В зависимости от того, сколько атомов водорода замещено, различают амины первичные (I), вторичные (II) и третичные (III): RNH_2 (I); R_2NH (II); R_3N (III).

Основные методы получения аминов:

1) восстановление нитросоединений в присутствии катализаторов (Pt, Pd, Ni):



2) аминирование галогеналкилов в спиртовом растворе:

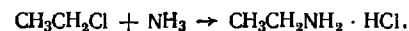


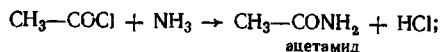
Таблица 45. Основные реакции аминов

Название реакции	Примеры
Образование солей	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+ + \text{Cl}^-$
Алкилирование и ацилирование	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{ClCH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{NHCH}_3 + \text{HCl}$ метилэтиламин $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{ClCOCH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{NHCOCH}_3 + \text{HCl}$ этилацетамид
Взаимодействие с азотистой кислотой	$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ $(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ диметилнитрозамин
Диазотирование ароматических аминов	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{NaON}=\text{O} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2\text{Cl} + \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ хлористый фенилдиазоний

Амиды

Производные углеводородов, в молекулах которых атом водорода замещен на амидную группу ($-\text{CONH}_2$), называются *амидами*. Общая формула амидов $\text{R}-\text{CONH}_2$. Амиды можно получать:

1) из галогенангидридов:



2) сплавлением аммониевых солей карбоновых кислот:

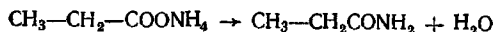


Таблица 46. Основные реакции амидов

Название реакции	Примеры
Образование солей с сильными кислотами	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \left[\text{CH}_3-\overset{+}{\text{C}} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{NH}_2 \end{matrix} \right] \text{Cl}^-$
Гидролиз	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}^+} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3$
Взаимодействие с азотистой кислотой	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$
Восстановление	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ этиламин
Превращение амидов в нитрилы	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 \xrightarrow{\text{P}_2\text{O}_5} \text{CH}_3\text{CN} + \text{H}_2\text{O}$ этилнитрил

Аминокислоты

Производные углеводородов, в молекулах которых содержатся одновременно карбоксильная группа и аминогруппа, называются *аминокислотами*. В водном растворе аминокислоты находятся в виде биполярных ионов: $\text{H}_3\text{N}^+-\text{R}-\text{COO}^-$.

Аминокислоты можно получать гидролизом белковых веществ, а также путем синтеза, например из галогензамещенных карбоновых кислот:

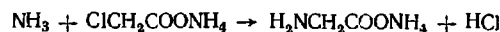


Таблица 47. Основные реакции аминокислот

Название реакции	Примеры
Образование солей	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} \xrightleftharpoons[\text{NaOH}]{\text{HCl}} \left[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COOH} \right] \text{Cl}^-$ глицин
Образование сложных эфиров	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} + \text{HOC}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$
Взаимодействие с азотистой кислотой	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} + \text{HO}-\text{N}=\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{HOCH}_2\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$
Отношение α -, β - и γ -аминокислот к нагреванию	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} + \text{HOOC}-\text{CH}-\text{CH}_3 \longrightarrow \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ $\longrightarrow \begin{array}{c} \text{CO} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_3\text{C}-\text{HC} \quad \text{NH} \\ \quad \quad \\ \text{HN} \quad \quad \text{CH}-\text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CO} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}$ дигетопиперазин $\text{CH}_3-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH} + \text{NH}_3$ кротоновая кислота $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH} \rightarrow \text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ϵ -аминокапроновая кислота ϵ -капролактам

Аминокислоты выполняют роль структурных единиц, из которых состоят все животные и растительные белки. Белки — это природные высокомолекулярные органические вещества (биополимеры), макромолекулы которых построены из огромного числа остатков аминокислот (в различном сочетании), соединенных между собой *пептидными связями* ($-\text{CO}-\text{NH}-$). Около 20 аминокислот входят в белковые вещества в качестве постоянных и незаменимых составных частей.

Циклические соединения, содержащие в цикле не только углеродные атомы, но и атомы других элементов (O, N, S), называются *гетероциклическими*. В состав цикла могут входить один, два, три гетероатома и более. В зависимости от общего числа атомов, входящих в состав цикла, различают трех-, четырех-, пяти-, шестичленные гетероциклы и т. д.

Гетероциклические соединения классифицируют по размеру цикла и числу гетероатомов, входящих в его состав:

1. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом:



фуран

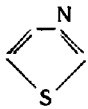


тиофен

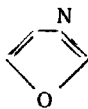


пиррол

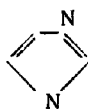
2. Пятичленные гетероциклы с двумя гетероатомами:



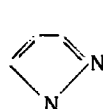
тиазол



оксазол

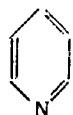


имидазол



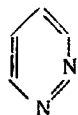
пиразол

3. Шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом:

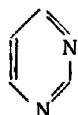


пиридин

4. Шестичленные гетероциклы с двумя гетероатомами:



пиримидин



пиримидин



пиримидин

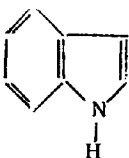


оксазин

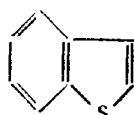


тиазин

5. Конденсированные гетероциклические системы:



индол



нафталин



хинолин

Высокомолекулярные соединения — это вещества, имеющие большую молекулярную массу (достигающую часто нескольких миллионов) и обладающие особыми свойствами.

Макромолекулы полимера построены из одинаковых участков цепи — остатков мономеров. Эти остатки, много раз повторяющиеся в макромолекулярной цепи, называются *элементарными звеньями*. Например, элементарными звеньями полиэтилена и полихлорвинила являются соответственно ... —CH₂—CH₂— ...; ... —CH₂—CHCl— ...

Число элементарных звеньев в макромолекуле, обозначенное индексом «n», называется *степенью полимеризации*.

В зависимости от характера расположения элементарных звеньев в макромолекулярной цепи различают *регулярные* и *нерегулярные* полимеры. Регулярность строения выражается в правильно повторяющемся пространственном расположении атомов в макромолекулярной цепи. С этим связано и понятие стереорегулярности полимеров, которое определяется порядком в пространственном расположении групп-заместителей в основной цепи (макромолекулы).

Возможны три вида пространственного расположения замещающих групп. В зависимости от этого могут быть три типа полимеров: *изотактические*, *синдиотактические* и *атактические*. Первые две структуры, или конфигурации, — изотактическая и синдиотактическая — являются структурами *стереорегулярными*.

Высокомолекулярные соединения делятся на два больших класса: *гомоцепные* и *гетероцепные*. У гомоцепных полимеров цепь построена из одинаковых атомов, а у гетероцепных — из разных. Среди гомоцепных высокомолекулярных соединений наиболее важны те, макромолекулярные цепи которых содержат только углеродные атомы. Такие высокомолекулярные соединения называются *карбоцепными*.

Высокомолекулярные соединения получают в основном двумя методами: полимеризацией и поликонденсацией.

Полимеризация — реакция соединения нескольких молекул мономера, которая не сопровождается изменением элементного состава последних, например $n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow [-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$.

Полимеризация, протекающая с участием свободных радикалов, называется *радикальной*, а идущая через образование ионов — *ионной* (каталитической).

Различают *катионную* (карбониевую) и *анионную* (карбанионную) полимеризации. В радикальной полимеризации активным центром является радикал, в ионной — ионы. Радикальная и ионная полимеризации — цепные процессы. Как всякий цепной процесс, радикальная и ионная полимеризации протекают через три основные стадии:

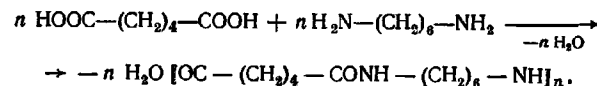
иницирование (образование свободных радикалов или ионов);
рост цепи (многократное присоединение мономера к растущему радикалу или иону);
обрыв цепи (прекращение роста цепи, связанное с дезактивацией активного центра).

Название полимера и формула	Название и формула исходного мономера	Условия синтеза полимера	Область применения полимера
Карбоцепные полимеры			
Полиэтилен $[-CH_2-CH_2-]_n$	Этилен $CH_2=CH_2$	Радикальная полимеризация при высоком давлении (при 125°C) или ионная полимеризация при небольшом давлении в присутствии катализаторов Полимеризация в растворе в присутствии катализаторов	Пленки, трубы, облицовочный материал, оболочки кабелей, шланги, емкости для агрессивных жидкостей, предметы широкого потребления Упаковочные пленки, посуда, электроизоляционные покрытия, трубы, большие емкости, детали для холодильников и радиоприемников. Синтетические волокна Электроизоляционные покрытия. Антикоррозионный материал
Полипропилен $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ CH_3 \end{array} \right]_n$	Пропилен $CH_3-CH=CH_2$		
Полиизобутилен $\left[\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ -CH_2-C- \\ \\ CH_3 \end{array} \right]_n$	Изобутилен $CH_2=C(CH_3)-CH_3$	Ионная полимеризация в растворе в присутствии катализаторов	
Полибутадиен (1,4-транс-) $[-CH_2-CH=CH-CH_2-]_n$	Бутадиен-1,3 (дивинил) $CH_2=CH-CH=CH_2$	Радикальная полимеризация в присутствии пероксидных инициаторов (ROOH, ROOR) Стереоспецифическая полимеризация в растворе в присутствии пероксидных инициаторов	Автомобильные шины, резиновая обувь и другие резиновые изделия Технические резиновые изделия (шины для автомобилей и самолетов и т. д.)
Полиизопреи (1,4-транс-) $[-CH_2-C(CH_3)=CH-CH_2-]_n$	Изопреи $CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$		
Полистирол $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ C_6H_5 \end{array} \right]_n$	Стирол (винилбензол) $CH_2=CH-C_6H_5$	Радикальная полимеризация блочным или эмульсионным методом в присутствии пероксидных инициаторов	Электроизоляционный материал, пенопласты, емкости для агрессивных жидкостей. Сополимер с бутадиеном
Полихлорвинил (ПХВ) $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ Cl \end{array} \right]_n$	Хлористый винил (винилхлорид) $CH_2=CHCl$	Эмульсионная или суспензионная полимеризация в присутствии пероксидных инициаторов	Листовые и пленочные материалы, покрытия, кабельная изоляция, электролитические ванны, трубы, шланги
Политетрафторэтилен $[-CF_2-CF_2-]_n$	Тетрафторэтилен $CF_2=CF_2$	Эмульсионная полимеризация в присутствии пероксидных инициаторов	Электро- и радиотехнические изделия, детали химической аппаратуры, электроизолирующие пленки и волокна
Полихлоропрен (1,4-транс-) $\left[\begin{array}{c} -CH_2-C(CH_3)=CH-CH_2- \\ \\ Cl \end{array} \right]_n$	Хлоропрен (2-хлорбутадиен-1,3) $CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$	Полимеризация в присутствии пероксидных инициаторов	Беззастойные шланги, транспортные ленты, ремни, электроизоляция для кабелей
Поливиниловый спирт $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ OH \end{array} \right]_n$	Винилацетат $CH_2=CH-OCOCH_3$	Кислотный или щелочной гидролиз поливинилацетата	Эмульгатор водных эмульсий в пищевой и фармацевтической промышленности. Для производства гибких труб, устойчивых к действию масел и бензола
Поливинилацетат $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ OCOCH_3 \end{array} \right]_n$	Винилацетат $CH_2=CH-OCOCH_3$	Радикальная полимеризация при нагревании в присутствии пероксидных инициаторов	Для покрытия дерева, тканей, бумаги (моющиеся обои). Для изготовления водоэмульсионных красок
Полиметилметакрилат $\left[\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ -CH_2-C- \\ \\ COOCH_3 \end{array} \right]_n$	Метилметакрилат $CH_2=C(CH_3)COOCH_3$	Радикальная полимеризация при нагревании в присутствии пероксидных инициаторов	Декоративные плитки, остекление средств транспорта, в строительстве
Полиакрилонитрил $\left[\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ CN \end{array} \right]_n$	Акрилонитрил $CH_2=CH-CN$	Эмульсионная радикальная полимеризация в присутствии пероксидных инициаторов	Для изготовления волокна «нитрон». Добавка к шерсти для изготовления одежды, искусственного меха
Фенолформальдегидные полимеры $\left[\begin{array}{c} OH \quad OH \\ \quad \\ \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} CH_2 \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} CH_2 \text{---} \\ \quad \\ CH_2OH \quad CH_2OH \end{array} \right]_n$	Фенол C_6H_5OH Формальдегид CH_2O	Поликонденсация при нагревании в присутствии кислот или оснований	Электроаппаратура, бытовые приборы, химическая аппаратура, в строительстве

Название полимера и формула	Название и формула исходного мономера	Условия синтеза полимера	Область применения полимера
Полиформальдегид $[-CH_2-O-]_n$	Формальдегид CH_2O	Полимеризация абсолютно сухого формальдегида в безводной среде в присутствии третичных аминов	Детали приборов, механизмов, лаки, для производства синтетического волокна
Карбамидформальдегидные полимеры $H-[-NH-CONH-CH_2-]_n-OH$	Карбамид $O=C(NH_2)_2$ Формальдегид CH_2O	Поликонденсация при нагревании в присутствии кислот или оснований	Декоративные отделочные материалы, используемые в качестве тепло- и звукоизоляции в строительстве
Поли-ε-капроамид (полиамид-6; капрон) $[-NH-(CH_2)_5-CO-]_n$	Капролактам $CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CO$ Адипиновая кислота $HOOC-(CH_2)_4-COOH$ Гексаметилендиамин $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$	Полимеризация в присутствии воды (активатор)	Волокно «капрон» (для изготовления обычных и кордных тканей)
Полигексаметиленадипамид (анид; полиамид-6,6) $H-[-NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO-]_n$	Адипиновая кислота $HOOC-(CH_2)_4-COOH$ Гексаметилендиамин $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$	Поликонденсация с использованием кислот и дегидратирующих катализаторов	Волокна для изделий широкого и для кордной ткани. Гластмассы для технических изделий
Полиорганосилоксаны $\left[\begin{array}{c} R \\ \\ R-Si-O \\ \\ R \end{array} \right]_n$	Силандиолы $\begin{array}{c} R \\ \\ HO-Si-OH \\ \\ R \end{array}$	Полниконденсация при нагревании	Каучук для изготовления электроизоляционных материалов, уплотняющих прокладок и т. п.

Разновидностью анионной полимеризации является **анионно-координационная** полимеризация, протекающая под влиянием катализаторов Циглера—Натта. Их использование позволяет получать стереорегулярные полимеры.

Поликонденсация — процесс образования полимеров путем химического взаимодействия молекул мономеров, сопровождающийся выделением низкомолекулярных веществ (H_2O , HCl , NH_3 и др.), например:



В табл. 48 приведены условия синтеза и области применения некоторых высокомолекулярных соединений.

РАЗДЕЛ 4 РАСТВОРЫ

ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. ИСТИННЫЕ РАСТВОРЫ

Дисперсной системой называется система, в которой одно вещество (дисперсная фаза) в виде очень мелких частиц распределено в другом веществе (дисперсионной среде).

По величине частиц (степени дисперсности) распределенного вещества различают **грубодисперсные** системы (взвеси, размер частиц более 100 нм) и **тонкодисперсные** системы (коллоидные, размер частиц от 1 до 100 нм).

Таблица 49. Типы дисперсных систем

Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Условное обозначение	Примеры
Газ	Газ	$\Gamma + \Gamma$	Смесь газов
Жидкость	Газ	$\text{Ж} + \Gamma$	Туман
Твердое вещество	Газ	$\text{Т} + \Gamma$	Дым
Газ	Жидкость	$\Gamma + \text{Ж}$	CO_2 в воде
Жидкость	Жидкость	$\text{Ж} + \text{Ж}$	Молоко (капельки жира распределены в воде)
Твердое вещество	Жидкость	$\text{Т} + \text{Ж}$	Соль в воде
Газ	Твердое вещество	$\Gamma + \text{Т}$	Раствор водорода в палладии
Жидкость	Твердое вещество	$\text{Ж} + \text{Т}$	Жемчуг (мельчайшие капельки воды распределены в массе карбоната кальция)
Твердое вещество	Твердое вещество	$\text{Т} + \text{Т}$	Твердые растворы, сплавы

В зависимости от агрегатного состояния образующих их веществ грубодисперсные системы разделяют на *сuspензии* (твердое вещество распределено в жидкости) и *эмульсии* (жидкость распределена в жидкости).

Системы с размерами частиц менее 1 нм образуют истинные растворы. В них диспергированное вещество находится в виде молекул или ионов. В отличие от взвесей или коллоидных растворов истинные растворы представляют собой однофазные системы.

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРОВ

Наиболее часто пользуются процентной, молярной, а также нормальной и моляльной концентрациями.

Процентная концентрация означает количество граммов растворенного вещества в 100 г раствора. Например, в 100 г 10%-ного раствора азотнокислого натрия содержится 10 г соли и 90 г растворителя.

Молярная концентрация, или **молярность**, означает число молей растворенного вещества, содержащееся в 1 л раствора. Раствор, содержащий в 1 л раствора 0,01 г/моль растворенного вещества, называют **сантимольным**, 0,1 г/моль растворенного вещества — **децимольным**, 1 г/моль растворенного вещества — **одномольным** (молярным).

Нормальная (эквивалентная) концентрация, или **нормальность**, показывает число эквивалентных масс, содержащееся в 1 л раствора. Раствор, содержащий 1 эквивалентную массу (1 г-экв) вещества в 1 л, называется **нормальным**. Растворы, которые содержат 0,001; 0,01; 0,1 эквивалентные массы вещества в 1 л раствора, соответственно называются миллинормальными, сантинормальными и децинормальными.

Моляльным раствором называется раствор, содержащий 1 моль растворенного вещества в 1000 г растворителя.

Формулы перехода от одних выражений концентраций растворов к другим

Обозначения и сокращения: A — число граммов растворенного вещества в 100 г раствора (масс. %); B — число граммов растворенного вещества на 100 г растворителя; C — число граммов растворенного вещества в 1 л раствора; \mathcal{E} — число эквивалентных масс растворенного вещества в 1 л раствора; M — число молей растворенного вещества в 1 л раствора; m — число молей растворенного вещества на 1000 г растворителя; экв. м. — эквивалентная масса растворенного вещества, г/моль; мол. м. — молекулярная масса растворенного вещества, г/моль; d — плотность раствора, г/мл.

$$A = \frac{C}{10 \cdot d} = \frac{100 \cdot B}{100 + B} = \frac{\mathcal{E} \cdot \text{экв. м.}}{10 \cdot d} = \frac{M \cdot \text{мол. м.}}{10}$$

$$B = \frac{100 \cdot A}{100 - A} = \frac{100 \cdot C}{(1000 \cdot d) - C} = \frac{m \cdot \text{мол. м.}}{10}$$

$$C = A \cdot 10 \cdot d = \frac{1000 \cdot B \cdot d}{100 + B} = \mathcal{E} \cdot \text{экв. м.} = M \cdot \text{мол. м.};$$

$$\mathcal{E} = \frac{C}{\text{экв. м.}} = \frac{A \cdot 10 \cdot d}{\text{экв. м.}} = \frac{M \cdot \text{мол. м.}}{\text{экв. м.}};$$

$$M = \frac{C}{\text{мол. м.}} = \frac{A \cdot 10 \cdot d}{\text{мол. м.}} = \frac{\mathcal{E} \cdot \text{экв. м.}}{\text{мол. л.}};$$

$$m = \frac{10 \cdot B}{\text{мол. м.}} = \frac{M \cdot 1000}{(1000 \cdot d - C)}$$

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА ЗАДАННОЙ ПРОЦЕНТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

1. Растворение вещества в растворителе.

Используемая формула:

$$x = \frac{A \cdot a}{100}; \quad b = a - x, \quad \text{где } x \text{ — масса растворяемого вещества, необходимая для приготовления требуемого количества (a) раствора с заданной процентной концентрацией (A); } b \text{ — масса растворителя.}$$

2. Растворение кристаллогидрата в растворителе.

При растворении кристаллогидрата в воде необходимо учитывать разбавление раствора за счет кристаллизационной воды.

Используемая формула:

$$x = \frac{A_{\text{б.в.}} \cdot z}{1 - \frac{A_{\text{б.в.}}(z - 1)}{100}},$$

где x — масса кристаллогидрата, которую надо растворить в 100 г воды, чтобы приготовить раствор с заданной концентрацией; $z = \frac{M_1}{M}$ (M_1 и M — молекулярные массы кристаллогидрата и безводного вещества); $A_{\text{б.в.}}$ — требуемая концентрация безводного вещества в г на 100 г воды.

3. Приготовление раствора с требуемой концентрацией по правилу смешения («правило креста»).

Требуемую концентрацию записывают в центре «креста», а концентрации исходных растворов — у концов обеих линий слева (большая — вверх, меньшая — вниз). Затем из записанных чисел вычитают величину, стоящую

Примеры расчета. 1. Приготовить 40 г 10%-ного раствора вещества.

$$a = 40 \text{ г}; \quad A = 10\%; \quad b = 40 - 4 = 36 \text{ г, так как } x = \frac{10 \cdot 40}{100} = 4 \text{ г.}$$

Таким образом, для приготовления раствора необходимо в 36 г растворителя растворить 4 г вещества.

2. Приготовить 40%-ный раствор $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

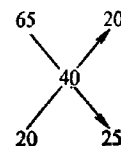
$$M_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{CuSO}_4} + M_{5\text{H}_2\text{O}} \\ M_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 159,6 + 90 = 249,6 \\ z = 249,6/159,6 = 1,56.$$

40%-ный раствор CuSO_4 содержит 66,67 г CuSO_4 на 100 г воды (см. табл. 50).

$$x = \frac{66,67 \cdot 1,56}{1 - 66,67(1,56 - 1)/100} = \frac{104,0}{1 - 37,3/100} = \frac{104,0}{0,627} = 165,8.$$

Таким образом, для приготовления раствора необходимо растворить 165,8 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в 100 г воды.

3. Приготовить 40%-ный раствор из 65%-ного и 20%-ного растворов



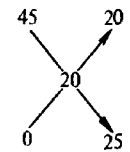
в центре, и разности записывают на тех же линиях (справа). Полученные числа (справа — вверх и вниз) указывают, сколько массовых частей каждого раствора следует взять, чтобы получить раствор требуемой концентрации.

4. Разбавление раствора до требуемой концентрации прибавлением растворителя.

Поступают так же, как и в предыдущем случае, но вместо меньшей концентрации внизу ставят «0».

Таким образом, для приготовления 40%-ного раствора необходимо взять 20 мас. ч. 65%-ного раствора и 25 мас. ч. 20%-ного раствора.

4. Приготовить 20%-ный раствор из 45%-ного раствора.



Таким образом, для приготовления 20%-ного раствора необходимо взять на 20 мас. ч. 45%-ного раствора 25 мас. ч. растворителя.

Для приготовления растворов различной процентной концентрации можно воспользоваться табл. 50 (A — заданная концентрация вещества в растворе, масс. %; B — число граммов вещества, которое необходимо растворить в 100 г растворителя).

(Приготовление растворов нормальной и молярной концентрации см. в разд. 6.)

Таблица 50. Количество растворителя, необходимое для приготовления раствора с требуемой концентрацией (масс. %)

A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	B → 0,00	1,01	2,04	3,09	4,17	5,26	6,43	7,53	8,70	9,89
10	11,11	12,36	13,63	14,94	16,23	17,65	19,05	20,48	21,95	23,46
20	25,00	26,58	28,21	29,87	31,58	33,33	35,14	36,99	38,89	40,84
30	42,85	44,94	47,05	49,25	51,32	53,85	56,25	58,74	61,29	63,94
40	66,67	69,49	72,41	75,44	78,57	81,81	85,19	88,67	92,30	96,07
50	100,00	104,08	108,33	112,77	117,39	122,22	127,27	132,56	138,10	143,90
60	150,00	156,41	163,16	170,27	177,78	185,41	194,12	203,03	212,50	222,50
70	233,33	244,83	257,14	270,37	284,62	300,00	316,67	334,78	354,55	376,19
80	400,00	426,32	455,56	488,24	525,00	566,67	614,29	669,23	733,33	809,09
90	900	1011	1150	1329	1566	1900	2400	3234	4900	9900

A	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	B → 0,00	0,1001	0,2004	0,3009	0,4016	0,5026	0,604	0,705	0,8065	0,908
1	1,010	1,112	1,215	1,317	1,420	1,523	1,626	1,730	1,833	1,937
2	2,041	2,145	2,250	2,354	2,459	2,564	2,669	2,775	2,881	2,987
3	3,097	3,200	3,305	3,413	3,520	3,712	3,735	3,842	3,950	4,050
4	4,167	4,276	4,384	4,494	4,608	4,712	4,823	4,932	5,042	5,156
5	5,264	5,374	5,485	5,598	5,709	5,822	5,932	6,046	6,156	6,270
6	6,428	6,495	6,610	6,724	6,838	6,952	7,071	7,181	7,296	7,411
7	7,527	7,644	7,759	7,882	7,991	8,110	8,221	8,343	8,461	8,576
8	8,696	8,815	8,933	9,051	9,171	9,290	9,410	9,528	9,649	9,770
9	9,890	10,01	10,13	10,23	10,38	10,50	10,62	10,74	10,88	10,98

РАСТВОРИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Таблица 51. Значения растворимости в граммах безводного вещества А в 100 г раствора (масс. %)

A	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
AgNO ₃	53,5	61,8	68,6	73,2	77,0	80,0	82,5	86,7	90,1
Al(NO ₃) ₃	37,8	40,2	43,0	44,9	46,3	49,1	50,9	54,6(70°)	—
Al ₂ (SO ₄) ₃	23,8	25,1	26,7	28,8	31,4	34,3	37,2	42,2	47,1
BaCl ₂	24,0	25,0	26,3	27,6	29,0	30,4	31,7	34,4	37,0
Ba(ClO ₃) ₂	14,5	17,5	20,6	22,8	24,9	26,8	—	31,5	34
Ba(NO ₃) ₂	4,8	6,5	8,3	10,4	12,4	14,6	16,9	21,3	25,5
BaO	1,5	2,2	3,4	4,8	6,9	10,0	15,8	—	—
CaCl ₂	37,3	39,4	42,7	50,1	53,5	—	57,8	59,5	61,4
Ca(NO ₃) ₂	50,5	53,6	56,4	60,4	66,2	73,8	—	78,2	78,4
CaO	0,13	—	0,123	0,113	0,104	0,096	0,086	0,067	—
CaSO ₄	0,176	0,193	0,202	0,210	0,211	—	0,201	—	—
CoCl ₂	30,2	31,0	34,9	36,1	39,4	48,3	48,4	49,0	50,7
Co(NO ₃) ₂	45,7	—	50,0	—	55,9	—	62	68	—
CrO ₃	62,0	—	62,5	62,9	63,5	64,6	65,1	—	67,4
CuCl ₂	40,7	41,5	42,2	—	44,7	45,0	—	49,3	—
Cu(NO ₃) ₂	45,0	50,0	55,6	—	61,5	63,2	64,2	67,5	—
CuSO ₄	12,9	14,8	17,2	20,0	22,8	25,1	28,1	34,9	42,4
FeCl ₂	—	—	38,4	39,6	40,8	42,2	43,9	45,8(70°)	—
FeCl ₃	42,7	45,0	47,9	51,6	—	—	—	—	—
FeSO ₄	13,5	17,0	21,0	24,8	28,7	32,3	—	—	—
H ₃ BO ₃	2,5	3,5	4,8	6,3	8,0	10,4	12,9	19,1	28,7
HIO ₃	70,3	—	71,7	—	73,7	—	75,9	78,3	80,3
HgCl ₂	4,12	5,3	6,2	—	8,8	10,12	12,2	19,5	35,1
KBr	34,5	—	39,7	—	43,2	44,8	46,2	48,8	51,2
KBrO ₃	3,0	4,5	6,4	8,8	11,7	14,7	18,6	25,3	33,2
K ₂ CO ₃	51,9	52,2	52,8	53,4	53,9	54,8	55,9	58,3	60,9
KCl	22,2	23,8	25,5	27,2	28,7	30,1	31,3	33,8	36,0
KClO ₃	3,2	4,8	6,8	9,2	12,7	16,5	20,6	28,4	36,0
KClO ₄	0,7	1,1	1,7	2,05	—	5,1	—	7,9	18,2
K ₂ CrO ₄	36,4	37,9	38,9	39,5	40,1	40,8	42,1	44,5	46,5
K ₂ Cr ₂ O ₇	4,43	7,5	11,1	15,4	20,6	25,9	31,2	41,1	50,5
KI	56,1	57,7	59,1	60,4	61,5	62,7	63,8	65,8	67,6
KIO ₃	4,5	—	7,5	10,5	11,4	13,2	15,6	19,9	24,4
K ₄ Fe(CN) ₆	13,0	17,5	22,4	26,9	29,9	—	35,9	40,7	43,6
KMnO ₄	2,75	4,10	6,00	8,3	11,2	14,4	19,0	—	—
KNO ₃	11,6	17,7	24,1	31,5	39,1	46,2	52,5	62,8	71,1
KOH	49,2	50,8	52,8	55,8	—	58,3	—	—	64
K ₂ SO ₄	6,87	8,47	10,0	11,5	13,0	14,2	15,4	17,6	19,4
LiOH	10,6	10,8	11,0	11,3	11,7	12,1	12,8	14,2	16,0
MgCl ₂	34,6	34,9	35,3	—	36,5	—	37,9	39,8	42,2
Mg(NO ₃) ₂	—	39,8	41,2	42,7	44,1	—	44,7	51,5	—
MgSO ₄	—	23,6	26,2	29,0	31,3	33,5	35,5	38,6	40,6
NH ₄ Cl	23,0	25,0	27,3	29,3	31,4	33,5	35,6	39,6	43,6
NH ₄ HCO ₃	11,0	13,7	17,5	21,3	24,2	—	30,0	—	—
NH ₄ NO ₃	54,2	59,1	63,9	70,8	74,8	78,0	80,2	86,2	91,0
(NH ₄) ₂ SO ₄	41,4	42,2	43,0	43,8	44,8	45,8	46,8	48,8	50,8
Na ₂ B ₄ O ₇	1,38	1,58	2,52	3,75	—	9,52	16,7	23,9	34,3
NaBr	44,3	—	47,5	49,5	51,4	53,7	54,1	54,2	54,8
NaBrO ₃	21,6	—	27,7	—	38,4	—	38,5	43,1	47,6
Na ₂ CO ₃	6,4	11,2	17,8	29,0	33,2	32,2	31,7	31,1	31,1
NaCl	26,3	26,3	26,4	26,5	26,7	26,9	27,1	27,6	28,2

A	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°	80°C	100°C
NaClO ₃	45,1	—	49,7	—	56,5	—	59,5	63,6	67,1
Na ₂ CrO ₄	24,1	33,4	44,6	47,0	49,0	51,2	53,5	—	—
NaI	61,4	62,8	64,2	65,5	67,2	69,5	72,0	74,7	75,2
NaIO ₃	2,44	—	8,34	—	12,6	—	17,7	21,7	25,3
NaHCO ₃	6,45	7,5	8,76	9,96	11,3	12,7	14,1	—	—
NaNO ₂	41,9	43,8	45,8	47,8	49,6	51,0	—	57,0	62,0
NaNO ₃	42,2	44,5	46,8	49,0	51,2	53,3	55,5	59,7	64,5
NaOH	—	34,0	52,2	54,3	56,3	59,1	63,5	75,7	77,6
Na ₃ PO ₄	4,3	7,6	10,8	14,0	16,8	22,7	28,5	35,1(75°)	—
Na ₂ HPO ₄	1,8	3,7	7,2	22,6	—	44,5	47,6	49,3(85°)	—
				(32,5°)			(59°)		
Na ₂ S	—	13,4	15,8	18,4	22,2	20,6	28,1	32,9	—
Na ₂ SO ₄	—	—	—	33,5	32,5	32	30,5	30(90°)	29,9
							(70°)		
Na ₂ S ₂ O ₃	34,4	37,9	41,2	45,9	50,7	62,9	67,4	71,3	72,7
Ni(NO ₃) ₂	44,2	—	48,5	51,3	54,3	58,2	—	—	—
NiSO ₄	—	—	—	—	32,3	34,2	35,4	39,2	43,4
Pb(NO ₃) ₂	26,7	30,8	34,3	37,8	41,0	44,0	46,8	51,8	56,0
ZnCl ₂	—	73,1	78,6	—	81,9	—	83,0	84,4	96,0
Сахароза	64,2	65,6	67,1	68,7	70,4	72,3	74,2	78,4	83,0
Органические кислоты:									
бензойная	0,17	0,21	0,29	0,41	0,55	0,77	1,14	2,64	5,55
винная	53,5	55,8	58,2	61,0	63,8	66,1	68,6	73,2	77,5
щавелевая	3,42	5,73	8,69	12,5	17,7	23,9	30,7	45,8	54,5
янтарная	2,72	4,31	6,28	9,50	13,9	19,6	26,4	41,5	54,7
Соли органических кислот:									
ацетат Na	26,6	29,0	31,7	35,2	39,5	45,3	58,2*	60,5*	63*
бихлорид K	0,34	0,49	0,57	0,95	1,37	1,85	2,40	4,17	6,15
оксалат K	20,3	23,7	26,4	28,6	30,8	33,0	35,1	39,5	44,9
формат Na	—	—	—	—	51,8	—	54,6	57,6	61,4

* Кристаллизуется безводная соль.

РАСТВОРИМОСТЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Приводятся значения растворимости (в г на 100 г растворителя) некоторых неорганических соединений в органических растворителях при температуре 18—20° С (или при температуре, указанной в скобках).

Растворимость в этиловом спирте (абсолютном)

AgNO ₃	2,1	HgCl ₂	49(25°C)	NH ₄ Cl	0,6(15°C)
BaBr ₂	4,1	HgI ₂	2,2(25°C)	NH ₄ ClO ₄	2,2(25°C)
BiI ₃	3,5	KBr	0,14(25°C)	NH ₄ I	26,3(25°C)
CaBr ₂	53,5	KCN	0,9	NH ₄ NO ₃	3,8

CdCl ₂	1,5(15°C)	KCl	0,0034	NaBr	2,3
CdI ₂	102(15°C)	KI	1,75	NaCl	0,07
CoSO ₄ ·7H ₂ O	2,5(3°C)	KOH	37(30°C)	NaI	43,1(22,5°C)
CuSO ₄ ·5H ₂ O	11(3°C)	LiBr	72(25°C)	NaNO ₂	0,31
HCl	41,0	LiCl	24	NaNO ₃	0,036(25°C)
H ₃ BO ₃	11,0(25°C)	MgSO ₄	1,3(3°C)	NiCl ₂	10
HgBr ₂	23(25°C)	NH ₃	11,9	NiCl ₂ ·6H ₂ O	53,7
Hg(CN) ₂	9,5(25°C)	NH ₄ Br	3,2	NiSO ₄ ·7H ₂ O	2,2
				Pb(NO ₃) ₂	0,04

Растворимость в этиловом спирте (водном растворе)

A — концентрация спирта, мас. %.

		A			A
BaCl ₂	0,014(15°C)	97	NH ₄ Cl	1,3(15°C)	92,3
BaI ₂	1,07(15°C)	97	NH ₄ NO ₃	11,0(0°C)	86,8
HgI ₂	1,4(25°C)	95,8	NaBr	3,1(0°C)	97
KBr	0,88(0°C)	90	Na ₂ CO ₃	0,03(0°C)	95
KCl	0,3	90	NaCl	0,43(28°C)	89,6
KI	4,0	94	NaI	50(22,5°C)	95
KNO ₃	0,3	90	NaNO ₃	1,2(0°C)	90
NH ₃	19	96	SrCl ₂	3,0	91

Растворимость в метиловом спирте (абсолютном)

AgNO ₃	3,7	KBr	2(25°C)	Na ₂ CrO ₄	0,35(25°C)
BaCl ₂	2,2(15°C)	KCN	4,9(25°C)	NaI	77,7(22,5°C)
Ba(NO ₃) ₂	0,5(25°C)	KCl	0,5	NaNO ₂	4,4
CdCl ₂	1,71(15°C)	KI	16,5	NaNO ₃	0,41
CoSO ₄	1,04	MgSO ₄	1,2	NiSO ₄	4,0
CoSO ₄ ·7H ₂ O	5,5	MgSO ₄ ·7H ₂ O	41	NiSO ₄ ·7H ₂ O	20,0
CuSO ₄	1,05	NH ₃	23,8	Pb(NO ₃) ₂	1,4
CuSO ₄ ·5H ₂ O	15,6	NH ₄ Br	12,5	SrCl ₂ ·6H ₂ O	63,3(6°C)
HCl (газ)	88,7	NH ₄ Cl	3,4	ZnSO ₄	0,65
HgBr ₂	46(25°C)	NH ₄ ClO ₄	6,8(25°C)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	5,9
Hg(CN) ₂	32(25°C)	NH ₄ NO ₂	17,1		
HgCl ₂	53	NaBr	17,4		
HgI ₂	3,4(25°C)	NaCl	1,41		

Растворимость в ацетоне (абсолютном)

AgNO ₃	0,44	CuCl ₂ ·2H ₂ O	8,9(15°C)	KSCN	20,3(22,5°C)
Bi(NO ₃) ₃ ·5H ₂ O	41,7	FeCl ₃	63	LiCl	2,3(25°C)
CdBr ₂	1,56	H ₃ BO ₃	0,5	NH ₄ ClO ₄	2,2(25°C)
CdI ₂	25	HgCl ₂	143	SbCl ₃	538
CoCl ₂	2,8	HgI ₂	2(25°C)	ZnCl ₂	43,5
CuCl ₂	2,9	KBr	0,02(25°C)		

Растворимость в глицерине (абсолютном)

BaCl ₂	9,7(15°C)	(NH ₄) ₂ CO ₃	20(15°C)
H ₃ BO ₃	22,2	NH ₄ Cl	9(25°C)
Hg(CN) ₂	27(15°C)	NaBr	38,7
HgCl ₂	34,4(25°C)	PbCl ₂	2(25°C)
KBr	15(25°C)	ZnCl ₂	50(15°C)
KCl	6,4(25°C)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	35(15°C)

В табл. 52 приводятся сведения о взаимной растворимости двух жидкостей, частично растворяющихся друг в друге (одна из них во всех рассматриваемых жидких системах — вода). О б о з н а ч е н и я: А — жидкость, частично растворяющаяся в воде; I — слой воды, насыщенный жидкостью А; II — слой жидкости А, насыщенный водой.

Растворимость приводится в г вещества А в 100 г раствора, температура в °С; для CS₂ растворимость приведена в г CS₂ в 100 мл водного раствора.

Таблица 52. Взаимная растворимость частично растворяющихся друг в друге жидкостей

А	Слой	10° С	20° С	30° С	40° С	50° С	60° С	70° С
Анилин	I	3,2	3,3	—	3,8	—	4,5	5,7
	II	—	95,0	—	94,0	—	92,8	91,4
Бензол	II	99,955	99,943	99,925	99,905	99,873	99,836	99,700
								(73°)
Бром	I	3,60	3,41	3,31	3,33	3,42	—	—
Сероуглерод	I	0,194	0,179	0,155	0,111	0,014	—	—
						(49°)	15,8	34
Фенол	I	7,7 (15°)	7,9	8,5	9,5	11,7	—	—
	II	—	71,9	69,6	66,2	62,1	55,1	34
								(66,5°)
Этиловый эфир	I	9,0	6,9	5,3	4,7	4,1	3,6	2,7
	II	98,8	98,7	98,6	98,5	98,3	98,2	97,8

ПЛОТНОСТЬ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
НЕКОТОРЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ.
ПЛОТНОСТЬ ОЛЕУМА

В табл. 53—68 приводятся плотности водных растворов кислот (азотной, серной, фосфорной, соляной), аммиака, гидроксидов калия и натрия, солей (нитратов калия и натрия, сульфата аммония, хлоридов калия и натрия), органических веществ (ацетона, глицерина, уксусной кислоты, этилового спирта). Плотность растворов *d* выражена в г/см³ для температуры 20° С. Концентрация растворенного вещества выражена в массовых процентах (масс. %), в молях на литр (моль/л) и в граммах на литр (г/л).

<i>d</i>	Концентрация			<i>d</i>	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,3296	0,0523	3,295	1,260	42,14	8,426	530,9
005	1,255	0,2001	12,61	265	42,92	8,616	542,9
010	2,164	0,3468	21,85	270	43,70	8,808	555,0
015	3,073	0,4950	31,19	275	44,48	9,001	567,2
020	3,982	0,6445	40,61	280	45,27	9,195	579,4
025	4,883	0,7943	50,05	285	46,06	9,394	591,9
030	5,784	0,9454	59,57	290	46,85	9,590	604,3
035	6,661	1,094	68,93	295	47,63	9,789	616,8
040	7,530	1,243	78,32	300	48,42	9,900	629,5
045	8,398	1,393	87,77	305	49,21	10,19	642,1
050	9,259	1,543	97,22	310	50,00	10,39	644,7
055	10,12	1,694	106,7	315	50,85	10,61	668,5
060	10,97	1,845	116,3	320	51,71	10,83	682,4
065	11,81	1,997	125,8	325	52,56	11,05	696,3
070	12,65	2,148	135,3	330	53,41	11,27	710,1
075	13,48	2,301	145,0	335	54,27	11,49	724,0
080	14,31	2,453	154,6	340	55,13	11,72	738,5
085	15,13	2,605	164,1	345	56,04	11,96	753,6
090	15,95	2,759	173,8	350	56,95	12,20	768,7
095	16,76	2,913	183,5	355	57,87	12,44	783,8
100	17,58	3,068	193,3	360	58,78	12,68	799,0
105	18,39	3,224	203,1	365	59,69	12,93	814,7
110	19,19	3,381	213,0	370	60,67	13,19	831,1
115	20,00	3,539	223,0	375	61,69	13,46	848,1
120	20,79	3,696	232,9	380	62,70	13,73	865,1
125	21,59	3,854	242,8	385	63,72	14,01	882,8
130	22,38	4,012	252,8	390	64,74	14,29	900,4
135	23,16	4,171	262,8	395	65,84	14,57	918,1
140	23,94	4,330	272,8	400	66,97	14,88	937,6
145	24,71	4,489	282,9	405	68,10	15,18	956,6
150	25,48	4,649	292,9	410	69,23	15,49	976,0
155	26,24	4,810	303,1	415	70,34	15,81	996,2
160	27,00	4,970	313,2	420	71,63	16,14	1017
165	27,76	5,132	323,4	425	72,86	16,47	1038
170	28,51	5,293	333,5	430	74,09	16,81	1059
175	29,25	5,455	343,7	435	75,35	17,16	1081
180	30,00	5,618	354,0	440	76,71	17,53	1105
185	30,74	5,780	364,2	445	78,07	17,90	1128
190	31,47	5,943	374,5	450	79,43	18,28	1152
195	32,21	6,110	385,0	455	80,88	18,68	1177
200	32,94	6,273	395,3	460	82,39	19,09	1203
205	33,68	6,440	405,8	465	83,91	19,51	1229
210	34,41	6,607	416,3	470	85,50	19,95	1257
215	35,16	6,778	427,1	475	87,29	20,43	1287
220	35,93	6,956	438,3	480	89,07	20,92	1318
225	36,70	7,135	449,6	485	91,13	21,48	1353
230	37,48	7,315	460,9	490	93,19	22,11	1393
235	38,25	7,497	472,4	495	95,46	22,65	1427
240	39,02	7,679	483,8	500	96,73	23,02	1450
245	39,80	7,861	495,5	501	96,98	23,10	1456
250	40,58	8,049	505,2	502	97,23	23,18	1461
255	41,36	8,237	519,0	503	97,49	23,25	1465

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,504	97,74	23,33	1470	1,509	99,01	23,71	1494
505	97,99	23,40	1474	510	99,26	23,79	1499
506	98,25	23,48	1479	511	99,52	23,86	1503
507	98,50	23,56	1485	512	99,77	23,94	1508
508	98,76	23,63	1490	513	100,00	24,01	1513

Таблица 54. Серная кислота (H₂SO₄)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,261	0,0266	2,608	1,190	26,47	3,211	314,9
005	0,986	0,1010	9,906	195	27,10	3,302	323,9
010	1,731	0,1783	17,49	200	27,72	3,391	332,6
015	2,485	0,2595	25,45	205	28,33	3,481	341,4
020	3,242	0,3372	33,07	210	28,95	3,572	350,3
025	4,000	0,4180	41,99	215	29,57	3,663	359,3
030	4,746	0,4983	48,87	220	30,18	3,754	368,2
035	5,493	0,5796	56,85	225	30,79	3,846	377,2
040	6,237	0,6613	64,86	230	31,40	3,938	386,2
045	6,956	0,7411	72,69	235	32,01	4,031	395,4
050	7,704	0,8250	80,92	240	32,61	4,123	404,4
055	8,415	0,9054	88,80	245	33,22	4,216	413,5
060	9,129	0,9856	96,67	250	33,82	4,310	422,7
065	9,843	1,066	104,6	255	34,42	4,404	431,9
070	10,56	1,152	113,0	260	35,01	4,498	441,2
075	11,26	1,235	121,1	265	35,60	4,592	450,4
080	11,96	1,317	129,2	270	36,19	4,686	459,6
085	12,66	1,401	137,4	275	36,78	4,781	468,9
090	13,36	1,484	145,6	280	37,36	4,876	478,2
095	14,04	1,567	153,7	285	37,95	4,972	487,6
100	14,73	1,652	162,0	290	38,53	5,068	497,1
105	15,41	1,735	170,2	295	39,10	5,163	506,4
110	16,08	1,820	178,5	300	39,68	5,259	515,8
115	16,76	1,905	186,8	305	40,25	5,356	525,3
120	17,43	1,990	195,2	310	40,82	5,452	534,7
125	18,09	2,075	203,5	315	41,39	5,549	544,2
130	18,76	2,161	211,9	320	41,95	5,646	553,8
135	19,42	2,247	220,4	325	42,51	5,743	563,3
140	20,08	2,334	228,9	330	43,07	5,840	572,8
145	20,73	2,420	237,4	335	43,62	5,938	582,4
150	21,38	2,507	245,9	340	44,17	6,035	591,9
155	22,03	2,594	254,4	345	44,72	6,132	601,4
160	22,67	2,681	263,0	350	45,26	6,229	610,9
165	23,31	2,768	271,6	355	45,80	6,327	620,6
170	23,95	2,857	280,2	360	46,33	6,424	630,1
175	24,58	2,945	288,8	365	46,86	6,522	639,7
180	25,21	3,033	297,5	370	47,39	6,620	649,3
185	25,84	3,122	306,2	375	47,92	6,718	658,9

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,380	48,45	6,817	668,6	1,640	72,52	12,13	1190
385	48,97	6,915	678,2	645	72,95	12,24	1200
390	49,48	7,012	687,7	650	73,37	12,34	1210
395	49,99	7,110	697,2	655	73,80	12,45	1221
400	50,50	7,208	707,0	660	74,22	12,56	1232
405	51,01	7,307	716,7	665	74,64	12,67	1243
410	51,52	7,406	726,4	670	75,07	12,78	1253
415	52,02	7,505	736,1	675	75,49	12,89	1264
420	52,51	7,603	745,7	680	75,92	13,00	1275
425	53,01	7,702	755,4	685	76,34	13,12	1287
430	53,50	7,801	765,1	690	76,77	13,23	1298
435	54,00	7,901	774,9	695	77,20	13,34	1308
440	54,49	8,000	784,6	700	77,63	13,46	1320
445	54,97	8,099	794,3	705	78,06	13,57	1331
450	55,45	8,198	804,1	710	78,49	13,69	1343
455	55,93	8,297	813,8	715	78,93	13,80	1354
460	56,41	8,397	823,6	720	79,37	13,92	1365
465	56,89	8,497	833,4	725	79,81	14,04	1377
470	57,36	8,598	843,3	730	80,25	14,16	1389
475	57,84	8,699	853,2	735	80,70	14,28	1401
480	58,31	8,799	863,0	740	81,16	14,40	1412
485	58,78	8,899	872,8	745	81,62	14,52	1424
490	59,25	9,000	882,7	750	82,09	14,65	1437
495	59,70	9,100	892,5	755	82,57	14,78	1450
500	60,17	9,202	902,5	760	83,06	14,90	1461
505	60,62	9,303	912,4	765	83,57	15,03	1469
510	61,08	9,404	922,3	770	84,08	15,17	1488
515	61,54	9,506	932,3	775	84,61	15,31	1502
520	62,00	9,608	943,4	780	85,16	15,46	1516
525	62,45	9,711	952,5	785	85,74	15,61	1531
530	62,91	9,813	962,5	790	86,35	15,76	1546
535	63,36	9,916	972,6	795	86,99	15,92	1561
540	63,81	10,02	982,8	800	87,69	19,09	1578
545	64,26	10,12	992,6	805	88,43	16,27	1596
550	64,71	10,23	1003	810	89,23	16,47	1615
555	65,15	10,33	1013	815	90,12	16,68	1636
560	65,59	10,43	1023	820	91,11	16,91	1659
565	66,03	10,54	1034	821	91,33	16,96	1663
570	66,47	10,64	1044	822	91,56	17,01	1668
575	66,91	10,74	1053	823	91,78	17,06	1673
580	67,35	10,85	1064	824	92,00	17,11	1678
585	67,79	10,96	1075	825	92,25	17,17	1684
590	68,23	11,06	1085	826	92,51	17,22	1689
595	68,66	11,16	1095	827	92,77	17,28	1695
600	69,09	11,27	1105	828	93,03	17,34	1701
605	69,53	11,38	1116	829	93,33	17,40	1707
610	69,96	11,48	1126	830	93,64	17,47	1713
615	70,39	11,59	1136	831	93,94	17,54	1720
620	70,82	11,70	1148	832	94,32	17,62	1728
625	71,25	11,80	1157	833	94,72	17,70	1736
630	71,76	11,91	1168	834	95,12	17,79	1745
635	72,09	12,02	1179	835	95,72	17,91	1757

Таблица 55. Фосфорная (ортофосфорная) кислота (H_3PO_4)

Продолжение табл. 55

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,296	0,030	2,96	1,265	41,44	5,350	524,2
005	1,222	0,125	12,28	270	42,09	5,454	534,5
010	2,148	0,221	21,69	275	42,73	5,559	544,8
015	3,074	0,318	31,20	280	43,37	5,655	555,1
020	4,000	0,416	40,80	285	44,00	5,771	565,4
025	4,926	0,515	50,49	290	44,63	5,875	575,7
030	5,836	0,613	60,11	295	45,26	5,981	586,1
035	6,745	0,712	69,81	300	45,88	6,087	596,4
040	7,643	0,811	79,49	305	46,49	6,191	606,7
045	8,536	0,911	89,20	310	47,10	6,296	617,0
050	9,429	1,010	90,00	315	47,70	6,400	627,3
055	10,32	1,111	108,9	320	48,30	6,506	637,6
060	11,19	1,210	118,6	325	48,89	6,610	647,8
065	12,06	1,311	128,4	330	49,48	6,716	658,1
070	12,92	1,411	138,2	335	50,07	6,822	668,4
075	13,76	1,510	147,9	340	50,66	6,928	678,8
080	14,60	1,609	157,7	345	51,25	7,034	689,3
085	15,43	1,708	167,4	350	51,84	7,141	699,3
090	16,26	1,807	177,2	355	52,42	7,247	710,3
095	17,07	1,906	186,9	360	53,00	7,355	720,1
100	17,87	2,005	196,6	365	53,57	7,463	731,2
105	18,68	2,105	206,4	370	54,14	7,570	741,7
110	19,46	2,204	216,0	375	54,71	7,678	752,3
115	20,25	2,304	225,8	380	55,28	7,784	762,8
120	21,03	2,403	235,5	385	55,85	7,894	773,5
125	21,80	2,502	245,3	390	56,42	8,004	784,2
130	22,56	2,602	254,9	400	57,54	8,221	805,6
135	23,32	2,702	264,7	405	58,09	8,328	816,2
140	24,07	2,800	274,4	410	58,64	8,437	826,8
145	24,82	2,900	284,2	415	59,19	8,547	837,5
150	25,57	3,000	294,1	420	59,74	8,658	848,3
155	26,31	3,101	303,9	425	60,29	8,766	859,1
160	27,05	3,203	313,8	430	60,84	8,878	870,0
165	27,78	3,304	323,6	435	61,38	8,989	880,8
170	28,51	3,404	333,6	440	61,92	9,099	891,6
175	29,23	3,505	343,5	445	62,45	9,208	902,4
180	29,94	3,606	353,3	450	62,98	9,322	913,2
185	30,65	3,707	363,2	455	63,51	9,432	924,1
190	31,35	3,806	373,1	460	64,03	9,541	934,8
195	32,05	3,908	383,0	465	64,55	9,651	945,7
200	32,75	4,010	393,0	470	65,07	9,761	956,5
205	33,44	4,112	403,0	475	65,58	9,870	967,3
210	34,13	4,215	413,0	480	66,09	9,982	978,1
215	34,82	4,317	423,1	485	66,60	10,09	989,0
220	35,50	4,420	433,1	490	67,10	10,21	998,8
225	36,17	4,522	443,1	495	67,60	10,31	1011
230	36,84	4,624	453,1	500	68,10	10,42	1021
235	37,57	4,727	463,2	505	68,60	10,53	1032
240	38,17	4,829	473,3	510	69,09	10,64	1043
245	38,83	4,932	483,4	515	69,58	10,76	1054
250	39,49	5,036	493,6	520	70,07	10,86	1065
255	40,14	5,140	503,8	525	70,56	10,98	1076
260	40,79	5,245	514,0	530	71,04	11,09	1087

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,535	71,52	11,20	1098	1,705	86,80	15,10	1480
540	72,00	11,32	1109	710	87,22	15,22	1491
545	72,48	11,42	1120	715	87,64	15,33	1503
550	72,95	11,53	1131	720	88,06	15,45	1515
555	73,42	11,65	1142	725	88,48	15,57	1526
560	73,89	11,76	1153	730	88,90	15,70	1538
565	74,36	11,88	1164	735	89,31	15,81	1550
570	74,83	11,99	1175	740	89,72	15,93	1561
575	75,30	12,11	1186	745	90,13	16,04	1573
580	75,76	12,22	1197	750	90,54	16,16	1584
585	76,22	12,33	1208	755	90,95	16,29	1596
590	76,68	12,45	1219	760	91,36	16,41	1608
595	77,14	12,56	1230	765	91,77	16,52	1620
600	77,60	12,67	1242	770	92,17	16,65	1631
605	78,05	12,78	1253	775	92,57	16,77	1643
610	78,50	12,90	1264	780	92,97	16,89	1655
615	78,95	13,01	1275	785	93,37	17,00	1667
620	79,40	13,12	1286	790	93,77	17,13	1678
625	79,85	13,24	1298	795	94,17	17,25	1690
630	80,30	13,36	1309	800	94,57	17,37	1702
635	80,75	13,48	1320	805	94,97	17,50	1714
640	81,20	13,59	1332	810	95,37	17,62	1726
645	81,64	13,71	1343	815	95,76	17,74	1738
650	82,08	13,82	1354	820	96,15	17,85	1750
655	82,52	13,94	1366	825	96,54	17,98	1762
660	82,96	14,06	1377	830	96,93	18,10	1774
665	83,39	14,17	1388	835	97,32	18,23	1786
670	83,82	14,29	1400	840	97,71	18,34	1798
675	84,25	14,40	1411	845	98,10	18,47	1810
680	84,68	14,52	1423	850	98,48	18,60	1822
685	85,11	14,63	1434	855	98,86	18,72	1834
690	85,54	14,75	1446	860	99,24	18,84	1846
695	85,96	14,87	1457	865	99,62	18,96	1858
700	86,38	14,98	1468	870	100,0	19,08	1870

Таблица 56. Соляная кислота (хлороводород, HCl)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,360	0,0987	3,599	1,055	11,52	3,333	121,5
005	1,360	0,3745	13,65	060	12,51	3,638	132,6
010	2,364	0,6547	23,87	065	13,50	3,944	143,8
015	3,374	0,939	34,24	070	14,49	4,253	155,1
020	4,388	1,227	44,74	075	15,48	4,565	166,4
025	5,408	1,520	55,42	080	16,47	4,878	177,8
030	6,433	1,817	66,25	085	17,45	5,192	189,3
035	7,464	2,118	77,22	090	18,43	5,509	200,9
040	8,490	2,421	88,27	095	19,41	5,829	212,5
045	9,510	2,725	99,35	100	20,39	6,150	224,2
050	10,52	3,029	110,4	105	21,36	6,472	236,0

Продолжение табл. 56

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,110	22,33	6,796	247,8	1,155	31,14	9,863	359,6
115	23,29	7,122	259,7	160	32,14	10,22	372,8
120	24,25	7,449	271,6	165	33,16	10,59	386,3
125	25,22	7,782	283,7	170	34,18	10,97	399,9
130	26,20	8,118	296,0	175	35,20	11,34	413,6
135	27,18	8,459	308,4	180	36,23	11,73	427,7
140	28,18	8,809	321,2	185	37,27	12,11	441,6
145	29,17	9,159	333,9	190	38,32	12,50	455,8
150	30,14	9,505	346,6	195	39,37	12,90	470,5
				198	40,00	13,14	479,1

Таблица 57. Аммиак (NH₃)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
0,998	0,0465	0,0273	0,46	0,938	15,47	8,52	144,8
996	0,512	0,299	5,1	936	16,06	8,83	150,1
994	0,977	0,570	9,7	934	16,55	9,13	155,2
992	1,43	0,334	14,2	932	17,24	9,44	160,5
990	1,89	1,10	18,7	930	17,85	9,75	165,8
988	2,35	1,36	23,3	928	18,45	10,06	171,0
986	2,82	1,63	27,8	926	19,06	10,37	176,3
984	3,30	1,91	32,5	924	19,67	10,67	181,4
982	3,78	2,18	37,1	922	20,27	10,97	186,5
980	4,27	2,46	41,8	920	20,88	11,28	191,8
978	4,76	2,73	46,4	918	21,50	11,59	197,0
976	5,25	3,01	51,2	916	22,12	11,90	202,3
974	5,75	3,29	55,9	914	22,75	12,21	207,6
972	6,25	3,57	60,7	912	23,39	12,52	212,8
970	6,75	3,84	65,3	910	24,03	12,84	218,3
968	7,26	4,12	70,0	908	24,68	13,16	223,7
966	7,77	4,41	75,1	906	25,33	13,48	229,2
964	8,29	4,69	79,9	904	26,00	13,80	234,6
962	8,82	4,98	84,7	902	26,67	14,12	240,0
960	9,34	5,27	89,6	900	27,33	14,44	245,5
958	9,87	5,55	94,4	898	28,00	14,76	250,9
956	10,40	5,84	99,3	896	28,67	15,08	256,4
954	10,95	6,13	104,2	894	29,33	15,40	261,8
952	11,49	6,42	109,1	892	30,00	15,71	267,1
950	12,03	6,71	114,1	890	30,68	16,04	272,7
948	12,58	7,00	119,0	888	31,37	16,36	278,1
946	13,14	7,29	124,0	886	32,09	16,69	283,7
944	13,71	7,60	129,2	884	32,84	17,05	289,9
942	14,29	7,91	134,5	882	33,59	17,40	295,8
940	14,88	8,21	139,6	880	34,35	17,75	302,0

Таблица 58. Гидроксид калия (едкое кали, КОН)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,197	0,035	1,964	1,230	24,37	5,34	299,6
005	0,743	0,133	7,463	240	25,36	5,60	314,2
010	1,295	0,233	13,07	250	26,34	5,87	329,4
015	1,84	0,333	18,68	260	27,32	6,13	344,0
020	2,38	0,433	24,30	270	28,29	6,40	359,1
025	2,93	0,536	30,07	280	29,25	6,67	374,3
030	3,48	0,639	35,85	290	30,21	6,95	390,0
035	4,03	0,744	41,75	300	31,15	7,22	405,1
040	4,58	0,848	47,58	310	32,09	7,49	420,3
045	5,12	0,954	53,53	320	33,03	7,77	436,0
050	5,66	1,06	59,48	330	33,97	8,05	451,7
060	6,74	1,27	71,26	340	34,90	8,33	467,7
070	7,82	1,49	83,60	350	35,82	8,62	483,7
080	8,89	1,71	95,95	360	36,73	8,90	499,4
090	9,96	1,94	108,9	370	37,65	9,19	515,7
100	11,03	2,16	121,2	380	38,56	9,48	531,9
110	12,08	2,39	134,1	390	39,46	9,78	548,8
120	13,14	2,62	147,0	400	40,37	10,07	565,0
130	14,19	2,86	160,5	410	41,26	10,37	581,9
140	15,22	3,09	173,4	420	42,15	10,67	598,7
150	16,26	3,33	186,8	430	43,04	10,97	615,5
160	17,29	3,58	200,9	440	43,92	11,28	632,9
170	18,32	3,82	214,3	450	44,79	11,58	649,7
180	19,35	4,07	228,4	460	45,66	11,88	666,6
190	20,37	4,32	242,4	470	46,53	12,19	684,0
200	21,38	4,57	256,4	480	47,39	12,50	701,4
210	22,38	4,83	271,0	490	48,25	12,82	719,3
220	23,38	5,08	285,0	500	49,10	13,13	736,7

Таблица 59. Нитрат калия (KNO₃)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,004	1	0,0994	10,04	1,090	14	1,509	152,5
011	2	0,1999	21,21	103	16	1,747	176,6
023	4	0,4049	40,93	118	18	1,990	201,2
036	6	0,6150	62,17	138	20	2,240	226,5
049	8	0,8301	83,95	147	22	2,496	252,4
063	10	1,051	106,2	162	24	2,759	278,9
076	12	1,277	129,1				

Таблица 60. Гидроксид натрия (едкий натр, NaOH)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,000	0,159	0,0398	1,592	1,240	21,90	6,788	275,5
005	0,602	0,151	6,320	250	22,82	7,129	285,2
010	1,04	0,264	10,56	260	23,73	7,475	299,0
020	1,94	0,494	19,76	270	24,64	7,824	313,0
030	2,84	0,731	29,24	280	25,56	8,178	327,1
040	3,74	0,971	38,84	290	26,48	8,539	341,6
050	4,65	1,222	48,88	300	27,41	8,906	356,2
060	5,56	1,474	58,96	310	28,33	9,278	371,1
070	6,47	1,731	69,24	320	29,26	9,656	386,2
080	7,38	1,992	79,68	330	30,20	10,04	401,6
090	8,28	2,257	90,28	340	31,14	10,43	417,2
100	9,19	2,527	101,1	350	32,10	10,83	433,1
110	10,10	2,802	112,1	360	33,06	11,24	449,6
120	11,01	3,082	123,3	370	34,03	11,65	465,0
130	11,92	3,367	134,7	380	35,01	12,08	483,2
140	12,83	3,655	146,2	390	36,00	12,51	500,4
150	13,73	3,947	157,9	400	36,99	12,95	518,0
160	14,64	4,244	169,8	410	37,99	13,39	535,6
170	15,54	4,545	181,8	420	38,99	13,84	553,6
180	16,44	4,850	194,0	430	40,00	14,30	572,0
190	17,34	5,160	206,4	440	41,03	14,77	590,8
200	18,25	5,476	219,0	450	42,07	15,25	610,0
210	19,16	5,796	231,8	460	43,12	15,74	629,6
220	20,07	6,122	244,9	470	44,17	16,23	649,2
230	20,98	6,451	258,0	480	45,22	16,73	669,2

Таблица 61. Нитрат натрия (NaNO₃)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,005	1	0,1182	10,05	1,127	18	2,386	202,8
012	2	0,2380	20,23	143	20	2,689	228,5
025	4	0,4825	41,01	175	24	3,318	282,0
039	6	0,7335	62,35	208	28	3,980	338,3
053	8	0,9912	84,25	226	30	4,325	367,6
067	10	1,2556	106,7	270	35	5,229	444,5
082	12	1,5273	129,8	317	40	6,200	527,0
112	16	2,092					

Таблица 62. Сульфат аммония [(NH₄)₂SO₄]

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,004	1	0,0760	10,04	1,104	18	1,503	198,7
010	2	0,1529	20,20	115	20	1,688	223,1
022	4	0,3094	40,88	138	24	2,067	273,2
034	6	0,4694	62,02	161	28	2,459	325,0
046	8	0,6330	83,64	172	30	2,661	351,7
057	10	0,8002	105,7	200	35	3,175	420,0
069	12	0,9709	128,3	228	40	3,716	491,1
081	14	1,1450	151,3	282	50	4,852	641,2
092	16	1,322	174,8				

Таблица 63. Хлорид калия (KCl)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,005	1	0,1347	10,04	1,090	14	2,048	152,6
011	2	0,2712	20,22	104	16	2,372	176,6
024	4	0,5494	40,95	118	18	2,700	201,3
037	6	0,8345	62,21	132	20	3,039	226,5
050	8	1,127	84,00	147	22	3,386	252,4
063	10	1,426	106,3	162	24	3,742	278,9
077	12	1,733	129,2				

Таблица 64. Хлорид натрия (NaCl)

d	Концентрация			d	Концентрация		
	%	моль/л	г/л		%	моль/л	г/л
1,005	1	0,1720	10,05	1,101	14	2,636	154,1
012	2	0,3464	20,25	116	16	3,055	178,5
027	4	0,7026	41,07	132	18	3,485	203,7
041	6	1,069	62,47	148	20	3,927	229,5
056	8	1,445	84,47	164	22	4,380	256,0
071	10	1,831	107,1	180	24	4,846	283,2
086	12	2,228	130,2	197	26	5,325	311,2

Таблица 65. Ацетон ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_3$)

d	Концентрация		d	Концентрация	
	%	г/л		%	г/л
0,990	5	49,5	0,904	55	497,2
983	10	98,3	893	60	535,8
976	15	146,4	881	65	572,7
969	20	193,8	869	70	608,3
961	25	240,3	856	75	642,0
954	30	286,2	843	80	674,4
945	35	330,8	830	85	705,5
937	40	374,8	816	90	734,4
927	45	417,2	802	95	761,9
916	50	458,0	786	100	786,0

Таблица 66. Глицерин [$\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$]

d	Концентрация		d	Концентрация	
	%	г/л		%	г/л
1,010	5	50,5	1,140	55	627,0
022	10	102,2	153	60	691,8
034	15	155,1	167	65	758,5
047	20	209,4	181	70	826,7
060	25	265,0	194	75	895,5
073	30	321,9	208	80	966,4
086	35	380,1	221	85	1037,8
099	40	439,6	235	90	1111,5
113	45	500,8	248	95	1185,6
126	50	563,0	261	100	1261,0

Таблица 67. Уксусная кислота (CH_3COOH)

d	Концентрация		d	Концентрация	
	%	г/л		%	г/л
1,001	2	20,02	1,021	16	163,3
004	4	40,16	023	18	184,2
007	6	60,41	026	20	205,2
010	8	80,78	029	22	226,3
013	10	101,2	031	24	247,4
015	12	121,3	034	26	268,7
018	14	142,5	036	28	290,0

Таблица 68. Этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

d	Концентрация		d	Концентрация	
	%	г/л		%	г/л
0,9945	2	19,89	0,9094	52	472,9
9910	4	39,64	9048	54	488,6
9878	6	59,27	9003	56	504,2
9848	8	78,78	8957	58	519,5
9819	10	98,19	8911	60	534,7
9791	12	117,5	8865	62	549,6
9764	14	136,7	8818	64	564,4
9739	16	155,8	8771	66	578,9
9713	18	174,8	8724	68	593,2
9686	20	193,7	8677	70	607,4
9659	22	212,5	8629	72	621,3
9631	24	231,1	8581	74	635,0
9602	26	249,7	8532	76	648,4
9571	28	268,0	8483	78	661,7
9538	30	286,1	8434	80	674,7
9504	32	304,1	8385	82	687,6
9468	34	321,9	8335	84	700,1
9431	36	339,5	8284	86	712,4
9392	38	356,9	8232	88	724,4
9352	40	374,1	8180	90	736,2
9311	42	391,1	8126	92	747,6
9268	44	407,8	8070	94	758,6
9226	46	424,4	8014	96	769,3
9182	48	440,7	7955	98	779,6
9138	50	456,9	7893	100	789,3

Таблица 69. Плотность олеума

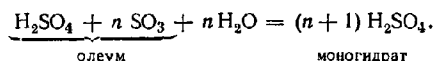
Олеум — это раствор SO_3 в 100%-й серной кислоте (моногидрате H_2SO_4).

d, г/см ³	Содержание свободного SO_3 , %	Общее содержание SO_3 , %*	d, г/см ³	Содержание свободного SO_3 , %	Общее содержание SO_3 , %*
1,837	2	81,99	1,904	22	85,67
843	4	82,36	911	24	86,04
849	6	82,73	917	26	86,40
856	8	83,09	924	28	86,77
862	10	83,47	931	30	87,14
869	12	83,83	937	32	87,51
876	14	84,20	943	34	87,87
890	18	84,94	955	38	88,61
897	20	85,30	961	40	89,00

* Общее содержание SO_3 (%) равно сумме свободного SO_3 (%) и связанного SO_3 (%).

Пример. В 100 г 10%-ного олеума содержится 10 г свободного SO_3 и 90 г H_2SO_4 ; в 90 г H_2SO_4 связанного SO_3 содержится 73,47%, так как общее содержание SO_3 (%) составляет 83,47 (10 + 73,47).

Пересчет количества олеума в количество моногидрата серной кислоты. Из олеума можно приготовить моногидрат серной кислоты (100%-ную серную кислоту), добавляя рассчитанное количество воды (табл. 70):



Обозначения: A — содержание в олеуме свободного SO_3 , %; k — переводной множитель; B — количество олеума данной концентрации (A %), г; C — количество моногидрата (г), соответствующее B , т. е. количество 100%-ной серной кислоты (г), которое можно получить из олеума путем прибавления к нему соответствующего количества воды: $C = B \cdot k$.

Таблица 70

A	k	A	k	A	k	A	k
1	1,0023	9	1,0203	17	1,0382	24	1,0540
2	1,0045	10	1,0225	18	1,0405	25	1,0562
3	1,0068	11	1,0248	19	1,0428	26	1,0585
4	1,0090	12	1,0270	20	1,0450	27	1,0608
5	1,0112	13	1,0292	21	1,0472	28	1,0630
6	1,0135	14	1,0315	22	1,0495	29	1,0652
7	1,0158	15	1,0338	23	1,0518	30	1,0675
8	1,0180	16	1,0360				

Примеры: 1. 100 г олеума, содержащего 20% свободного SO_3 , соответствуют $100 \cdot 1,045 = 104,5$ г моногидрата, т. е. из 100 г 20%-ного олеума можно получить 104,5 г 100%-ной серной кислоты (моногидрата), прибавив к нему 4,5 г воды.

2. Из 500 г олеума, содержащего 15% свободного SO_3 , можно получить $500 \cdot 1,0338 = 516,9$ г моногидрата. Количество прибавляемой воды составляет 16,9 г.

РАЗДЕЛ 5

РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ

СТЕПЕНЬ И КОНСТАНТА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ

В водных растворах электролитов часть молекул распадается на ионы, а часть остается в недиссоциированном виде. Например, в 1 н. растворе соляной кислоты молекулы диссоциируют на 78%, а в растворе уксусной кислоты — на 0,4%. Число, показывающее, какая

часть молекул распалась на ионы, называется *степенью электролитической диссоциации* (α). Она представляет собой отношение числа молекул электролита, распавшегося на ионы ($N_{\text{ион}}$), к общему числу молекул в растворе ($N_{\text{общ}}$): $\alpha = N_{\text{ион}}/N_{\text{общ}}$; $\alpha(\%) = N_{\text{ион}}/N_{\text{общ}} \times 100\%$.

Чем более разбавленным является раствор, тем полнее происходит процесс диссоциации электролита. Все электролиты по степени диссоциации делятся на *сильные*, *средние* и *слабые*. Условно электролиты, которые в 0,01—0,1 н. растворах распадаются более, чем на 30%, относятся к сильным; со степенью диссоциации от 3 до 30% — к средним, а диссоциирующие менее, чем на 3%, — к слабым (табл. 71).

К сильным электролитам относятся HCl , HBr , HNO_3 , H_2SO_4 , KOH , NaOH и большинство солей, к средним электролитам — H_3PO_4 , H_2SO_3 , многие соли тяжелых металлов, к слабым электролитам — H_2CO_3 , H_3BO_3 , NH_4OH , органические кислоты.

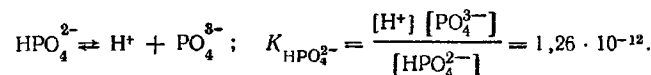
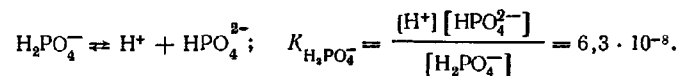
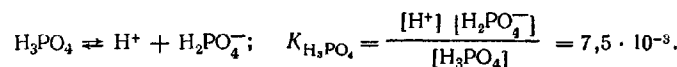
Электролитическая диссоциация является обратимым процессом. Уравнение реакции диссоциации электролита MA в общем виде можно представить следующим образом: $MA \rightleftharpoons M^+ + A^-$. Прилагая к уравнению реакции диссоциации закон действующих масс, получаем выражение *константы равновесия* этой реакции:

$$K = \frac{[M^+][A^-]}{[MA]}$$

где $[M^+]$, $[A^-]$ — равновесная концентрация ионов M^+ и A^- ; $[MA]$ — равновесная концентрация недиссоциированных молекул в растворе.

Константа равновесия реакции диссоциации называется *константой диссоциации* вещества MA . Константы диссоциации кислот или гидроксидов являются характеристикой силы этих соединений.

Многоосновные кислоты и гидроксиды, образованные двухвалентными, трехвалентными металлами, диссоциируют ступенчато. Каждая такая ступень характеризуется своим значением константы — так называемой ступенчатой константой диссоциации. Например,



По первой ступени диссоциации фосфорная кислота является средней, по второй — слабой, по третьей — очень слабой кислотой. Таким образом, величина последующей ступенчатой константы диссоциации меньше предыдущей, так как первый водородный ион (в случае кислот) и первый гидроксил (в случае гидроксидов) всегда отщепляются значительно легче, чем последующие.

Таблица 71. Степень электролитической диссоциации важнейших электролитов в 0,1 н. растворах

Кислоты	α , %	Гидроксиды	α , %	Соли	α , %
HMnO ₄	93	KOH	95	KCl	86
HNO ₃	92	NaOH	90	CH ₃ COOK	85
HCl	91	Ca(OH) ₂	90	KNO ₃	83
HI	90	Ba(OH) ₂	77	NaNO ₃	83
HBr	90	LiOH	63	AgNO ₃	81
HClO ₃	88	AgOH	39	CH ₃ COONa	78
HClO ₄	80	NH ₄ OH	1,4	BaCl ₂	76
H ₂ SO ₄	58			K ₂ SO ₄	72,5
(COOH) ₂	50			Na ₂ SO ₄	69
H ₃ PO ₄	26,8			NaCl	67
HF	15			CaSO ₄	63
(CHONCOOH) ₂	8,2			NaHCO ₃	52
CH ₃ COOH	1,4			MgSO ₄	44,9
H ₂ CO ₃	0,17			ZnSO ₄	39
H ₂ S	0,07			Cu ₂ Cl ₂	38
HCN	0,01			CuSO ₄	22

КОНСТАНТЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

В табл. 72—74 приведены константы электролитической диссоциации кислот и оснований в водных растворах. Соединения расположены в алфавитном порядке.

Обозначения и сокращения: K_a и K_b — константы электролитической диссоциации кислоты и основания; pK_a и pK_b — отрицательные логарифмы констант электролитической диссоциации кислот и гидроксидов: $pK_a = -\lg K_a$; $pK_b = -\lg K_b$.

Римская цифра, стоящая в скобках перед значением константы электролитической диссоциации, означает ступень диссоциации. T (°C) — температура определения константы.

Таблица 72 Неорганические кислоты

Название	Формула	T , °C	K_a	pK_a
Азотистая	HNO ₂	18	$4 \cdot 10^{-4}$	3,4
Азотная	HNO ₃	25	$4,36 \cdot 10^{-4}$	—1,64
Алюминиевая	HAIO ₂	18	$4 \cdot 10^{-13}$	12,4
Борная	H ₃ BO ₃	25	(I) $5,8 \cdot 10^{-10}$	9,4
		20	(II) $1,8 \cdot 10^{-13}$	12,74
		20	(III) $1,6 \cdot 10^{-14}$	13,80
Бромоводород	HBr	25	$1 \cdot 10^9$	—9,0
Бромоватая	HBrO ₃	18	$2 \cdot 10^{-1}$	0,7
Иодоводород	HI	25	$1 \cdot 10^{11}$	—11,0
Иодоватая	HIO ₃	18	$1,9 \cdot 10^{-1}$	0,72
		25	$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,77
Кремниевая (мета)	H ₂ SiO ₂	18	(I) $2,2 \cdot 10^{-10}$	9,66
		18	(II) $1,6 \cdot 10^{-12}$	11,80

Название	Формула	T , °C	K_a	pK_a
Мышьяковая (орто)	H ₃ AsO ₄	25	(I) $5,98 \cdot 10^{-3}$	2,22
		25	(II) $1,05 \cdot 10^{-7}$	6,98
		18	(III) $3,89 \cdot 10^{-12}$	11,41
Пирофосфорная	H ₄ P ₂ O ₇	18	(I) $1,4 \cdot 10^{-1}$	0,85
		25	(II) $1,1 \cdot 10^{-2}$	1,95
		25	(III) $2,1 \cdot 10^{-7}$	6,68
		25	(IV) $4,1 \cdot 10^{-10}$	9,39
Серная	H ₂ SO ₄	25	(I) $1 \cdot 10^8$	—3,0
		25	(II) $1,2 \cdot 10^{-2}$	1,9
Сернистая	H ₂ SO ₃	25	(I) $1,58 \cdot 10^{-2}$	1,8
		25	(II) $6,31 \cdot 10^{-8}$	7,2
Сероводород	H ₂ S	25	(I) $6 \cdot 10^{-8}$	7,2
		25	(II) $1 \cdot 10^{-14}$	14,0
Угльная (кажущиеся константы)	H ₂ CO ₃	25	(I) $4,45 \cdot 10^{-7}$	6,35
		25	(II) $4,69 \cdot 10^{-11}$	10,33
Фосфористая (орто)	H ₃ PO ₃	25	(I) $1,6 \cdot 10^{-2}$	1,80
		25	(II) $6,3 \cdot 10^{-7}$	6,2
Фосфорная (орто)	H ₃ PO ₄	25	(I) $7,5 \cdot 10^{-3}$	2,12
		25	(II) $6,31 \cdot 10^{-8}$	7,20
		25	(III) $1,26 \cdot 10^{-12}$	11,9
Фтороводород	HF	25	$6,61 \cdot 10^{-4}$	3,18
Хлороводород (соляная)	HCl	25	$1 \cdot 10^7$	—7,0
Хромовая	H ₂ CrO ₄	25	(I) $1 \cdot 10$	—1,0
		25	(II) $3,16 \cdot 10^{-7}$	6,5
Циановодород	HCN	25	$7,9 \cdot 10^{-10}$	9,1

Таблица 73. Основания

Название	Формула	T , °C	K_b	pK_b
Алюминий, гидроксид	Al(OH) ₃	25	(III) $1,38 \cdot 10^{-9}$	8,86
Аммоний, гидроксид (истинная константа)	NH ₄ OH	25	$6,3 \cdot 10^{-5}$	4,20
Аммоний, гидроксид (кажущаяся константа)	NH ₄ OH	25	$1,79 \cdot 10^{-5}$	4,75
Барий, гидроксид	Ba(OH) ₂	25	$2,3 \cdot 10^{-1}$	0,64
Железо (II), гидроксид	Fe(OH) ₂	25	(II) $1,3 \cdot 10^{-4}$	3,89
Железо (III), гидроксид	Fe(OH) ₃	25	(II) $1,82 \cdot 10^{-11}$	10,74
Кадмий, гидроксид	Cd(OH) ₂	30	(II) $5,0 \cdot 10^{-3}$	2,30
Кальций, гидроксид	Ca(OH) ₂	25	(II) $4,3 \cdot 10^{-2}$	1,37
Магний, гидроксид	Mg(OH) ₂	25	(II) $2,5 \cdot 10^{-3}$	2,60
Марганец, гидроксид	Mn(OH) ₂	30	(II) $5,0 \cdot 10^{-4}$	3,30
Медь (II), гидроксид	Cu(OH) ₂	25	(II) $3,4 \cdot 10^{-7}$	6,67
Натрий, гидроксид	NaOH	25	5,9	—0,77
Никель, гидроксид	Ni(OH) ₂	30	(II) $2,5 \cdot 10^{-5}$	4,60
Ртуть (II), гидроксид	Hg(OH) ₂	25	(I) $4,0 \cdot 10^{-12}$	11,40
Свинец, гидроксид	Pb(OH) ₂	25	(I) $9,6 \cdot 10^{-4}$	3,02
Серебро, гидроксид	AgOH	25	$1,1 \cdot 10^{-4}$	3,96
Хром, гидроксид	Cr(OH) ₃	26	(III) $1,02 \cdot 10^{-10}$	9,99
Цинк, гидроксид	Zn(OH) ₂	25	(II) $4 \cdot 10^{-5}$	4,40

Таблица 74. Органические кислоты

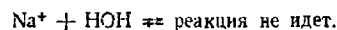
Название	Формула	K_a	pK_a
Адипиновая	$\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ $\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	(I) $3,8 \cdot 10^{-5}$ (II) $5,2 \cdot 10^{-6}$	4,42 5,28
м-Аминобензойная	$\text{m}-\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,74
п-Аминобензойная	$\text{p}-\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	4,85
Бензойная	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	4,18
Бензолсульфокислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$	$2 \cdot 10^{-1}$	0,7
о-Бромбензойная	$\text{o}-\text{Br}-\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	2,85
Валериановая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	4,86
Глицин (аминоуксусная)	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	9,88
Капроновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	4,86
Маленная	$\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$	(I) $1,2 \cdot 10^{-2}$ (II) $5,5 \cdot 10^{-7}$	1,92 6,26
(цис-изомер)			
Масляная	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	$1,52 \cdot 10^{-5}$	4,82
Молочная	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$	3,86
Муравьиная	HCOOH	$1,77 \cdot 10^{-4}$	3,75
1-Нафтойная	$\text{C}_{10}\text{H}_7\text{COOH}$	$2 \cdot 10^{-4}$	3,70
Пропионовая	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	$1,34 \cdot 10^{-5}$	4,87
Салициловая	$\text{o}-\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$	(I) $1,0 \cdot 10^{-3}$ (II) $1,5 \cdot 10^{-14}$	3,00 13,82
Сульфаниловая	$\text{n}-\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	$5,93 \cdot 10^{-4}$	3,23
м-Сульфобензойная	$\text{m}-\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	(I) $4,9 \cdot 10^{-1}$ (II) $1,7 \cdot 10^{-4}$	0,31 3,78
Уксусная	CH_3COOH	$1,75 \cdot 10^{-5}$	4,75
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	10,0
Шавелевая	HOOCCOOH	(I) $5,4 \cdot 10^{-2}$ (II) $5,4 \cdot 10^{-5}$	1,27 4,27

Примечание. Все измерения проведены при 25°C.

ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

Гидролиз — это реакции обмениого разложения между водой и соответствующим соединением. Механизм гидролиза солей, распающихся в воде на ионы, определяется взаимодействием ионов с их гидратной оболочкой. Характер и степень распада гидратной оболочки зависят от поляризующего действия ионов: чем сильнее это действие, тем интенсивнее протекает гидролиз.

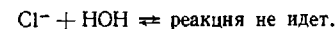
Катионы связаны с молекулами воды донорно-акцепторной связью. Акцепторная способность катионов (т. е. способность притягивать к себе электронные облака) возрастает с увеличением их заряда и уменьшением размеров. Слабые акцепторы (катионы щелочных и щелочно-земельных металлов) практически не поляризуют связь O—H координированной молекулы воды. Разложение воды в этом случае не происходит:



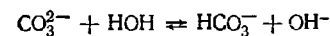
Двух- и трехзарядные катионы (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} и др.) разлагают молекулы воды с образованием гидроксо-аквакомплексов.

Образуется избыток ионов гидроксония (H_3O^+), т. е. среда становится кислой.

Гидратация анионов осуществляется за счет водородной связи. Чем больше отрицательный заряд и меньше размер аниона, тем легче протон отрывается от молекулы воды. Оторвавшийся протон присоединяется к аниону. Слабые доноры электронных пар — однозарядные ионы (Cl^- , Br^- , I^- , NO_3^- и др.), а также ионы SO_4^{2-} , SiF_6^{2-} не вызывают заметного разложения воды:



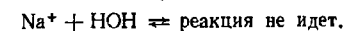
Доноры средней силы — двух- и многозарядные анионы (CO_3^{2-} , PO_4^{3-} и др.), а также CN^- вызывают обратимое разложение воды:



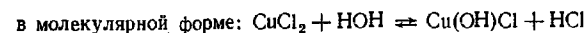
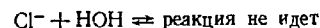
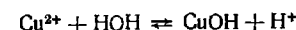
Появляется избыток ионов OH^- , т. е. среда становится щелочной.

Суммарный эффект гидролиза солей определяется характером катионов и анионов:

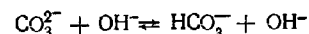
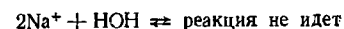
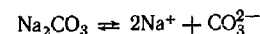
1. Гидролиз практически не идет, pH среды не изменяется, если соль при ионизации образует малополяризующиеся катионы и малополяризующиеся анионы:



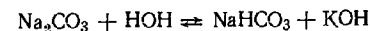
2. Гидролиз приводит к образованию кислой среды, если соль при ионизации образует среднеполяризующиеся катионы и малополяризующиеся анионы:



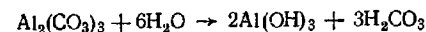
3. Гидролиз приводит к образованию щелочной среды, если соль при ионизации образует слабополяризующиеся катионы и среднеполяризующиеся анионы:



в молекулярной форме:



4. Полный гидролиз с образованием малорастворимых оснований и слабых кислот происходит, если соль при диссоциации образует среднеполяризующиеся катионы и анионы:



Вещество, формула	Растворимость Р, моль/л	Произведение растворимости ПР
Хлориды:		
AgCl	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$
Cu ₂ Cl ₂	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
Hg ₂ Cl ₂	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-18}$
PbCl ₂	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Бромиды:		
AgBr	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-13}$
CuBr	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-9}$
Hg ₂ Br ₂	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$5,2 \cdot 10^{-23}$
PbBr ₂	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$
Иодиды:		
AgI	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-16}$
CuI	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$
Hg ₂ I ₂	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-29}$
PbI ₂	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-9}$
Сульфиды:		
Ag ₂ S	$3,4 \cdot 10^{-17}$	$1,6 \cdot 10^{-49}$
Bi ₂ S ₃	$1,7 \cdot 10^{-15}$ (18°C)	$1,6 \cdot 10^{-72}$
CdS	$6 \cdot 10^{-15}$ (18°C)	$3,6 \cdot 10^{-20}$
CoS(α)	$5,5 \cdot 10^{-13}$	$3,1 \cdot 10^{-23}$
CuS	$1,8 \cdot 10^{-19}$	$3,2 \cdot 10^{-38}$
Cu ₂ S	$4,1 \cdot 10^{-17}$	$2,6 \cdot 10^{-40}$
FeS	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-20}$
HgS	$6,3 \cdot 10^{-27}$ (18°C)	$4,0 \cdot 10^{-53}$
Hg ₂ S	$3,0 \cdot 10^{-28}$	$1,0 \cdot 10^{-45}$
MnS	$3,1 \cdot 10^{-8}$ (18°C)	$1,4 \cdot 10^{-15}$
NiS(α)	$5,5 \cdot 10^{-11}$ (18°C)	$3,0 \cdot 10^{-21}$
PbS	$8,2 \cdot 10^{-15}$	$6,8 \cdot 10^{-20}$
Sb ₂ S ₃	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-27}$
SnS	$1,0 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-28}$
ZnS	$2,8 \cdot 10^{-18}$ (20°C)	$7,9 \cdot 10^{-28}$
Сульфаты:		
Ag ₂ SO ₄	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-10}$
CaSO ₄	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$
SbSO ₄	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Hg ₂ SO ₄	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Карбонаты:		
Ag ₂ CO ₃	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$6,15 \cdot 10^{-12}$
BaCO ₃	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-9}$
CdCO ₃	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-14}$
FeCO ₃	$5,0 \cdot 10^{-8}$ (20°C)	$2,5 \cdot 10^{-11}$
Hg ₂ CO ₃	$9,3 \cdot 10^{-9}$	$9,0 \cdot 10^{-17}$
MgCO ₃	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
MnCO ₃	$9,3 \cdot 10^{-8}$	$8,8 \cdot 10^{-11}$
PbCO ₃	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-13}$
SrCO ₃	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
ZnCO ₃	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
Хроматы:		
Ag ₂ CrO ₄	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-12}$
BaCrO ₄	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$
CaCrO ₄	$0,15$ (18°C)	$2,3 \cdot 10^{-2}$
PbCrO ₄	$1,3 \cdot 10^{-7}$ (18°C)	$1,77 \cdot 10^{-14}$
SrCrO ₄	$5,9 \cdot 10^{-3}$ (15°C)	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Вещество, формула	Растворимость Р, моль/л	Произведение растворимости ПР
Оксалаты:		
Ag ₂ C ₂ O ₄	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$
BaC ₂ O ₄ ·2H ₂ O	$4,0 \cdot 10^{-4}$ (18°C)	$1,61 \cdot 10^{-7}$
CaC ₂ O ₄ ·H ₂ O	$5,0 \cdot 10^{-5}$ (18°C)	$2,57 \cdot 10^{-9}$
CdC ₂ O ₄ ·3H ₂ O	$1,2 \cdot 10^{-4}$ (18°C)	$1,53 \cdot 10^{-8}$
MgC ₂ O ₄	$9,1 \cdot 10^{-3}$ (18°C)	$8,57 \cdot 10^{-5}$
PbC ₂ O ₄	$5,6 \cdot 10^{-6}$ (18°C)	$3,2 \cdot 10^{-11}$
SrC ₂ O ₄	$2,3 \cdot 10^{-4}$ (18°C)	$5,61 \cdot 10^{-8}$
ZnC ₂ O ₄	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$
NiC ₂ O ₄	$2,05 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-10}$
Фосфаты:		
Ag ₃ PO ₄	$1,6 \cdot 10^{-5}$ (20°C)	$1,8 \cdot 10^{-18}$
MgNH ₄ PO ₄	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
Pb ₃ (PO ₄) ₂	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-84}$
Гидроксиды:		
Al(OH) ₃	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-32}$
Cd(OH) ₂	$3,9 \cdot 10^{-5}$ (18°C)	$2,4 \cdot 10^{-18}$
Co(OH) ₂	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$
Cr(OH) ₃	$1,2 \cdot 10^{-6}$ (17°C)	$5,4 \cdot 10^{-31}$
Sb(OH) ₃	$2,0 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-42}$
Cu(OH) ₂	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-20}$
Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$ (18°C)	$1,64 \cdot 10^{-14}$
Fe(OH) ₃	$4,5 \cdot 10^{-10}$ (18°C)	$1,1 \cdot 10^{-29}$
Mg(OH) ₂	$2,0 \cdot 10^{-4}$ (18°C)	$1,2 \cdot 10^{-11}$
Mn(OH) ₂	$2,1 \cdot 10^{-5}$ (18°C)	$4,0 \cdot 10^{-14}$
Ni(OH) ₂	$6,0 \cdot 10^{-7}$ (17°C)	$8,7 \cdot 10^{-19}$
Pb(OH) ₂	$5,5 \cdot 10^{-5}$ (18°C)	$6,8 \cdot 10^{-13}$
Sn(OH) ₂	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-26}$
Zn(OH) ₂	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-17}$
Ca(OH) ₂	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$

РАСТВОРИМОСТЬ И ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ НЕКОТОРЫХ МАЛОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ (ПРИ 25°C)

Произведение растворимости (ПР) — это произведение концентрации ионов, образующихся из труднорастворимого электролита в воде: $BA \rightleftharpoons B^+ + A^-$. $ПР_{BA} = [B^+] \cdot [A^-]$. При постоянной температуре ПР — величина постоянная, но с ростом температуры возрастает.

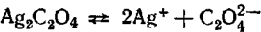
$$\sqrt{ПР_{BA}} = P \quad (P — растворитель BA в воде, моль/л).$$

Для соединения A_xB_y , диссоциирующего по схеме $A_xB_y \rightleftharpoons xA + yB$, растворимость рассчитывают по формуле

$$P = \sqrt[x+y]{\frac{ПР_{A_xB_y}}{x^x \cdot y^y}}.$$

Примеры вычислений по ПР.

1. Определить растворимость $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$, исходя из величины $\text{PR}_{\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4}$. По табл. 75 находим $\text{PR}_{\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4} = 1,1 \cdot 10^{-11}$. Из уравнения диссоциации



видно, что концентрация оксалат-ионов в насыщенном растворе $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$ равна его молярной концентрации, выраженной в моль/л, а концентрация Ag^+ в два раза больше, т. е. если $[\text{C}_2\text{O}_4]^{2-} = X$, то $[\text{Ag}^+] = 2X$.

$$\text{PR}_{\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4} = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{C}_2\text{O}_4]^{2-} = (2X)^2 \cdot (X) = 4X^3.$$

Подставив значения $\text{PR}_{\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4}$, получим величину $1,1 \cdot 10^{-11} = 4X^3$. Отсюда

$$X = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^{-11}}{4}} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ (моль/л)}.$$

Этой же величине равна концентрация $[\text{C}_2\text{O}_4]^{2-}$. Если концентрация $[\text{Ag}^+]$ в два раза больше, то она составляет $2,8 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

2. Определить PR_{AgBr} . По табл. 75 находим, что растворимость AgBr равна $8,8 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Из уравнения диссоциации $\text{AgBr} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Br}^-$ видно, что концентрация каждого иона будет равна $8,8 \times 10^{-7}$ моль/л. Тогда

$$\text{PR}_{\text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-] = (8,8 \cdot 10^{-7}) \cdot (8,8 \cdot 10^{-7}) = 7,7 \cdot 10^{-13}.$$

ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ. ШКАЛА КИСЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ

Кислотность растворов характеризуется концентрацией ионов H^+ . Чем она больше, тем выше кислотность. Концентрацию водородных ионов обычно выражают через водородный показатель и обозначают символом pH. Водородный показатель pH — это десятичный

Таблица 76. Шкала кислотности растворов

pH	$[\text{H}^+]$	pOH	Характеристика среды
—1	10	15	Сильнокислая
0	10^0	14	»
1	10^{-1}	13	»
2	10^{-2}	12	»
3	10^{-3}	11	Умеренно кислая
4	10^{-4}	10	»
5	10^{-5}	9	Слабокислая
6	10^{-6}	8	»
7	10^{-7}	7	Нейтральная
8	10^{-8}	6	Слабощелочная
9	10^{-9}	5	»
10	10^{-10}	4	Умеренно щелочная
11	10^{-11}	3	»
12	10^{-12}	2	Сильнощелочная
13	10^{-13}	1	»
14	10^{-14}	0	»
15	10^{-15}	—1	»

логарифм концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком: $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$ (или $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$), где $[\text{H}^+]$ — концентрация ионов водорода, моль/л. Гидроксильный показатель pOH — это десятичный логарифм концентрации гидроксильных ионов, взятый с обратным знаком: $\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-]$. Эти величины связаны друг с другом уравнением $\text{pH} + \text{pOH} = 14$.

Характеристика кислотности растворов с помощью этих величин приведена в табл. 76.

Расчет pH растворов

pH различных растворов вычисляются по формулам из табл. 77.

Обозначения и сокращения: pC_a — отрицательный десятичный логарифм концентрации кислоты; pK_a — отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации кислоты; pC_b — отрицательный десятичный логарифм концентрации основания; pK_b — отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации основания; pC_c — отрицательный десятичный логарифм концентрации соли.

Таблица 77. Формулы для вычисления pH растворов

Тип электролита	Представители	Расчетная формула
Сильная кислота	$\text{HCl}, \text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{pH} = pC_a$
Сильное основание	$\text{NaOH}, \text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{pH} = 14 - pC_b$
Слабая кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}, \text{H}_3\text{BO}_3$	$\text{pH} = \frac{1}{2}(pK_a + pC_a)$
Слабое основание	NH_4OH	$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2}(pK_b + pC_b)$
Смесь растворов слабой кислоты и ее соли (кислотный буферный раствор)	$\begin{cases} \text{CH}_3\text{COOH} \\ \text{CH}_3\text{COONa} \end{cases}$	$\text{pH} = pK_a + pC_a - pC_c$
Смесь растворов слабого основания и его соли (щелочной буферный раствор)	$\begin{cases} \text{NH}_4\text{OH} \\ \text{NH}_4\text{Cl} \end{cases}$	$\text{pH} = 14 - pK_b - pC_b + pC_c$
Соль, образованная слабым основанием и сильной кислотой	$\text{FeCl}_3, \text{CuSO}_4, \text{NH}_4\text{Cl}$	$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2}pK_b + \frac{1}{2}pC_c$
Соль, образованная слабой кислотой и сильным основанием	$\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{KF}$	$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}pK_a - \frac{1}{2}pC_c$
Соль, образованная слабой кислотой и слабым основанием	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3, \text{Al}_2\text{S}_3$	$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}pK_a - \frac{1}{2}pK_b$

Примеры вычисления.

1. Вычислить pH 0,1 М раствора уксусной кислоты.

Уксусная кислота — слабый электролит, поэтому расчет производят по формуле $\text{pH} = \frac{1}{2}(pK_a + pC_a)$. По табл. 74 значение $K_a = 1,74 \cdot 10^{-5}$, отсюда $pK_a = 5 - \lg 1,74 = 5 - 0,2430 = 4,757$. Концентрацию кислоты (0,1 М) записывают в виде 10^{-1} , тогда $pC_a = -\lg 10^{-1} = 1$. Подставив найденные значения pK_a и pC_a в формулу расчета pH, получают $\text{pH} = \frac{1}{2}(4,757 + 1) = 2,878 \approx 2,88$.

2. Вычислить pH смеси равных количеств 0,1 М раствора уксусной кислоты и 0,01 М раствора ацетата натрия.

Смесь слабой кислоты и ее соли — буферный раствор. Расчет производят по формуле $pH = pK_a + pC_a - pC_c$. Величина pK_a уксусной кислоты составляет 4,75. Концентрации кислоты и соли равны соответственно 10^{-1} и 10^{-2} моль/л, а величины pC_a и pC_c равны 1 и 2. Подставив эти значения в формулу расчета pH, получим $pH = 4,75 + 1 - 2 = 3,75$.

3. Вычислить pH при гидролизе 0,1 М раствора хлорида алюминия.

Хлорид алюминия — соль, образованная сильной кислотой и слабым основанием. Вычисление pH производят по формуле $pH = 7 - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} pC_c$. По табл. 74 находят значение $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5}$ и $pK_b = 4,75$. Концентрация соли $C_c = 10^{-1}$ моль/л, а соответствующая величина $pC_c = 1$. Подставив найденные величины в формулу расчета pH, получим $pH = 7 - \frac{1}{2} \cdot 4,75 + \frac{1}{2} \cdot 1 = 7 - 2,375 + 0,5 = 5,13$.

РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ — ВОССТАНОВЛЕНИЯ. ВАЖНЕЙШИЕ ОКИСЛИТЕЛИ И ВОССТАНОВИТЕЛИ

Окислением называют реакцию, связанную с потерей атомами или ионами одного или нескольких электронов, а восстановлением — реакцию, связанную с приобретением атомами или ионами электронов. Реакции окисления и восстановления взаимосвязаны и не могут рассматриваться изолированно друг от друга. Эти реакции называют реакциями окисления — восстановления, или редокс-реакциями.

Окислителями называют вещества, принимающие электроны от другого вещества, а восстановителями — вещества, отдающие электроны другому веществу.

Важнейшие окислители и восстановители, используемые в химических лабораториях

Окислители

H_2O_2 , HNO_3 , $KClO_3$, K_2CrO_4 ,
 $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$, KIO_3 , MnO_2 ,
 Na_2O_2 , $Na_2S_2O_8$, $NaBrO_3$,
 $(NH_4)_2S_2O_8$, PbO_2 , Pb_3O_4

Восстановители

Al, Fe, Zn, H_2O_2 , HI, H_2S ,
 H_2SO_3 , $Na_2S_2O_3$

Для количественной характеристики окислительно-восстановительной способности веществ, находящихся в растворах или соприкасающихся с растворами, служат стандартные окислительно-восстановительные, или электродные, потенциалы. Их измеряют в определенных условиях (концентрация раствора 1 моль/л, температура $25^\circ C$) по отношению к стандартному водородному электроду, величина потенциала которого условно принята равной нулю. В табл. 78 приведены стандартные потенциалы важнейших окислительно-восстановительных систем (E_0 , В, графа 4). Они сгруппированы по элементам, расположенным в алфавитном порядке их названий (графа 1). В графе 2 представлена окисленная форма, в графе 4 — восстановленная, в графе 3 — количество электронов, принимаемых или отдаваемых в реакции окисления — восстановления.

Элемент	Окисленная форма	Количество электронов	Восстановленная форма	Потенциал E_0 , В
Ag	Ag^+	+e	Ag	+0,799
Al	Al^{3+}	+3e	Al	-1,66
As	$H_3AsO_4 + 2H^+$	+2e	$HAsO_2 + 2H_2O$	+0,56
Au	Au^{3+}	+3e	Au	+1,50
	Au^+	+e	Au	+1,68
Ba	Ba^{2+}	+2e	Ba	-2,90
Bi	$BiO^+ + 2H^+$	+3e	$Bi + H_2O$	+0,32
Br	Br_2	+2e	$2Br^-$	+1,087
	$BrO_3^- + 6H^+$	+6e	$Br^- + 3H_2O$	+1,45
Ca	Ca^{2+}	+2e	Ca	-2,79
Cd	Cd^{2+}	+2e	Cd	-0,403
Ce	Ce^{4+}	+e	Ce^{3+}	+1,44
Cl	Cl_2	+2e	$2Cl^-$	+1,359
	$ClO^- + H_2O$	+2e	$Cl^- + 2OH^-$	+0,88
	$ClO_2^- + H_2O$	+2e	$ClO^- + 2OH^-$	+0,66
	$ClO_3^- + 6H^+$	+6e	$Cl^- + 3H_2O$	+1,45
	$ClO_4^- + 2H^+$	+2e	$ClO_3^- + H_2O$	+1,19
Co	Co^{3+}	+e	Co^{2+}	+1,95
	Co^{2+}	+2e	Co	-0,28
Cr	Cr^{3+}	+e	Cr^{2+}	-0,41
	Cr^{3+}	+3e	Cr	-0,74
	$CrO_2^- + 2H_2O$	+3e	$Cr + 4OH^-$	-1,20
	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+$	+6e	$2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1,33
Cu	Cu^{2+}	+2e	Cu	+0,337
	Cu^+	+e	Cu	+0,531
	Cu^{2+}	+e	Cu^+	+0,159
Fe	Fe^{3+}	+e	Fe^{2+}	+0,771
	Fe^{2+}	+3e	Fe	-0,036
	Fe^{2+}	+2e	Fe	-0,440
	$Fe(C_6H_5N_3)_3^{3+}$	+e	$Fe(C_6H_5N_3)_2^{2+}$	+1,06
	Fe_3O_4	+8e	$3Fe + 4H_2O$	-0,085
H	$2Hg^+$	+2e	H_2	$\pm 0,0000$
	H_2	+2e	$2H^+$	-2,25
	$H_2O_2 + 2H^+$	+2e	$2H_2O$	+1,77
Hg	$2Hg^{2+}$	+2e	Hg_2^{2+}	+0,907
	Hg^{2+}	+2e	Hg	+0,854
	Hg_2^{2+}	+2e	Hg	+0,792
	Hg_2Cl_2	+2e	$2Hg + 2Cl^-$	+0,268
I	I_2	+2e	$2I^-$	+0,536

Элемент	Окисленная форма	Количество электронов	Восстановленная форма	Потенциал E_0 , В
K	I_3^-	+2e	$3I^-$	+0,545
	$2HIO+2H^+$	+2e	I_2+2H_2O	+1,45
	$IO_3^-+5H^+$	+4e	$HIO+2H_2O$	+1,14
	$IO_3^-+6H^+$	+6e	I^-+3H_2O	+1,08
K	K^+	+e	K	-2,92
Mg	Mg^{2+}	+2e	Mg	-2,37
Mn	Mn^{3+}	+e	Mn^{2+}	+1,51
	Mn^{2+}	+2e	Mn	-1,18
	MnO_2+4H^+	+2e	Mn^{2+}	+1,23
	$MnO_4^{2-}+2H_2O$	+2e	MnO_2+4OH^-	+0,60
	MnO_4^-	+e	MnO_4^{2-}	+0,56
	$MnO_4^-+4H^+$	+3e	MnO_2+2H_2O	+1,69
	$MnO_4^-+8H^+$	+5e	$Mn^{2+}+4H_2O$	+1,51
Mo	H_2MoO_4+6H	+6e	$Mo+4H_2O$	0,0
	$MoO_4^{2-}+4H_2O$	+6e	$Mo+8OH^-$	-1,05
N	$NO_2^-+H_2O$	+e	$NO+2OH$	-0,46
	$NO_3^-+3H^+$	+2e	HNO_2+H_2O	+0,94
	$NO_3^-+2H^+$	+e	NO_2+H_2O	+0,80
	$NO_3^-+4H^+$	+3e	$NO+2H_2O$	+0,96
	$NO_3^-+8H^+$	+6e	$(NH_2OH)^++2H_2O$	+0,73
	$NO_3^-+10H^+$	+8e	$NH_4^++3H_2O$	+0,87
Na	Na^+	+e	Na	-2,71
Ni	Ni^{2+}	+2e	Ni	-0,22
O	O_2+4H^+	+4e	$2H_2O$	+1,229
	O_2+2H_2O	+4e	$4OH^-$	+0,401
	O_2+2H^+	+2e	H_2O_2	+0,682
	$H_2O_2+2H^+$	+2e	$2H_2O$	+1,77
	O_3+2H^+	+2e	O_2+H_2O	+2,07
P	$P+3H^+$	+3e	PH_3	+0,06
	$P+3H_2O$	+3e	PH_3+3OH^-	-0,89
	$H_3PO_2+H^+$	+e	$P+2H_2O$	-0,51
	$H_2PO_2^-$	+e	$P+2OH^-$	-2,05
	$H_3PO_3+2H^+$	+2e	$H_3PO_2+H_2O$	-0,50
	$H_3PO_4+2H^+$	+2e	$H_3PO_3+H_2O$	-0,276
	$H_4P_2O_6+2H^+$	+2e	$2H_3PO_3$	+0,38
Pb	Pb^{2+}	+2e	Pb	-0,126
	Pb^{4+}	+2e	Pb^{2+}	+1,66
	PbO_2+4H^+	+2e	$Pb^{2+}+2H_2O$	+1,455

Элемент	Окисленная форма	Количество электронов	Восстановленная форма	Потенциал E_0 , В
S	S	+2e	S^{2-}	-0,48
	$S_4O_6^{2-}$	+2e	$2S_2O_3$	+0,09
	$S_2O_3^{2-}+6H^+$	+4e	$2S+3H_2O$	+0,5
	$SO_4^{2-}+4H^+$	+2e	$H_2SO_3+H_2O$	+0,17
Sb	$S_2O_8^{2-}$	+2e	$2SO_4^{2-}$	+2,00
	$Sb+3H^+$	+3e	SbH_3	-0,51
	$SbO_2^-+2H_2O$	+3e	$Sb+4OH^-$	-0,675
	$SbO_3^-+H_2O$	+2e	$SbO_2^-+2OH^-$	-0,43
Si	$Si+4H^+$	+4e	SiH_4	-0,10
	$Si+4H_2O$	+4e	SiH_4+4OH^-	-0,73
	$[SiF_6]^{2-}$	+4e	$Si+6F^-$	-1,2
	$H_2SiO_3+4H^+$	+4e	$Si+3H_2O$	-0,79
Sn	Sn^{2+}	+2e	Sn	-0,140
	Sn^{4+}	+2e	Sn^{2+}	+0,15
	$HSnO_2^-+H_2O$	+2e	$Sn+3OH^-$	-0,91
	$Sn(OH)_6$	+2e	$HSnO_2^-+3OH^-+H_2O$	-0,93
Sr	Sr^{2+}	+2e	Sr	-2,89
Ti	Ti^{2+}	+2e	Ti	-1,63
	$TiO^{2+}+2H^+$	+e	$Ti^{3+}+H_2O$	+0,1
	Ti^{3+}	+e	$+Ti^{2+}$	-0,37
	Ti^{4+}	+e	Ti^{3+}	+0,092
Zn	Zn^{2+}	+2e	Zn	-0,764
	$ZnO_2^{2-}+2H_2O$	+2e	$Zn+4OH^-$	-1,216

УРАВНЕНИЕ НЕРНСТА

Величина окислительно-восстановительного потенциала зависит от температуры, давления и концентрации ионов, присутствующих в растворе. Зависимость потенциала от концентрации ионов окислителя и восстановителя выражается уравнением Нернста, которое для реакции $aA + bB = dD + eE$ имеет вид

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[A]^a [B]^b}{[D]^d [E]^e},$$

где E — окислительно-восстановительный потенциал; E_0 — нормальный окислительно-восстановительный потенциал; a, b, d, e — стехиометрические коэффициенты уравнения реакции; $[A], [B], [D], [E]$ — концентрации ионов, моль/л; n — число принимаемых или отдаваемых ионами электронов; R — универсальная газовая постоянная.

янная, 8,314 Дж/(моль·град); F — число Фарадея, 96 500 Кл; T — абсолютная температура, К.

После подстановки в уравнение Нернста значений R , F , $T = 298$ К и перехода от натуральных логарифмов к десятичным получают выражение

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{[A]^a [B]^b}{[D]^d [E]^e}.$$

По этой формуле можно, в частности, вычислить величины потенциалов в различные моменты титрования. В области эквивалентной точки титрования вычисления производят по формуле

$$E = \frac{aE'_0 + bE''_0}{a + b},$$

где E'_0 и E''_0 — стандартные окислительно-восстановительные потенциалы окислителя и восстановителя; a , b — число отдаваемых и принимаемых электронов.

Расчеты по уравнению Нернста

1. Вычислить потенциал при титровании 100 мл 0,1 н. раствора FeSO_4 в точке, когда добавлено 99,9 мл 0,1 н. раствора KMnO_4 .

Когда к 100 мл раствора FeSO_4 добавлено 99,9 мл раствора KMnO_4 , в растворе остается 0,1 мл FeSO_4 (100 — 99,9). Стандартный окислительно-восстановительный потенциал перехода $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ равен 0,771 В (табл. 78). Число отдаваемых при этом электронов равно $n = 1$. Подставив найденные величины в уравнение Нернста, получают

$$E = 0,771 + \frac{0,059}{1} \lg \frac{99,9}{0,1} = 0,771 + 0,059 \lg 999 = 0,771 + 0,177 = 0,948 \text{ В.}$$

2. Вычислить потенциал при титровании в кислой среде 100 мл 0,1 н. раствора FeSO_4 0,1 н. раствором KMnO_4 в эквивалентной точке титрования. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ и $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ равны соответственно 0,771 В и 1,51 В (табл. 78). Число электронов, отдаваемых восстановителем, $b = 1$, а принимаемых окислителем — $a = 5$. Подставив эти данные в формулу, находят величину потенциала в эквивалентной точке:

$$E = \frac{aE'_0 + E''_0}{a + b} = \frac{5 \cdot 1,51 + 1 \cdot 0,771}{1 + 5} = 1,387 \text{ В.}$$

3. Раствор содержит анионы Cl^- и SO_3^{2-} . Какой из них будет окисляться перманганатом калия, если концентрации анионов равны?

По табл. 78 находят, что для $\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}^0$ $E_0 = 1,359$ В, а для $\text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ $E_0 = 0,17$ В. Разность величин стандартных потенциалов ионов, участвующих в реакции, называется *электродвижущей силой* (ЭДС) реакции. Чем больше величина ЭДС, тем энергичнее

протекает реакция. Для реакции окисления сульфит-иона ЭДС равна $1,51 - 0,17 = 1,34$ В, а для окисления хлорид-иона $1,51 - 1,359 = 0,151$ В. Следовательно, более энергично будет протекать реакция окисления сульфит-иона и только после его полного окисления начнет окисляться хлорид-ион.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Металлы, расположенные в ряд по величине возрастания алгебраической величины их стандартного электродного потенциала, составляют *электрохимический ряд напряжений*.

Таблица 79. Электрохимический ряд напряжений металлов

Элемент	Электродная реакция	Нормальный потенциал, В	Элемент	Электродная реакция	Нормальный потенциал, В
Li	$\text{Li} \rightleftharpoons \text{Li}^+ + e$	—3,05	Cd	$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2e$	—0,40
K	$\text{K} \rightleftharpoons \text{K}^+ + e$	—2,92	Co	$\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 2e$	—0,28
Ba	$\text{Ba} \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + 2e$	—2,90	Ni	$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2e$	—0,25
Sr	$\text{Sr} \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+} + 2e$	—2,89	Sn	$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2e$	—0,14
Ca	$\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2e$	—2,87	Pb	$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2e$	—0,13
Na	$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + e$	—2,71	Fe	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2e$	—0,04
Mg	$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + 2e$	—2,36	H	$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2e$	0,000
Al	$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3e$	—1,66	Cu	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2e$	+0,34
Mn	$\text{Mn} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2e$	—1,18	Hg	$2\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} + 2e$	+0,79
Zn	$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2e$	—0,76	Ag	$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + e$	+0,80
Cr	$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 3e$	—0,74	Hg	$\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} + 2e$	+0,85
Fe	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2e$	—0,44	Au	$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3e$	+1,50

В этом ряду каждый предыдущий металл активнее последующего и способен вытеснять его из растворов. Металлы, расположенные до водорода, способны вытеснять его из растворов кислот. Чем дальше друг от друга расположены металлы, тем большую величину ЭДС будет иметь составленный из них гальванический элемент.

Пример расчета. Сравнить ЭДС двух гальванических элементов. Первый элемент состоит из никеля, погруженного в 0,2 М раствор нитрата никеля, и ртути, погруженной в 0,1 М раствор хлорида ртути(I). Второй элемент состоит из цинка, погруженного в 0,2 М раствор сульфата цинка, и ртути, погруженной в 0,1 М раствор хлорида ртути(I).

В первом гальваническом элементе на электродах протекают реакции



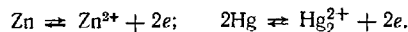
Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы этих реакций соответственно равны — 0,25 и 0,79 В (табл. 79). По уравнению Нернста находят

$$E_{\text{Ni/Ni}^{2+}} = -0,25 + \frac{0,059}{2} \lg 0,2 = -0,27 \text{ В.}$$

$$E_{2\text{Hg}/\text{Hg}_2^{2+}} = 0,79 + \frac{0,059}{2} \lg 0,1 = 0,76 \text{ В.}$$

ЭДС первого элемента составляет $E_{2\text{Hg}/\text{Hg}_2^{2+}} - E_{\text{Ni}/\text{Ni}^{2+}} = 0,76 - (-0,27) = 1,03 \text{ В.}$

Во втором гальваническом элементе на электродах протекают реакции



Для этих реакций E_0 равны соответственно $-0,76$ и $0,79 \text{ В.}$ По уравнению Нернста находят

$$E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}} = -0,76 + \frac{0,059}{2} \lg 0,2 = -0,78 \text{ В,}$$

$$E_{2\text{Hg}/\text{Hg}_2^{2+}} = 0,79 + \frac{0,059}{2} \lg 0,1 = 0,76 \text{ В.}$$

ЭДС второго элемента составляет $0,76 \text{ В} - (-0,78 \text{ В}) = 1,58 \text{ В.}$ Большая величина ЭДС второго гальванического элемента соответствует положению металлов в табл. 79.

РАЗДЕЛ 6

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В этом разделе приведены сведения по химическим методам анализа.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИОНОВ. СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

В табл. 80 и 81 представлена классификация катионов, принятая при систематическом анализе кислотно-основным и сероводородным методами.

Таблица 80. Кислотно-щелочная классификация катионов

Номер аналитической группы	Групповой реагент	Катионы
I	HCl	Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} и другие катионы, хлориды которых мало растворимы в воде
II	H_2SO_4	Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} и другие катионы, сульфаты которых мало растворимы в воде
III	NaOH	Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , As(III) , As(V) и другие катионы, гидроксиды которых растворимы в щелочах
IV	NaOH	Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Bi^{3+} , Sb(III) и другие катионы, гидроксиды которых нерастворимы в щелочах
V	NH_4OH	Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} и другие катионы, гидроксиды которых растворимы в аммиаке
VI	Отсутствует	K^+ , NH_4^+ , Na^+ и другие катионы, соли которых хорошо растворимы в воде

Таблица 81. Аналитическая классификация катионов при анализе сероводородным методом

Номер аналитической группы	Групповой реагент	Катионы
I	Отсутствует	NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} и другие катионы, соли которых хорошо растворимы в воде
II	$(\text{NH})_2\text{CO}_3$	Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , карбонаты которых нерастворимы в воде
III	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	Mn^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} и другие катионы, сульфиды которых нерастворимы в разбавленных растворах аммиака
IV	H_2S	Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , As(III) , As(V) , Sb(III) , Sb(V) и другие катионы, сульфиды которых нерастворимы в разбавленных растворах соляной кислоты
V	HCl	Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} и другие катионы, хлориды которых мало растворимы в воде

В табл. 82 представлена аналитическая классификация важнейших анионов, в основу которой положено различие в растворимости их серебряных и бариевых солей.

Таблица 82. Аналитическая классификация анионов

Номер аналитической группы	Групповой реагент	Анионы
I	BaCl_2	SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} и другие анионы, бариевые соли которых нерастворимы в воде
II	AgNO_3	Cl^- , I^- , Br^- , S^{2-} и другие анионы, серебряные соли которых нерастворимы в воде
III	Отсутствует	NO_3^- , NO_2^- , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$ и другие анионы, бариевые и серебряные соли которых растворимы в воде

Качественный анализ состоит из следующих основных этапов:
1) перевода анализируемой пробы в раствор (табл. 83);
2) предварительных испытаний на катионы (табл. 85);
3) систематического качественного анализа катионов и дробного анализа анионов (табл. 86—94).

Способы приготовления специальных реактивов для качественного анализа приведены в табл. 95.

Таблица 83. Способы перевода в раствор важнейших видов анализируемого материала

№ п/п	Анализируемый материал	Реактив	Способ перевода в раствор
1	Алюминий и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор	Растворение
2	Алюминия оксид и руды	NaOH, 20%-ный раствор Смесь Na_2CO_3 и K_2CO_3 в соотношении 1:1	» Сплавление в платиновом тигле при 950°C с последующим растворением в конц. HCl
3	Железо и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор HNO_3 , 35%-ный раствор H_2SO_4 , 20%-ный раствор	Растворение » »
4	Железа оксид и руды	Конц. HCl Плавленый KHSO_4	» Сплавление при 600°C с последующим растворением в 20%-ной H_2SO_4
5	Известняки и доломиты	HCl, 18%-ный раствор	Растворение
6	Гипс	См. № 2	Сплавление в платиновом тигле при 950°C с последующим растворением сплава в холодной воде, тщательной промывкой осадка водой и его растворением в 18%-ной HCl
7	Фосфориты	Царская водка Конц. H_2SO_4	Растворение »
8	Магний и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор H_2SO_4 , 20%-ный раствор	» »
9	Марганец и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор Конц. H_2SO_4	» »
10	Медь и ее сплавы	HNO_3 , 35%-ный раствор Смесь конц. HCl и HNO_3 в соотношении 2:1 Конц. H_2SO_4	» » »
11	Кобальт и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор	»
12	Никель и его сплавы	HNO_3 , 35%-ный раствор	»
13	Олово и его сплавы	Конц. H_2SO_4	»
14	Свинец и его сплавы	CH_3COOH , 98%-ный раствор	»
15	Свинца сульфаты	HNO_3 , 35%-ный раствор См. № 2	См. № 6
16	Серебро и его сплавы	HNO_3 , 35%-ный раствор	Растворение
17	Титан и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор	»
18	Хром и его сплавы	H_2SO_4 , 40%-ный раствор	»
19	Цинк и его сплавы	HCl, 18%-ный раствор	»
20	Ферросплавы	HNO_3 , 35%-ный раствор H_2SO_4 , 20%-ный раствор	» »

Продолжение табл. 83

№ п/п	Анализируемый материал	Реактив	Способ перевода в раствор
		Смесь 40%-ной HF и конц. HNO_3 в соотношении 1:10 Na_2O_2	Растворение при нагревании с последующим упариванием Сплавление в никелевом тигле при 700°C с последующим растворением в горячей воде См. № 2
21	Золы	Na_2CO_3	См. № 2
22	Металлургические шлаки:		
	а) основные	Конц. HCl См. № 2	Растворение
	б) кислые	Конц. HCl См. № 2	Сплавление при 1000°C
23	Цементы	Конц. HCl См. № 2	Растворение См. № 2
24	Стекло	Смесь 40%-ной HF и конц. H_2SO_4 в соотношении 20:1	Растворение
25	Силикаты	Конц. HCl Смесь 40%-ной HF с конц. H_2SO_4 и водой в соотношении 10:2:2 Смесь NH_4Cl и CaCO_3 в соотношении 1:8 См. № 2	» » Спекание при 550°C с последующим растворением в 20%-ной HCl См. № 2

Сплавление пробы с NaOH, KOH, Na_2O_2 производят в никелевом или железном тиглях. Сплавление с Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ производят в тиглях, изготовленных из платины.

Таблица 84. Характеристика платиновой посуды, применяемой в химическом анализе

Название посуды	Шифр по ГОСТ 6563—75	Вместимость, мл	Масса, г
Тигли высокие	101—3	9	8
	101—6	18	18
	101—9	40	36
Крышки к тиглям	101—3; 101—6	—	2,2; 3,2
Тигли широкие	107—3	27	26

Название посуды	Шифр по ГОСТ 6563—75	Вместимость, мл	Масса, г
Чашки плоскодонные	118—2	34	19
	118—4	115	51
Электроды цилиндрические	300—2	—	42
Наконечники для щипцов	506—2	—	5,8

Таблица 85. Предварительные испытания на катионы

Катион	Характерная реакция	Аналитический эффект
NH_4^+	К 2 каплям анализируемого раствора прибавляют 0,5 мл 2 н. раствора NaOH. Смесь нагревают до кипения и фильтруют. К фильтрату прибавляют 3—5 капель реактива Несслера	Раствор окрашивается в желто-бурый цвет или выпадает красно-коричневый осадок
Fe^{2+}	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли 2 н. раствора HCl и 1 каплю 5%-ного раствора $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Выпадает темно-синий осадок турбулентной сини
Fe^{3+}	К 2—3 каплям исследуемого раствора прибавляют 1 каплю 2 н. раствора HCl и 1 каплю 5%-ного раствора $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Выпадает синий осадок берлинской лазури
Cr^{3+}	0,5 мл анализируемого раствора помещают в фарфоровый тигель, прибавляют 0,5 мл 0,1 н. раствора KMnO_4 и 1 мл 2 н. раствора H_2SO_4 . Смесь кипятят 2—3 мин и фильтруют. В другую пробирку помещают 0,5 мл 2 н. раствора H_2SO_4 , 0,5 мл 3%-ного раствора H_2O_2 и 0,5 мл эфира. Затем прибавляют 3—4 капли фильтрата и взбалтывают	Эфирный слой окрашивается в синий цвет. Окраска неустойчива
Mn^{2+}	В пробирке смешивают 1 мл 2 н. раствора HNO_3 с 3—8 каплями 2%-ного раствора AgNO_3 . К смеси добавляют 2—3 кристаллика $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Смесь нагревают до 80—90°C, прибавляют 1 каплю анализируемого раствора и нагревают до кипения	Раствор окрашивается в красно-фиолетовый цвет

Таблица 86. Схема разделения катионов на аналитические группы кислотно-щелочным методом

К алквоте анализируемого раствора прибавляют 1,5-кратный объем 2 н. раствора HCl, перемешивают и фильтруют

Осадок 1*	Раствор 1: катионы II, III, IV, V и VI аналитических групп	
	К раствору прибавляют равный объем насыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и фильтруют	Раствор 2: катионы III, IV, V и VI аналитических групп
Катионы I аналитической группы разделяют и открывают в соответствии с табл. 87	Осадок 2**	Из отдельной алквоты раствора дробными реакциями открывают катионы VI аналитической группы: NH_4^+ , K^+ , Na^+ (в соответствии с табл. 92). К оставшемуся раствору прибавляют 1,5-кратный объем 6 н. раствора NaOH и 1 мл 3%-ного раствора H_2O_2 ; осторожно нагревают 3—5 мин и фильтруют
	Переносит в фарфоровую чашку, добавляют 10 мл 4 н. раствора Na_2CO_3 и кипятят 10 мин. После охлаждения прибавляют 25 мл воды, перемешивают и фильтруют	Осадок 3: катионы IV и V групп Осадок 3: катионы III и VI групп К раствору прибавляют равный объем Na_2CO_3 и 0,5 мл 3%-ного раствора H_2O_2 , нагревают 5 мин и фильтруют

* I аналитическая группа.
** II аналитическая группа.

Осадок 4: Раствор 4: катионы IV и V групп	Осадок 5	Раствор 5
Осадок снова кипятят с 10 мл раствора Na_2CO_3 , фильтруют и промывают теплой водой до отрицательной реакции на ион SO_4^{2-} . Анализируют в соответствии с табл. 88	Катионы III аналитической группы: Al^{3+} , Sn^{4+} , Zn^{2+} разделяют и открывают в соответствии с табл. 91	В растворе содержатся катионы Ca^{2+} , $\text{As}(\text{V})$, которые открывают в соответствии с табл. 91
Состоит из HSbO_3 . Анализируют в соответствии с табл. 89	Избыток кислоты нейтрализуют 1 н. раствором Na_2CO_3 до прекращения «высипания». К раствору прибавляют 1,5-кратный объем NH_4OH , перешивают и фильтруют	Раствор 6
Осадок 6	Катионы IV аналитической группы разделяют и открывают в соответствии с табл. 89	Катионы V аналитической группы разделяют и открывают в соответствии с табл. 90

Таблица 87. Исследование осадка 1 (катионы I аналитической группы)

Осадок 1 промывают холодной водой, кипятят с 0,5 мл воды и горячим фильтруют		
Раствор 1: Pb^{2+}	Осадок 1: Ag^+ , Hg_2^{2+}	
Катион Pb^{2+} открывают по реакции № 1 (табл. 93)	Осадок 1 обрабатывают 0,5 мл 25%-ного раствора NH_4OH при энергичном перемешивании и фильтруют	
	Раствор 2: Ag^+	Осадок 2: Hg_2^{2+}
	К раствору добавляют 1 каплю фенолфталеина и по каплям 5 н. раствор HNO_3 и 1—2 капли избытка. Выпадение белой муты указывает на присутствие серебра. Осадок растворяют в 5—6 каплях 2 н. раствора NH_4OH и открывают Ag^+ по реакции № 2 (табл. 93)	Мгновенное почернение осадка свидетельствует о наличии ртути. Для проверки осадок растворяют при нагревании в 4 каплях царской водки. Остаток фильтруют и в растворе открывают Hg_2^{2+} по реакции № 3 (табл. 93)

Таблица 88. Исследование осадка 2 (катионы II аналитической группы)

Осадок 2 промывают горячей водой и растворяют в нескольких каплях 2 н. раствора CH_3COOH . 1—2 капли раствора смешивают с равным объемом гипсовой воды и наблюдают за выпадением осадка

Эффект	Катион		
	Ba^{2+}	Sr^{2+}	Ca^{2+}
Осадок не образуется	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Осадок появляется постепенно	»	Присутствует	Может присутствовать
Осадок образуется мгновенно	Присутствует	Может присутствовать	Может присутствовать

Если от прибавления гипсовой воды раствор не мутнеет, то в нем присутствуют только кальций. В качестве проверочной реакции используют реакцию с родизонатом натрия. В случае присутствия бария к раствору прибавляют несколько капель 2 н. раствора CH_3COONa и 2 н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ до полного осаждения хромата бария. Раствор нагревают до кипения и фильтруют.

Осадок 1: Ba^{2+}	Раствор 1: Ca^{2+} , Sr^{2+}
В качестве проверочной используют реакцию № 20 (табл. 93)	Прибавляют 3—5 капель насыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, нагревают до кипения и фильтруют

Осадок 2: Sr^{2+}	Раствор 2: Ca^{2+}
Белый осадок промывают 3—4 раза кипящей водой, заливают 4 мл насыщенного раствора Na_2CO_3 , кипятят 5 мин и фильтруют. Осадок промывают и вновь кипятят с Na_2CO_3 . Обработку повторяют еще дважды, промывая осадок 5—6 раз кипящей водой порциями по 5 мл. Промытый осадок растворяют в минимальном количестве 2 н. раствора CH_3COOH и открывают стронций по реакции № 21 (табл. 93)	В растворе открывают кальций по реакции № 21 и 22 (табл. 93)

Таблица 89. Исследование осадка 6 (катионы IV аналитической группы)

Осадок 6 растворяют в 1 мл 6 н. раствора HNO_3 , нагревают и фильтруют. Полученный осадок соединяют с осадком 4 (табл. 86). Образуется осадок 1

Осадок 1: Sb(V)	Раствор 1: Mn^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Bi^{3+}		
Сурьму открывают по реакции № 9 (табл. 93)	К раствору прибавляют 6 н. раствор NaOH до слабощелочной реакции и несколько капель 3%-ного раствора H_2O_2 . Фильтруют. Фильтрат отбрасывают. Осадок обрабатывают 0,5 мл 10%-ного раствора NH_4Cl при тщательном перемешивании и фильтруют		
	Осадок 2: Mn^{2+} , Fe^{3+} , Bi^{3+}	Раствор 2: Mg^{2+}	
	В пробирку прибавляют 1,0 мл 6 н. раствора HNO_3 . Содержимое пробирки перемешивают и фильтруют		В растворе открывают магний по реакции № 24 (табл. 93)
	Осадок 3: Mn^{2+}	Раствор 3: Fe^{3+} , Bi^{3+}	
	Осадок растворяют в 0,5 мл конц. HCl и открывают марганец по реакции № 16 (табл. 93)	К раствору прибавляют по каплям 6 н. раствор NH_4OH до появления осадка. Осадок растворяют прибавлением нескольких капель 1 н. раствора HCl. Кипятят 5—6 мин и фильтруют	

Осадок 4: Bi^{3+}	Раствор 4: Fe^{3+}
Осадок растворяют в 0,5 мл 6 н. раствора HNO_3 и открывают висмут по реакции № 6 (табл. 93)	В растворе открывают железо по реакции № 14 (табл. 93)

Таблица 90. Исследование раствора 6 (катионы V аналитической группы)

К раствору прибавляют двукратный объем 2 н. раствора NH_4OH , перемешивают и фильтруют

Осадок 1: Co^{2+} , Hg^{2+}	Раствор 1: Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+}		
Осадок обрабатывают 1 мл 3 н. раствора HCl и фильтруют	К аликовте раствора прибавляют большой избыток 6 н. раствора H_2SO_4 и 0,3 г кристаллического $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Раствор кипятят 3—4 мин и фильтруют		
Осадок 2: Hg^{2+}	Раствор 2: Co^{2+}	Осадок 3: Cu^{2+}	Раствор 3: Cd^{2+} , Ni^{2+}
Осадок растворяют при кипячении в 0,5 мл конц. HNO_3 и открывают ртуть по реакции № 5 (табл. 93)	Кобальт открывают по реакции № 13 (табл. 93)	Осадок растворяют при кипячении в 0,5 мл 6 н. раствора HNO_3 и открывают медь по реакции № 7 (табл. 93)	В аликовте раствора открывают кадмий по реакции № 8 (табл. 93). Вторую аликовту раствора кипятят 5 мин. Прибавляют 6 н. раствор NH_4OH до растворения зеленого осадка и открывают никель по реакции № 12 (табл. 93)

Таблица 91. Исследование осадка 5 и раствора 5, содержащих катионы III аналитической группы
а) Исследование осадка 5

Осадок 5 растворяют в 0,5 мл 6 н. раствора HCl ; прибавляют 3 н. раствор NH_4OH до слабого запаха и 0,3 г кристаллического NH_4Cl . Раствор нагревают до кипения и фильтруют

Осадок 1: Al^{3+} , Sn^{4+}	Раствор 1: Zn^{2+}
---	-----------------------------

Осадок растворяют в 0,5 мл 6 н. раствора HCl и делят на две аликвоты		В растворе открывают цинк по реакции № 18 (табл. 93)
Раствор 2: Al ³⁺	Раствор 2а: Sn ⁴⁺	
Алюминий открывают по реакции № 17 (табл. 93)	К раствору прибавляют 1 мл 6 н. раствора HCl и около 0,3 г металлического цинка. В восстановленном растворе открывают олово по реакции № 10 (табл. 93)	

б) Исследование раствора 5

Раствор 5 делят на две аликвоты

Открытие Cr ³⁺	Открытие As(V)
Желтая окраска свидетельствует о присутствии хрома. В качестве проверочной используют реакцию № 15 (табл. 93)	Производят по реакции № 11 (табл. 93)

Таблица 92. Исследование аликвоты раствора 2 (катионы VI аналитической группы)

Аликвоту раствора 2 помещают в фарфоровую чашку и выпаривают на песчаной бане досуха. Сухой осадок прокалывают до прекращения выделения белого дыма и растворяют в минимальном объеме 1 н. раствора HCl. Раствор фильтруют, осадок отбрасывают, а фильтрат делят на две части.

Открытие калия	Открытие натрия
Производят по реакции № 25 (табл. 93)	Производят по реакции № 26 (табл. 93)

№ реакции	Катионы	Выполнение реакции	Аналитический эффект
1	Pb ²⁺	Одну каплю анализируемого раствора помещают на фильтровальную бумагу и обрабатывают одной каплей 0,2%-ного раствора родизоната натрия	Появляется синее пятно или кольцо, которое при прибавлении буферного раствора с pH 2,8 окрашивается в красный цвет
2	Ag ⁺	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют одну каплю 5%-ного раствора KI	Выпадает бледно-желтый осадок иодида серебра, нерастворимый в аммиаке
3	Hg ₂ ²⁺	Одну каплю анализируемого раствора помещают на часовое стекло и обрабатывают 2—3 каплями 0,5 н. раствора SnCl ₂	Выпадает белый осадок каломели, чернеющий в результате восстановления до металлической ртути
4	Hg ²⁺	К одной капле анализируемого раствора прибавляют одну каплю 2 н. раствора HNO ₃ , одну каплю 0,05%-ного раствора дитизона в CCl ₄ и сильно встряхивают	Окраска слоя CCl ₄ из зеленой превращается в оранжевую
5	Hg ²⁺	К 2 каплям анализируемого раствора прибавляют 2 капли 2 н. раствора NH ₄ OH и 2 капли раствора дифенилкарбазида	Выпадает осадок неизвестного состава, окрашенный в синий или фиолетовый цвет
6	Bi ³⁺	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют по каплям 2 н. раствор NaOH до появления осадка и 3—5 капель свежеприготовленного раствора станина натрия	Выпадает черный осадок металлического висмута
7	Cu ²⁺	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли 1 н. раствора K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпадает красный осадок гексацианоферрата меди
8	Sb(V)	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли 2 н. раствора HCl и 5 капель свежеприготовленной сероводородной воды	Выпадает осадок сульфида кадмия канареечно-желтого цвета
9	Cd ²⁺	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 12 н. раствора HCl, одну каплю 1 н. раствора NaNO ₃ и через минуту одну каплю насыщенного раствора мочевины. Разбавляют водой до 3 мл, прибавляют 4 капли 0,06%-ного раствора метилового фиолетового и взбалтывают	Образуется тонкая суспензия, окрашенная в проходящем свете в фиолетовый цвет
10	Sn ²⁺	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 1—2 капли 2%-ного раствора Hg(NO ₃) ₂	Выпадает белый осадок каломели, чернеющий вследствие ее восстановления до металлической ртути
11	As(V)	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 5—6 капель магнессальной смеси	Выпадает белый кристаллический осадок магний-аммоний арсената, растворимый в кислотах
12	Ni ²⁺	Реакция Л. А. Чугаева: на фильтровальную бумагу помещают одну каплю анализируемого раствора. После впитывания пятно смачивают одной	Пятно окрашивается в красный цвет

№ реакции	Катионы	Выполнение реакции	Аналитический эффект
13	Co^{2+}	капель спиртового раствора диметилглиоксима и обрабатывают в течение нескольких минут парами NH_4OH К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли 2 н. раствора CH_3COOH и 5 капель 7%-ного раствора KNO_2 . Раствор нагревают до кипения и охлаждают при перемешивании, протирая стенки пробирки стеклянной палочкой	Выпадает желтый кристаллический осадок гексанитрокобальтата (III) калия-натрия
14	Fe^{3+}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3—5 капель 5%-ного раствора сульфосалициловой кислоты	Раствор окрашивается в розовый цвет
15	Cr^{3+}	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 1 мл 2 н. раствора H_2SO_4 , 1 мл эфира и 2—5 капель 3%-ного раствора H_2O_2	Слой эфира окрашивается в синий цвет. Окраска неустойчива
16	Mn^{2+}	К 3—5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 1 н. раствора NaOH , 3—5 капель 3%-ного раствора H_2O_2	Белый осадок гидроксида марганца чернеет от H_2O_2
17	Al^{3+}	К 3—5 каплям анализируемого раствора прибавляют 0,5 мл ацетатного буферного раствора с pH 5 и 1 мл 5%-ного раствора 8-оксихинолина	Выпадает зеленовато-желтый кристаллический осадок 8-оксихинолята алюминия
18	Zn^{2+}	К 3—5 каплям анализируемого раствора прибавляют 1 мл 2 н. раствора CH_3COOH и пропускают H_2S до насыщения	Выпадает белый осадок сульфида цинка
19	Ba^{2+}	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 2 н. раствора CH_3COONa и 2—3 капли 2 н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Выпадает желтый кристаллический осадок хромата бария
20	Ba^{2+}	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 3—4 капли насыщенного раствора KMnO_4 и 2—3 капли 2 н. раствора H_2SO_4 . Выпавший осадок фильтруют. Раствор сливают и отбрасывают. Осадок взбалтывают с 1—2 мл 10%-ного раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, нагревают до кипения и вновь фильтруют	Осадок сульфата бария окрашен в фиолетовый цвет изоморфно соосадившимися ионами перманганата
21	Sr^{2+}	На фильтровальную бумагу наносят одну каплю анализируемого раствора и смачивают пятно каплей 0,1%-ного раствора родизоната калия	Появляется буровато-красное пятно, обесцвечивающееся при действии 2 н. раствора HCl
22	Ca^{2+}	К 2—3 каплям анализируемого раствора прибавляют 5 капель 0,1 н. раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, по каплям 2 н. раствор NH_4OH до четкого запаха и нагревают до кипения	Выпадает белый кристаллический осадок оксалата кальция, растворимый в минеральных кислотах
23	Ca^{2+}	На фильтровальную бумагу помещают одну каплю анализируемого раствора. Пятно смачивают одной каплей 0,1%-ного раствора родизоната	Пятно окрашивается в фиолетовый цвет

№ реакции	Катионы	Выполнение реакции	Аналитический эффект
24	Mg^{2+}	натрия и одной каплей 0,5 н. раствора NaOH К 1—2 каплям анализируемого раствора прибавляют 2 капли 2 н. раствора HCl и 2 капли 1 н. раствора Na_2HPO_4 . Затем при перемешивании прибавляют по каплям 2 н. раствор NH_4OH до четкого запаха. Во время перемешивания для ускорения выпадения осадка необходимо тереть стеклянной палочкой о стенки сосуда	Выпадает (медленно) белый кристаллический осадок фосфата магния-аммония, растворимый в минеральных кислотах
25	K^{+}	К одной капле анализируемого раствора прибавляют одну каплю 2 н. раствора CH_3COONa , 1—2 капли раствора $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ и раствор перемешивают, протирая о стенки сосуда стеклянной палочкой	Выпадает желтый кристаллический осадок гексанитрокобальтата (III) калия-натрия
26	Na^{+}	2—3 капли анализируемого раствора нейтрализуют 0,5%-ным раствором KOH по универсальной индикаторной бумаге «Рифан» до pH 7. Затем прибавляют 2—3 капли раствора $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ и перемешивают несколько минут, протирая стенки сосуда стеклянной палочкой	Выпадает белый кристаллический осадок (из разбавленных растворов он выпадает медленно) гексагидроксостибата (V) натрия, растворимый в щелочах

Таблица 94. Характерные аналитические реакции анионов

№ реакции	Анион	Выполнение реакции	Аналитический эффект
1	SO_4^{2-}	На фильтровальную бумагу наносят одну каплю 2 н. раствора BaCl_2 и каплю 10%-ного раствора родизоната натрия. Образовавшееся пятно смачивают одной каплей анализируемого раствора	Красное пятно обесцвечивается
2	SO_4^{2-}	К 1—2 каплям анализируемого раствора прибавляют 3—4 капли 6 н. раствора HCl и 1—2 капли 2 н. раствора BaCl_2	Выпадает белый кристаллический осадок сульфата бария, нерастворимый в кислотах и щелочах
3	SO_3^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 2 капли 2 н. раствора BaCl_2	Выпадает белый кристаллический осадок сульфита бария, хорошо растворимый в кислотах
4	SO_3^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 1—2 капли 5%-ного раствора I_2	Раствор иода обесцвечивается
5	CO_3^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 2 капли 2 н. раствора BaCl_2	Выпадает белый кристаллический осадок карбоната бария, хорошо растворимый в кислотах

№ реакции	Анион	Выполнение реакции	Аналитический эффект
6	CO_3^{2-}	В одно колено двухколенной пробирки помещают 0,5 мл анализируемого раствора, в другое — 1 мл баритовой воды. В анализируемый раствор быстро вводят 3—5 капель 3 н. раствора H_2SO_4 и пробирку закрывают пробкой	Через несколько минут баритовая вода мутнеет
7	PO_4^{3-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 1—2 капли 2 н. раствора NH_4OH и 3 капли раствора магнезиальной смеси	Выпадает белый кристаллический осадок магний-аммоний фосфата, легко растворимый в кислотах
8	PO_4^{3-}	5 капель анализируемого раствора помещают в маленький тигель, туда прибавляют 3 капли конц. HNO_3 и смесь выпаривают досуха. К осадку прибавляют 2 капли конц. HNO_3 , 0,1 г кристаллического NH_4NO_3 , 10 капель молибденовой жидкости и нагревают до 40—50°C	Выпадает желтый кристаллический осадок фосфомолибдата аммония, легко растворимый в растворах аммиака
9	SiO_3^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли 2 н. раствора BaCl_2	Выпадает белый осадок силиката бария, разлагаемый кислотами с образованием студенистого осадка
10	SiO_3^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют равный объем 6 н. раствора NH_4Cl и упаривают в тигле досуха. Сухой остаток переносят на фильтр и обрабатывают 0,5%-ным раствором метиленового голубого в CH_3COOH	После промывки холодной водой осадок на фильтре окрашивается в синий цвет
11	Cl^-	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 6 н. раствора HNO_3 и 3 капли 2%-ного раствора AgNO_3	Выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра, темнеющий на свету. Хорошо растворим в аммиаке и тиосульфате натрия
12	Br^-	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 6 н. раствора HNO_3 и 3 капли 2%-ного раствора AgNO_3	Выпадает бледно-желтый творожистый осадок бромидов серебра, трудно растворимый в аммиаке и хорошо — в тиосульфате натрия

№ реакции	Анион	Выполнение реакции	Аналитический эффект
13	Br^-	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3—5 капель свежеприготовленной хлорной воды и 0,5 мл бензола. Содержимое пробирки энергично перемешивают и дают отстояться водному слою	Слой бензола окрашивается бромом в красно-бурый цвет
14	I^-	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 6 н. раствора HNO_3 и 3 капли 2%-ного раствора AgNO_3	Выпадает желтый творожистый осадок иодида серебра, нерастворимый в аммиаке
15	I^-	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3—5 капель свежеприготовленной хлорной воды и 0,5 мл бензола. Содержимое пробирки энергично перемешивают и дают отстояться водному слою	Слой бензола окрашивается иодом в фиолетовый цвет
16	S^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 3 капли 6 н. раствора HNO_3 и 3 капли 2%-ного раствора AgNO_3	Выпадает черный аморфный осадок сульфида серебра, растворяющийся при нагревании в HNO_3
17	S^{2-}	К 5 каплям анализируемого раствора прибавляют 5 капель 5%-ного раствора CdCl_2 и 1—2 капли 2 н. раствора HCl	Выпадает осадок сульфида кадмия канареечно-желтого цвета
18	NO_3^-	На часовое стекло помещают 4—5 капель 1%-ного раствора дифениламина в конц. H_2SO_4 и одну каплю анализируемого раствора	После перемешивания раствор окрашивается в синий цвет
19	NO_3^-	2—3 капли анализируемого раствора помещают на часовое стекло. В раствор опускают маленький кристалл FeSO_4 и медленно одну каплю конц. H_2SO_4	На границе раздела двух жидкостей появляется бурое кольцо, хорошо видимое на белом фоне
20	NO_2^-	2—3 капли анализируемого раствора помещают на часовое стекло. Прибавляют 1—2 капли 2 н. раствора CH_3COOH и 5 капель свежеприготовленного реактива Грисса; перемешивают и оставляют стоять в прохладном месте 5—10 мин	Раствор окрашивается в зависимости от количества нитрит-иона в желто-коричневый или красный цвет
21	CH_3COO^-	5 капель анализируемого раствора помещают в пробирку, прибавляют 4 капли конц. H_2SO_4 и 5 капель амилавого спирта. Содержимое пробирки перемешивают, нагревают 2—3 мин на кипящей бане и выливают в стакан с холодной водой	Характерный запах грушевой эссенции (амилацетата)

Таблица 95. Приготовление специальных реактивов для качественного анализа

№ реакция	Реактив	Способ приготовления
1	Аммония карбонат	9,6 г растертого в порошок $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ растворяют в 100 мл 2 н. раствора NH_4OH
2	Аммония полисульфид	15 мл конц. раствора NH_4OH насыщают H_2S из аппарата Киппа. К полученному раствору прибавляют 25 мл конц. раствора NH_4OH и 1 г тщательно растертой в ступке серы. Смесь встряхивают до полного растворения осадка и разбавляют водой до 100 мл
3	Гипсовая вода	2 г CaSO_4 тщательно растирают в порошок, кипятят 15—20 мин со 100 мл воды, охлаждают до комнатной температуры и фильтруют
4	Баритовая вода	75 г кристаллического $\text{Ba}(\text{OH})_2$ растворяют в 1 л воды
5	Дифенилкарбазид	0,1 г реактива растворяют в 100 мл 50%-ного раствора $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
6	Каллий гексагидроксостибат	22 г реактива растворяют в 1 л горячей воды и кипятят 2 мин. При охлаждении добавляют 35 мл 6 н. раствора KOH и через сутки фильтруют
7	Молибденовая жидкость	75 г $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ растворяют в 0,5 л воды и медленно, при постоянном помешивании, вливают в стакан, содержащий смесь 250 мл конц. HNO_3 и 250 мл воды, в которой растворено 150 г NH_4NO_3
8	Магнезильная смесь	120 г NH_4NO_3 и 65 г $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ растворяют в небольшом объеме воды, прибавляют 75 мл конц. раствора NH_4OH и разбавляют водой до 0,5 л
9	Натрия гексаинтробальтат (III)	23 г NaNO_3 растворяют в 50 мл воды, прибавляют 3 г $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 25 мл 5 н. раствора CH_3COOH . Разбавляют водой до 100 мл и фильтруют через сутки
10	Натрия станнит	К 10 мл раствора SnCl_2 (см. № 11) прибавляют при перемешивании 2 н. раствор NaOH до тех пор, пока осадок гидроксидов полностью растворится в избытке щелочи
11	Олова хлорид	5,64 г кристаллического SnCl_2 растворяют в 8,5 мл конц. HCl ; через сутки разбавляют водой до 100 мл и прибавляют несколько гранул металлического олова
12	Реактив Грисса	Готовят два раствора: 1) 0,5 г сульфаниловой кислоты в 150 мл 2 н. раствора CH_3COOH ; 2) 0,22 г α -нафтиламина в смеси 200 мл воды и 150 мл 2 н. раствора CH_3COOH . Оба раствора смешивают и хранят в темном месте
13	Реактив Несслера	Насыщенный раствор HgCl_2 вливают в раствор KI (50 г KI в 50 мл воды) до появления устойчивого осадка. Затем прибавляют 200 мл 6 н. раствора NaOH и разбавляют водой до 500 мл. Раствор хранят в темном месте
14	Реактив Чугаева	1,2 г диметилглиоксима растворяют в 100 мл 95%-ного $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
15	Царская водка	Смешивают 100 мл конц. HNO_3 и 300 мл конц. HCl (осторожно!)

МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Количественный анализ предназначен для определения количественного состава анализируемого вещества.

Классификация химических методов количественного анализа:

Метод	Принцип метода
Титриметрический	измерение объема израсходованного на реакцию реактива точно известной концентрации
Гравиметрический	измерение массы определяемого вещества или его составных частей, выделяемых в виде соответствующих соединений
Газовый объемный	анализ газовых смесей путем избирательного поглощения отдельных газов специальными поглотителями

В основе другой классификации методов количественного анализа лежит масса пробы, используемой для анализа:

Метод	Масса пробы, г	Объем пробы, мл
Макрометод (грамм-метод)	0,5—10,0	10—100
Полумикрометод (сантиграмм-метод)	0,05—0,5	1—10
Микрометод (микрограмм-метод)	0,005—0,05	0,1—1,0
Ультрамикрометод	10^{-6} — 10^{-7}	10^{-3} — 10^{-4}

Наиболее распространенным является макрометод. Полумикрометод используют в тех случаях, когда для анализа имеется маленькая проба. Методы микроанализа используют главным образом при анализе органических соединений, а ультрамикроанализ — при анализе радиоактивных веществ.

Важнейшими характеристиками методов анализа являются их чувствительность и точность.

Чувствительностью называют наименьшее количество вещества, которое можно достоверно определить данным методом. *Точностью* анализа называют относительную ошибку определения, которая представляет собой отношение разности найденного (x_1) и истинного (x) содержания вещества к истинному содержанию вещества. Относительную ошибку определения (%) находят по формуле $\frac{x_1 - x}{x} \cdot 100$.

За истинное содержание принимают среднеарифметическое содержание вещества, найденное при анализе пробы в 5—7 параллельных определениях.

Наиболее точны методы химического анализа, а также некоторые физические методы. Физико-химические методы по точности анализа уступают химическим. Чувствительность и точность различных видов количественного анализа характеризуются следующими данными:

Метод	Чувствительность, моль/л	Точность, %
Титриметрический	10^{-4}	0,2
Гравиметрический	10^{-5}	0,05
Потенциометрический	10^{-5}	5,0
Пламенная фотометрия	10^{-7}	0,5
Фотоколориметрический	$5 \cdot 10^{-8}$	10,0

Титриметрический анализ основан на точном измерении объемов веществ, вступающих в химическую реакцию. В этом методе используют растворы реактивов точно известной концентрации — *титранты*. Процесс медленного прибавления титранта к раствору определяемого вещества называется *титрованием*. Момент титрования, когда количество прибавленного титранта становится эквивалентным количеству определяемого вещества, называется *эквивалентной точкой*.

Таблица 96. Классификация и характеристика методов титриметрического анализа

Метод	Протекающая реакция	Титранты
Нейтрализация, или кислотно-основное титрование	Нейтрализация	HCl, KOH
Оксидиметрия, или окислительно-восстановительное титрование	Окисление-восстановление	KMnO ₄ , I ₂ , K ₂ Cr ₂ O ₇
Комплексонометрия	Комплексообразование	Трилон Б
Осаждение	Осаждение труднорастворимых солей	AgNO ₃

Таблица 97. Эквивалентные массы наиболее распространенных соединений в титриметрическом анализе

Вещество	Молекулярная масса	Эквивалентная масса	Число эквивалентных масс в 1 моле
----------	--------------------	---------------------	-----------------------------------

А. Метод нейтрализации

HCl	36,461	36,461	1
HNO ₃	63,013	63,013	1
H ₂ SO ₄ в реакциях:			
по 1-й стадии	98,074	98,074	1
по 2-й стадии	98,074	49,037	2
H ₃ PO ₄ :			
по 1-й стадии	97,995	97,995	1
по 2-й стадии	97,995	48,998	2
по 3-й стадии	97,995	32,665	3
CH ₃ COOH	60,052	60,052	1
(COOH) ₂ ·2H ₂ O			
по 2-й стадии	126,066	63,033	2
NaOH	39,997	39,997	1
KOH	56,106	56,106	1
NH ₄ OH	35,047	35,047	1
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381,360	190,680	2
NaHCO ₃	84,007	84,007	1
Na ₂ CO ₃ :			
по 1-й стадии	105,989	105,989	1
по 2-й стадии	105,989	52,994	2
Na ₂ C ₂ O ₄	134,000	67,000	2
NH ₃	17,030	17,030	1

Вещество	Молекулярная масса	Эквивалентная масса	Число эквивалентных масс в 1 моле
----------	--------------------	---------------------	-----------------------------------

Б. Оксидиметрический метод

KMnO ₄ :			
в кислой среде	158,034	31,607	5
в нейтральной среде	—	52,678	3
в сильнощелочной среде	—	158,034	1
K ₂ Cr ₂ O ₇	294,186	49,031	6
K ₂ CrO ₄	194,190	64,730	3
KBrO ₃	167,001	27,833	6
I ₂	253,809	126,905	2
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	248,180	248,180	1
FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,010	278,010	1
Ca(OCl) ₂	142,980	35,745	4
Br ₂	159,808	79,904	2
Cl ₂	70,906	35,453	2
CrO ₃	100,010	33,340	3
Cu	63,546	63,546	1
FeO	71,846	71,846	1
Fe ₂ O ₃	159,690	79,845	2
Fe	55,847	55,847	1
H ₂ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	126,066	63,033	2
HNO ₂	47,013	23,507	2
H ₂ O ₂	34,015	17,007	2
H ₂ S	34,080	17,040	2
KIO ₃	214,001	35,667	6
MnO ₂	86,937	43,468	2
K ₂ S ₂ O ₈	270,310	135,155	2
O (активный кислород)	15,999	8,000	2
O ₃	47,998	23,999	2
PbO ₂	239,200	119,600	2
Pb ₃ O ₄	685,600	342,800	2
SO ₂	64,060	32,030	2
SnCl ₂	189,600	94,800	2

В. Метод осаждения

Ag	107,868	107,868	1
AgNO ₃	169,873	169,873	1
Hg(NO ₃) ₂ ·H ₂ O	342,620	171,310	2
Hg ₂ (NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	561,220	280,610	2
KSCN	97,180	97,180	1
K ₂ CrO ₄	194,290	97,095	2
NaCl	58,443	58,443	1
HBr	80,912	80,912	1
HCl	36,461	36,461	1
HI	127,912	127,912	1
KBr	119,002	119,002	1
KCl	74,551	74,551	1
KCN	65,116	65,116	1
KI	166,003	166,003	1

Вещество	Молекулярная масса	Эквивалентная масса	Число эквивалентных масс в 1 моле
Г. Метод комплексонометрии			
Al ³⁺	26,982	26,982	1
Ba ²⁺	137,380	137,380	1
Bi ³⁺	208,980	208,980	1
Ca ²⁺	40,080	40,080	1
Cd ²⁺	112,410	112,410	1
Co ²⁺	58,933	58,933	1
Cu ²⁺	63,546	63,546	1
Fe ³⁺	55,847	55,847	1
Mg ²⁺	24,305	24,305	1
Ni ²⁺	58,700	58,700	1
Pb ²⁺	207,200	207,200	1
SO ₄ в виде BaSO ₄	96,060	96,060	1
Sn ²⁺	118,690	118,690	1
Sr ²⁺	87,620	87,620	1
Zn ²⁺	65,380	65,380	1

кой титрования или точкой эквивалентности. Ее определяют с помощью индикаторов или по изменению физико-химических характеристик титруемого раствора. Титриметрический анализ отличается быстротой и точностью полученных результатов.

1. Приготовление раствора по точной навеске вещества.

а) *Молярные растворы.* Для приготовления 1 л 1 М раствора вещества подсчитывают его молекулярную массу и вычисляют массу навески по формуле.

$$g = \frac{M \cdot M_1 \cdot V}{1000}, \quad (1)$$

где g — навеска вещества, г; M — молекулярная масса, г; M_1 — требуемая молярность раствора; V — вместимость мерной колбы, мл.

Вычисленную навеску взвешивают на аналитических весах на часовом стекле с точностью до 0,0001 г и переносят ее в чистую мерную колбу небольшими порциями (обычно для этого используют чистую сухую воронку). Часовое стекло и воронку промывают 3—5 раз дистиллированной водой из промывалки. Затем колбу заполняют дистиллированной водой на 0,5 ее объема и встряхивают до полного растворения вещества. После этого содержимое колбы доводят до метки водой и тщательно перемешивают.

Пример. Приготовить 0,5 л 0,2 М раствора AgNO₃.

Вычисляют молекулярную массу нитрата серебра: 169,875. Под-

ставив это значение в формулу (1), получают величину необходимой навески:

$$g = \frac{0,2 \cdot 169,875 \cdot 500}{1000} = 16,9875 \text{ г.}$$

б) *Нормальные растворы.* Величину навески вещества вычисляют по формуле

$$g = \frac{Э \cdot N \cdot V}{1000}, \quad (2)$$

где $Э$ — эквивалентная масса вещества, г; N — требуемая нормальность раствора; V — вместимость мерной колбы, мл.

Величину $Э$ находят в табл. 95. Вычисленную навеску взвешивают и растворяют, как описано выше.

Пример. Рассчитать навеску перманганата калия для приготовления 2 л 0,1 н. раствора.

По табл. 95 находят, что при титровании в кислой среде $Э_{\text{KMnO}_4} = 158,03/5 = 31,61$ г. Подставив эту величину в формулу (2), получают

$$g = \frac{31,61 \cdot 0,1 \cdot 2000}{1000} = 6,322 \text{ г.}$$

Пример. Приготовить 2 л 0,1 н. раствора соляной кислоты.

По формуле (2) находят величину навески — 7,292 г. Концентрированную соляную кислоту (плотностью 1,179 г/см³) взвешивать неудобно, поэтому вычисленную навеску пересчитывают на объем. Для этого по табл. 56 находят, что такая плотность соответствует 36% HCl. Затем составляют пропорцию:

$$\begin{aligned} 100 &— 36 \\ x &— 7,292 \quad x = 20,255. \end{aligned}$$

Полученная величина показывает, сколько нужно взять граммов 36%-ной соляной кислоты. Чтобы перевести граммы в миллилитры, используют формулу $V = g/d$, где d — плотность кислоты. Подставив в нее значения, получим

$$V = \frac{20,255}{1,179} = 17,18 \text{ мл.}$$

2. Приготовление титрованных растворов из фиксаналов.

Для быстрого приготовления растворов применяют фиксаналы — растворы с точной навеской вещества, необходимой для приготовления 1 л 0,1 или 0,05 н. раствора. Фиксаналы находятся в запаянных ампулах. Название вещества и его количество указаны на этикетке. Для приготовления раствора ампулу (со снятой этикеткой) тщательно моют и сушат. Затем в мерную колбу емкостью 1 л вставляют воронку с «бойком», на котором пробивают дно ампулы. Другим «бойком» пробивают верх ампулы, давая вытечь из нее всему содержимому.

Затем, не изменяя положения ампулы, ее промывают снаружи и внутри из промывалки. Промыв ампулу и удалив ее, раствор доводят до метки водой и тщательно перемешивают.

В СССР выпускают фиксаналы: HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , NaOH , KOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, K_2CrO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, I_2 , KMnO_4 , NH_4SCN , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, BaCl_2 и AgNO_3 .

Срок хранения фиксаналов неограничен (за исключением щелочных, которые приходят в негодность после 6 мес. хранения).

Установка титра растворов

Для установки титра растворов, приготовленных по точной навеске, применяют два способа: отдельных навесок и пипетирования. Наиболее точным, но более продолжительным по выполнению является способ отдельных навесок. В этом способе предварительно вычисляют величину навески установочного вещества по формуле 2 (с. 157). При этом объем V обычно составляет 25 мл. Затем на аналитических весах взвешивают три навески (равные вычисленной массе) с точностью до 0,0001 г. Эти навески переносят в чистые колбы и растворяют в дистиллированной воде (по 25 мл) или в отдельных случаях в кислоте. После полного растворения эти растворы титруют раствором титранта, титр которого необходимо установить. Вычисление титра раствора титранта (T_T) проводят по формуле

$$T_T = \frac{\mathcal{E}_T \cdot g_{у.в}}{\mathcal{E}_{у.в} V_T},$$

где \mathcal{E}_T — эквивалентная масса титранта; $\mathcal{E}_{у.в}$ — эквивалентная масса установочного вещества; $g_{у.в}$ — навеска установочного вещества, г; V_T — объем титранта, затраченного на титрование навески, мл.

Необходимо помнить, что вычисление титра проводят для каждой навески отдельно. По найденным трем значениям титра вычисляют среднее значение и по полученной величине находят среднюю величину нормальности N и коэффициента нормальности K титранта по формулам

$$N_{\text{пр}} = \frac{T_T \cdot 1000}{\mathcal{E}_T} \quad \text{и} \quad K = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{теор}}}$$

$N_{\text{теор}}$ равна расчетной нормальности титранта.

В способе пипетирования предварительно вычисляют величину навески установочного вещества по формуле 2 (с. 157), приняв величину V равной 250 мл. Навеску установочного вещества взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, переводят в мерную колбу (250 мл) и растворяют, тщательно перемешивая. 25 мл раствора помещают в колбу для титрования, добавляют индикатор и титруют раствором титранта до изменения окраски индикатора. Нормальность рассчитывают по формуле

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_{у.в} \cdot 25}{V_T},$$

где $N_{у.в}$ — нормальность раствора установочного вещества; V_T — объем титранта, мл.

Для растворов титрантов, приготовленных из фиксаналов, титр проверять необязательно.

Перечень веществ, рекомендуемых для установки титра важнейших титрантов, и их характеристики приведены в табл. 98.

Таблица 98. Установочные вещества для проверки титрантов

Метод	Титрант	Установочное вещество	Эквивалентная масса	Индикатор
Нейтрализация	HCl	Карбонат натрия безводный Na_2CO_3	52,994	Метилоранж
	»	Тетраборат натрия кристаллический $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	190,680	»
	«	Карбонат кальция CaCO_3	50,050	»
	NaOH	Щавелевая кислота $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	63,033	Фенолфталеин
	»	Бифталат калия $\text{K}_2\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$	204,229	»
Перманганатометрия	KMnO_4	Металлическое железо	55,847	—
	»	Оксалат натрия $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	67,000	Титровать при температуре 75—85°C
	»	»	»	Крахмал
Иодометрия	I_2	Тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	248,180	»
	«	Бихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	49,031	»
Осаждения	AgNO_3	Хлорид натрия NaCl	53,443	Железоаммонийные квасцы
	»	NH_4SCN	169,873	То же
	»	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	58,443	Дифенилкарбазон
Комплексонометрия	Комплексон III	Сульфат магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,47	Эрнхром черный Т

Установочные вещества необходимо брать в виде препаратов квалификации «ОСЧ». Вещества № 2, 4, 8 рекомендуется брать из фиксаналов или из продажных препаратов квалификации «ХЧ» после их перекристаллизации из воды. При установке титра способом пипетирования целесообразно использовать в качестве установочного вещества фиксанал соответствующего реагента.

Калибровка выпускаемой заводами мерной посуды иногда не соответствует установленным требованиям. Поэтому новая мерная посуда должна быть обязательно прокалибрована в лаборатории. Для этого вначале посуду тщательно моют, используя синтетические моющие средства. Затем ее промывают водопроводной водой и заливают хромовой смесью (насыщенный раствор технического бихромата натрия или калия в концентрированной серной кислоте). Через 10 мин хромовую смесь сливают, а посуду промывают вначале водопроводной, а затем дистиллированной водой и сушат.

Калибрование бюреток. Перед калиброванием бюреток без крана (после мойки) необходимо заменить каучуковую трубку (если она не была предварительно снята), так как в процессе мойки хромовой смесью она могла быть разрушена. Затем бюретку заполняют дистиллированной водой комнатной температуры на 1—2 см выше нулевого деления. Кончик бюретки заполняют водой, стараясь при этом избавиться от пузырьков воздуха. Для этого у бюреток без крана каучуковую трубку отгибают вверх и, нажав на «бусину» зажима, выпускают пузырьки воздуха. У бюреток с краном на кончик надевают каучуковую трубку со стекляннм наконечником, изгибают его и, открыв кран, выпускают воздух. Затем уровень воды доводят до нулевого деления бюретки (по нижнему краю менска).

На аналитических весах взвешивают чистый сухой бюкс с точностью до 0,0001 г. Из бюретки при полностью открытом кране или зажиме выпускают 5 мл воды так, чтобы она вытекала в бюкс по стенке без брызг. Каплю, оставшуюся на кончике бюретки, снимают прикосновением к внутренней стенке бюкса. Затем бюкс быстро закрывают крышкой и взвешивают на аналитических весах с той же точностью. После взвешивания бюкс освобождают, вытирают и сушат в сушильном шкафу при 110° С. Проверяют массу каждые 5 мл воды всего объема бюретки.

Результаты калибрования наносят на миллиметровую бумагу, откладывая по оси абсцисс объем раствора в миллилитрах, а по оси ординат — найденный объем воды по массе. Полученные точки соединяют по линейке. По калибровочной кривой определяют поправки к показаниям каждого деления бюретки, учитываемые при вычислении результатов титрования.

Калибрование пипеток. Погрузив нижний конец пипетки в стакан, засасывают дистиллированную воду ртом до тех пор, пока она не поднимется выше метки. Закрыв верхний конец пипетки указательным пальцем, вытирают кусочком фильтра приставшую воду до метки. Затем закрывают верхний конец пипетки пальцем и помещают ее над бюксом, предварительно взвешенным с точностью до 0,0001 г, таким образом, чтобы капилляр пипетки касался стенки бюкса. Приподняв палец над верхним концом пипетки, воду дают полностью стечь. После этого пипетку убирают, а бюкс закрывают крышкой и взвешивают с такой же точностью на аналитических весах.

Градуированные пипетки калибруют тем же методом, что и бю-

ретки. На данную величину учитывают при вычислении результатов анализа.

Калибрование мерных колб. Диаметры шеек мерных колб должны соответствовать нормам, приведенным ниже.

Нормы диаметров шеек колб							
Вместимость, мл . .	2000	1000	500	250	200	100	50
Внутренний диаметр, мм	25	18	16,5	15	12	12	10

Колбы, диаметр шейки которых превышает нормы, применять в количественном анализе нельзя.

Чистую и сухую колбу помещают на чашку весов ВЛКТ-2кг-М и взвешивают. Затем колбу заполняют водой и взвешивают на тех же весах, предварительно удалив приставшие к шейке колбы капли воды с помощью жгута из фильтровальной бумаги. По найденным массам определяют истинную вместимость колбы. Эту величину учитывают при вычислении результатов анализа.

Вычисление результатов калибрования

Определив массу воды, находящейся в сосуде, вычисляют его истинную вместимость путем деления массы воды на ее исправленную плотность. Исправленная плотность воды — плотность при заданной температуре с учетом поправки на взвешивание в воздухе латунными разновесами при давлении 101 325 Па (760 мм рт. ст.) и относительной влажности воздуха 50% (а также поправки на температурное расширение стекла). Величины исправленной плотности находят по табл. 99.

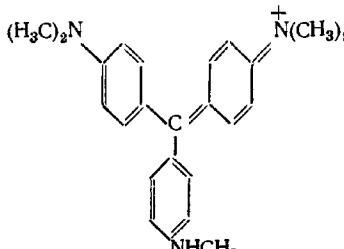
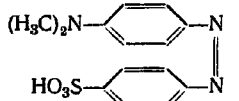
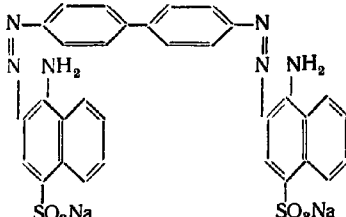
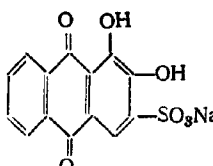
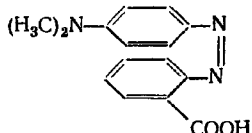
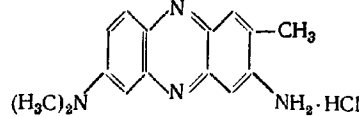
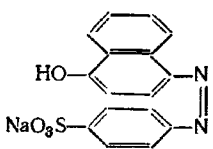
Таблица 99. Исправленная плотность воды

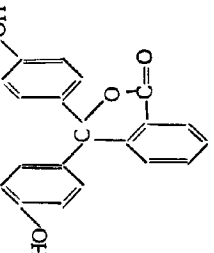
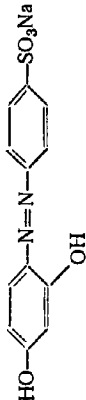
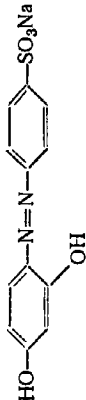
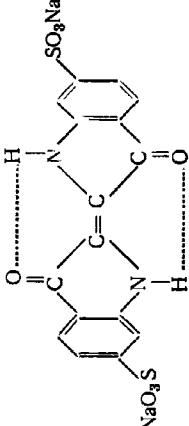
Температура воды, °С	Исправленная плотность воды, г/мл	Температура воды, °С	Исправленная плотность воды, г/мл	Температура воды, °С	Исправленная плотность воды, г/мл
13	0,99814	19	0,99734	25	0,99618
14	0,99804	20	0,99718	26	0,99594
15	0,99793	21	0,99700	27	0,99570
16	0,99780	22	0,99680	28	0,99545
17	0,99765	23	0,99661	29	0,99519
18	0,99751	24	0,99639	30	0,99492

Приемы работ при титровании

Перед началом титрования заполняют бюретку раствором титранта через воронку таким образом, чтобы уровень титранта был на 2—3 см выше нулевого деления бюретки. Выпускают воздух из носика бюретки, для чего у бюреток с резиновым наконечником отгибают наконечник вверх и, отжав пальцами резину от «бусины», спускают раствор

Таблица 100. Важнейшие кислотно-основные индикаторы

№ п/п	pH	Переход окраски	Индикатор	Формула	Растворитель	Концентрация, %
1	0,13—0,5	Желто-зеленая	Метиловый фиолетовый (1-й переход)		Вода	0,1
2	1,0—1,5	Зеленая—синяя	Метиловый фиолетовый (2-й переход)	См. № 1	»	0,1
3	2,0—3,0	Синяя—фиолетовая	Метиловый фиолетовый (3-й переход)	»	»	0,1
4	3,1—4,4	Красная—оранжево-желтая	Метиловый оранжевый		»	0,1
5	3,0—5,2	Синяя—фиолетовая—красная	Конго красный		»	0,1
6	3,7—5,2	Желтая—фиолетовая	Ализаринный красный С (1-й переход)		Вода	0,1
7	4,0—6,4	Красная—синяя	Лакмид	$C_{12}H_9O_3N$	90%-ный этиловый спирт	0,2
8	4,4—6,2	Красная—синяя	Метиловый красный		60%-ный этиловый спирт	0,1
9	6,2—8,4	Красная—янтарно-желтая	Нейтральный красный		То же	0,1
10	7,6—8,9	Желто-зеленая—розовая	Тропеолин ООО		Вода	0,1

№ п/п	pH	Переход окраски	Индикатор	Формула	Растворитель	Концентрация, %
11	8,2—10,0	Бесцветная—пурпурная	Фенолфталеин		60%-ный этиловый спирт	0,1
12	10,0—12,0	Фиолетовая—бледно-желтая	Ализариновый красный С (2-й персход)		Вода	0,1
13	11,0—13,0	Желто-оранжево-коричневая	Тропеолин		»	0,1
14	11,6—14,0	Синяя—желтая	Индигокармин		50%-ный этиловый спирт	0,25

См. № 6

до полного удаления пузырьков воздуха из наконечника. У бюреток со стеклянным краном надевают на кран кусок резиновой трубки, отгибают его вверх и, открыв кран, выпускают из него воздух. Вынимают воронку из бюретки и спускают титрант до тех пор, пока нижний мениск раствора не совпадет с нулевым делением бюретки. В том случае, когда титрант окрашен (растворы I_2 или $KMnO_4$), устанавливают нуль по верхнему мениску раствора.

Под бюретку подставляют колбу с титруемым раствором и выполняют титрование со скоростью 1—2 капли раствора титранта в секунду. В процессе титрования раствор перемешивают круговым вращением колбы и следят за тем, чтобы капли титранта падали в центр колбы, а не на ее стенки.

Для точной фиксации момента изменения окраски раствора необходимо под колбу положить листок чистой белой бумаги и вести титрование на рассеянном дневном свете. При титровании в вечернее или ночное время колбу с раствором необходимо подсвечивать люминесцентной лампой дневного света.

Результаты титрования отсчитывают по нижнему мениску в случае бесцветного титранта или по верхнему мениску, если применяется 0,1 н. раствор I_2 или $KMnO_4$. Сзади бюретки на время взятия отсчета помещают листок чистой белой бумаги. В случае, когда мениск раствора титранта находится между двумя делениями бюретки, необходимо отсчитывать объем на глаз с точностью до сотой доли миллилитра. Перед началом титрования необходимо снять каплю, висящую на кончике бюретки, с помощью кусочка фильтровальной бумаги.

При применении в качестве титранта растворов перманганата калия, нитрата серебра, бихромата калия, иода и щавелевой кислоты обязательно используют бюретки со стеклянными кранами, а в случае применения титрованных растворов гидроксидов калия или натрия только бюретки с резиновым наконечником. Остальные титранты можно использовать в бюретках любой конструкции.

Метод нейтрализации

Метод нейтрализации применяется для определения содержания в различных веществах кислот, оснований, кислых и гидролизующихся солей. В его основе лежит реакция $H^+ + OH^- = H_2O$.

Кислотно-основные индикаторы

Кислотно-основные индикаторы — слабые органические кислоты, диссоциирующие в растворах по реакции $HInd \rightleftharpoons H^+ + Ind^-$. Окраска молекулярной ($HInd$) и анионной (Ind^-) форм различается. Это связано с тем, что в процессе диссоциации молекулы индикатора происходит таутомерная перегруппировка, приводящая к изменению строения молекулы, обуславливающего окраску соединения. В табл. 100 (с. 162—165) приведены важнейшие характеристики индикаторов, наиболее широко используемых в практической работе.

Таблица 101. Индикаторы с внутренним светофильтром

pT	Переход окраски	Растворитель	Состав и концентрация растворов индикаторов	Соотношение объемов растворов индикаторов
3,25	Сине-фиолетовая—зеленая	Этиловый спирт	Метиловый желтый, 0,1% Метиленовый голубой, 0,1%	1:1
4,1	Фиолетовая—зеленая	Вода	Метиловый оранжевый, 0,1% Индигокармин, 0,25%	1:1
5,4	Красно-фиолетовая—зеленая	Этиловый спирт	Метиловый красный, 0,2% Метиленовый голубой, 0,1%	1:1
7,0	Фиолетово-синяя—зеленая	То же	Нейтральный красный, 0,1% Метиленовый голубой, 0,1%	1:1

Таблица 102. Важнейшие типы индикаторных бумаг

Название	Тип	Окраска в среде		pH цветовой шкалы
		кислой	щелочной	
Тропеолин	1	Фиолетовая	Желтая	—
Метилфиолетовая	2	Желтая	Фиолетовая	—
Метилоранжевая	3	Красная	Желтая	—
Конго красный	4	Синяя	Красная	—
Метиловый красный	5	Красная	Желтая	—
Лакмус синий	6	»	Синяя	—
Лакмус красный	7	»	»	—
Бриллиант желтый	8	Желтая	Красная	—
Куркумовая	9	»	Красно-коричневая	—
Крезолфталеиновая	10	Белая	Фиолетово-красная	—
Фенолфталеиновая	11	»	Красная	—
Тимолфталеиновая	12	»	Синяя	—
ФАН	P0414	Желто-зеленая	Фиолетовая	0,1—1,4
»	P1023	Красно-фиолетовая	Желтая	1,0—2,3
»	P1934	Красно-фиолетовая	»	1,9—3,2
»	P3954	Желто-зеленая	Синяя	3,9—5,4
»	P5267	Желтая	Пурпурная	5,2—6,7
»	P6075	Желто-зеленая	Синяя	6,0—7,5
»	P6681	»	»	6,6—8,1
»	P7389	Желто-коричневая	Пурпурная	7,3—8,8
»	P92110	Желтая	Фиолетовая	9,2—11,0
»	P95140	Синяя	Желтая	9,5—14,0
»	P10131	»	Розовая	11,0—13,1
»	P120140	»	Желтая	12,0—14,0

Индикаторы с внутренним светофильтром представляют собой смесь индикатора с красителями, повышающими контрастность перехода окраски индикатора и играющими роль внутреннего светофильтра. Такие индикаторы выбирают с помощью величины показателя титрования (pT). Показатель титрования — условная величина pH, при которой аналитик замечает изменение окраски индикатора и считает титрование законченным. При проведении титрования наиболее пригодным индикатором является тот, у которого величина pT наиболее близка к величине pH эквивалентной точки на кривой титрования.

В ряде случаев pH растворов устанавливают или контролируют с помощью индикаторных бумаг. Характеристики важнейших типов индикаторных бумаг приведены в табл. 102.

Индикаторные бумаги типа ФАН предназначены для быстрого определения pH растворов с погрешностью $\pm 0,1$ единицы pH.

Способы приготовления некоторых индикаторных растворов

Индикатор	Способ приготовления
Метиловый оранжевый . . .	навеску массой 0,02 г растворяют в 100 мл горячей воды и в случае необходимости фильтруют
Метиловый красный	навеску массой 0,02 г растворяют в 100 мл горячей воды и после охлаждения фильтруют
Лакмод	навеску массой 0,2 г растворяют в 100 мл горячего 96%-ного этилового спирта и фильтруют
Фенолфталеин	навеску массой 1,0 г растворяют в 100 мл 60%-ного этилового спирта

Буферные растворы

Буферными растворами называют растворы, поддерживающие постоянное значение pH при прибавлении умеренных количеств сильной кислоты или гидроксида или при разбавлении водой. Они представляют собой смеси слабой кислоты и ее соли (кислотные буферные растворы) или слабого гидроксида и его соли (щелочные буферные растворы). При наладке и юстировке pH-метров используются образцовые буферные растворы.

Образцовые буферные растворы

pH при 25°C		pH при 25°C	
Калия тетраоксалаат	1,68	Калий фосфорнокислый	6,86
Калий виннокислый	3,57	однозамещенный	
кислый		Натрий фосфорнокислый	
Калий фталевокислый	4,01	двухзамещенный	9,18
кислый		Натрий тетраборнокислый	

Для приготовления образцовых буферных растворов содержимое ампулы переносят в литровую мерную колбу и растворяют в дистиллированной воде.

Буферный раствор готовят в мерной колбе емкостью 500 мл; дистиллированную воду добавляют до метки.

Таблица 105

pH	0,1 н. NH ₄ OH, мл	0,1 н. HCl, мл	pH	0,1 н. NH ₄ OH, мл	0,1 н. HCl, мл
5,27	100,0	100,0	9,39	100,0	50,0
8,11	100,0	95,0	10,34	100,0	10,0
8,44	100,0	40,0	11,27	100,0	—

Таблица 103. Хлорводородные буферные растворы

pH	1 н. HCl, мл	0,2 н. HCl, мл	0,2 н. KCl, мл	pH	1 н. HCl, мл	0,2 н. HCl, мл	0,2 н. KCl, мл
0,13	100	—	—	1,5	—	31,18	18,82
0,28	60,0	—	—	1,6	—	35,05	14,45
0,74	20,0	—	—	1,7	—	38,12	11,88
1,0	—	100	—	1,8	—	40,57	8,43
1,1	—	2,72	47,28	1,9	—	42,51	7,49
1,2	—	12,45	37,55	2,0	—	44,05	5,95
1,3	—	20,16	29,84	2,1	—	45,27	4,73
1,4	—	26,30	23,78	2,2	—	46,24	3,76

Ацетатные буферные растворы

Буферный раствор готовят в мерной колбе емкостью 200 мл; дистиллированную воду добавляют до метки.

Таблица 104

pH	0,2 н. CH ₃ COOH, мл	0,2 н. NH ₄ OH, мл	pH	0,2 н. CH ₃ COOH, мл	0,2 н. NH ₄ OH, мл
3,0	99,24	0,76	7,4	48,40	51,60
3,4	93,40	6,60	7,8	47,80	52,20
3,8	88,20	11,80	8,2	46,40	53,60
4,2	80,20	19,80	8,6	44,70	55,30
4,6	66,00	34,00	9,0	41,00	59,00
5,0	58,60	41,40	9,4	34,00	66,00
5,4	54,60	45,40	9,8	28,80	76,20
5,8	50,40	49,10	10,2	16,00	84,00
6,2	50,79	49,60	10,6	9,80	90,20
7,0	50,00	50,00	11,0	2,48	97,52

Оксидиметрические методы

В основу оксидиметрического метода титрования положена реакция окисления — восстановления. Этот метод применяется для определения окислителей и восстановителей прямым титрованием и определения ионов, не обладающих переменной валентностью, косвенным титрованием. Методы оксидиметрического титрования классифицируются в зависимости от титранта.

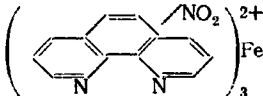
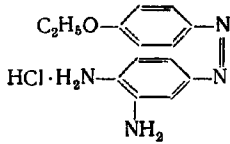
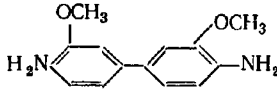
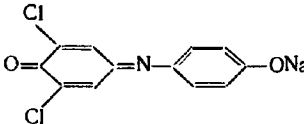
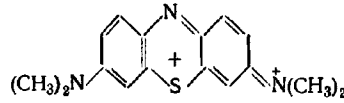
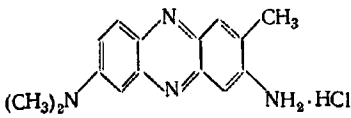
Таблица 106. Классификация методов оксидиметрического титрования

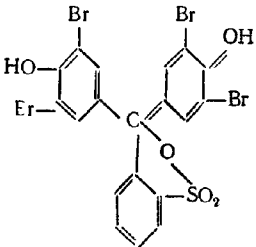
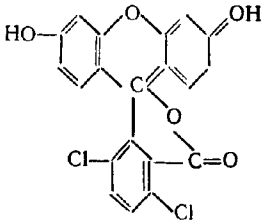
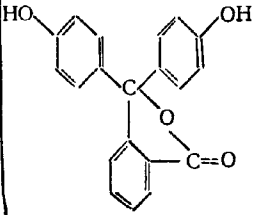
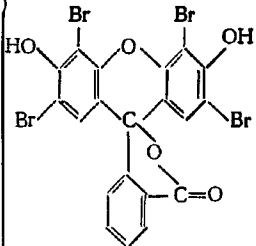
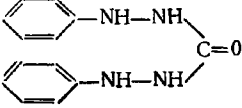
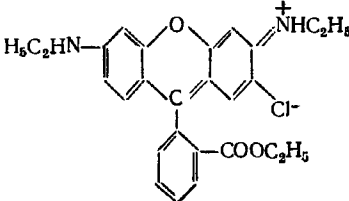
Метод	Применяемый титрант	Метод	Применяемый титрант
Перманганатометрия	KMnO ₄	Броматометрия	KBrO ₃
Хроматометрия	K ₂ Cr ₂ O ₇ , реже K ₂ CrO ₄	Ванадатометрия	NH ₄ VO ₃
Иодометрия	Для определения восстановителей — KI ₃ ; окислителей — Na ₂ S ₂ O ₃	Аскорбиниметрия	Аскорбиновая кислота
Цериметрия	Ce(SO ₄) ₂	Титанометрия	Ti ₂ (SO ₄) ₃

Оксидиметрические индикаторы

Оксидиметрические индикаторы являются органическими веществами, окисленная и восстановленная формы которых окрашены в разные цвета. Правило выбора индикатора: оксидиметрический индикатор дает правильные показания, если он вступает в реакцию вблизи точки эквивалентности.

Т а б л и ц а 107. Важнейшие оксидиметрические индикаторы, окраска которых мало зависит от pH

E_0 , В	Окраска формы		Индикатор	Строение индикатора	Концентрация индикатора
	окисленной	восстановленной			
+1,25	Бледно-голубая	Красная	Нитроферроин		0,025 М водный раствор
+1,10	Красно-фиолетовая	Бесцветная	<i>p</i> -Амино-дифениламин	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_6\text{H}_5$	1%-ный раствор в конц. H_2SO_4
+1,00 (pH=0)	Красная	Желтая	<i>p</i> -Э оксихризондин		5%-ный раствор в 2 н. растворе HCl
+0,85	»	Бесцветная	о-Дианнзидин		1%-ный раствор в 6 н. растворе HCl
+0,76	Фиолетовая	»	Дифениламин	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_5$	1%-ный раствор в конц. H_2SO_4
+0,64 (pH=0) +0,22 (pH=7)	Синяя	Бесцветная	2,6-Дихлорфенолиндофенол, Na-соль		0,02%-ный водный раствор
+0,53 (pH=0) +0,01 (pH=7)	»	»	Метиленовый голубой		0,05%-ный водный раствор
+0,24 (pH=0) -0,33 (pH=7)	Красная	»	Нейтральный красный		0,01%-ный раствор в 60- %ном этанолом

Индикатор	Строение индикатора	Определенный ион	Титрант	Изменение окраски
Бромфеноловый синий		CN^- , Cl^- , I^- , Hg^{2+}	AgNO_3 NaCl	Желтая—синяя Сиреневая—желтая
Дихлорфлуоресцеин		Br^- , Cl^-	AgNO_3	Желто-зеленая—розовая
Конго красный	См. с. 162	Br^- , Cl^- , I^-	AgNO_3	Красная—синяя
Флуоресцеин		Cl^- , Br^- , CN^- , I^-	AgNO_3	Желто-зеленая—розовая
Эозин		Br^- , I^- , CN^-	AgNO_3	Оранжевая—красная
Дифенилкарбазид		Cl^- , Br^-	$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$	Бесцветная—фиолетовая
Родамин 6Ж		$+$ Ag	KBr	Оранжевая—красно-фиолетовая

В зависимости от применяемого титранта методы осаждения делятся на следующие группы: *аргентометрический* (титрант AgNO_3), *меркуриметрический* (титрант $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$), *меркурометрический* (титрант $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$).

Методы осаждения используются для определения ионов Cl^- , Br^- , I^- , Ag^+ , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} . В качестве индикаторов используются адсорбционные индикаторы, представляющие собой слабые органические кислоты, анионы которых адсорбируются на поверхности положительно заряженных коллоидных частиц, образующихся в процессе титрования, и изменяют окраску осадка.

Комплексонометрическое титрование

Сущность метода *комплексонометрического титрования* состоит в образовании в процессе титрования внутрикомплексного соединения определяемого катиона с молекулой титранта. Эквивалентная точка титрования определяется с помощью металлоиндикаторов. Комплексонометрический метод отличается простотой выполнения, быстротой анализа и высокой точностью полученных результатов.

Комплексоны — производные аминокислот, содержащие в молекуле остаток иминодиуксусной кислоты: $-\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$.

Наиболее распространенным комплексоном является двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (синонимы: Трилон Б, Комплексон III, ЭДТА, НЭДТУ).

Таблица 109. Свойства и строение важнейших комплексонов

Комплексон	Строение комплексона	Молекулярная масса (M)	Эквивалентная масса
Комплексон I (нитрилотриуксусная кислота)	$\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_3$	191,14	M/3
Комплексон II (этилендиаминтетрауксусная кислота)	$(\text{HOOCCH}_2)_2\text{N}-(\text{CH}_2)_2-\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$	290,23	M/4
Комплексон III (двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты)	$ \begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2 \quad \quad \quad \text{CH}_2\text{COOH} \\ \quad \quad \quad \diagdown \quad \quad \diagup \\ \quad \quad \quad \text{N}-(\text{CH}_2)_2-\text{N} \\ \quad \quad \quad \diagup \quad \quad \diagdown \\ \text{NaOOCCH}_2 \quad \quad \quad \text{CH}_2\text{COONa} \end{array} $	336,21	M/2

Установление эквивалентной точки титрования проводят с помощью металлоиндикаторов — органических красителей, образующих с определяемым катионом окрашенные непрочные внутрикомплексные соединения. Свойства важнейших металлоиндикаторов приведены в табл. 110.

№ п/п	Индикатор	Определяемые ионы	Изменение окраски в эквивалентной точке		Приготовление индикатора
			до титрования	после титрования	
1	Хромоген черный специальный (эриохром черный Т)	Al^{3+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+}	Красная	Голубая	1 г индикатора растирают с 100 г NaCl в ступке
2	Пирокатехиновый фиолетовый	Cd^{2+} , Co^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}	Голубая	Красно-фиолетовая	0,1 г индикатора растворяют в 100 мл воды
3	Вариаминовый голубой	Fe^{3+}	Сине-фиолетовая	Желтая	Готовят 1%-ный раствор в воде
4	Ксиленоловый оранжевый	Zn^{2+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}	Синяя	Красная	0,13 г индикатора растворяют в 2 мл 1 н. раствора NaOH и разбавляют водой до 100 мл
5	Метилтимоловый синий	Ba^{2+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Hg^{2+}	Синяя	Серая	См. № 1
6	ПАН	Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+}	Красная	Желтая	0,1%-ный раствор в этиловом спирте
7	ПАР	Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Hg^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}	Желто-красная	Зеленая	0,1%-ный водный раствор
8	Сульфосалициловая кислота	Fe^{3+}	Красная	Желтая	5%-ный водный раствор
9	Мурексид	Ca^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Ag^+ , Br^- , Cl^- , I^-	»	Фиолетовая	См. № 1
10	Флуорексон	Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}	Желто-зеленая флуоресценция	Розовая	»
11	Хромазурол S	Al^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+}	Фиолетовая Голубая Зелено-голубая	Оранжевая Зеленая Оранжевая	0,1%-ный водный раствор

Вычисления в титриметрических методах анализа

Вычисление результатов титриметрических определений производят в зависимости от метода титрования по следующим формулам:

$$а) \text{ метод отдельных навесок: } x = \frac{T_{A/B} \cdot 100}{g \cdot 1000};$$

$$б) \text{ метод пипетирования: } x = \frac{T_{A/B} \cdot V \cdot V_K \cdot 100}{g \cdot V_a \cdot 1000},$$

где x — содержание определяемого вещества, %; V — объем титранта, израсходованный на титрование, мл; V_K — объем мерной колбы, мл; V_a — объем аликвоты, мл; g — навеска пробы, г; $T_{A/B}$ — титр рабочего раствора по определяемому веществу, мг/мл.

Величины $T_{A/B}$ приведены в табл. 111.

Таблица 111. Титры рабочих растворов по определяемому веществу (1 мл 0,1 н. раствора титранта соответствует T мг определяемого вещества)

№ п/п	Определяемое вещество	$T_{A/B}$	№ п/п	Определяемое вещество	$T_{A/B}$
-------	-----------------------	-----------	-------	-----------------------	-----------

а) Метод нейтрализации. Титрант HCl

1	BaCO ₃	9,8675	8	KOH	5,6109	15	NH ₄ NO ₃	8,0044
2	Ba(OH) ₂	8,5677	9	MgCO ₃	4,2157	16	NH ₄ OH	3,5046
3	CO ₂	2,2005	10	MgO	2,0152	17	(NH ₄) ₂ SO ₄	6,6069
4	CaCO ₃	5,0045	11	N ₂	1,4007	18	Na ₂ CO ₃	5,2995
5	CaO	2,8040	12	NH ₃	1,7031	19	Na ₂ O	3,0991
6	Ca(OH) ₂	3,7047	13	NH ₄ ⁺	1,8039	20	NaOH	3,9997
7	K ₂ CO ₃	6,9103	14	NH ₄ Cl	5,3492			

б) Метод нейтрализации. Титрант NaOH

21	Al	0,8994	27	H ₂ C ₂ O ₄	4,5018	33	H ₃ PO ₄	4,8998
22	Al ₂ O ₃	1,6994	28	HCl	3,6461		(с фенолфталеином)	
23	H ₃ BO ₃	6,1833	29	C ₆ H ₅ COOH	12,2130	34	H ₃ PO ₄	9,7995
24	HBr	8,0917	30	HF	2,0006		(с метилоранжем)	
25	HCOOH	4,6025	31	HI	12,7910	35	H ₂ SO ₃	4,1039
26	CH ₃ COOH	6,0053	32	HNO ₃	6,3013	36	H ₂ SO ₄	4,9039
						37	SnCl ₂	6,5126

в) Метод иодометрии. Титрант I₂

33	Na ₂ SO ₃	5,2030	40	Na ₂ S ₂ O ₃	15,8110	42	Sn	5,9345
39	Na ₂ S	3,9022	41	H ₂ S	1,7040			

г) Метод иодометрии. Титрант Na₂S₂O₃

43	Cu	6,3543	46	FeCl ₃	16,2210	49	K ₂ CrO ₄	6,4733
44	CuSO ₄	15,9600	47	Fe ₂ O ₃	7,9846	50	K ₂ Cr ₂ O ₇	4,9032
45	Fe	5,5847	48	FeSO ₄	15,1910	51	MnO ₂	4,3469

д) Метод перманганатометрии. Титрант KMnO₄

52	H ₂ O ₂	1,7008	57	Ca(OH) ₂	3,7045	62	Fe ₂ O ₃	7,9846
53	H ₂ C ₂ O ₄	4,5018	58	Cr	1,7332	63	NaNO ₂	3,4498
54	Ca	2,0040	59	Cr ₂ O ₃	2,5332	64	Na ₂ C ₂ O ₄	6,7000
55	CaCO ₃	5,0045	60	Fe	5,5847	65	O	0,7999
56	CaO	2,8040	61	FeO	7,1846	66	Sb	6,0875
						67	Sb ₂ O ₃	7,2375

№ п/п	Определяемое вещество	$T_{A/B}$	№ п/п	Определяемое вещество	$T_{A/B}$
-------	-----------------------	-----------	-------	-----------------------	-----------

е) Метод аргентометрии. Титрант AgNO₃

68	Cl ⁻	3,5453	73	Br	7,9904	78	CaCl ₂	5,5493
69	HCl	3,6461	74	HBr	8,0912	79	I	12,6900
70	KCl	7,4561	75	KBr	11,9020	80	HI	12,7910
71	NaCl	5,8444	76	NaBr	10,2894	81	KI	16,6006
72	NH ₄ Cl	5,3496	77	BaCl ₂	10,4120	82	KSCN	9,7184

ж) Метод аргентометрии. Титрант NH₄SCN

83	Ag	10,7870	84	AgNO ₃	16,9870	85	Cu	6,3540
						86	Hg	10,0300

з) Метод комплексонометрии. Титрант комплексон III

87	Al	5,3960	96	Cr	10,4020	105	Ni	11,1380
88	Al ₂ O ₃	10,1960	97	Cr ₂ O ₃	15,2020	106	Pb	41,4420
89	Ba	27,4720	98	Cu	12,7080	107	Sn	23,7400
90	BaO	30,6720	99	Fe	11,1700	108	SO ₄	19,2132
91	Bi	41,8000	100	Fe ₂ O ₃	15,9700	109	Sr	17,5260
92	Ca	8,0160	101	Mg	4,8640	110	Ti	9,5800
93	CaO	11,2160	102	MgO	8,0640	111	TiO ₂	15,9800
94	Cd	22,4820	103	Mn	10,9880	112	Zn	13,0760
95	Co	11,7880	104	MnO	14,1880			

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Гравиметрическим анализом называется метод количественного анализа, основанный на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, выделенных в виде соединений точного известного постоянного состава. Методы гравиметрического анализа делятся на несколько групп:

Метод	Принцип метода
Выделения	определяемую составную часть выделяют в свободном состоянии и взвешивают
Осаждения	определяемую составную часть осаждают в виде малорастворимого соединения определенного состава. Осадок промывают, прокаливают и взвешивают
Отгонки	определяемую составную часть превращают в летучее соединение и отгоняют при нагревании

Соединение, в виде которого осаждается определяемый элемент, называется *осаждаемой формой*, а соединение, в виде которого взвешивается определяемое вещество, — *весовой формой*.

Правила осаждения

Кристаллические осадки осаждают из горячих разбавленных растворов медленным прибавлением разбавленного раствора реактива-осадителя при постоянном перемешивании. Полученную суспензию оставляют отстаиваться на несколько часов на кипящей водяной бане для созревания осадка, а затем фильтруют.

Аморфные осадки осаждают из горячих концентрированных растворов быстрым прибавлением концентрированного раствора реактива-осадителя при постоянном перемешивании. Полученную суспензию разбавляют горячей водой (100—150 мл) и тотчас фильтруют.

Фильтрация, промывание и прокаливание осадков

Осадки фильтруют через бумажные фильтры (табл. 112), а в случае необходимости — через фильтрующие тигли или воронки с пористым дном (табл. 113).

Таблица 112. Типы фильтров, используемых в химических лабораториях

Тип фильтра	Размер пор, мм	Применение
Зольные	8—10	Для синтетических работ
Желтая лента	8—10	Для анализа масел
Красная лента	8—10	Для фильтрования аморфных осадков
Белая лента	3—5	Для фильтрования кристаллических осадков
Синяя лента	1—2,5	Для фильтрования мелкозернистых осадков

Таблица 113. Фильтрующие тигли и воронки с пористыми стеклянными фильтрами

№ воронки	Размер пор, мм	Применение
1	100	Для фильтрования крупнозернистых кристаллических осадков
2	50	Для фильтрования кристаллических осадков
3	25	Для фильтрования аморфных осадков
4	10	Для фильтрования мелкокристаллических осадков

Осадки промывают 4—5 раз небольшими порциями промывной жидкости. В качестве последней порции обычно используют 0,5%-ный раствор реактива-осадителя. Промывка аморфных осадков водой недопустима из-за возможности их пептизации (переход аморфного осадка в коллоидный раствор, частицы которого проходят через поры бумажного фильтра). Их промывают 1%-ным раствором нитрата или хлорида аммония, нейтрализованного аммиаком (по метилоранжу). При

пересаживании отфильтрованный осадок растворяют в небольшом объеме подходящего растворителя, разбавляют водой и вновь осаждают тем же самым реактивом-осадителем (трехкратное пересаживание позволяет получить химически чистый осадок вещества).

Прокаливание осадка проводят в муфельной печи, снабженной терморегулятором и термопарой, соединенной с пирометрическим милливольтметром. При их отсутствии температуру печи можно визуально контролировать, пользуясь следующими данными:

Цвет свечения внутренней полости печи

Приблизительная температура печи, °C

Начало красного каления	500
Каление:	
темно-красное	700
вишнево-красное	900
ярко-красное	1000
желтое	1100
ослепительно-белое	1500

Расчеты в гравиметрическом анализе

1. Расчет навески анализируемого вещества g :

а) для кристаллических осадков:

$$g = \frac{x \cdot M_{\text{о.в}} \cdot 0,5}{y \cdot M_{\text{в.ф}}};$$

б) для аморфных осадков:

$$g = \frac{x \cdot M_{\text{о.в}} \cdot 0,1}{y \cdot M_{\text{в.ф}}},$$

где g — навеска пробы, г; x — количество молекул определяемого вещества; y — количество молекул весовой формы; $M_{\text{о.в}}$ — молекулярная масса определяемого вещества; $M_{\text{в.ф}}$ — молекулярная масса весовой формы.

2. Расчет объема раствора реактива-осадителя V :

$$V = \frac{1,5x \cdot M_{\text{в.ф}} \cdot g \cdot 100}{y \cdot M_{\text{о.в}} \cdot C \cdot d},$$

где g — навеска вещества, г; C — концентрация растворителя, d — плотность раствора реактива-осадителя, г/см³.

3. Расчет результатов анализа (%):

$$x = \frac{P \cdot F \cdot 100}{g},$$

где P — масса весовой формы, г; F — фактор гравиметрического анализа (см. табл. 114); g — масса навески, г.

Примеры расчетов навесок.

1. Рассчитать навеску мрамора, необходимую для определения кальция в виде CaO.

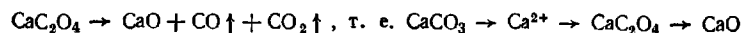
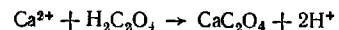
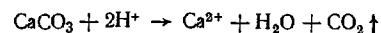
Таблица 114. Гравиметрические факторы наиболее распространенных ионов

Ион	Определяемое вещество	Весовая форма	Фактор
Ag ⁺	Ag	AgBr	0,5745
		AgCl	0,7526
Al ³⁺	Ag ₂ O	Ag	1,0742
	Al	Al ₂ O ₃	0,5293
		AlPO ₄	0,2212
	Al ₂ O ₃	Al	1,8895
	AlPO ₄	Al	4,5199
Ba ²⁺	Ba	BaCrO ₄	0,5421
		BaSO ₄	0,5884
	BaCl ₂	BaSO ₄	0,8923
	BaO	BaSO ₄	0,6569
Bi ³⁺	Bi	Bi ₂ O ₃	0,8970
Br ⁻	Br	AgBr	0,4255
C ⁴⁺	C	BaCO ₃	0,0609
	CO ₂	BaCO ₃	0,2230
		CaCO ₃	0,4397
	CO ₃ ²⁻	BaCO ₃	0,3041
Ca ²⁺	Ca	CaCO ₃	0,4004
		CaC ₂ O ₄ · H ₂ O	0,2743
		CaO	0,7147
	CaO	Ca	1,3990
	CaCO ₃	CaO	1,7850
Mg ²⁺	MgO	MgNH ₄ PO ₄ · 6H ₂ O	0,1643
	Mg	MgNH ₄ PO ₄ · 6H ₂ O	0,0991
	MgCO ₃ · CaCO ₃	MgO	4,5747
		MgO	2,4905
	Mg ₂ SiO ₄	MgO	1,7453
	MgSO ₄	BaSO ₄	0,5157
Mn ⁺	Mn	Mn ₂ P ₂ O ₇	0,3871
	MnO	Mn	1,2912
	MnO ₂	Mn	1,5825
	KMnO ₄	Mn	2,8776
	MnCO ₃	Mn	2,0923
Na ⁺	Na	NaCl	0,6485
		Na ₂ SO ₄	0,3237
Ni ²⁺	Ni	Диметилглиоксимат	0,2032
		NiO	0,7858
	NiO	Ni	1,2726
P	P	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,2782
	P ₂ O ₅	P	2,2914
	P ₂ O ₃	P	1,7748
Pb ²⁺	Ca ₃ (PO ₄) ₂	P ₂ O ₅	2,1852
	Pb	PbCrO ₄	0,6411
	Pb	PbSO ₄	0,6832
	PbO	Pb	1,0772
	PbO ₂	Pb	1,1544
	PbCO ₃	Pb	1,2896
	Pb ₃ O ₄	Pb	1,1030
S	S	BaSO ₄	0,1374
	H ₂ S	BaSO ₄	0,1460
	H ₂ SO ₃	BaSO ₄	0,3517
	H ₂ SO ₄	BaSO ₄	0,4202
	SO ₂	BaSO ₄	0,2745

Продолжение табл. 114

Ион	Определяемое вещество	Весовая форма	Фактор
Cd ²⁺	SO ₃	BaSO ₄	0,3430
	Cd	CdO	0,8754
Cl ⁻	Cl	AgCl	0,2474
Co ²⁺	Co	Co ₂ P ₂ O ₇	0,4039
Cr ³⁺	Cr ₂ O ₃	Cr	1,4616
	Cr	BaCrO ₄	0,2053
	CrO ₄	BaCrO ₄	0,4579
	Cr ₂ O ₇	BaCrO ₄	0,4263
Cu ²⁺	Cu	CuO	0,7989
	CuO	Cu	1,2518
Fe ³⁺	Fe	Fe ₂ O ₃	0,6994
	FeO	Fe	1,2865
	Fe ₂ O ₃	Fe	1,4297
	Fe ₃ O ₄	Fe	1,3820
	FeCO ₃	FeO	1,6126
H ⁺	H	H ₂ O	0,1119
Hg ²⁺	Hg	HgCl ₂	0,7388
	HgO	Hg	1,0798
	Hg ₂ O	Hg	1,0399
HA	HBr	AgBr	0,4309
	HI	AgI	0,5448
	HNO ₃	HNO ₃ · (C ₂ H ₅ N ₃) нитрон	0,1679
	H ₃ PO ₄	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,8806
	H ₂ SO ₄	BaSO ₄	0,4202
K ⁺	K	KCl	0,5245
		K ₂ SO ₄	0,4489
Mg ²⁺	Mg	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,2184
	MgO	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,3622
	MgCO ₃	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,7576
	Si	SiO ₂	0,4674
Si ⁴⁺	SiO ₂ ²⁻	SiO ₂	1,2663
	H ₂ SiO ₃	SiO ₂	1,2998
Sn ²⁺	Sn	SnO	1,1348
	Sn	SnO ₂	0,7876
	SnO	SnO ₂	0,8938
	SnCl ₄	Sn	2,1948
Sr ²⁺	Sr	SrC ₂ O ₄ · H ₂ O	0,4524
	Sr	SrSO ₄	0,4770
	SrO	Sr	1,1830
	SrCO ₃	SrSO ₄	0,8037
Zn ²⁺	Zn	ZnO	0,8034
	Zn	Zn ₃ P ₂ O ₇	0,4291
	Zn	Zn(OH) ₂	0,6578
	ZnCl ₂	ZnO	1,6758

Уравнения реакций, протекающих при анализе:



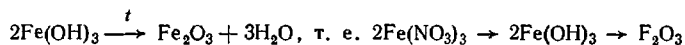
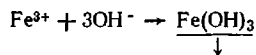
$$M_{o.в} = M_{CaCO_3} = 100,09; \quad x = 1;$$

$$M_{в.ф} = M_{CaO} = 56,08; \quad y = 1;$$

$$g = \frac{1 \cdot 100,09 \cdot 0,5}{1 \cdot 56,08} = 0,8924 \text{ г.}$$

2. Рассчитать навеску $Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, необходимую для определения железа в виде Fe_2O_3 .

Уравнения реакций, протекающих при анализе:



$$M_{o.в} = M_{Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O} = 349,95; \quad M_{в.ф} = M_{Fe_2O_3} = 159,69;$$

$$x = 2; \quad y = 1; \quad g = \frac{2 \cdot 349,95 \cdot 0,1}{1 \cdot 159,69} = 0,4383 \text{ г.}$$

Факторы гравиметрического анализа

Фактор в гравиметрическом анализе — это отношение молекулярной массы определяемого вещества к молекулярной массе весовой формы: $F = M_{o.в} / M_{в.ф}$.

РАЗДЕЛ 7

АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

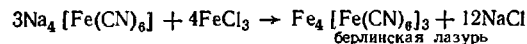
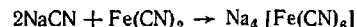
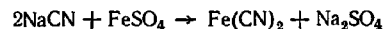
ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Качественный элементный анализ

Задачей качественного элементного анализа является качественное определение элементов, входящих в состав органических соединений.

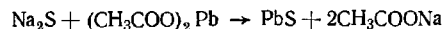
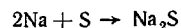
Для обнаружения *углерода* (C) и *водорода* (H) органическое вещество сжигают в пробирке с газоотводной трубкой. В пробирку помещают небольшое количество сульфата меди. При сгорании органического соединения углерод, входящий в его состав, образует углекислый газ, а водород — воду. Углекислый газ легко обнаружить пропусканием его через известковую воду (помутнение), а воду определяют по посинению сульфата меди.

Для обнаружения *азота* органическое вещество сплавляют с металлическим натрием. Образовавшийся цианид натрия легко определить по ярко-синей окраске берлинской лазури — конечного продукта реакций:



берлинская лазурь

Серу определяют сплавлением органического вещества с металлическим натрием. Образовавшийся сульфид натрия обнаруживают в виде сульфида свинца:



Галогены открывают реакцией Бейльштейна: при прокаливании в пламени горелки медной проволоки или пластинки, на которую нанесено органическое вещество, содержащее галоген, пламя окрашивается в интенсивно зеленый цвет.

Количественный элементный анализ

Количественный элементный анализ устанавливает количественное (процентное) содержание элементов в анализируемом веществе. Зная количественный состав органического соединения, можно установить его простейшую формулу.

Определение углерода и водорода методом Либиха—Прегля заключается в количественном разложении органического вещества до углекислого газа и воды, которые затем определяют количественно. Определение углерода и водорода всегда проводят совместно (из одной навески) в установке, схема которой изображена на рис. 4. Точно взвешенную навеску вещества (4—8 мг) помещают в платиновую лодочку или кварцевую пробирку и сжигают в кварцевой трубке, через которую пропускают с постоянной скоростью кислород. Трубку («зону окисления») нагревают электрической печью (800—900°С), а вещества сжигают обычно на газовой горелке. За кварцевой трубкой размещают аппараты с поглотителями: для воды — перхлорат магния (ангидрон),

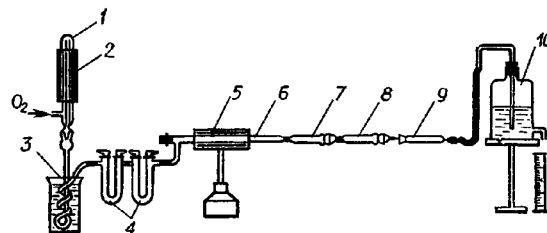


Рис. 4. Схема установки для определения углерода и водорода:

1 — трубка для очистки кислорода, 2, 5 — электрические печи, 3 — змеевик, 4 — поглотитель, 6 — кварцевая трубка для сжигания, 7 — поглотительный аппарат для воды, 8 — поглотительный аппарат для оксидов азота, 9 — поглотительный аппарат для CO_2 , 10 — аспиратор

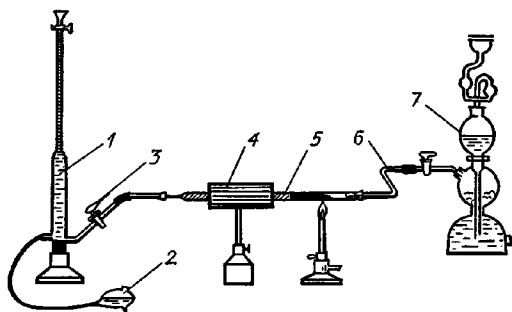


Рис. 5. Схема установки для определения азота методом Дюма—Прегля:

1 — микроазотометр, 2 — груша с раствором гидроксида калия, 3 — кран с нарезкой, 4 — электрическая печь, 5 — кварцевая трубка для сжигания, 6 — Z-образная трубка, 7 — аппарат Киппа

для углекислого газа — гидроксид натрия на асбесте (аскарит). Количество воды и углекислого газа определяют по разности весов до сжигания и после сжигания. Зная количество поглощенных воды и углекислого газа, рассчитывают процентное содержание С и Н по формулам:

$$C = \frac{a \cdot 0,2727 \cdot 100}{g}; \quad H = \frac{b \cdot 0,1119 \cdot 100}{g},$$

где g — навеска вещества, мг; a — количество найденного CO_2 , мг; b — количество найденной H_2O , мг; 0,2727 — фактор для C/CO_2 ; 0,1119 — фактор для H_2/H_2O .

Определение азота методом Дюма—Прегля основано на сжигании органического вещества, смешанного с оксидом меди, в атмосфере углекислого газа. Углекислый газ пропускают через сожигательную трубку (из кварца) перед анализом (для вытеснения из нее воздуха) и после сжигания вещества — для вытеснения из трубки продуктов сгорания: азота, оксидов азота, воды и диоксида углерода. Источником углекислого газа может быть аппарат Киппа или газовый баллон (в любом случае газ должен быть лишен даже следов воздуха!). Часть сожигательной трубки имеет постоянное наполнение: слой оксида меди, слой восстановленной меди (для восстановления оксидов азота в азот), затем опять слой оксида меди.

Анализ проводят на приборе (рис. 5) следующим образом. Точно взвешенную навеску вещества (3—4 мг), смешанную с порошкообразным оксидом меди, помещают в сожигательную трубку (рядом с постоянным наполнением). Воздух из трубки вытесняют углекислым газом до появления микропузырьков в азотометре, который заполнен 50%-ным раствором гидроксида калия. Затем зону постоянного наполнения нагревают до 600—650°С электрической печью, а навеску сжигают при температуре 700—750°С (в электрической печи или газовой горелкой). Сжигание проводят в атмосфере углекислого газа

при закрытом кране на аппарате Киппа (или баллоне). После сжигания продукты сгорания медленно вытесняют током углекислого газа в азотометр со скоростью не более одного пузырька в секунду. Вытеснение заканчивают с появлением микропузырьков в азотометре. Содержание азота (x , %) находят по формуле

$$x = \frac{m \cdot V \cdot 100}{g},$$

где m — масса 1 мл азота при данных условиях, мг (табл. 115); V — объем азота в азотометре, мл; g — навеска вещества, мг.

Определение азота методом Кьельдаля основано на разложении органического вещества, при котором углерод окисляется до CO_2 , а азот превращается в NH_3 . В колбу Кьельдаля (рис. 6) помещают точно взвешенную навеску вещества и добавляют катализатор — смесь сульфата калия, немного медного купороса и глюкозы. Затем в колбу приливают небольшое количество концентрированной серной кислоты и колбу нагревают до кипения. Когда содержимое колбы начнет темнеть, добавляют пероксид водорода (для ускорения процесса разложения вещества). Смесь греют до полного обесцвечивания, а затем, предварительно разбавив ее небольшим количеством воды, переносят количественно в колбу для перегонки, в которую добавляют раствор гидроксида калия. После этого отгоняют аммиак, улавливая его точно отмеренным количеством 0,1 н. серной кислоты. Добавив в колбу с серной кислотой несколько капель индикатора (метилловый красный), смесь титруют раствором 0,1 н. щелочи до появления оранжево-желтого окрашивания. Содержание азота (x , %) вычисляют по формуле

$$x = \frac{0,014 \cdot (K \cdot N_1 \cdot V_{H_2SO_4} - K \cdot N_1 \cdot V_{NaOH} \cdot 100)}{g},$$

где K — коэффициент поправки; N_1 — нормальность; V — объем, мл; g — навеска, г.

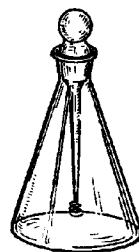


Рис. 7. Колба для определения серы и галогенов по Шенигеру

Определение серы и галогенов по Шенигеру. Точно взвешенную навеску вещества (5—8 мг), завернутую предварительно в обеззоленный фильтр, укрепляют в платиновой проволочке, впаянной в стеклянную палочку. Эта палочка укреплена в пробке для колбы (рис. 7). Фильтр с завернутой в него навеской вещества поджигают и сразу же вносят в колбу, предварительно наполненную кислородом, и плотно закрывают ее пробкой. Продукты сгорания поглощают водой с добавлением пероксида водорода (для полного окисления продуктов реакции). При определении галогенов полученный раствор подкисляют азотной кислотой (рН 2,5) и титруют раствором нитрата ртути в присутствии индикатора (дифенилкарбазон) до появления сиреневой окраски.



Рис. 6. Колба Кьельдаля

Анализ спиртов и фенолов

Спирты и фенолы удобно анализировать методом, основанным на определении активного водорода. *Активный водород* — это водородные атомы, которые связаны с ненасыщенными углеродными атомами или с атомами кислорода, азота или серы. Активный водород достаточно подвижен, и для его определения используют реакцию с реактивом Гриньяра (1) или алюмогидридом лития (г):



Чаще используют реакцию (1), при которой измеряют объем выделившегося метана.

Прибор для определения активного водорода изображен на рис. 8. Точно взвешенную навеску вещества в лодочке или ампуле помещают в отросток 3 реакционного сосуда 5. Туда же добавляют пипеткой 3,5 мл анизола (или ксилола). Когда вещество растворится, воздух из сосуда вытесняют током азота и во второй отросток 4 пипеткой вносят 10 мл раствора метилмагнийиодида. Реакционный сосуд соединяют с газовой бюреткой 2 отрезком трубки из вакуумной резины и открывают двухходовой кран 7. Открыв кран 6, через реакционный сосуд в течение нескольких минут пропускают ток азота. Затем кран 6 закрывают, а реакционный сосуд помещают в водяную баню (комнатной температуры). Через 10 мин, осторожно поднимая напорный резервуар 8 с дибутилфталатом, одновременно открывают кран 7, чтобы полностью заполнить всю бюретку 2 дибутилфталатом. Резервуар опускают, а кран 7 поворачивают таким образом, чтобы бюретка была соединена с реакционным сосудом. Покачивая его, смешивают растворы в двух отростках. При этом начинает выделяться газ. Через несколько минут уравнивают уровни дибутилфталата в бюретке и в напорном резервуаре и отмечают объем собранного газа, температуру и барометрическое давление. Объем газа приводят к нормальным условиям. Содержание водорода (x, %) вычисляют по формуле

$$x = \frac{1,008 \cdot 100 \cdot V_0}{22,43 \cdot g} = 4,5 \frac{V_0}{g},$$

где $V_0 = \frac{V \cdot 273 (P - W)}{(273 + t^\circ)}$ (V — объем газа (л)

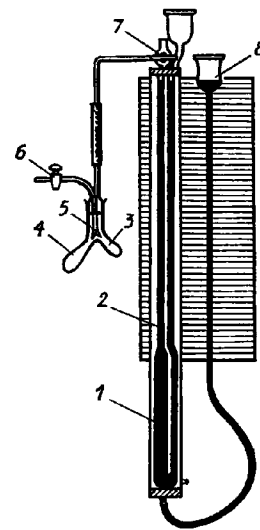


Рис. 8. Прибор для определения активного водорода:

1 — предохранительная стеклянная трубка, 2 — микробюретка, 3 — отросток для определяемого вещества, 4 — отросток для реактива Гриньяра, 5 — реакционный сосуд, 6, 7 — краны, 8 — напорный резервуар с дибутилфталатом

Титр раствора нитрата ртути устанавливают с помощью 0,01 н. раствора хлорида калия. Для этого в колбу помещают 50 мл дистиллированной воды, 10 мл 0,2 н. раствора гидроксида натрия, необходимое для создания нужного pH (2,5) количество 0,5 н. раствора азотной кислоты, 5 мл 0,01 н. раствора хлорида калия (из микробюретки) и при размешивании титруют раствором нитрата ртути в присутствии дифенилкарбазона до появления сиреневой окраски. Титр раствора Т рассчитывают по формуле

$$T_{Hg(NO_3)_2} = \frac{N_1 \cdot V_1 \cdot E_{Cl^-}}{V_2 \cdot 1000},$$

где N_1 — нормальность раствора KCl; V_1 — объем раствора KCl, взятый для титрования, мл; E_{Cl^-} — эквивалент Cl, равный 35,46; V_2 — объем раствора $Hg(NO_3)_2$, пошедший на титрование раствора KCl, мл.

Содержание галогенов (x, %) рассчитывают по формуле

$$x = \frac{T (V - V_1) \cdot 100 \cdot 1000}{g},$$

где T — титр раствора $Hg(NO_3)_2$, выраженный в граммах галогена; V и V_1 — объемы раствора $Hg(NO_3)_2$, израсходованные на титрование навески и в холостом опыте, мл; g — навеска вещества, мг.

Для определения серы продукты сгорания титруют сантимолярным раствором перхлората бария $Ba(ClO_4)_2$ в присутствии индикатора торона (pH раствора 4,5). Содержание серы (x, %) рассчитывают по формуле

$$x = \frac{T \cdot V \cdot 100 \cdot 1000}{g},$$

где V — объем раствора $Ba(ClO_4)_2$, мл; T — титр раствора $Ba(ClO_4)_2$; g — навеска вещества, мг.

Титр раствора перхлората бария устанавливают с помощью 0,01 н. раствора серной кислоты. С этой целью в колбу вливают 5 мл дистиллированной воды, 40 мл спирта и добавляют из бюретки 5 мл 0,01 н. раствора серной кислоты. Быстро титруют раствором перхлората бария в присутствии индикатора торона (3 капли) до перехода желтой окраски в розовую. Титр рассчитывают по формуле

$$T_{Ba(ClO_4)_2} = \frac{V_1 \cdot N_1 \cdot E}{V_2 \cdot 1000},$$

где V_1 — объем раствора H_2SO_4 , взятый на титрование, мл; N_1 — нормальность раствора H_2SO_4 ; E — эквивалент серы, равный 16; V_2 — объем раствора $Ba(ClO_4)_2$, пошедший на титрование, мл.

при определенной температуре и давлении P ; W — давление водяного пара при температуре t , °C; g — навеска вещества, мг.

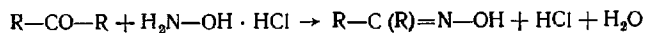
Количество атомов водорода (x) в молекуле вычисляют по формуле

$$x = \frac{M \cdot V_0}{22,43 \cdot g},$$

где M — молекулярная масса анализируемого вещества.

Анализ карбонильных соединений (альдегидов и кетонов)

Для анализа карбонильных соединений широко используют реакцию оксимирования соляно-кислым гидроксиламином:



Этим методом можно определять содержание карбонильной группы в альдегидах, кетонах, альдозах, эфирах кетокислот и хинонах.

В коническую колбу с притертой пробкой вливают предварительно нейтрализованные 0,1 н. раствором щелочи (индикатор — бромфенол синий) 50 мл 1 н. раствора соляно-кислого гидроксиламина, добавляют еще 4 капли того же индикатора и взвешивают. Вносят навеску исследуемого вещества (1—2 г), перемешивают, закрывают пробкой и снова взвешивают. По разности рассчитывают навеску вещества, взятого для анализа. В зависимости от строения вещества колбу или оставляют стоять некоторое время (0,5—2 ч) при комнатной температуре, или присоединяют к ней воздушный холодильник и нагревают на водяной бане. Выделившуюся кислоту титруют 1 н. раствором гидроксида натрия. Переход окраски — от желто-зеленой к сине-фиолетовой. Содержание карбонилсодержащего вещества (x , %) вычисляют по формуле

$$x = \frac{V \cdot K \cdot C \cdot 100}{g},$$

где V — объем 1 н. раствора NaOH, мл; K — коэффициент поправки для 1 н. раствора NaOH; C — количество карбонилсодержащего соединения, соответствующее 1 мл точно 1 н. раствора NaOH, г; g — навеска вещества, г.

Анализ карбоновых кислот и их производных

Для органических карбоновых кислот общим методом количественного определения является ацидиметрическое титрование.

В коническую колбу вместимостью 150—200 мл с притертой пробкой вливают 25—30 мл воды и помещают навеску вещества. Полученный раствор титруют 1 н. раствором гидроксида натрия (калия) в присутствии фенолфталеина до появления слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение нескольких секунд. Содержание карбоновой кислоты (x , %) вычисляют по формуле

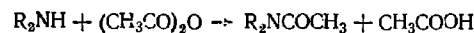
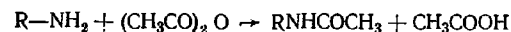
$$x = \frac{V \cdot K \cdot C \cdot 100}{g},$$

где V — объем 1 н. раствора NaOH(KOH), затраченный на титрование, мл; K — коэффициент поправки для 1 н. раствора NaOH; C — количество карбоновой кислоты, соответствующее 1 мл точно 1 н. раствора NaOH(KOH), г; g — навеска кислоты, г.

Количественное определение карбоновых кислот можно проводить также по методу определения активного водорода.

Анализ первичных и вторичных аминов

Количественное определение первичных и вторичных аминов можно проводить методом ацилирования:



Простейшим методом является титрование выделившейся уксусной кислоты. В качестве растворителя используют пиридин, позволяющий довести реакцию до конца. В качестве титранта применяют 0,5 н. спиртовой раствор гидроксида калия. Первичные ароматические амины можно количественно определять методом диазотирования. В качестве титрованного раствора применяют раствор нитрита натрия. Конец диазотирования определяют по иодкрахмальной бумаге (индикатор). Реакция протекает по схеме

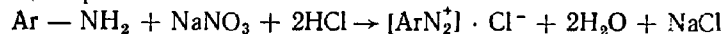


Таблица 115. Удельный вес сухого азота
Обозначения: P — давление, кПа (мм рт. ст.); t — температура, °C.

$P \backslash t$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
97 (728)	1,136	1,132	1,128	1,124	1,120	1,116	1,112	1,109	1,105	1,101	1,097
97,3 (730)	1,139	1,135	1,131	1,127	1,123	1,119	1,115	1,112	1,108	1,104	1,100
97,6 (732)	1,142	1,138	1,134	1,130	1,126	1,122	1,118	1,115	1,111	1,107	1,103
97,8 (734)	1,145	1,141	1,137	1,133	1,129	1,125	1,121	1,118	1,114	1,110	1,106
98,1 (736)	1,148	1,144	1,140	1,136	1,132	1,128	1,125	1,121	1,117	1,113	1,109
98,4 (738)	1,151	1,147	1,143	1,139	1,135	1,131	1,128	1,124	1,120	1,116	1,112
98,6 (740)	1,154	1,150	1,146	1,142	1,138	1,135	1,131	1,127	1,123	1,119	1,115
98,9 (742)	1,157	1,153	1,149	1,145	1,141	1,138	1,134	1,130	1,126	1,122	1,118
99,2 (744)	1,160	1,156	1,152	1,149	1,145	1,141	1,137	1,133	1,129	1,125	1,121
99,4 (746)	1,164	1,160	1,156	1,152	1,148	1,144	1,140	1,136	1,132	1,128	1,124
99,7 (748)	1,167	1,163	1,159	1,155	1,151	1,147	1,143	1,139	1,135	1,131	1,128
100,0 (750)	1,170	1,166	1,162	1,158	1,154	1,150	1,146	1,142	1,138	1,134	1,131
100,2 (752)	1,173	1,169	1,165	1,161	1,157	1,153	1,149	1,145	1,141	1,137	1,134
100,5 (754)	1,176	1,172	1,168	1,164	1,160	1,156	1,152	1,148	1,144	1,140	1,137
100,8 (756)	1,179	1,175	1,171	1,167	1,163	1,159	1,155	1,151	1,147	1,143	1,140
101,0 (758)	1,182	1,178	1,174	1,170	1,166	1,162	1,158	1,154	1,150	1,146	1,143
101,3 (760)	1,185	1,181	1,177	1,173	1,169	1,165	1,161	1,157	1,153	1,149	1,146
101,6 (762)	1,189	1,184	1,180	1,176	1,172	1,168	1,164	1,160	1,156	1,152	1,149

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Технический анализ — раздел аналитической химии, объединяющий химические, физико-химические и физико-механические методы испытания исходного сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции, включая контроль хода технологического процесса. Для выполнения анализа отбирают среднюю пробу вещества или реакционной массы и проводят ее испытание в соответствии с ГОСТом, ТУ и другими нормативными документами.

Аналитический контроль на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности осуществляется цеховыми лабораториями, центральной заводской лабораторией и отделом технического контроля. Виды технического анализа сырья и готовой продукции различаются в зависимости от его назначения:

маркировочный: позволяет отнести данную продукцию к тому или иному сорту;

контрольный: используется для определения соответствия качества продукции требованиям Государственного стандарта;

арбитражный: выполняется при предъявлении заводу-изготовителю рекламации со стороны потребителя; проводится в лаборатории незаинтересованной стороны.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩАЯ КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

Методы испытаний изложены в государственных общесоюзных стандартах (ГОСТ), технических условиях (ТУ) и других нормативных документах (табл. 116).

Таблица 116. Техническая документация, регламентирующая качество продукции

Название документации		Кто утверждает
полное	сокращенное	
Государственный общесоюзный стандарт	ГОСТ	Комитет стандартов, мер и измерительных приборов Совета Министров СССР
Отраслевой стандарт	ОСТ	Министр или его заместители
Республиканский стандарт	РСТ	Совет Министров республики
Стандарт предприятия	СТП	Директор предприятия
Ведомственные технические условия	ТУ	Министерство-изготовитель продукции
Временные технические условия	ВТУ	Министерство-изготовитель продукции
Разовые технические условия	РТУ	Директор предприятия

ГОСТы создаются на ответственные виды продукции и имеют силу закона для всех предприятий СССР. Остальные стандарты имеют более

ограниченное применение. Так, ОСТы действуют только в пределах данной отрасли промышленности. РСТ имеет силу закона на территории данной союзной республики, а СТП устанавливаются на продукцию, передаваемую из цеха в цех одного предприятия. ТУ утверждаются на менее ответственные виды продукции (на более или менее длительный срок). ВТУ утверждаются, как правило, сроком на один год на новые виды продукции, а также на продукцию, вырабатываемую по новой или значительно измененной технологии. По истечении срока действия их заменяют на постоянные ТУ. РТУ утверждают обычно на одну партию (чаще — опытную) продукции.

Структура Государственных стандартов

Государственные стандарты, а также ОСТ, РСТ, СТП, ТУ, ВТУ и РТУ имеют единую структуру.

Индекс стандарта состоит из двух групп цифр, разделенных тире: первая группа обозначает регистрационный номер стандарта, а вторая — последние две цифры года утверждения стандарта. Например, ГОСТ 3584—73 означает: 3584 — регистрационный номер стандарта, 73 — год его утверждения. Индекс ОСТа состоит из четырех групп цифр, разделенных тире: первая группа представляет собой условный номер министерства-изготовителя, вторая — условный номер главы, третья — регистрационный номер и последняя — год утверждения. В РСТ первая и вторая группы цифр заменены сокращенным названием союзной республики.

Название стандарта и служебные отметки приводятся на русском и английском языках. В этом же разделе указан срок действия стандарта.

Вводная часть: приводится определение стандартизуемого продукта, указывается область его применения и токсичные свойства.

Первый раздел стандарта содержит технические требования к продукции: марки (сорта) продукции, показатели качества и нормы (отдельно для каждой марки).

Методы испытаний. Во втором разделе приводятся правила отбора проб и методы контроля. В тех случаях, когда существуют специальные ГОСТы на методы испытаний качества продукции по тому или иному показателю, в этом разделе даются ссылки на соответствующие стандарты.

Упаковка, маркировка, хранение. В заключительном (третьем) разделе стандарта указываются способ упаковки, вид маркировки, условия отгрузки потребителю и хранения готовой продукции. В необходимых случаях указывается также гарантийный срок хранения продукции.

Кроме ГОСТов на химическую продукцию существуют специализированные стандарты на методы испытания химической продукции, а также стандарты на приготовление растворов индикаторов, некоторых буферных растворов, растворов для колориметрического и нефелометрического анализа и ряд других.

Каждый стандарт пересматривается раз в пять лет. При этом его

порядковый номер не меняется, но изменяется последняя группа цифр. Поэтому, отыскивая стандарты в библиотеке, необходимо обращать внимание на первую группу цифр, составляющих их номер.

Государственная аттестация промышленной продукции

Аттестация промышленной продукции — средство повышения качества изделий и совершенствования технологии производства. Аттестация промышленной продукции производится министерствами и ведомствами СССР и союзных республик в соответствии с директивными документами Госстандарта СССР, ГКНТ СССР и Госплана СССР по трем категориям качества:

Категория	Требования к качеству продукции	Аттестационная оценка
Высшая	Показатели технического уровня и качества превосходят лучшие отечественные и зарубежные достижения или соответствуют им; продукция обеспечивает рост производительности труда, экономии материалов, топлива и электроэнергии; конкурентоспособна на международном рынке	Присвоить государственный знак качества и надбавку к оптовой цене сроком на 1—2 года
Первая	Показатели технического уровня и качества полностью соответствуют требованиям ГОСТов	
Вторая	Показатели технического уровня и качества не соответствуют современным требованиям; продукция морально устарела	Модернизировать или снять с производства данную продукцию. Ввести скидки с оптовой цены

Аттестация промышленной продукции осуществляется отраслевой аттестационной комиссией по первой и второй категории качества и государственной аттестационной комиссией — по высшей категории качества.

ОТБОР СРЕДНЕЙ ПРОБЫ

Технические продукты неоднородны по химическому составу. Для получения правильных результатов необходимо подвергнуть анализу среднюю пробу. *Средняя проба* — небольшое количество анализируемого материала, химический состав которого соответствует среднему химическому составу всей партии материала.

Способы отбора зависят от агрегатного состояния и степени однородности вещества. Для важнейших видов продукции разработаны ГОСТы на способы отбора средней пробы.

Отбор средней пробы газообразных материалов

Средняя проба отбирается с помощью газоотборных трубок из трубопровода или аппарата. Различают несколько видов проб: *сред-*

няя: отбирается за данный промежуток времени; *периодическая*: отбирается через определенные промежутки времени; *разовая*: однократно отобранная проба; *верхняя*: отбирается из верхней части аппарата; *центральная*: отбирается из центральной части аппарата; *нижняя*: отбирается на уровне $1/10$ высоты аппарата; *сложная*: смесь нескольких проб, взятых в разное время из одного и того же аппарата или из разных аппаратов в одно и то же время.

Обычно пробу отбирают в газовые пипетки (емкостью 250—500 мл). Из аппарата, находящегося под большим давлением, пробу отбирают через редукционный вентиль, понижающий давление газа. Плохая продувка пипетки или подсос воздуха через места соединения пипетки с аппаратом приводит к неправильным результатам анализа.

Отбор средней пробы жидкостей

Среднюю пробу берут с помощью специальных пробоотборников. Методы отбора и количество отбираемой жидкости в каждом конкретном случае определяются требованиями ГОСТов.

Отбор средней пробы твердых веществ

От сыпучих веществ, затаренных в мешки, отбирают первичную пробу с помощью щупов от 5—10% мест материала прокалыванием мешка насквозь. От материала, отгружаемого навалом, пробу берут из нескольких точек, расположенных в шахматном порядке. Из больших партий материалов, отгружаемых навалом, пробу отбирают в процессе его погрузки или выгрузки. При отборе средней пробы кусковых материалов необходимо следить за тем, чтобы соотношение крупных и мелких кусков материала и мелочи в исходном материале и в первичной пробе было одинаковым. Размер первичной пробы прямо пропорционален размеру кусков материала. От металлов первичную пробу берут в виде стружки, полученной сверлением или фрезерованием слитка (прута, детали).

Обработка и разделка первичных проб

Масса первичной пробы определяется природой и характером материала. Для химического анализа в лабораторию направляют пробу массой 150—200 г. Поэтому первичные пробы сокращают методом квартования. Для этого крупнокусочный материал измельчают в лабораторной щековой дробилке до кусочков размерами 8—10 мм. Измельченную массу размалывают в шаровой мельнице. Полученный материал высыпают на лист фанеры и перемешивают его лопатой, насыпая в виде конуса, который слегка расплющивают, нажимая на его вершину листом чистой фанеры. После этого кучу делят на четыре равных сектора. Материал двух противоположных секторов отбирают совком в новую кучу, которую снова квартуют, продолжая процесс до тех пор, пока масса пробы не станет равной 250—500 г. Полученную пробу (называемую аналитической) делят на две равные части,

пересыпают в чистые, хорошо закрывающиеся банки, на которые наклеивают этикетки с указанием названия продукции, номера партии, места отбора пробы, даты и фамилии пробоотборщика. Одну из банок опечатывают сургучной печатью ОТК и передают в архив проб, где она хранится в течение времени, предусмотренного действующим ГОСТом или ТУ на случай арбитражного анализа, а другую отправляют в аналитическую лабораторию.

СИТОВОЙ АНАЛИЗ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНИНЫ ПОМОЛА)

Сущность метода состоит в определении процента материала, оставшегося при его просеве на сите. Номер сетки для сита предусмотрен действующими ГОСТами и ТУ на испытываемую продукцию. Существуют две разновидности метода — мокрый и сухой просев.

Мокрый просев. Навеску испытываемого продукта, взвешенного с точностью до 0,01 г, помещают на сито и промывают струей воды из крана. Образующиеся комочки осторожно раздавливают палочкой. Промывание ведут при постоянном встряхивании до тех пор, пока в воде, вытекающей из сита, не останется частиц продукта. Сито с остатком сушат при 105 °С и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Сухой просев. Навеску испытываемого продукта, предварительно просушенного в сушильном шкафу при 105—110 °С в течение 1 ч, высыпают на предварительно взвешенное сито. Закрыв сито крышкой, вставляют его в доншко и устанавливают в прибор для механического просеивания. Через 7 мин после включения прибора его останавливают, высыпают материал, прошедший сквозь сито, и продолжают просев дальше, в течение времени, указанного в ГОСТе. Контрольное про-

Таблица 117. Характеристика стандартных контрольных сеток для определения тонины помола

№ сетки	Размер отверстия, мм	Число отверстий на 1 см²	№ сетки	Размер отверстия, мм	Число отверстий на 1 см²
004 К	0,040	20420	0315 К	0,315	445
0045 К	0,045	15252	0355 К	0,355	376
005 К	0,050	13526	04 К	0,400	320
0056 К	0,056	10858	045 К	0,450	237
0063 К	0,063	9428	05 К	0,500	177
0071 К	0,071	6823	056 К	0,560	151
008 К	0,080	5914	063 К	0,630	116
009 К	0,090	4435	07 К	0,700	100
01 К	1,100	3906	08 К	0,800	83
0112 К	0,112	2714	09 К	0,900	59
0125 К	0,125	2381	1 К	1,000	51
014 К	0,140	1829	1,25 К	1,250	37
016 К	0,160	1482	1,6 К	1,600	23
018 К	0,180	1109	2,0 К	2,000	16
02 К	0,200	980	2,5 К	2,500	11
0224 К	0,224	847			
025 К	0,250	729			
028 К	0,280	566			

соединение производят на бумагу вручную при снятом доншке. Процесс считают законченным, когда при просеве в течение 1 мин на бумагу проходит не более 0,05 г испытываемого материала. Затем сито с остатком взвешивают с точностью до 0,01 г и рассчитывают остаток на сите (X, %):

$$X = \frac{(g_1 - g_2) \cdot 100}{g},$$

где g_1 — масса сита с остатком, г; g_2 — масса пустого сита, г; g — навеска материала, г.

Характеристика сеток приведена в табл. 117.

АНАЛИЗ ГАЗОВ

Газовые смеси анализируют на содержание основных компонентов. Различают природные и промышленные газовые смеси и воздух производственных помещений. К промышленным газам относятся горючие газы, производственные газовые смеси и выхлопные газы.

Анализ газов выполняют путем поглощения отдельных компонентов смеси различными поглотителями, а результаты выражают в виде объемных процентов. Измеренные объемы приводят к нормальным условиям (101,325 кПа, 0 °С).

Принцип действия газоанализаторов и правила работы с ними изложены в инструкциях, приложенных к приборам.

Теплоту сгорания, углеводородный и компонентный составы газов определяют по соответствующим ГОСТам.

АНАЛИЗ ГОРНЫХ ПОРОД, МИНЕРАЛОВ И РУД

Горные породы представлены в основном силикатами и карбонатами. Силикаты — соли кремниевых и алюмокремниевых кислот. К группе силикатных пород относятся глины, полевые шпаты, нефелин, кварц, слюды, граниты, гнейсы и другие минералы. К силикатам относятся стекло, портландцемент, бетоны и некоторые другие технические материалы. Главными компонентами карбонатных пород являются карбонаты щелочно-земельных металлов: кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ и витерит BaCO_3 . Второстепенные компоненты — оксиды и гидроксиды трехвалентного железа, карбонаты двухвалентных железа и марганца, фосфорит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и др.

При анализе горных пород обязательно определяют следующие показатели: влажность, потерю при прокаливании, содержание кремниевых кислот, сумму полуторных оксидов ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{TiO}_2$) и отдельно оксиды железа, алюминия, кальция и магния.

При анализе силикатов обычно руководствуются стандартами на методы химического анализа глин или полевого шпата, а при анализе карбонатных пород — стандартами на методы анализа мела и доломита.

Анализ руд черных и цветных металлов, а также металлургических шлаков производят по схеме анализа горных пород.

В доменных и мартеновских шлаках, а также шлаках электроплавильного производства определяют диоксид кремния, оксиды железа, кальция и магния, содержание карбида кальция, свободного и общего углерода. При анализе шлаков необходимо руководствоваться ГОСТами на методы химического анализа руд.

АНАЛИЗ ВОДЫ

В воде хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения нормируются цвет, запах, прозрачность, кислотность, щелочность, сухой остаток, рН, содержание азота, окисляемость (бихроматная и перманганатная), биохимическое потребление кислорода, относительная стабильность, содержание растворенного кислорода, хлоридов, свободного хлора, фосфатов, фторидов и жесткость. В питьевой воде дополнительно нормируется содержание токсичных и радиоактивных веществ. Важнейшим показателем качества воды является жесткость — мера содержания в воде солей кальция и магния. Различают карбонатную, некарбонатную и общую жесткость. Карбонатная жесткость (J_K) обусловлена содержанием в воде растворенных гидрокарбонатов кальция и магния. Некарбонатная жесткость ($J_{нK}$) обусловлена содержанием хлоридов и сульфатов кальция и магния. Общая жесткость (J_o) — суммарное содержание всех солей кальция и магния.

В СССР жесткость воды выражают в миллиграмм-эквивалентах на литр. Общую жесткость определяют комплексометрическим методом, карбонатную — титрованием соляной кислотой в присутствии метилового оранжевого. Для определения общей жесткости пробу воды помещают в коническую колбу, прибавляют 100 мл дистиллированной воды, 5 мл аммиачно-хлоридного буферного раствора с рН 9,5 (приготовление см. в табл. 107) и на кончике шпателя сухую смесь эриохрома черного Т с NaCl (приготовление см. в табл. 112). Содержимое перемешивают и титруют 0,05 н. раствором комплексона III до изменения окраски из винно-красной в синюю. J_o (мг-экв/л) рассчитывают по формуле

$$J_o = \frac{N \cdot V \cdot K \cdot 1000}{V_a},$$

где N — нормальность раствора комплексона III; V — объем раствора комплексона III, израсходованного на титрование, мл; K — коэффициент нормальности раствора комплексона III; V_a — объем пробы анализируемой воды, мл.

В зависимости от ожидаемой жесткости определяют объем пробы воды для анализа (V_a):

Объем пробы для определения общей жесткости воды

Ожидаемая жесткость (J_o), мг-экв/л	0,5—5,0	5,0—10,0	10,0—20,0	20,0—50,0
Объем пробы (V_a), мл	100	50	25	10

Определение J_K : определив объем пробы воды, ее помещают в коническую колбу и прибавляют 2—3 капли метилоранжа. Содержи-

мое колбы перемешивают и титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты до появления оранжевой окраски. 1 мл 0,1 н. раствора HCl соответствует 0,1 мг-экв Ca^{2+} . Расчет карбонатной жесткости (мг-экв/л) производят по той же формуле, что и для определения J_o . Некарбонатную жесткость определяют по разности $J_{нK} = J_o - J_K$.

Сухой и плотный остаток определяют выпариванием соответственно фильтрованной и нефилтрованной проб и выражают в миллиграммах остатка на литр воды.

рН воды определяют потенциометрическим методом, щелочность — титрованием пробы раствором HCl, кислотность — титрованием щелочью.

Окисляемость является условным показателем содержания в воде органических и неорганических восстановителей, окисляющихся сильными окислителями (иодат или перманганат калия и т. д.). Окисляемость выражается в миллиграммах кислорода на 1 л воды.

Содержание растворенного кислорода определяют иодометрическим титрованием пробы воды.

Методы химического анализа технологических и сточных вод не гостированы, поэтому при их выполнении необходимо руководствоваться специальными справочниками. В такой воде обычно определяют те же показатели, что и в воде хозяйственно-питьевого назначения, и дополнительно специфические ингредиенты, характерные для анализируемой пробы (например, содержание свинца, цианидов, фенолов и др.).

АНАЛИЗ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Анализ этих материалов выполняют из отдельных навесок. В зависимости от вида металла определяют различные компоненты. Так, в чугунах и углеродистых сталях обязательно определяют содержание углерода методом сжигания пробы в токе кислорода при 1400° С с последующим измерением объема образовавшегося CO_2 . Соединения серы определяют сжиганием пробы в токе кислорода при 1400° С и последующим титрованием образовавшейся сернистой кислоты раствором иода. Марганец определяют персульфат-серебряным методом, а кремний — гравиметрическим или фотокolorиметрическим методом. Соединения фосфора определяют фотокolorиметрическим методом по синей окраске фосформolibденового комплекса.

В легированных сталях дополнительно определяют никель, хром, ванадий, вольфрам, молибден, алюминий и медь.

Анализ цветных металлов и сплавов также выполняют из отдельных навесок. При анализах руководствуются стандартами на методы химического анализа металлов и сплавов.

АНАЛИЗ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА, НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Технический анализ твердого топлива (уголь, кокс, торф, горючие сланцы) включает определение влаги, золы, выхода летучих

веществ, содержащих серу (иногда — фосфора). Качество топлива характеризуется также величиной высшей Q_v и низшей Q_n теплот сгорания. Анализ различных видов твердого топлива ведут по соответствующим ГОСТам.

Нефтепродукты подразделяются на три основных класса: топливо жидкое (карбюраторное, дизельное и котельное) и газообразное; смазочные масла и консистентные смазки; нефтепродукты промышленного и бытового назначения.

При анализе жидкого топлива определяют вязкость, фракционный состав, коксуемость, кислотность, механические примеси, содержание влаги, серы, смол, а также температуры застывания и воспламенения. Топливо для карбюраторных двигателей характеризуется величиной октанового числа, дизельное топливо — величиной цетанового числа.

При анализе смазочных масел и консистентных смазок определяют плотность, вязкость, содержание водорастворимых кислот и щелочей, серы, золы, влаги и ряд показателей, характеризующих их эксплуатационные свойства.

Технический анализ нефти и нефтепродуктов промышленного и бытового назначения включает определение плотности, вязкости, температуры застывания, каплепадения, влаги, серы, механических примесей, группового состава и ряд других показателей (с учетом характера нефтепродукта и его применения).

Все эти анализы выполняют по соответствующим стандартам.

АНАЛИЗ В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

При контроле производства неорганических веществ руководствуются технологическим регламентом производства и действующими стандартами на сырье и готовую продукцию. Так, например, в производстве серной кислоты выполняется анализ сырья, огарка, газов и готовой продукции. Определению подлежат следующие компоненты: сера, полуторные оксиды, оксиды железа, алюминия, мышьяка, кремния, меди, кальция, магния, селена, теллура и углерода; также проверяются влажность и нерастворимый в кислотах остаток. В огарках определяют содержание серы, полуторных оксидов и оксидов железа, алюминия, меди, цинка, кальция, магния и кремния. В газах контролируют содержание серного и сернистого ангидридов, кислорода и оксидов мышьяка и селена.

Для большинства неорганических веществ основным показателем качества является содержание основного вещества и примесей. Например, в серной кислоте анализируют содержание моногидрата, прокаленного остатка и оксидов азота, железа, мышьяка, меди и свинца.

АНАЛИЗ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

При контроле производства органических веществ руководствуются технологическим регламентом производства и действующей нормативно-технической документацией на сырье и готовую продукцию.

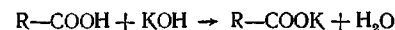
Для большинства органических веществ определяют содержание

основного вещества, содержания примесей, температуру плавления (кристаллизации) или кипения; для жидких веществ — плотность, показатель преломления.

Ниже приведены некоторые специфические методики, используемые в техническом анализе органических веществ.

Определение кислотного числа

Кислотным числом (К. Ч.) называется количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества:



Кислотное число определяют для жиров, масел, смол и некоторых других органических продуктов, содержащих примеси кислотного характера.

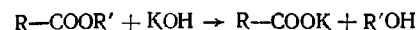
Навеску исследуемого вещества 1—5 г, взятую с точностью до 0,0002 г, растворяют в 50 мл смеси этилового спирта и эфира в соотношении 1 : 1. Для некоторых продуктов в качестве растворителя можно использовать и чистый этиловый спирт. Растворитель предварительно нейтрализуют 0,1 н. раствором КОН. Если вещество не растворяется при комнатной температуре, то его нагревают в колбе, снабженной обратным холодильником, на водяной бане. К полученному раствору добавляют 1 мл раствора фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором КОН до появления слабо-розового окрашивания (не исчезающего в течение 30 с). Кислотное число (К. Ч.) вычисляют по формуле

$$K. Ч. = \frac{V \cdot T \cdot 1000}{g},$$

где V — объем 0,1 н. раствора КОН, израсходованный на титрование пробы, мл; T — титр раствора КОН, г/мл; g — навеска исследуемого продукта, г.

Определение эфирного числа и числа омыления

Количественное определение эфиров основано на их омылении (гидролитическом расщеплении) при действии щелочей:



Эфирное число соответствует количеству миллиграммов едкого кали, необходимого для омыления эфиров, содержащихся в 1 г анализируемого вещества. *Число омыления* (Ч. О.) соответствует количеству миллиграммов КОН, необходимому для нейтрализации свободных кислот и омыления эфиров, содержащихся в 1 г анализируемого вещества. Число омыления равно сумме кислотного и эфирного чисел.

Для определения числа омыления навеску вещества 1—2 г, взятую с точностью до 0,0002 г, помещают в колбу на 250 мл и добавляют 25 мл 0,5 н. спиртового раствора едкого кали. К колбе присоединяют обратный холодильник и кипятят раствор на водяной бане в течение

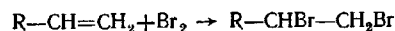
1—1,5 ч. Затем к раствору добавляют несколько капель фенолфталеина и титруют 0,5 н. раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Одновременно в тех же условиях нагревают 25 мл 0,5 н. спиртового раствора КОН и титруют 0,5 н. раствором HCl (холостая проба). Число омыления (Ч. О.) в миллиграммах КОН на 100 г вещества вычисляют по формуле

$$\text{Ч. О.} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot T \cdot 1000}{g},$$

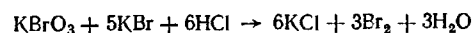
где V_1 — объем 0,5 н. раствора HCl, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; V_2 — объем 0,5 н. раствора, израсходованного на титрование испытываемого вещества, мл; T — титр раствора КОН, г/мл; g — навеска продукта, г.

Определение бромного числа

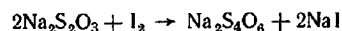
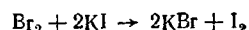
Бромное число (Б. Ч.) — количество граммов брома, которое присоединяется к 100 г данного вещества. Это число характеризует содержание непредельных соединений в анализируемом веществе (атомы брома присоединяются по месту двойных связей):



В качестве бромлирующего агента применяют бромид-броматный раствор, который выделяет бром при подкислении:



Бромид-броматный раствор приливают к реакционной смеси в избытке. Часть брома присоединяется по двойной связи, избыток брома реагирует с иодистым калием, а выделившийся иод оттитровывается тиосульфатом натрия:



Навеску продукта 1—2 г, взятую с точностью до 0,0002 г, помещают в мерную колбу на 100 мл и разбавляют 50%-ным раствором уксусной кислоты до 100 мл. Отбирают 25 мл раствора в другую колбу, добавляют 10 мл 0,1 н. раствора бромид-бромата и 10 мл концентрированной HCl. Колбу плотно закрывают притертой стеклянной пробкой и выдерживают 30 мин в темном месте. Затем добавляют 1,5 г иодистого калия и тщательно взбалтывают раствор. После добавления 50 мл воды титруют 0,1 н. раствором тиосульфата натрия до получения соломенно-желтого цвета. Перед концом титрования добавляют 1 мл 1%-ного раствора крахмала и оттитровывают остаток иода. Параллельно проводят холостой опыт. Бромное число (Б. Ч.) в граммах Br на 100 г вещества определяют по формуле

$$\text{Б. Ч.} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,00799 \cdot K \cdot 100}{g},$$

где V_1 — объем 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; V_2 — объем 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование анализируемой пробы, мл; 0,00799 — количество брома, соответствующее 1 мл 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, г; K — поправочный коэффициент к 0,1 н. раствору $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; g — навеска исследуемого продукта, г.

Приготовление бромид-бромата калия: 2,8 г бромата калия и 12 г бромида калия растворяют в воде в мерной колбе (1 л) и доводят водой до метки.

Определение иодного числа

Иодное число (И. Ч.) — количество граммов иода, которое присоединяется к 100 г данного вещества. Как и бромное число, оно характеризуется содержанием непредельных соединений в анализируемом веществе. Для определения иодного числа используют спиртовой раствор иода, который добавляют в избытке. Этот избыток оттитровывают тиосульфатом натрия.

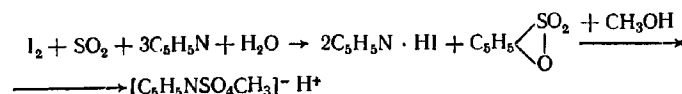
Навеску исследуемого вещества (0,1—0,2 г), взятую с точностью до 0,0002 г, помещают в сухую колбу с притертой пробкой. В колбу вносят 10 мл спиртово-эфирной смеси (1 : 1) и тщательно перемешивают. Затем добавляют 20 мл 0,2 н. спиртового раствора иода, перемешивают и вливают 250 мл дистиллированной воды. Колбу закрывают пробкой и встряхивают. Избыточный иод титруют 0,1 н. раствором тиосульфата натрия. Перед концом титрования добавляют 2 мл 1%-ного раствора крахмала и продолжают титровать до исчезновения синей окраски. Параллельно проводят холостой опыт. Иодное число (И. Ч.) в граммах I_2 на 100 г вещества вычисляют по формуле

$$\text{И. Ч.} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,01269 \cdot K \cdot 100}{g},$$

где V_1 — объем 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; V_2 — объем 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование анализируемой пробы, мл; 0,01269 — количество иода, соответствующее 1 мл 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, г; K — поправочный коэффициент к 0,1 н. раствору $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; g — навеска исследуемого продукта, г.

Определение влаги в органических веществах реактивом Фишера

Реактив Фишера — это раствор диоксида серы (IV), иода и пиридина в метиловом спирте. Взаимодействие реактива с водой протекает по уравнению:



При титровании реактивом Фишера в точке эквивалентности окраска раствора из соломенно-желтой превращается в красно-коричневую.

В коническую колбу на 100 мл, снабженную бюреткой и хлоркальциевой трубкой, защищающей колбу от влаги воздуха (рис. 8), помещают 20 мл абсолютного метилового спирта. Осторожно встряхивая колбу, оттитровывают реактивом Фишера влагу, адсорбированную стенками колбы. Титрование продолжают до прекращения изменения окраски из красно-коричневой в желтую. Затем в колбу быстро вносят навеску исследуемого продукта из капельницы, взвешенной с точностью до 0,0002 г, и титруют реактивом Фишера до появления красно-коричневой окраски раствора. Содержание влаги x (масс. %) вычисляют по формуле

$$x = \frac{V \cdot K \cdot 100}{g},$$

где V — объем реактива Фишера, израсходованного на титрование анализируемой пробы, мл; K — водный эквивалент реактива, г/мл; g — навеска исследуемого продукта, г.

Для установления водного эквивалента реактива Фишера в колбу для титрования вносят навеску дистиллированной воды, взятой с точностью до 0,0002 г, и оттитровывают влагу реактивом Фишера до появления красно-коричневой окраски раствора. Водный эквивалент K вычисляют по формуле $K = g/V$, где g — навеска воды, г; V — объем реактива Фишера, израсходованного на титрование, мл.

РАЗДЕЛ 9

СВЕДЕНИЯ ПО ОБЩЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

СЫРЬЕ И ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Топливо и его виды. Теплоты сгорания топлива.

Октановое и цетановое числа

Топливо — горючие вещества, основной составной частью которых является углерод. Такие вещества используются с целью получения при их сжигании тепловой энергии и в качестве сырья в химической промышленности.

По агрегатному состоянию топлива делятся на *твердые*, *жидкие* и *газообразные*; по происхождению — на *природные* (каменные и бурые угли, нефть, природные газы, древесина, горючие сланцы, торф, растительные отходы и др.) и *искусственные*, получаемые в результате переработки природных топлив (коксомоторные топлива, коксовый и генераторный газы и др.).

Основной характеристикой топлива является его *теплота сгорания* Q — количество тепла, которое можно получить из единицы массы или объема данного топлива при полном его сгорании. Теплота

Сырье	Состав	Основное применение
Ангидрит	Сульфат кальция	Производство серной кислоты, сульфата алюминия
Апатит	Фосфорсодержащий минерал; содержит фосфаты кальция	Производство фосфорных удобрений, фосфорной кислоты и фосфора
Боксит	Алюминиевая руда (содержит от 50 до 70% алюминия в пересчете на Al_2O_3)	Производство алюминия, огнеупоров, электрокорунда
Свинцовый блеск	Свинцовая руда состоит из сульфида свинца (содержание свинца до 86%)	Сырье для выделения свинца и получения сернистого газа
Калийные соли	Калийные и магниевые минералы (содержат хлорид калия, хлорид магния, хлорид натрия, сульфат магния)	Сырье для производства гидроксидов калия, карбоната калия, других соединений калия
Каменная соль	Хлорид натрия	Производство карбоната и гидроксидов натрия, хлора, соляной кислоты
Кварцевый песок	Диоксид кремния	Производство стекла, цемента
Красный железняк (гематит)	Оксидная железная руда (содержание железа 35—60%), состоит из оксида железа (III)	Производство чугуна
Магнитный железняк	Оксидная железная руда (содержание железа 50—70%) состоит из оксидов железа	Производство чугуна
Медистые сланцы	Битумсодержащий рассланцованный мергель (содержание меди от 0,6 до 3%), состоит из сульфидов меди, железа, цинка, свинца, серебра и прочих металлов; содержит ряд других соединений	Производство меди. Сырье для выделения серебра, свинца, германия, селена
Мел	Карбонат кальция	Производство оксида и гидроксида кальция
Пирит	Сульфидная железная руда (содержание железа 33—45%, серы — 32—48%), состоит из сульфида железа	Производство сернистого газа, чугуна
Цинковая обманка	Цинковая руда. Состоит из сульфидов цинка и железа	Производство цинка и серной кислоты
Вода	H_2O	Производство гашеной извести, синтез-газа, этилового спирта, ацетиленов, для расщепления жиров
Воздух	Основные компоненты: 78,1 об. % азота, 20,9 об. % кислорода	Сырье для выделения азота, кислорода, для проведения реакций с кислородом, азотом

Таблица 119. Органическое сырье

Сырье	Состав	Основное применение
Нефть	Смесь углеводородов	Сырье для получения моторных топлив, смазочных масел, кокса, парафинов; основное сырье нефтехимического производства
Природный газ	Смесь газообразных углеводородов (содержание CH_4 до 95 об. %)	Горючий бытовой газ, сырье для нефтехимического производства
Уголь (бурый и каменный)	Минеральный уголь, содержание углерода в буром безводном угле (%) ~72, в каменном ~83	Сырье для получения кокса и газа. Топливо. При коксовании образуется каменноугольная смола — сырье химического производства
Растительные материалы (древесина, хлопковый пух, солома, торф)	Обезвоженная древесина содержит целлюлозу (до 50%) и другие полисахариды	Сырье для производства этилового спирта, древесного угля, целлюлозы, крахмальных веществ, клеев, щавелевой кислоты
Попутный нефтяной газ	40—85 об. % CH_4 , 3—20 об. % C_2H_6 , небольшие количества пропана-бутана	Сырье для нефтехимических производств
Сланцы	Содержание углерода в органической массе около 75%	Сырье для получения алкилфенолов
Жиры	Смесь сложных эфиров глицерина и высших (насыщенных и ненасыщенных) карбоновых кислот	Производство мыла, красок, косметических средств

сгорания, отнесенная к единице количества вещества, называется *удельной теплотой сгорания*. В зависимости от выбранной для измерения единицы количества вещества удельную теплоту сгорания обозначают: для твердого и жидкого вещества — кДж/кг, для газообразного — кДж/м³ с указанием условий (температура и давление) замера объема газа.

Различают высшую $Q_{\text{в}}$ и низшую $Q_{\text{н}}$ теплоты сгорания. $Q_{\text{н}}$ меньше $Q_{\text{в}}$ на то количество тепла, которое затрачивается на испарение влаги, содержащейся в топливе, и воды, образующейся при его сгорании.

По элементному составу твердого топлива, пользуясь формулой Д. И. Менделеева, можно достаточно точно вычислить теплоту сгорания топлива:

$$Q_{\text{в}} = 4,18 [81\text{C} + 30 \text{OH} - 26 (\text{O} - \text{S})] \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{в}} - 4,18 [6 (\text{H} + \text{W})] \text{ кДж/кг}.$$

Более точно теплоту сгорания определяют сжиганием топлива в калориметрической бомбе. Теплоты сгорания газообразных и жидких топлив приведены в табл. 122, 123, твердых топлив — в табл. 124.

По содержанию влаги твердые топлива классифицируются на *рабочее, воздушно-сухое и абсолютно сухое*. Рабочее топливо содержит общую влагу W^p , состоящую из внешней влаги, удаляемой при приведении топлива к воздушно-сухому состоянию, и гигроскопической (лабораторной) влаги $W^{\text{гигр}}(W^{\text{л}})$. Воздушно-сухое (лабораторное) топливо содержит только гигроскопическую влагу $W^{\text{гигр}}$. Абсолютно сухое топливо получают сушкой при 105°C до постоянной массы.

Составные части топлива (углерод, водород, кислород, азот, сера, зола и влага) выражаются в масс. % и обозначаются соответственно С, Н, О, N, S, А, W.

Состав рабочего топлива (рабочая масса топлива):

$$\text{C}^p + \text{H}^p + \text{O}^p + \text{N}^p + \text{S}^p + \text{A}^p + \text{W}^p = 100\%.$$

$\text{S}^p = \text{S}^k + \text{S}^o$, где S^p — общее содержание серы в рабочем топливе, масс. %; S^k — содержание колчеданной серы, масс. %; S^o — содержание органической серы, масс. %; W^p — влага, содержащаяся в топливе на месте потребления; зола и влага (A^p и W^p) — балласт рабочего топлива.

Горючая масса топлива (масс. %): $100 - \text{A}^p - \text{W}^p$.

Состав воздушно-сухого топлива (аналитическая, лабораторная масса топлива): $\text{C}^{\text{л}} + \text{H}^{\text{л}} + \text{O}^{\text{л}} + \text{N}^{\text{л}} + \text{S}^{\text{л}} + \text{A}^{\text{л}} + \text{W}^{\text{л}} = 100\%$, где $W^{\text{л}}$ — влага, находящаяся в равновесии с влагой воздуха в лаборатории.

Состав абсолютно сухого топлива (сухая масса топлива):

$$\text{C}^s + \text{H}^s + \text{O}^s + \text{N}^s + \text{S}^s + \text{A}^s = 100\%.$$

Формулы для пересчета результатов анализа твердого топлива приведены в табл. 125.

Жидкие топлива, используемые в качестве моторного топлива, характеризуются значениями октанового или цетанового числа.

Октановое число — показатель детонационной стойкости моторного топлива. Оно численно равно такому процентному (по объему) содержанию изооктана в смеси с гептаном, при котором детонационная стойкость этой смеси и сравниваемого с ней топлива одинакова. Чем выше октановое число, тем выше стойкость топлива к детонации. Октановое число изооктана принимается за 100, а *n*-гептана — за 0. Для повышения октанового числа в топливо вводят специальные добавки.

Ниже приведены октановые числа некоторых углеводородов:

<i>n</i> -Гексан	40	Пиробензол	84—91
Циклогексан	80	Бензин	от 66 и выше
Бензол	100	Керосин тракторный	40—45

Цетановое число — показатель способности к воспламенению топлива, применяемого в дизелях (двигателях с воспламенением от сжатия). Цетановое число топлива численно равно процентному содержанию (об. %) цетана в такой смеси его с α — метилиафталином, которая

эквивалентна по воспламеняемости испытываемому топливу. Самовоспламеняемость цетана принята за 100, а α -метилнафталина — за 0.

Таблица 120. Состав и теплотехническая характеристика промышленных горючих газов (смеси газов)

Q_H^c — низшая теплота сгорания сухого газа, кДж/м³.

Топливо	Средний состав сухого газа, об. %					Q_H^c	Способ получения
	CO	H ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄		
Воздушный газ	33,5	1,0	64,5	0,5	0,5	4550	Взаимодействие углерода с сухим воздухом
Водяной газ	38—40	47—50	5	5—7	0,5—0,8	10300—10885	Взаимодействие углерода с водяным паром
Двойной водяной газ	33	48	5,5	6	7	12270	Смещение водяного газа, полученного из коксового остатка битумного топлива и газообразных продуктов сухой перегонки этого же топлива
Полуводяной (генераторный) газ: из кускового топлива	24—30	13—15	45—52	5—8	1—3	5020—6490	Взаимодействие углерода со смесью воздуха и водяного пара
из мелкозернистого топлива (до 6 мм)	20—22	7—11	56—62	7—10	1—2	4190—4815	То же
Окислительный пар	33,5	54	1,7	10	0,5	10425	Взаимодействие углерода со смесью кислорода и водяного пара
Газ доменных печей:							
древесно-угольных	27	8	51,4	12	1,6	4860	—
коксовых	28	2,7	58,5	10,5	0,3	3935	—
Газ подземной газификации	10—18	11—15	58—64	10	1,8	3600—4190	—
Газ коксовых печей	6,8	57	7,7	2,3	22,5	16750	—

Таблица 121. Теплотехническая характеристика газообразных и жидких топлив

Топливо	Теплота сгорания		Теоретически необходимое отношение воздуха к топливу (по объему газообразных топлив, по массе жидких топлив)
	кДж/м ³	кДж/кг	
Газообразное:			
водород	12 100	141 900	2:1
светильный газ	18 400	32 700	4:1
метан	37 700	55 600	9:1
технический пропан	93 900	50 400	23:1
технический бутан	121 800	49 500	30:1
Жидкое:			
бензин		47 300	14,7:1
керосин		46 500	14,7:1
газойль		45 600	14,7:1
Котельное топливо (остатки от перегонки сырой нефти и крекинга нефтепродуктов)		43 900	14,0:1

Таблица 122. Состав и теплотехническая характеристика твердых топлив

Обозначения: W^A — содержание в топливе гигроскопической влаги, масс. %; W^P — содержание в топливе общей влаги, в том числе гигроскопической, масс. %; Q_H^c — низшая теплота сгорания горючей массы топлива, кДж/кг; Q_H^P — низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг.

Топливо	W^A	W^P	Элементный состав горючей массы, масс. %			Q_H^c	Q_H^P
			C	H	O+H		
Дрова	7	35	51	6	43	18 800	11 200
Торф	10,5	40—50	56—60	6	34—40	22 900	9 600
Сланцы	1,2—6	10—17	61—75	7,5—9,4	12—18	29 600	13 000
Бурые угли	8—15	10—40	66—78	5—6	16—27	26 000	12 600
Каменные угли:							
длинопламенные (Д)	4—5	12	75—79	5—6	14	30 500	23 000
газовые (Г)	2—5	6—12	77—83	5—6	10—15	32 000	23 500
паровнико-жирные (ПЖ)	1,5	5—10	81—87	5—6	7—9	34 000	24 300
паровнико-спекающиеся (ПС)	1	7	89	4—5	5	35 000	24 600
гощие (Т)	1	4—5	90	4	4	35 000	24 600
антрацит (А)	2	6—9	91—95	2	3—6	34 000	24 000

Масса, с которой производится пересчет	Масса, на которую производится пересчет			
	рабочая	аналитическая	сухая	горючая
Рабочая	I	$\frac{100 - W^a}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$
Аналитическая	$\frac{100 - W^p}{100 - W^a}$	I	$\frac{100}{100 - W^a}$	$\frac{100}{100 - W^a - A^a}$
Сухая	$\frac{100 - W^p}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100}$	I	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючая	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - W^a - A^a}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	I

ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛОВ

Таблица 124

Металл	Сырье; основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Алюминий	Оксид алюминия, криолит, угольные электроды	Процесс проводится в электролитической ванне. Раствор оксида алюминия в расплавленном криолите подвергается электролитическому разложению: катод: $2Al^{3+} + 6e^- \rightarrow 2Al$ анод: $3O^{2-} - 6e^- \rightarrow 3/2O_2$
Железо	Оксид железа, порошок алюминия, воспламеняющиеся (индуцирующие) вещества Оксид железа, метан	1. Алумотермический способ: смесь порошка алюминия с оксидом железа помещают в тигель и поджиганием инициируют реакцию $3Fe_2O_3 + 8Al \rightarrow 9Fe + 4Al_2O_3$ 2. Прямое восстановление из руд: обогащенную железную руду (97,2% Fe_2O_3 в виде небольших шариков (окатышей) обрабатывают в печи метаном при температуре ниже точки плавления железа: $4Fe_2O_3 + 3CH_4 \rightarrow 8Fe + 6H_2O + 3CO_2$
Медь	Медистые сланцы, воздух, добавки (кокс, кварц), сульфат меди, серная кислота	Обогащенную руду обжигают в печах и разделяют на шлак и медный штейн, который обрабатывают в барабанных печах. Образующуюся при этом сырую медь очищают рафинированием (электролиз): $Cu_2S + 3O_2 \rightarrow Cu_2O + SO_2$ $2Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6Cu + SO_2$

Металл	Сырье; основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Натрий	Поваренная (каменная, кухонная) соль, хлорид натрия	Расплавленную соль подвергают электролизу. На катоде выделяется натрий, на аноде — хлор: $Na^+ + e^- \rightarrow Na$ $2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2$
Сталь	Жидкий чугун (или оксиды железа и металлолом, губчатые окатыши, содержащие 93% железа, полученные прямым восстановлением из руд), кислород или воздух, добавки и легирующие элементы	Углерод и сопутствующие элементы, содержащиеся в жидком чугуне, окисляют кислородом или воздухом и удаляют с помощью добавок в виде шлака
Цинк	Цинковая обманка, воздух, серная кислота	Процесс обжига цинковой обманки идет с образованием оксида цинка: $ZnS + O_2 \rightarrow ZnO + SO_2$ Обоженный материал растворяют в серной кислоте: $ZnO + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O$ Полученный сульфат цинка очищают от сопутствующих элементов и подвергают электролизу
Чугун	Железная руда, кокс, воздух, добавки	Оксид железа восстанавливают оксидом углерода: $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$ Кокс сгорает до диоксида углерода: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ Выделившееся при этом тепло расходуется для проведения реакции и для расплавления железа и шлаков. Диоксид углерода восстанавливается до оксида углерода. Процесс проводят в доменной печи (процесс непрерывный, кроме подачи шихты)

Продукт	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Простые вещества		
Азот	Воздух	Воздух сжижают и ректифицируют (с дополнительной очисткой от кислорода)
Водород	Метан, вода, катализатор (никель с добавками оксидов магния, алюминия и других металлов)	Метан обрабатывают смесью водяных паров и диоксида углерода при температуре около 1000°C в присутствии катализатора
Кислород	Воздух	Воздух сжижают и ректифицируют (вначале уходит азот, затем — кислород)
Сера техническая природная	Самородная сера, перегретый пар	Самородную серу обрабатывают через скважины перегретым паром. Расплавленную серу, которая выносится на поверхность, разливают в формы

Сложные неорганические вещества

Аммиак	Азот, водород, катализаторы (металлическое железо с добавками оксида алюминия и оксида калия)	Смесь азота и водорода каталитически реагирует в контактной печи при температуре 500°C и давлении 30 МПа: $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$. Образовавшийся аммиак сжижают при низкой температуре
Азотная кислота (неконцентрированная)	Аммиак, воздух, катализатор (платиновая сетка), вода	Аммиак окисляют на катализаторе при 400°C: $NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$. Оксид азота (II) окисляют до диоксида, который поглощают водой в присутствии избытка кислорода: $2NO_2 + O_2 = 2HNO_3$. $3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO$. Образуется 40—60%-ная азотная кислота
Азотная кислота (концентрированная)	Разбавленная азотная кислота (40—60%), концентрированная серная кислота	Разбавленную азотную кислоту перегоняют в присутствии концентрированной серной кислоты
Диоксид серы	Сульфидные руды, воздух	Сульфидные руды окисляют в печах обжига или в печах с кипящим слоем при 600—700°C: $FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$
Серная кислота контактная	Диоксид серы, воздух, вода, серная кислота, катализатор	Сухой диоксид серы окисляют над катализатором при 450°C: $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$. Триоксид серы пропускают в концентрированную серную кислоту: $SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2SO_4 \cdot SO_3$. При последующем добавлении воды к раствору олеума получают серную кислоту

Продукт	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Соляная кислота	Водород, хлор, вода	Хлор сжигают в водородном пламени: $H_2 + Cl_2 = 2HCl$. Образовавшийся хлороводород поглощают водой. Максимальная концентрация соляной кислоты около 40%
Фосфорная кислота (орто-)	Фосфор, воздух, вода	Фосфор сжигают в токе кислорода: $4P + 5O_2 = 2P_2O_5$. Оксид фосфора (V) растворяют в воде: $P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Таблица 126

Материал или изделие	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Неорганические вяжущие материалы		
Воздушные вяжущие материалы		
Гипс высокообжиговый	Гипсовый камень состава $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ или природный ангидрит $CaSO_4$	Обжиг гипсового камня или природного ангидрита при 800—1000°C, помол $CaSO_4$ при обжиге частично разлагается, образуя CaO , который играет в дальнейшем роль катализатора твердения
Гипс строительный	Гипсовый камень	Термическая обработка гипсового камня при 140—190°C с предварительным или последующим помолом
Известь строительная	Чистые и доломитизированные известняки, содержащие небольшие количества глинистых примесей	Обжиг известняков, содержащих не более 6% глинистых примесей: $CaCO_3 = CaO + CO_2$
Гидравлические вяжущие материалы		
Магнезиальное вяжущее	Магнезит $MgCO_3$	Обжиг магнезита при 800—1000°C: $MgCO_3 = MgO + CO_2$
Портландцемент	Сырьевая искусственная смесь: глина, известняк, песок, мергель	Обжиг до спекания (1420—1470°C) искусственной сырьевой смеси или мергеля, тонкий помол полученного клинкера или гипса
Шлакопортландцемент	Портландцементный клинкер, доменный гранулированный шлак	Совместный тонкий помол портландцементного клинкера (не менее 30% от массы готового продукта) и доменного шлака (не более 60 масс.%) или смешение тех же материалов, измельченных отдельно

Материал или изделие	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Глиноземистый цемент	Сплав или клинкер состава (масс. %): Al_2O_3 — 35—50 CaO — 35—45 SiO_2 — 5—15 Fe_2O_3 — 5—15	Тонкий помол сплава или клинкера, полученных расплавлением или обжигом до спекания сырьевой массы

Керамические изделия

Кирпич и кровельные материалы	Шихта из глины и песка	Шихту переводят с помощью воды в пластическое состояние, высушивают, формуют и прокаливают при 900—1050°C
Изделия огнеупорные (диазовый кирпич)	Шихта, состоящая из диоксида кремния (93—96 масс. %) и монооксида кальция и глины (4—7 масс. %)	Обжиг шихты при 1300—1400°C
Фарфор, фаянс, гончарные изделия	Шихта из глины, кварца, полевого шпата	Шихту с помощью воды переводят в пластическое состояние, изделия формуют, высушивают и обжигают. Фарфор обжигается дважды: при 900—1000°C, затем при 1320—1350°C

Стекло и ситаллы

Стекло (оконное и бутылочное)	Шихта из песка, извести и воды	Шихту варят, пока масса не станет жидкой и подвижной, затем ее постепенно охлаждают до вязкого состояния и изготавливают изделия
Хрусталь	Шихта из песка, поташа и оксида свинца	Шихту варят, а затем изготавливают художественные изделия и бытовую посуду, оптические стекла
Ситаллы (закаристаллизованные стекла)	Искусственная композиция из оксидов и солей: горные породы (базальты, минералы); металлургические и топливные шлаки	В расплавленное стекло вводят затравки (катализаторы). В результате этого в объеме стекла возникают центры кристаллизации, на которых происходит рост кристаллов основной формы. Изделия из ситаллов производят методами обычной стекольной или керамической технологии

Продукт	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Акриловая кислота	а) Этиленциангидрин, острый пар, серная кислота б) Пропилен, воздух, катализатор (молибдат кобальта)	Этиленциангидрин обрабатывают острым паром (175°C) в присутствии серной кислоты Пропилен окисляется кислородом воздуха (парофазное окисление) при 400°C (давление нормальное) на катализаторе
Анилин	Нитробензол, водород, катализатор (соли никеля, кобальта, меди)	Нитробензол восстанавливают водородом в присутствии катализатора
Бензол	Каменноугольная смола	Каменноугольную смолу перегонкой разделяют на 5 фракций. Из самой легкокипящей фракции (до 170°C) выделяют бензол
Винилхлорид	Ацетилен, хлороводород, катализатор (соли, ртути)	Очищенные ацетилен и хлороводород (2—10% избытка по объему) смешивают и разбавляют азотом. Процесс гидрохлорирования осуществляют при температуре 120—220°C на катализаторе
Дивинил (бутадиен-1-3)	а) Этиловый спирт, катализатор (смесь оксида и гидросиликата алюминия с оксидами или солями цинка, марганца) б) n-Бутан, катализатор (алюмохромовый или кальций-никель-фосфатный)	Этиловый спирт каталитически расщепляется над смешанным дегидрирующе-дегидрирующим катализатором при 360—370°C
Кислоты синтетические, высшие жирные (ВЖК)	Парафины (т. кип. 360—420°C), воздух или технический кислород, катализатор (металлы, их соли, оксиды)	Процесс идет в две стадии: вначале при 580—600°C образуются n-бутилены, которые затем превращаются в дивинил (бутадиен-1-3) Парафины окисляют при 130—150°C (давление 0,7—2,0 МПа) в присутствии катализаторов. Кислоты разделяют перегонкой на 6—7 фракций
Кислоты (o-, m-, p-)	Каменноугольная смола	Выделяют из легкокипящей фракции каменноугольной смолы (до 170°C) методом перегонки. Изомеры кислоты разделяют ступенчатым вымораживанием
Метиловый спирт (метанол — яд)	Оксид углерода(II), водород, цинк-хромовый катализатор	Оксид углерода(II) взаимодействует с водородом в присутствии катализатора при 400°C и давлении 20—30 МПа
Спирты высшие жирные (ВЖС)	Жидкие парафины, воздух или технический кислород, катализатор (борная кислота)	Жидкие парафины окисляются воздухом или техническим кислородом в присутствии катализатора при 100—130°C
Стирол	Этилбензол, водяной пар, катализатор (железо-магнелиевый или хромоникелевый)	Каталитическое дегидрирование этилбензола проводят в токе водяного пара при 500—630°C на катализаторе. Стирол выделяют перегонкой под вакуумом

Продукт	Сырье: основные и вспомогательные вещества	Краткое описание процесса
Фенол	а) Каменноугольная смола б) Гидропероксид изопропилбензола, серная кислота	Фенол выделяют перегонкой из среднего масла каменноугольной смолы При разложении гидропероксида изопропилбензола серной кислотой образуются два ценных продукта — фенол и ацетон
Этиловый спирт (этанол)	Этилен, вода, серная или фосфорная кислота	Более перспективна прямая гидратация этилена фосфорной кислотой (150°C, P=0,5—1,0 МПа)

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТОПЛИВА

Все виды топлива — ценное химическое сырье. Природный газ, содержащий 85—98% метана, химически перерабатывается в ацетилен, сажу, галогенпроизводные, окисляется до оксида углерода(II). Из попутных нефтяных газов выделяют газовый бензин.

Нефть разделяют перегонкой при обычном давлении. Ниже приведены температурные пределы кипения основных нефтяных фракций.

Фракции	Пределы кипения, °C	Фракции	Пределы кипения, °C	Фракции	Пределы кипения, °C
Петролейный эфир	40—75	Керосин . .	150—300	Мазут	>325
Бензин	40—180	Газойль . .	270—350	Дистиллатные масла	<450
Лигроин . . .	140—230	Соляровое масло . .	300—325	Остаточные масла	>450

Основной способ химической переработки нефтепродуктов — крекинг. Крекинг подразделяется на *термический* и *каталитический*. Продуктами крекинга являются газы, содержащие олефины, парафины (табл. 128) и жидкие углеводороды, в состав которых входят ароматические соединения. Основные методы химической переработки нефти и продуктов ее перегонки представлены в табл. 129.

Способы переработки каменного угля: неполное сгорание, гидрирование, сухая перегонка. Продуктом неполного сгорания является оксид углерода(II), входящий в состав генераторного газа, водяного газа и синтез-газа. Гидрирование угля осуществляется при 400—600°C и давлении водорода до 25 МПа (катализатор — оксиды железа). В результате образуется жидкая смесь углеводородов. Сухая перегонка угля приведена на схеме 2, переработка древесины — на схеме 3.

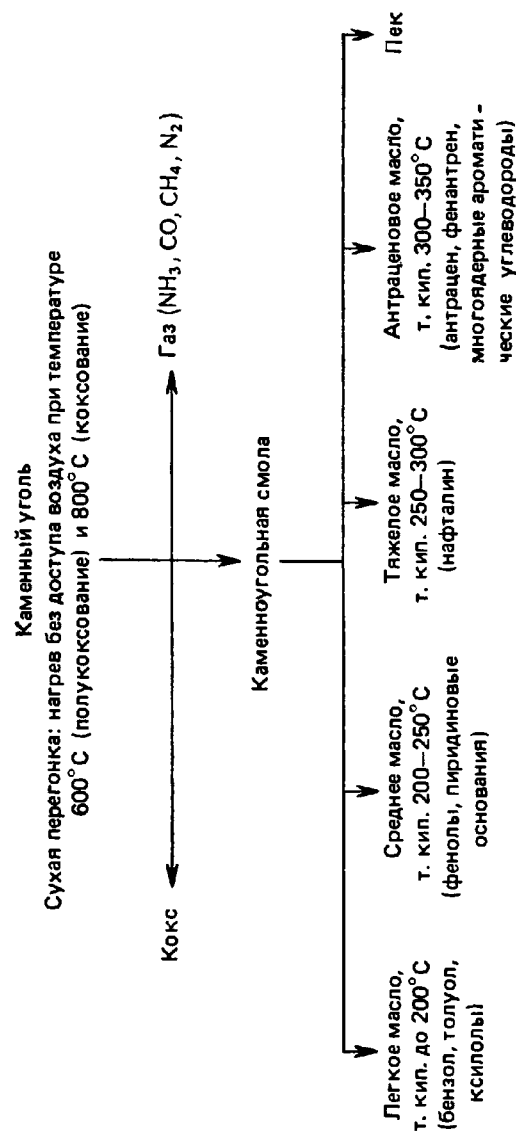


Схема 2. Схема сухой перегонки каменного угля

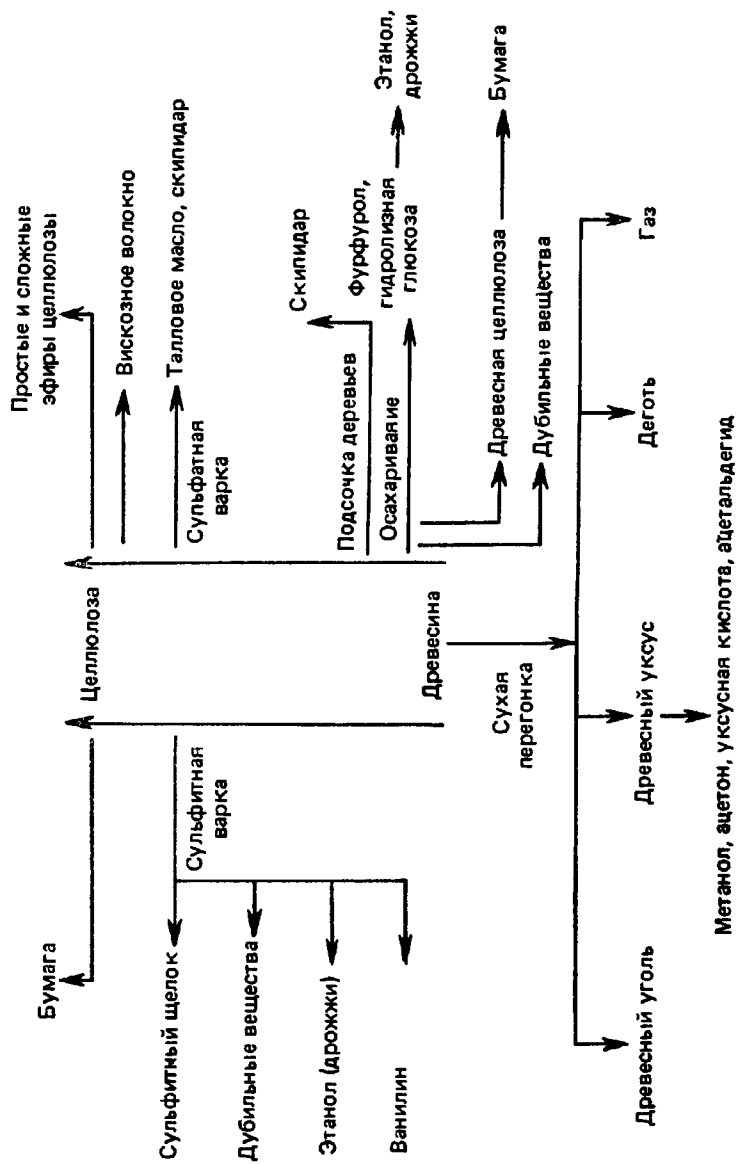


Схема 3. Схема переработки древесины

Таблица 128. Состав промышленных газовых смесей углеводов (об. %)

Промышленные газы	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
Термического жидкофазного крекинга нефтепродуктов	4—6	32—36	16—30	5—7	
Каталитического крекинга нефтепродуктов	12—20	8—16	2—6	2—4	
Пиролиза этана	26—42	4—7	13—17	30—38	До 0,5
Гидрирования углей	6	20	22		

Продолжение табл. 128

Промышленные газы	C_3H_8	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_8	C_5 и выше	N_2 , O_2 , CO , CO_2
Термического жидкофазного крекинга нефтепродуктов	10—15	6—8	4—7	4—6	2—3	До 2
Каталитического крекинга нефтепродуктов	8—16	12—24	10—18	10—18	2—3	10
Пиролиза этана	0,3—10	0,5—1,5	До 0,5		До 0,1	1—3
Гидрирования углей	21	16			3	12

Таблица 129. Основные способы химической переработки нефти и продуктов ее перегонки

Наименование процесса	Условия проведения процесса	Продукты процесса
Жидкофазный крекинг нефтепродуктов (мазут, соляровые и газойлевые масла)	Температура 430—550°C, давление 2—6 МПа	Бензин, содержащий 25—30% олефинов, 60—70% парафинов, 5—10% ароматических углеводов. Газообразные продукты крекинга содержат преимущественно метан
Парофазный крекинг нефтепродуктов (мазут)	Температура 600°C, давление нормальное	Бензин, содержащий 40—50% олефинов, 40—50% ароматических углеводов, 5—10% парафинов. Газообразные продукты содержат 40—50% олефинов
Каталитический крекинг (газойль)	Температура 300—500°C; катализаторы: $AlCl_3$, Cr_2O_3 , алюмосиликаты	Высокосортный бензин, содержащий парафины, изостроения и ароматические углеводороды

Наименование процесса	Условия проведения процесса	Продукты процесса
Пиролиз нефти	Температура 650—700°C, давление нормальное или пониженное	Образуются преимущественно газообразные продукты (парафины и олефины). Выход жидкой фракции (смесь ароматических углеводородов) около 15%
Каталитический риформинг (бензиновых и лигроиновых фракций)	Температура 480—500°C, давление 1,5—4 МПа	Высокосортные высокооктановые бензины, ароматические углеводороды

РАЗДЕЛ 10

СВЕДЕНИЯ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ ПРАКТИКЕ

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ
В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Основное оборудование, которым должна быть укомплектована каждая производственная или исследовательская химическая лаборатория: лабораторные столы, вытяжные шкафы, приточная и вытяжная вентиляция.

Для каждого лаборанта (сотрудника) химической лаборатории должно быть отведено рабочее место с необходимым набором химической посуды и приборов. В зависимости от характера работы таким местом служит лабораторный стол или вытяжной шкаф. К столу должны быть подведены холодная и горячая вода, разводка природного или сжиженного газа. В местах подводки воды находятся раковины или сливные воронки. Лабораторный стол обычно снабжен распределительным щитом, к которому подключен источник электрического тока (220 и 127 В). Стол должен быть хорошо освещен (естественным или искусственным светом).

Конструкция стола может быть произвольной или типовой, но порядок размещения в нем лабораторной посуды, реактивов, приборов и т. п. следует тщательно продумать. От этого во многом зависит производительность труда сотрудников лаборатории.

Химическую посуду лучше поместить в верхние ящики стола. При этом целесообразно отвести для каждого вида посуды отдельные ящики. Например, в одном из них (предпочтительно широком) лучше хранить холодильники и другие длинномерные стеклянные приборы — дефлегматоры, титровальные бюретки и т. д. Отдельный ящик отводится под набор химических колб, в том числе и специальных колб, предназначенных для перегонки. Там же удобно помес-

тить химические стаканы различной емкости. В отдельном ящике размещают капельные и делительные воронки, колбу Бунзена и воронку Бюхнера, простые воронки для фильтрования. Обычно вместе содержат различные стеклянные детали для сборки установок: алонжи, форштосы, стеклянные соединительные трубки, переходы, насадки и другое хрупкое оборудование.

В небольшом ящике (удобнее в нижнем) можно хранить набор различных пробок. Отдельное место отводят термометрам и другим ценным стеклянным приборам. Металлические части приборов (металлические лапки, кольца, зажимы для штативов и т. д.), как правило, помещают в нижних ящиках стола.

На полках над столом можно разместить склянки и колбы с растворами, применяемыми в повседневной работе, штативы для пробирок, промывалку с дистиллированной водой, мерные цилиндры, капельницы с растворами индикаторов.

Рабочее место следует всегда содержать в чистоте и порядке. На столе должно находиться только самое необходимое для работы: химическая посуда и реактивы. Рядом помещается лабораторный журнал, предназначенный для записи всех наблюдений и результатов анализа и расчетов.

Начиная работу, следует убедиться в том, что установка или прибор, собранный для работы, соответствует целям работы, а взятые химические реактивы — методике синтеза или анализа. Особое внимание необходимо обратить на технику безопасности!

Закончив работу, установку или прибор разбирают, моют посуду, сушат и убирают в шкафы или ящики.

ОСНОВНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ ПОСУДА И ПРИБОРЫ

В химических лабораториях обычно пользуются посудой, изготовленной из специального стекла, которое устойчиво к кислотам, щелочам и большинству химических реагентов (кроме плавиковой кислоты и расплавленных щелочей). Такая посуда прозрачна, хорошо моется и сушится, легко поддается термической обработке. В лабораториях используется также посуда, изготовленная из фарфора и других огнеупорных материалов.

Пробирки используют для проведения многих экспериментов с небольшими количествами реактивов.

Стаканы различной емкости (от 50 до 1000 мл) обычно изготавливают из термостойкого стекла (рис. 9). Их применяют, как правило, для вспомогательных работ (чаще с водными растворами, реже с органическими растворителями).

Колбы (рис. 10) применяют при проведении многих экспериментов по синтезу и анализу. Они бывают круглодонными (а), плоскодонными (б), грушевидными (в) и коническими (д). Плоскодонные и конические колбы чаще используют в качестве приемников при перегонке жидкостей, для хранения растворов. Ими нельзя пользоваться при нагревании жидких веществ до высоких температур и при вакуум-перегонке. Для этого используют круглодонные колбы (широкогорлые или узко-

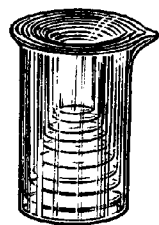


Рис. 9. Набор химических стаканов

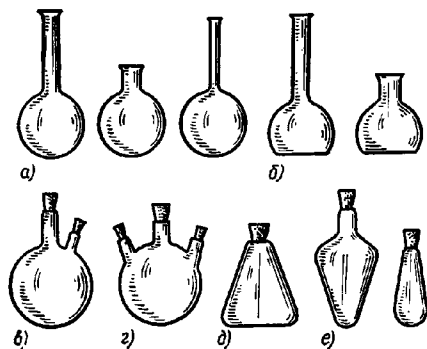


Рис. 10. Колбы:
а — круглодонная; б — плоскодонная; в — двугорлая; г — трехгорлая; д — коническая; е — грушевидная

горлые). Для специальных работ применяют многогорловые колбы. Для перегонки жидкости под атмосферным давлением используют колбы Вюрца, а для перегонки жидкости при уменьшенном давлении — колбу Кляйзена (рис. 11).

Форштосы — специальные насадки для колб. Они бывают различных конструкций — со шлифами и без шлифов. Форштосы используют в качестве насадок для одnogорлых колб, в которых нужно вести несколько операций одновременно (нагревание с обратным холодильником, перемешивание мешалкой, добавление вещества и т. д.).

Холодильники служат для охлаждения и конденсации паров, об-

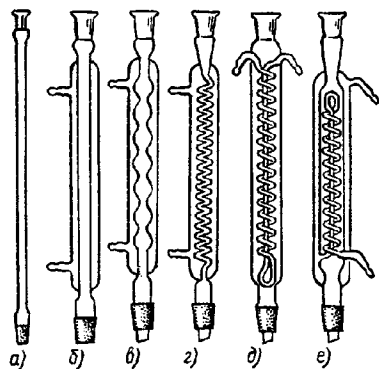


Рис. 12. Холодильники:
а — воздушный; б — Либиха; в — обратный шариковый; г — обратный с охлаждающей спиралью (змеевиковый); д — обратный с охлаждающей спиралью (Димрота); е — обратный с двойным охлаждением (рубашкой и охлаждающей спиралью)

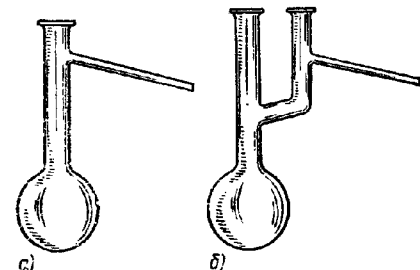


Рис. 11. Колба Вюрца (а) и колба Кляйзена (б)

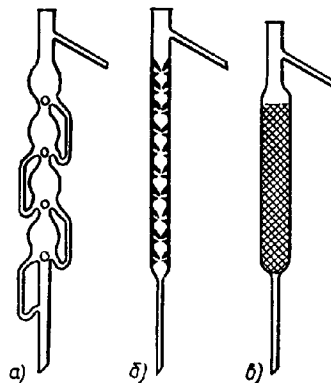


Рис. 13. Дефлегматоры:
а — шариковый; б — елочный; в — с насадкой

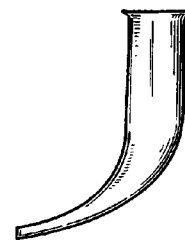


Рис. 14. Алонж

разующихся при кипении органической жидкости или воды. Самый простой холодильник (холодильник Либиха) состоит из длинной полой трубки и муфты («рубашки»), прочно соединенной с трубкой. Муфта имеет два отростка, на которые надевают резиновые трубки. Одну из них присоединяют к водопроводному крану, а другую отводят в раковину или сливную воронку. Воду подают в тот отросток, который находится ближе к концу холодильника (через который выходит конденсат). Холодильники бывают нисходящими и обратными. В качестве обратных используют шариковые и змеевиковые холодильники, охлаждающая способность которых значительно выше, чем холодильника Либиха (рис. 12).

Дефлегматоры применяются для более тщательной фракционной перегонки жидкости. Они бывают различной конструкции (рис. 13).

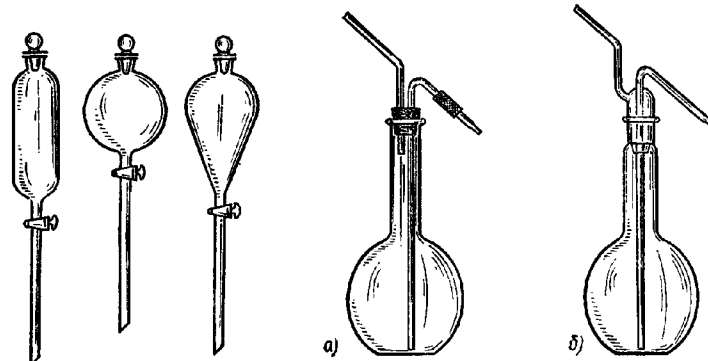


Рис. 15. Капельные воронки

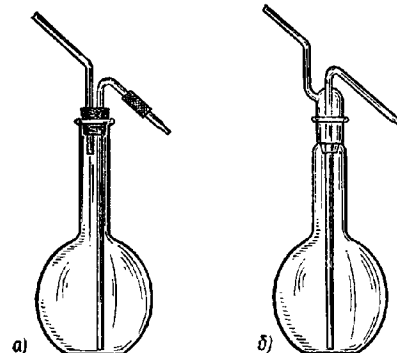


Рис. 16. Промывалки:
а — с резиновой пробкой; б — со шлифом



Рис. 17. Реторта

Алонж (рис. 14) — насадка на конец холодильника (для направления тока конденсата в приемник).

Капельные воронки используют для постепенного приливания жидкого вещества к реакционной смеси. Воронки бывают с цилиндрическими, шарообразными и грушевидными емкостями для жидкости (рис. 15).

Делительные воронки применяют для разделения несмешивающихся жидкостей и для проведения процесса экстракции. По конструкции они отличаются от капельных воронок только более короткими трубками.

Промывалки — колбы со специальной насадкой для промывания тонкой струей различных осадков. Вместо насадки со специальной системой трубок, впаянных в стеклянную пробку, можно использовать обычную пробку, в отверстия которой продеты тонкие стеклянные трубки, одна из которых заканчивается оттянутым носиком (рис. 16). Иногда пользуются промывалками из полиэтилена.

Реторты — толстостенные сосуды специальной формы, предназначенные для высокотемпературной перегонки при атмосферном давлении (рис. 17).

Хлоркальциевые трубки используют для защиты реакционной смеси или одного вещества от действия атмосферной влаги или углекислого газа, содержащегося в воздухе (рис. 18). В качестве поглотителя влаги применяют хорошо прокаленный хлорид кальция или натронную известь.

Промывные склянки применяют для осушивания, очистки или улавливания некоторых газов. Наиболее часто используют склянки Тищенко и Дрекслея (рис. 19). Обычно их заполняют концентрированной серной кислотой или щелочью.

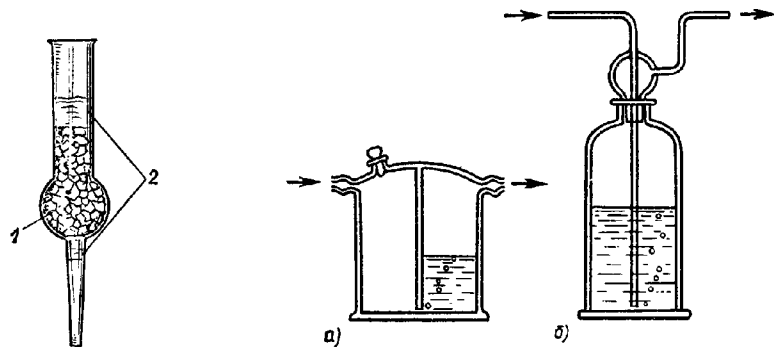


Рис. 19. Промывные склянки:
а — склянка Тищенко; б — склянка Дрекслея

Рис. 18. Хлоркальциевая трубка:
1 — прокаленный хлорид кальция, 2 — вата

Эксикаторы — емкости из толстостенного стекла, предназначенные для высушивания твердых веществ. Применяют обычные и вакуум-эксикаторы (рис. 20). В последних имеется тубус, в который на резиновой пробке вставляют трубку с краном. Эту трубку через манометр и предохранительную склянку соединяют с водоструйным насосом и создают в эксикаторе вакуум. Вещество, которое подвергают сушке, на часовом стекле или чашке Петри ставят на фарфоровую подставку, лежащую на выступающих внутренних бортах средней части эксикатора. В качестве осушающего агента применяют безводный хлорид кальция, сульфат магния, сульфат натрия, натронную известь, гидроксид натрия, оксид фосфора(V) и другие вещества.

Кристаллизаторы служат для охлаждения насыщенных растворов. В этом случае кристаллизатор помещают на лед, снег или в охлаждающую смесь.

Мерные цилиндры и мензурки — приборы, предназначенные для отмеривания жидкостей объемом от 1 до 2000 мл (рис. 21).

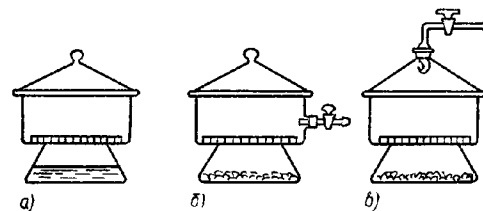


Рис. 20. Эксикаторы:
а — обычный; б, в — вакуум-эксикаторы

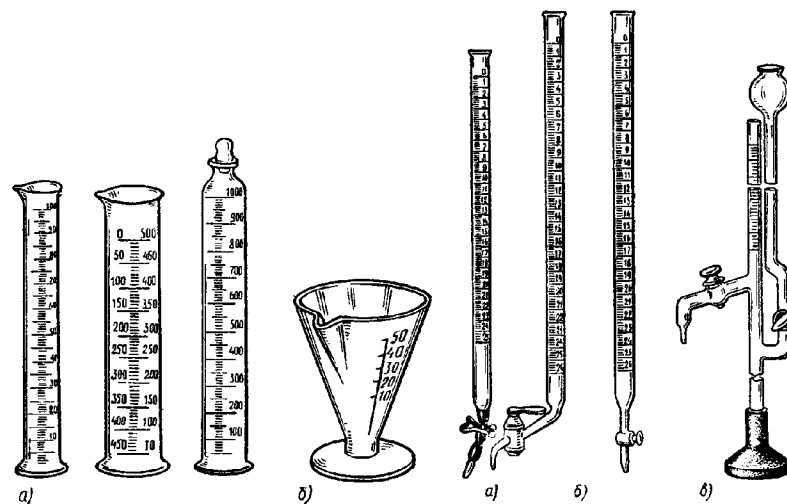


Рис. 21. Мерные цилиндры (а) и мензурка (б)

Рис. 22. Бюретки:

а — с зажимом Мора; б — с краном; в — микробюретка

Бюретки (рис. 22) служат для отмеривания точных объемов жидкости (обычно при титровании). С их помощью можно отмерить объем с точностью до 0,03—0,05 мл; микробюретки позволяют отмерить объем еще точнее — до 0,005 мл.

Мерные колбы предназначены для приготовления точных растворов при химическом анализе. Они имеют удлиненную шейку, на которой нанесена кольцевая черта.

Термометры. Чаще всего применяют ртутные термометры, конструкции которых очень разнообразны. Наиболее распространены обыч-

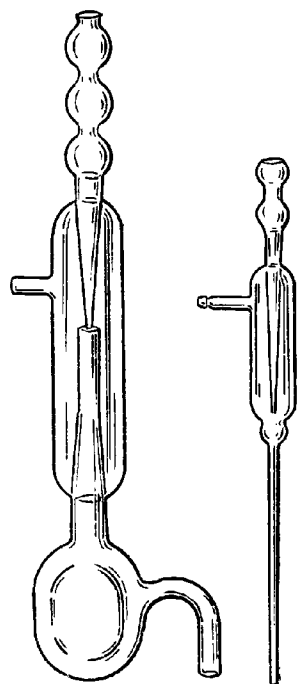
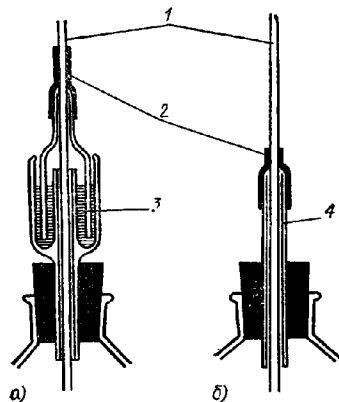


Рис. 24. Водоструйные вакуум-насосы

Рис. 23. Типы уплотняющих затворов для мешалок:

а — с использованием ртути или глицерина; б — с использованием обрезка резинового шланга; 1 — мешалка; 2 — обрезки резинового шланга; 3 — ртуть или глицерин; 4 — стеклянная трубка



ные ртутные термометры (химические) и технические (с длинной прямой или изогнутой ножкой). Используют также и палочковые термометры — толстостенные капилляры, на которые с наружной стороны нанесена градуировка в виде закрашенных в черный (или красный) цвет штрихов. Химические термометры обычного типа позволяют измерять температуру в пределах от -30 до $+360^{\circ}\text{C}$. Наиболее распространены термометры со шкалой 100, 150, 200, 250, 300 и 360°C . Иногда пользуются специальными (газонаполненными) термометрами со шкалой до 550 и даже до 750°C . Для очень точных измерений применяют образцовые («нормальные») термометры с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$. Такие термометры служат для определения температур плавления и кипения органических веществ.

Устройства для перемешивания. Если перемешивание осуществляется в открытых сосудах, то обычно используют стеклянные мешалки различной конструкции. Стержень мешалки крепят встык с валом мотора с помощью резиновой трубки. Для придания мешалке строго вертикального направления стержень пропускают через отрезок стеклянной трубки или через отверстие пробки, закрепленной с помощью лапки на штативе. Для размешивания реакционной смеси, которую необходимо изолировать от внешней среды, или предотвращения утечки летучих веществ применяют специальные затворы. Одним из них может быть отрезок резинового шланга. Полная герметичность достигается с помощью ртутного или глицеринового затвора (рис. 23). Скорость перемешивания регулируют с помощью лабораторного автотрансформатора.

Резиновые трубки служат для соединения отдельных частей в приборах и для подвода воды и газа. Иногда применяют трубки из полиэтилена, которые устойчивы к действию большинства органических веществ и агрессивных сред.

Приборы на шлифах. Посуда со стандартными шлифами позволяет быстро соединять друг с другом отдельные части химических установок, добиваясь высокой герметичности. Чаще используют конусообразные шлифы, имеющие стандартные размеры («нормальные» шлифы). Их обозначают номерами, соответствующими верхнему диаметру (мм), например: 10; 10,5; 14,5; 29. Каждый шлиф состоит из двух частей — муфты и керна. Применение посуды со стандартными шлифами позволяет быстро и легко собрать любую установку или прибор.

Водоструйные вакуум-насосы (рис. 24) — приборы, предназначенные для создания в системе вакуума с помощью водяной струи. Насос крепят к водопроводному крану.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Газовые горелки бывают в основном двух типов — Бунзена и Теклю. Газ подводится через нижний боковой отвод горелки. Приток воз-

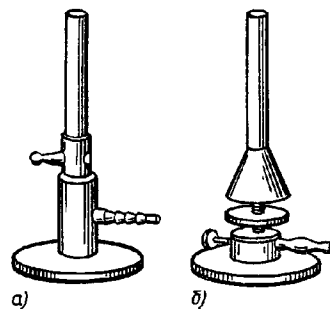


Рис. 25. Газовые горелки:
а — горелка Бунзена; б — горелка Теклю

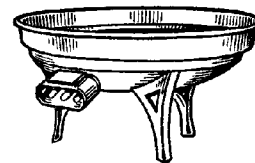


Рис. 26. Закрывающаяся электрическая плитка

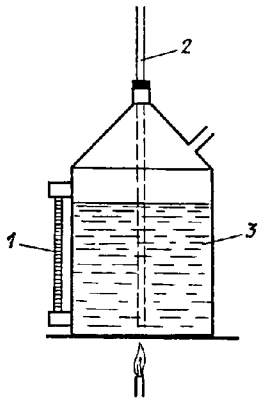


Рис. 27. Парообразователь:

1 — водомерная трубка, 2 — стеклянная трубка, 3 — корпус

духа регулируется специальной регулирующей гильзой (горелка Бунзена) или нижним кольцом (горелка Теклю), находящимся несколько выше бокового отвода. Газовые горелки в зависимости от доступа воздуха дают как светящееся («холодное») пламя — с температурой до 500°C , так и несветящееся («горячее») — до 1500°C (рис. 25). При работе с газовыми горелками необходимо особенно строго соблюдать правила техники безопасности.

Электрические плитки. В лаборатории можно пользоваться только плитками с закрытой электрической спиралью (рис. 26). Такие плитки, с асбестовой нагреваемой поверхностью и выступающими бортиками, могут служить песчаными банями (для этого на асбестовую поверхность тонким слоем насыпают песок).

Бани для нагревания обеспечивают равномерное и безопасное нагревание, предохраняя в то же время реакционную смесь от перегрева и препятствуя возникновению пожара (в случае поломки стеклянной посуды, содержащей горючее вещество). Нагрев осуществляется закрытой электрической спиралью. Бани бывают водяные, песчаные, воздушные и масляные. Выбор бань определяется свойствами нагреваемого вещества или реакционной смеси, а также температурой, необходимой для их нагревания. Максимальные температуры, которых можно достичь при нагревании: на водяной бане — до 100°C , на масляной — до 150°C , на воздушной — до 250°C , на песчаной — до 400°C .

Парообразователь служит генератором пара для перегонки с водяным паром. Он представляет собой металлическую емкость или стеклянную колбу с предохранительной трубкой, вставленной почти до дна, и отростком для выхода пара (рис. 27).

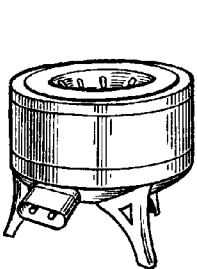


Рис. 28. Электрический колбоагрегатор

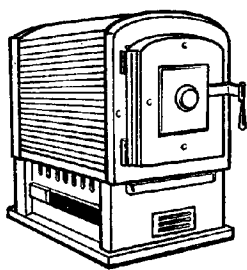
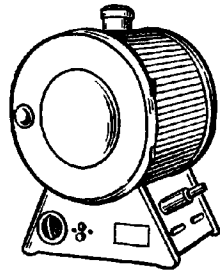


Рис. 29. Электрические муфельные печи



Электрические колбоагрегаторы применяют для нагревания круглодонных колб. Они несколько выше обычных электрических плит и имеют конусообразное углубление в середине, куда помещают нагреваемую колбу (рис. 28).

Электрические муфельные печи (рис. 29) используют для прокалывания веществ и их плавления. В этих печах можно достичь температуры 1000 — 1200°C и выше. Обычно муфельные печи снабжают термометрами.

Трубчатые печи (рис. 30) предназначены для обогрева реакционных трубок (стеклянных и металлических) при проведении некоторых органических синтезов (особенно при использовании катализаторов), при элементарном органическом анализе и т. д. В этих печах можно получить температуру (при регулировании) от 500 до 1200°C .

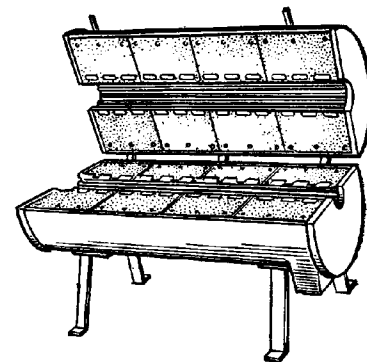


Рис. 30. Трубчатая печь

ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В каждой химической лаборатории в зависимости от характера выполняемых в ней работ имеется определенный запас химических реактивов. Они могут быть специфическими для данной лаборатории или общими для любых химических лабораторий (кислоты, щелочи, индикаторы и т. д.).

Все банки с химическими реактивами должны быть снабжены соответствующими этикетками.

Правила хранения химических веществ определяются их свойствами. Не следует хранить рядом или совместно реактивы, способные при взаимодействии возгораться или выделять большое количество тепла. Так, нельзя хранить вместе с огнеопасными веществами металлический натрий, калий, литий, пероксид натрия, белый фосфор. Особую осторожность следует соблюдать при работе с легко воспламеняющимися жидкостями (эфиры, спирты, петролейный эфир, бензол и его гомологи, сероуглерод, ацетон и др.). Они могут храниться в лаборатории в железных ящиках или шкафах в количествах, не превышающих суточную потребность. С такими веществами следует работать вдали от огня и действующих нагревательных приборов. Исключается совместное хранение окислителей (перманганата калия, бихромата калия) и восстановителей (глицерина, альдегидов).

Некоторые реактивы способны самовоспламеняться (белый и желтый фосфор, металлоорганические соединения и др.). Их хранят в специальной таре и в металлических шкафах. Это относится и к таким взрывоопасным веществам, как ацетилениды серебра и меди, ази-

ды тяжелых металлов, соли гремучей кислоты, некоторые нитросоединения и др.

Металлические натрий или калий обязательно хранят в сейфе в банке под слоем керосина или ксилола, не содержащих следов влаги. Особая осторожность необходима при хранении брома: он должен находиться в толстостенных банках с притертыми пробками. Метиловый спирт (метанол) следует хранить в сейфе с этикеткой «Метанол — яд». Ртуть хранят в специальных банках с хорошо притертыми пробками. Для устранения разлива ртути все приборы и посуда, содержащие ртуть, должны находиться на бесчелевых подносах с достаточно высокими боковыми стенками. Случайно разлитую ртуть собирают с помощью эмульгированной медной пластинки в специальную толстостенную банку, которую закрывают притертой пробкой. Остатки ртути, которые невозможно собрать (со стола, из щелей пола), обрабатывают 20%-ным водным раствором хлорида железа (III).

Гигроскопические вещества должны храниться в герметизированной таре. Этого можно добиться, если пробки посуды, в которой хранятся такие вещества, тщательно залить парафином или менделеевской замазкой.

Если реактив находится в большой стеклянной бутылке (кислоты, щелочи, аммиачная вода и др.), то при обращении с ней необходимо быть особенно осторожным, чтобы не разбить ее. Поэтому бутылки хранят в специальных металлических стояках или деревянных ящиках, в плетеных корзинах.

Небольшие количества концентрированных кислот содержат в вытяжных шкафах в стеклянных сосудах с притертыми пробками.

Реактивы, способные изменяться под действием света, хранят только в желтых или темных склянках. Если вещество находится в ампуле, то при вскрытии нужно вначале на расстоянии 1 см от конца оттянутой части ампулы осторожно сделать надрез напильником, после чего обломать надрезанную часть. Если в ампуле остается часть вещества, ее снова запаивают на паяльной горелке.

При хранении твердых веществ в банках возможно слеживание и комкование реактивов. Поэтому вещество предварительно разрыхляют, ударяя банку ладонью по боку, или, сняв крышку, разрыхляют верхний слой чистым фарфоровым шпателем или толстой стеклянной палочкой.

ГАЗОВЫЕ БАЛЛОНЫ И РАБОТА С НИМИ

Для хранения газов применяют специальные баллоны, имеющие определенную опознавательную окраску (табл. 130).

Таблица 130. Окраска и маркировка баллонов для хранения сжатых и сжиженных газов

Газ	Окраска баллона	Цвет надписи с названием газа	Цвет полосы под подписью
Азот	Черная	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтая	Черный	—
Аргон:			
чистый	Серая	Зеленый	Зеленый
технический	Черная	Синий	Синий
сырой	»	Черный	Белый
Ацетилен	Белая	Красный	—
Бутилен	Красная	Желтый	Черный
Водород	Темно-зеленая	Красный	—
Воздух (сжатый)	Черная	Белый	—
Гелий	Коричневая	»	—
Закись азота	Серая	Черный	—
Кислород	Голубая	»	—
Метан	Красная	Белый	—
Сероводород	Белая	Красный	Красный
Сернистый ангидрид	Черная	Белый	Желтый
Углекислота	»	Желтый	—
Фосген	Защитная	—	Красный
Фреон 12	Алюминиевая	Черный	—
Фреон 11	»	»	Синий (одна)
Фреон 13	»	»	Красный (три)
Фреон 22	»	»	Желтый (две)
Хлор	Защитная	—	Зеленый
Циклопропан	Оранжевая	Черный	—
Этилен	Фиолетовая	Красный	—
Другие горючие газы	Красная	Белый	—
Другие негорючие газы	Черная	Желтый	—

По конструкции баллоны бывают двух типов — для газов сжатых и для сжиженных; последние обычно имеют внутри сифонную трубку (рис. 31).

При работе со сжатыми газами необходимо соблюдать особую осторожность, поэтому к работе с ними допускаются только лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности.

Ниже приведены основные правила работы с газовыми баллонами: на баллон в нерабочем состоянии должен быть всегда навинчен колпак;

передвигать баллон следует осторожно, так как толчки или падение могут привести к взрыву; обычно баллоны помещают в специальные стойки или крепят к стене с помощью ремней;

нельзя помещать баллоны в местах, где они могут нагреваться; от нагревательных приборов баллоны должны быть удалены не менее чем на 1 м;

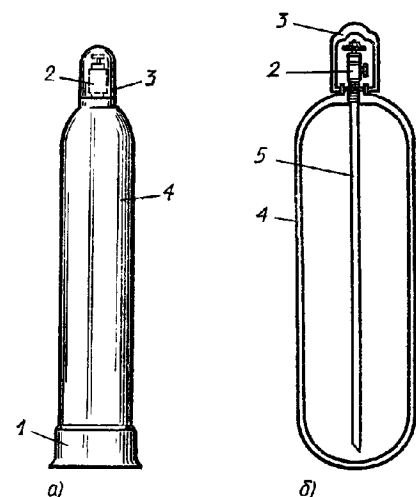


Рис. 31. Устройство газовых баллонов: а — простого; б — с сифоном; 1 — башмак баллона, 2 — вентиль, 3 — колпак, 4 — корпус, 5 — сифонная трубка

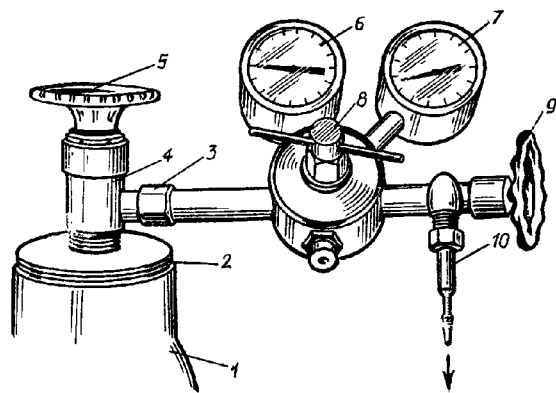


Рис. 32. Редуктор и его крепление к газовому баллону:

1 — баллон, 2 — горловина баллона, 3 — накидная гайка редуктора, 4 — корпус вентиля баллона, 5 — маховичок, 6 — манометр высокого давления, 7 — манометр низкого давления, 8 — редукционный вентиль (редуктор), 9 — регулировочный винт, 10 — штуцер

при работе с баллонами сначала открывают редукционный вентиль (редуктор), а затем осторожно — регулировочный (рис. 32); для каждого баллона должен быть свой редуктор;

выпускной (регулировочный) вентиль редуктора должен быть чистым; категорически запрещается смазывание вентиля любым жиром или маслом (это особенно важно для кислородных баллонов);

расходуя газ, никогда не следует снижать его давление в баллоне до атмосферного (остаточное давление должно составлять $1,01 \cdot 10^5$ Па); баллоны необходимо периодически испытывать на давление (на заводе);

нельзя работать с неисправными баллонами или баллонами, которые не проверялись в течение длительного времени;

нельзя исправлять вентиль баллона собственными средствами; отбирая сжатый или жидкий газ в реакционный сосуд, следует предварительно пропустить этот газ через предохранительную склянку;

баллоны со сжиженными газами, имеющие сифонные трубки, при работе следует переворачивать; это предохраняет от выбрасывания из баллона струи сжиженного газа.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ВЫДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Методы очистки и выделения химических соединений разнообразны и зависят от их свойств и агрегатного состояния. Здесь приведены некоторые общие приемы работ при выделении и очистке соединений.

Фильтрация — процесс отделения твердых компонентов смеси, находящихся в осадке, от маточного раствора (жидких компонентов) с помощью пористой перегородки — фильтра. В качестве фильтра обычно используют фильтровальную бумагу разной пористости, а также разнообразные ткани, пористое стекло, асбест, обычную и стеклянную вату и т. д. Фильтрующие материалы не должны

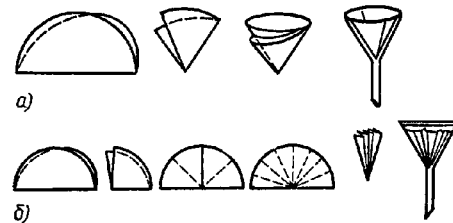


Рис. 33. Последовательные стадии изготовления фильтра:

а — простого; б — складчатого

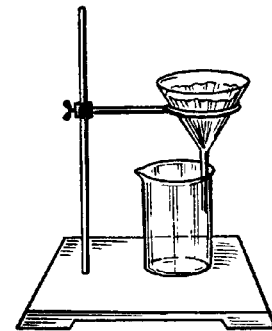


Рис. 34. Установка для фильтрации холодных растворов через стеклянную воронку

взаимодействовать ни с маточным раствором, ни с отделяемым осадком. Существуют два способа фильтрации: при обычном давлении и под уменьшенным давлением.

Наиболее простой способ фильтрации — фильтрация при обычном давлении. Используемые при этом бумажные фильтры могут быть простыми и складчатыми. Для изготовления простого фильтра квадратный кусок фильтровальной бумаги складывают вчетверо и обрезают по окружности так, чтобы при расправлении готовый фильтр имел вид конуса. Изготавливая складчатый фильтр, вначале посту-

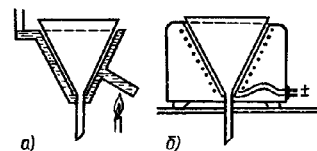


Рис. 35. Приспособления для обогрева фильтровальной воронки:

а — горячей водой; б — электрической спиралью

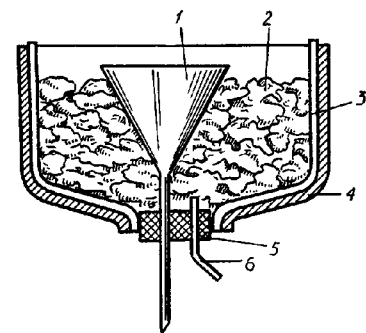


Рис. 36. Прибор для фильтрации с охлаждением:

1 — воронка для фильтрации, 2 — охлаждающая смесь, 3 — сосуд, 4 — теплоизоляционный материал, 5 — пробка, 6 — отводная трубка

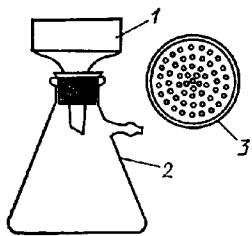


Рис. 37. Воронка Бюхнера (1), дырчатое дно воронки (2) и колба Бунзена (3)

пают таким же образом, но затем образовавшиеся четвертушки бумаги разгибают и делают на фильтре сложенные вдвое сгибы («гармошку») (рис. 33). Прибор для фильтрования холодных растворов показан на рис. 34. Для фильтрования горячих растворов применяют специальную воронку, обогреваемую электрической спиралью или водяным паром (рис. 35). При фильтровании веществ с низкой температурой плавления используют воронки с охлаждением (рис. 36).

Для ускорения процесса фильтрования применяют фильтрование под уменьшенным давлением. Для этого служат фарфоровая воронка Бюхнера и толстостенная колба Бунзена, соединенная через предохранительную склянку с водоструйным насосом (рис. 37).

Кристаллизация

Кристаллизация — процесс образования и роста кристаллов вещества из раствора. Этот метод — один из важнейших для очистки твердых веществ. Он основан на различной растворимости вещества и сопутствующих ему примесей в данном растворителе при определенной температуре. Загрязненное примесями вещество растворяют при нагревании в подходящем растворителе, а затем горячий раствор отфильтровывают от нерастворившихся примесей и дают охладиться. Выпавший осадок отфильтровывают и сушат. В качестве растворителей применяют этиловый спирт, ацетон, бензол, хлороформ, диоксан, уксусную кислоту, петролейный эфир, воду и другие вещества.

Растворитель должен хорошо растворять вещество при нагревании и плохо — при охлаждении, он не должен химически взаимодействовать с очищаемым веществом.

Из горячего раствора вначале кристаллизуется вещество, которое труднее растворяется в данном растворителе или присутствует в большем количестве.

При использовании легковоспламеняющихся растворителей (эфир, бензол, этиловый спирт и др.) растворение ведут при осторожном нагревании на водяной бане в круглодонной колбе с обратным водяным холодильником.

Перегонка

Перегонка — процесс отделения летучих веществ от нелетучих примесей или отделение летучих веществ друг от друга. Это достигается путем нагревания жидкости до кипения и последующей конденсации ее паров в виде дистиллята в холодильнике.

В лабораторной практике используют три способа перегонки жидкостей: при атмосферном давлении (простая перегонка), при уменьшен-

ном давлении (вакуум-перегонка), с водяным паром.

Перегонка при атмосферном давлении (простая перегонка) применяется в том случае, когда разница в температурах кипения веществ, входящих в состав разделяемой смеси, значительна (не менее 80—100°C) или когда основное вещество необходимо отделить от нелетучих примесей. Прибор для простой перегонки (рис. 38) состоит из колбы Вюрца с термометром, нисходящего холодильника Либиха, алонжа и приемника.

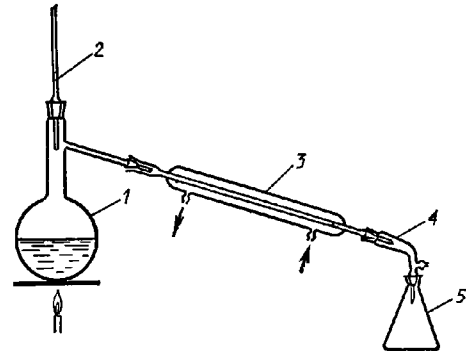


Рис. 38. Схема установки для простой перегонки:

1 — колба Вюрца, 2 — термометр, 3 — холодильник Либиха, 4 — алонж, 5 — приемник

При перегонке индивидуального вещества его температура кипения остается постоянной в течение всей перегонки. Если перегоняется смесь двух веществ, то вначале отгоняется жидкость, имеющая более низкую температуру кипения.

Перегонка при уменьшенном давлении (вакуум-перегонка) применяется в том случае, когда перегоняемые вещества разлагаются при температуре кипения (при атмосферном давлении). Прибор для перегонки при уменьшенном давлении (рис. 39) состоит из колбы Кляйзена с термометром и капилляром, холодильника Либиха, алонжа и приемника.

Перегонка с водяным паром применяется для выделения из смесей веществ, которые кипят при довольно высокой температуре, а поэтому не исключена возможность их разложения. Для перегонки с водяным паром используют прибор, который состоит из паробразователя, пере-

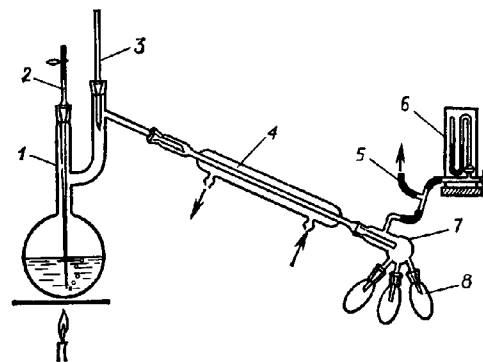


Рис. 39. Схема установки для перегонки при уменьшенном давлении:

1 — колба Кляйзена, 2 — капилляр, 3 — термометр, 4 — холодильник Либиха, 5 — шланг в предохранительной склянке, 6 — манометр, 7 — вакуумный насос, 8 — приемник

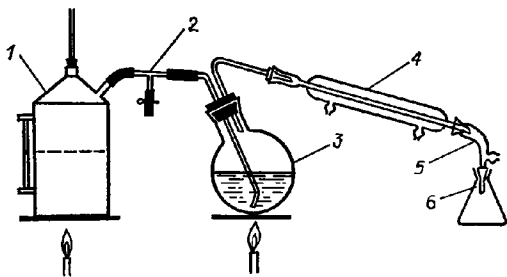


Рис. 40. Схема установки для перегонки с водяным паром:

1 — паровозобразователь, 2 — тройник, 3 — колба с перегоняемым веществом, 4 — холодильник, 5 — алонж, 6 — приемник

гонной колбы, холодильника, алонжа и приемника (рис. 40). Перегонять с водяным паром можно только такие органические вещества, которые нерастворимы или труднорастворимы в воде и химически не взаимодействуют с ней.

Возгонка (сублимация)

Возгонка (сублимация) — переход вещества, нагретого ниже его температуры плавления, из кристаллического состояния в парообразное (минуя жидкое); при охлаждении пары вновь переходят в твердое состояние. Этим способом хорошо очищаются вещества, летучесть которых заметно отличается от летучести сопутствующих загрязнений. Для возгонки веществ при атмосферном давлении используют фарфоровую чашку, в которую помещают вещество, и стеклянную воронку, которой накрывают чашку. Между чашкой и воронкой помещают фильтровальную бумагу с небольшими отверстиями (рис. 41).

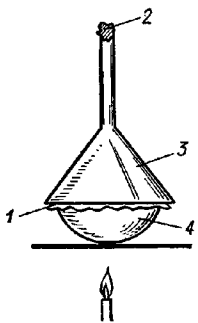


Рис. 41. Прибор для возгонки:

1 — лист фильтровальной бумаги с проколотыми отверстиями, 2 — ватный тампон, 3 — коническая воронка, 4 — фарфоровая чашка

Экстракция

Экстракция, или извлечение, основана на различной растворимости веществ в двух несмешивающихся жидкостях. Чаще всего экстрагированию подвергают водные растворы. С этой целью пользуются делительной воронкой, в которую наливают раствор, содержащий экстрагируемое вещество и экстрагирующую жидкость (экстрагент). Экстрагент должен значительно лучше растворять экстрагируемое вещество, чем растворитель, в котором он содержится, не растворяться в этом растворителе, не взаимодействовать химически с растворителем и экстрагируемым веществом, легко отгоняться от экстрагированного вещества.

Твердые вещества обычно сушат на воздухе при комнатной температуре или в сушильном шкафу при повышенной температуре (для органических веществ — не выше их температуры плавления). Для более эффективного высушивания применяют эксикаторы, на дно которых помещают подходящие осушители (оксид фосфора(V), безводные хлорид кальция, сульфат магния и др.). Для ускорения процесса высушивания используют вакуум-эксикаторы.

Жидкость и растворы высушивают с помощью твердых неорганических веществ, способных поглощать воду и образовывать при этом кристаллогидраты.

Осушители для жидких органических веществ

Высушиваемые вещества	Осушители
Алкилгалогениды	P_2O_5 , H_2SO_4 , $CaCl_2$
Альдегиды	$CaCl_2$
Амины	$NaOH$, KOH , K_2CO_3 , CaO , BaO , натронная известь
Гидразины	K_2CO_3
Кетоны	K_2CO_3 ; для высших кетонов $CaCl_2$
Кислоты	Na_2SO_4 , P_2O_5
Нитрилы	K_2CO_3
Нитросоединения	$CaCl_2$, Na_2SO_4
Спирты	K_2CO_3 , $CuSO_4$, CaO^* , Na_2SO_4 , BaO , Ca , натронная известь
Углеводороды насыщенные	P_2O_5 , H_2SO_4 , Na , $CaCl_2$, $NaOH$, KOH
Углеводороды ненасыщенные	$CaCl_2$, Na , P_2O_5
Фенолы	Na_2SO_4
Эфиры простые	$CaCl_2$, Na , $CuSO_4$, CaO , BaO , $NaOH$, KOH , натронная известь
Эфиры сложные	K_2CO_3 , Na_2SO_4 , $MgSO_4$, $CaCl_2$, P_2O_5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Определение температуры плавления

Температура плавления вещества — это температура, при которой вещество из твердого (кристаллического) состояния переходит в жидкое. Началом плавления считается момент размягчения вещества и переход его в жидкое состояние, а концом — образование прозрачной жидкости.

Если вещество химически чистое, то оно плавится в пределах $0,5-1,0^\circ C$. Четкая температура плавления вещества является признаком его чистоты.

Определение температуры плавления проводят обычно в приборе, состоящем из термостойкой круглодонной колбы с длинным горлом и широкой пробирки, вставленной в это горло через корковую пробку. В пробирку помещают термометр, на шарик которого надевают резиновое кольцо для крепления капилляра (рис. 42). В капилляр помещают вещество, температуру которого определяют. Колбу заполняют

концентрированной серной кислотой или силиконовым маслом (или глицерином, дибутилфталатом и другими высококипящими жидкостями). Определять температуру плавления следует в защитных очках (защитной маске).

Определение температуры кипения

Жидкость кипит, когда давление ее паров равно атмосферному давлению, т. е. температура кипения жидкости зависит от давления.

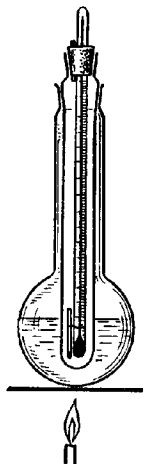


Рис. 42. Прибор для определения температуры плавления



Рис. 43. Крепление капилляра к термометру при определении температуры кипения (по Сиволобову)

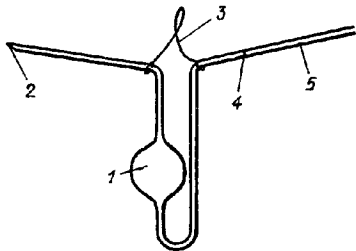


Рис. 44. Пикнометр Оствальда:
1 — шарик, 2 — носик, 3 — проволоочная петля, 4 — метка, 5 — хвостик

Обычно температуру кипения определяют по методу Сиволобова. В стеклянную трубочку помещают несколько капель исследуемой жидкости. Туда же погружают тонкий капилляр, запаянный с верхнего конца (рис. 43). Трубку с жидкостью и капилляром прикрепляют к термометру (как для определения температуры плавления). Когда при медленном нагревании из тонкого капилляра начинают выделяться пузырьки воздуха, температура кипения жидкости считается достигнутой.

Определение относительной плотности жидкости

Плотность вещества ρ — это отношение массы m вещества к его объему V : $\rho = m/V$.

Относительная плотность d определяется отношением плотности данного вещества к плотности другого при определенных условиях. Так, относительную плотность вещества принято определять по отношению к плотности дистиллированной воды при 4°C . Величина d зависит от температуры, при которой ее определяют. Поэтому необходимо указывать не только температуру определения, но и температуру воды, объем которой взят за единицу. Стандартная температура, при которой проводят определение, равна 20°C (в СССР). Например, запись d_{20}^{20} означает, что относительная плотность определена при 20°C , а за единицу сравнения взята плотность воды при 4°C .

Для определения относительной плотности часто используются пикнометры, например пикнометр Оствальда (рис. 44). Для быстрого, но менее точного определения относительной плотности можно использовать ареометры.

Определение показателя преломления

Показатель преломления n — отношение синуса угла падения света на поверхность раздела двух сред к синусу угла преломления света: $n = \sin\alpha/\sin\beta$.

Показатель преломления зависит от температуры. Для определения показателя преломления используют рефрактометры ИРФ-22 типа Аббе и ИРФ-23 типа Пульфриха.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Правила безопасности труда при работе в химической лаборатории.

Запрещается работать в лаборатории в одиночку. В исключительных случаях на это необходимо разрешение администрации. Во время работы следует соблюдать тишину, чистоту и порядок в помещении лаборатории и на своем рабочем месте. Запрещается держать в лабораторных столах портфели, сумки и прочие посторонние предметы.

Следует строго соблюдать правила и нормы хранения химических реактивов.

Присутствуя к выполнению работы, необходимо внимательно ознакомиться со свойствами веществ, с которыми предстоит работать.

Прежде чем отвесить или отмерить необходимое количество вещества, нужно внимательно прочесть надпись на этикетке, прикрепленной к банке, колбе и т. д., в которой находится вещество.

Нельзя брать химические вещества незащищенными руками. Сыпучие реактивы следует отбирать сухими шпателями или специальными ложками.

При измельчении твердых химических веществ необходимо соблюдать особую осторожность: при дроблении вещество может попасть в

глаза, в лицо. Кроме того, некоторые вещества при механическом воздействии на них могут взорваться.

Категорически запрещается пробовать химические препараты на вкус, всасывать ртом любые жидкие вещества в пипетки. При исследовании запаха жидкости следует осторожно направлять к себе ее пары легким движением руки.

Работать с ядовитыми, раздражающими органы дыхания и сильно пахнущими веществами необходимо только в вытяжном шкафу в резиновых перчатках, а в особых случаях, предусмотренных специальными инструкциями, — в противогазе.

Концентрированные соляную и азотную кислоты переливают только в вытяжном шкафу. При разбавлении серной кислоты водой необходимо прибавлять кислоту к воде (а не наоборот!) осторожно, небольшими порциями. Глаза при этом должны быть защищены очками. Защитные очки следует надевать при работе с кислотами, щелочами, щелочными металлами и другими агрессивными веществами, при перегонке под уменьшенным давлением, работе с вакуум-приборами.

Запрещается нагревать на открытом пламени летучие и легко воспламеняющиеся жидкости и вещества (эфир, петролейный эфир, бензол, бензин, спирт, ацетон, сероуглерод и др.). Для этого следует пользоваться водяной баней или электрической плитой с закрытым нагревательным элементом. При перегонке таких жидкостей обязательно применяют холодильники с водяным охлаждением.

Нельзя близко наклоняться к прибору, в котором идет реакция, нагревание или перемешивание химических веществ.

Запрещается выливать в раковины остатки кислот и щелочей, огнеопасных, ядовитых и сильнопахнущих жидкостей. Их нужно сливать в специальные емкости в вытяжном шкафу или стоящие около раковины.

Если около горячей газовой горелки чувствуется запах газа, нужно немедленно перекрыть газ, поступающий на горелку, затем проверить исправность резинового шланга и самой горелки. При обнаружении запаха газа в лаборатории необходимо выключить газовую магистраль и тщательно проветрить помещение.

В случае воспламенения одежды необходимо немедленно набросить на пострадавшего любую одежду (халат, пиджак или одеяло). Пострадавший ни в коем случае не должен бежать — это усилит пламя.

В каждой химической лаборатории должны быть основные средства противопожарной безопасности (ящик с песком, асбестовые или войлочные одеяла, огнетушители и т. д.) и аптечка с набором необходимых средств оказания первой медицинской помощи. При отравлении химическими веществами необходимо немедленно отправить пострадавшего в ближайший медицинский пункт, в тяжелых случаях — срочно вызвать врача.

При небольших порезах стеклом нужно осторожно удалить осколки из ран, а затем обработать поврежденный участок йодом и перевязать. При термических ожогах обожженное место присыпают пищевой содой либо прикладывают примочки из свежеприготовленных

растворов питьевой соды или перманганата калия. При тяжелых или обширных ожогах пострадавшего необходимо немедленно госпитализировать.

Перед уходом из лаборатории необходимо проверить, выключены ли вода, газ и электроприборы.

В каждой химической лаборатории на видном месте должны быть вывешены инструкция по технике безопасности и противопожарной технике, а также по оказанию первой помощи при ожогах, отравлениях, порезах и пр. Каждого поступающего на работу в лабораторию сотрудника следует подробно ознакомить с инструкцией.

Индивидуальные средства защиты

Для защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе в виде паров и аэрозолей (пыли, дыма, тумана), предназначены *промышленные фильтрующие противогазы*, которые являются средством индивидуального пользования. В комплект такого противогаза входят фильтрующая коробка цилиндрической формы, резиновая маска-шлем с гофрированной трубкой и сумка (для ношения противогаза). Маска-шлем выпускается пяти размеров (0, 1, 2, 3, 4).

Таблица 131. Фильтрующие противогазы и вещества, от которых они защищают

Марка коробки противогаза	Окраска фильтрующей коробки к противогазам	Вредные вещества, от которых защищает противогаз
А	Коричневая	Пары органических веществ: бензина, керосина, ацетона, бензола, ксилола, сероуглерода, толуола, спиртов, эфиров, анилина, нитросоединений бензола и его гомологов, галогенорганических соединений, тетраэтилсвинца
В	Желтая	Кислые газы: сернистый газ, хлор, сероводород, циановодород, оксиды азота, хлороводород, фосген
Г	Желтая с черной полосой	Пары ртути
Е	Черная	Мышьяковистый и фосфористый водород
КД	Серая	Аммиак и его смесь с сероводородом
СО	Белая	Оксид углерода
М*	Красная	Кислые газы, мышьяковистый водород, аммиак, смесь сероводорода с аммиаком, оксид углерода (меньшее время защитного действия, чем у противогазов марок В, Е, КД, СО)
БКФ	Защитная с белой вертикальной полосой	Кислые газы и пары органических веществ (с меньшим временем защитного действия, чем коробки марок В и А), мышьяковистый и фосфористый водород, циановодород

* При наличии в воздухе органических веществ пользование коробками марки М запрещается.

Марки коробок промышленных противогазов и перечень вредных веществ, от которых защищают противогазы, приведен в табл. 131.

Противогазы марок А, В, Г, Е, КД, на коробке которых белая вертикальная полоса, защищают одновременно от пыли, дыма, тумана.

Фильтрующие респираторы — небольшие фильтры, расположенные на полумаске, отделяющей от загрязненной атмосферы только органы дыхания.

Респираторы бывают противопылевые, газовые, универсальные. При больших концентрациях пыли наиболее часто используют респираторы типа Ф-62Ш, при средних концентрациях — У-2К, при одно-разовом использовании — респиратор типа «Лепесток».

Респиратор Ф-62Ш — резиновая полумаска со съёмной пластмассовой коробкой, в которой находятся съёмные фильтры. В нижней части полумаски смонтирован выдыхательный клапан.

Респиратор У-2К изготовлен из мягкого фильтрующего материала, покрытого поролоном. Внутренняя часть полумаски изготовлена из полиэтиленовой пленки. Респиратор имеет два вдыхательных и один выдыхательный клапаны.

Респиратор «Лепесток» — кусок мягкого фильтрующего материала с небольшим каркасом из пластмассы (или без него).

Противогазовые респираторы предназначены для защиты органов дыхания от действующих на глаза паро- и газообразных веществ (при небольшой концентрации в воздухе). Противогазовый респиратор типа РПГ-67 представляет собой резиновую полумаску с двумя резиновыми муфтами по бокам. В муфты вставлены сменные цилиндрические патроны из картона или пластмассы, содержащие сорбенты.

Универсальные респираторы применяют при небольшом содержании вредных газов, паров и пыли в воздухе. Универсальный респиратор РУ-60М представляет собой резиновую полумаску со сменными противогазовыми патронами, содержащими сорбент и аэрозольный фильтр.

Противогазовые и универсальные респираторы снабжены патронами различных марок: А, В, Г, КД. Каждый патрон используется строго по назначению (табл. 132).

Таблица 132. Фильтрующие патроны респиратора РУ-60М и вещества, от которых они защищают

Марка патрона	Надпись в центре крышки патрона	Перечень вредных веществ, от которых защищает респиратор
А	РУ-60М-А	Аэрозоли и пары бензина, хлорэтила, ацетона, бензола и др
В	РУ-60М-В	Аэрозоли и кислые газы (ангидриды)
КД	РУ-60М-КД	Аэрозоли, аммиак, сероводород
Г	РУ-60М-Г	Аэрозоли и пары ртути

Респираторы запрещается применять для защиты органов дыхания от высокотоксичных веществ (синильная кислота, мышьяковистый и фтористый водород), а также от веществ, которые в паро- и газообразном состоянии могут проникать в организм через кожу.

Предельно допустимые концентрации газов и паров в воздухе производственных помещений

Предельно допустимые концентрации газов и паров установлены только для рабочих мест, т. е. пунктов постоянного или периодического пребывания рабочих для проведения производственных процессов и наблюдения за ними.

Наименование вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м³	Наименование вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м³
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)	5,0	Пиридин	5,0
Аммиак	20,0	Ртуть металлическая	0,01
Анилин	3,0	Сероводород	10,0
Ацетон	200,0	Стирол	5,0
Бензин-растворитель (в пересчете на С)	300,0	Толуол	50,0
Бензол	5,0	Тринитротолуол	1,0
Дивинил	100,0	Фенол	5,0
Дихлорэтан	10,0	Фосген	0,5
Керосин (в пересчете на С)	300,0	Фталевый ангидрид	1,0
Ксилол	50,0	Хлорбензол	50,0
Лигроин	300,0	Циклогексан	80,0
Метилакрилат	20,0	Этилацетат	200,0
Нафталин	20,0	Этиловый спирт	1000

СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

К средствам пожаротушения относятся используемые в химических лабораториях различные типы огнетушителей, огнестойкие накладки (одеяла), песок, вода и др.

Существует несколько типов огнетушителей: *пенные* (химически-пенный ОХП-10, воздушно-пенные ОВП-10 и ОПК-1,5); *газовые* (углекислотные ОУ-2, ОУ-5); *порошковые* («Спутник», «Момент-2», ОП-2Б).

В лаборатории следует иметь огнетушители различных типов, соответствующих характеру работ. Огнетушитель должен находиться в таком месте, чтобы доступ к нему был всегда свободен. Каждый сотрудник лаборатории должен хорошо знать инструкцию по обращению с огнетушителем.

Универсальное средство гашения огня — песок. Он должен быть чистым, сухим, сыпучим и находиться в специально отведенных ящиках.

Для ликвидации небольших очагов пожара (особенно при загорании жидкостей в открытых сосудах) можно использовать огнестойкие

накидки из войлока или толстой шерстяной ткани (одеяла), пропитанных специальным составом.

Вода — наиболее доступное, дешевое и распространенное средство для тушения пожара. Однако необходимо помнить, что воду нельзя применять для тушения нерастворимых в воде веществ (бензина, бензола, скипидара и др.).

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ РЕЦЕПТЫ

Менделеевская замазка. Широко используется в лабораторной практике как средство для создания герметичности. Применяется для скрепления стеклянных, металлических и пластмассовых деталей. Замазку готовят по одному из рецептов, смешивая (в частях):

1. Канифоль	100
Воск желтый	25
Мумия (или пемза)	40
Льняная олифа	0,1—1
2. Канифоль	30
Желтый воск	5
Мумия (или пемза)	10
Льняное масло	1

К расплавленному в металлической чашке воску, помешивая, добавляют мелкорастертую канифоль и смесь нагревают при 150—200°C. Затем добавляют просеянную и прокаленную мумию (или пемзу) и нагревают до ее полного смешения. Приготовлению более мягкой замазки поможет небольшой избыток льняной олифы или масла. Расплавленную замазку переливают в форму и дают остыть. Перед употреблением замазку расплавляют на медленном огне.

Кислотно-щелочепорная замазка. Смешивают (в частях): сульфат бария — 1, асбестовую муку — 2, растворимое стекло — 2.

Замазка, выдерживающая действие воды, кислот, щелочей и нерастворимая в большинстве органических растворителей. Смешивают 1 ч. безводного глицерина и 10 ч. свинцового глета (предварительно прокаленного при 300°C) в однородную густую массу. Перед применением места, на которые будет наноситься замазка, предварительно смазывают глицерином.

Водоупорная замазка. Гашеную известь (тонко просеянную) смешивают с рыбьим жиром до получения тестообразной массы.

Карандаши для стекла. Черный карандаш готовят сплавлением (в частях): пчелиного воска — 20, спермацета — 40, сала — 30, ламповой сажи — 60; красный: пчелиного воска — 25, спермацета — 100, сала — 15, сурика — 100.

Смазки для шлифов. Смазку для стеклянных и металлических шлифов можно приготовить из глицерина (3 об. ч.) и *n*-пропилового спирта (1 об. ч.). Эту смазку используют при работе, связанной с низкой

температурой. Обычную смазку для шлифов готовят сплавлением (в частях): вазелина — 3, пчелиного воска — 1.

Для смазывания шлифов можно использовать мазь, которую готовят сплавлением на водяной бане (в частях): вазелина — 16, чистого каучука — 8, парафина — 1.

Клей для плексигласа (органического стекла). Растворяют в 10 ч. дихлорэтана 1 ч. плексигласа (мелкие куски). Образующаяся клейкая масса может служить клеем для плексигласа.

Клей для целлофана. 6 ч. крахмала растирают с 10 ч. насыщенного раствора хлорида цинка и слегка подогревают на водяной бане. Полученную смесь разбавляют 20 ч. горячей дистиллированной воды.

ЛИТЕРАТУРА

- Авраменко В. Г., Клеев Б. В., Суворов Н. Н. Органическая химия. М., 1973.
- Алексеев В. Н. Количественный анализ. М., 1972.
- Берлин А. Я. Техника лабораторных работ в органической химии. М., 1963.
- Воскресенский П. И. Техника лабораторных работ. М., 1962.
- Гиддебранд В. Ф. и др. Практическое руководство по неорганическому анализу. Пер. с англ. М., 1960.
- Глинка Н. Л. Общая химия. Л., 1976.
- Государственные стандарты СССР. Издание Госстандарта СССР, указатель выходит ежегодно.
- Климова В. А. Основные микрометоды анализа органических соединений. М., 1967.
- Краткая химическая энциклопедия. Т. 1—5. М., 1961—1967.
- Крешков А. П. Основы аналитической химии. Т. I—III. М., 1976.
- Лазарев А. И. и др. Справочник химика-аналитика. М., 1976.
- Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М., 1979.
- Лурье Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. М., 1974.
- Ляликов Ю. С. и др. Организация заводских химических лабораторий. М., 1975.
- Мусакин А. П., Рачинский Ф. Ю., Суглобова К. Д. Оборудование химических лабораторий. Л., 1978.
- Некрасов Б. В. Учебник общей химии. Т. I—II. М., 1972—1974.
- Петров А. А., Бальян Х. В., Троценко А. Т. Органическая химия. М., 1981.
- Руководство по аналитической химии. Пер. с нем. М., 1975.
- Соловьев В. В. и др. Охрана труда в химической промышленности. М., 1964.
- Свойства элементов. М., 1976.
- Справочник химика. Т. II. Изд. 3-е, испр. Л., 1971.
- Фундаментальные физические константы. М., 1976.
- Фурмер И. Э. Зайцев В. Н. Общая химическая технология. М., 1978.
- Шарло Г. Методы аналитической химии. Т. I—II. Пер. с фр. М., 1974.
- Энциклопедия полимеров. Т. 1—3. М., 1972—1976.
- Эпштейн Д. А. Химия в промышленности. М., 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Р а з д е л 1. Сведения по общей химии	4
Атомные и молекулярные массы	4
Стехиометрические законы	4
Общие сведения о химических элементах	5
Сведения о строении атома, Периодическая система элементов Д. И. Менделеева	8
Физические свойства элементов	21
Р а з д е л 2. Неорганические соединения	23
Основные классы неорганических соединений	23
Химические формулы. Природа и виды химической связи. Химические эквиваленты основных классов неорганических соединений. Химические уравнения	26
Номенклатура неорганических соединений	31
Способы получения и химические свойства основных классов неорганических соединений	34
Физические константы неорганических веществ	37
Технические и часто используемые названия некоторых неорганических веществ	50
Р а з д е л 3. Органические соединения	51
Общая характеристика органических соединений	51
Классификация органических соединений	51
Номенклатура органических соединений	52
Физические константы важнейших органических соединений	57
Углеводороды	73
Алициклические соединения (нафены)	80
Ароматические углеводороды (арены)	81
Кислородсодержащие органические соединения	82
Альдегиды и кетоны	85
Карбоновые кислоты	88
Углеводы	89
Азотсодержащие органические соединения	92
Гетероциклические соединения	96
Высокомолекулярные соединения (ВМС)	97
Р а з д е л 4. Растворы	101
Дисперсные системы. Истинные растворы	101
Способы выражения концентраций растворов	102
Приготовление раствора заданной процентной концентрации	103
Растворимость некоторых веществ в воде при различных температурах	105
Растворимость неорганических соединений в органических растворителях	106
Взаимная растворимость жидкостей	108
Плотность водных растворов некоторых неорганических и органических веществ. Плотность олеума	108
Р а з д е л 5. Растворы электролитов. Основы электрохимии	120
Степень и константа электролитической диссоциации	120
Константы электролитической диссоциации кислот и оснований в водных растворах	122

Гидролиз солей	124
Растворимость и произведение растворимости некоторых малорастворимых веществ (при 25°C)	127
Водородный показатель. Шкала кислотности растворов	128
Реакции окисления — восстановления. Важнейшие окислители и восстановители	130
Уравнение Нернста	133
Электрохимический ряд напряжений металлов	135
Р а з д е л 6. Химический анализ неорганических веществ	136
Аналитическая классификация ионов. Систематический ход качественного анализа	136
Методы количественного анализа	153
Титриметрический анализ	154
Гравиметрический анализ	177
Р а з д е л 7. Анализ органических соединений	182
Элементный анализ органических соединений	182
Функциональный анализ органических соединений	187
Р а з д е л 8. Технический анализ	190
Техническая документация, регламентирующая качество продукции	190
Отбор средней пробы	192
Ситовой анализ (определение тонины помола)	194
Анализ газов	195
Анализ горных пород, минералов и руд	195
Анализ воды	196
Анализ черных и цветных металлов и сплавов	197
Анализ твердого топлива, нефти и нефтепродуктов	197
Анализ в производстве неорганических веществ	198
Анализ в производстве органических веществ	198
Р а з д е л 9. Сведения по общей химической технологии	202
Сырье и энергетика химической промышленности	202
Производство металлов	208
Производство основных неорганических продуктов	210
Производство строительных материалов и изделий	211
Производство основных органических продуктов	213
Химическая переработка топлива	214
Р а з д е л 10. Сведения по лабораторной практике	218
Оборудование, основные правила и организация работы в химической лаборатории	218
Основная лабораторная посуда и приборы	219
Нагревательные приборы	225
Правила хранения химических веществ	227
Газовые баллоны и работа с ними	229
Методы очистки и выделения химических соединений	230
Определение простейших физических констант органических веществ	235
Основные правила техники безопасности в химической лаборатории, Индивидуальные средства защиты	237
Средства пожаротушения	241
Некоторые полезные рецепты	242
Литература	244