КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

СПЕЦЛИТ

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1	H 1 1,01 ВОДОРОД						(H)	4,00 2 He ГЕЛИЙ		
2	2	Li 3 6,94 ЛИТИЙ	Be 4 9,01 БЕРИЛЛИЙ	10,81 5 B БОР	12,01 6 C УГЛЕРОД	14,01 7 N АЗОТ	16,00 8 O КИСЛОРОД	19,00 9 F ФТОР	20,18 10 Ne НЕОН		
3	3	Na 11 22,99 НАТРИЙ	Mg 12 24,31 МАГНИЙ	26,98 13 Al АЛЮМИНИЙ	28,09 14 Si КРЕМНИЙ	30,97 15 P ФОСФОР	32,06 16 S СЕРА	35,45 17 Cl ХЛОР	39,95 18 Ar АРГОН		
4	4	K 19 39,10 КАЛИЙ	Ca 20 40,08 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,96 СКАНДИЙ	Ti 22 47,90 ТИТАН	V 23 50,94 ВАНАДИЙ	Cr 24 52,00 ХРОМ	Mn 25 54,94 МАРГАНЕЦ	Fe 26 55,85 ЖЕЛЕЗО	Co 27 58,93 КОБАЛЬТ	Ni 28 58,70 НИКЕЛЬ
	5	63,55 29 Cu МЕДЬ	65,38 30 Zn ЦИНК	69,72 31 Ga ГАЛЛИЙ	72,59 32 Ge ГЕРМАНИЙ	74,92 33 As МЫШЬЯК	78,96 34 Se СЕЛЕН	79,90 35 Br БРОМ	83,80 36 Kr КРИПТОН		
5	6	Rb 37 85,47 РУБИДИЙ	Sr 38 87,62 СТРОНЦИЙ	Y 39 88,91 ИТТРИЙ	Zr 40 91,22 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92,91 НИОБИЙ	Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН	Tc 43 98,91 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101,07 РУТЕНИЙ	Rh 45 102,91 РОДИЙ	Pd 46 106,42 ПАЛЛАДИЙ
	7	107,87 47 Ag СЕРЕБРО	112,41 48 Gd КАДМИЙ	114,82 49 In ИНДИЙ	118,69 50 Sn ОЛОВО	121,75 51 Sb СУРЬМА	127,60 52 Te ТЕЛЛУР	126,90 53 I ИОД	131,30 54 Xe КСЕНОН		
6	8	Cs 55 132,91 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33 БАРИЙ	La 57 138,91 ЛАНТАН	Hf 72 178,49 ГАФНИЙ	Ta 73 180,95 ТАНТАЛ	W 74 183,85 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,21 РЕНИЙ	Os 76 190,20 ОСМИЙ	Ir 77 192,22 ИРИДИЙ	Pt 78 195,09 ПЛАТИНА
	9	196,97 79 Au ЗОЛОТО	200,59 80 Hg РТУТЬ	204,37 81 Tl ТАЛЛИЙ	207,20 82 Pb СВИНЕЦ	208,98 83 Bi ВИСМУТ	[209] 84 Po ПОЛОНИЙ	[210] 85 At АСТАТ	[222] 86 Rn РАДОН		
7	10	Fr 87 [223] ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,03 РАДИЙ	Ac 89 [227] АКТИНИЙ	Ku 104 [261] КУРЧАТОВИЙ	Ns 105 [261] НИЛЬСБОРИЙ	106 [263]	107 [262]	108 [265]		

атомный номер — обозначение элемента

12,01 6 C УГЛЕРОД

относительная атомная масса

- s - элементы
- p - элементы
- d - элементы
- f - элементы

* ЛАНТАНОИДЫ

Ce 58 140,12 ЦЕРИЙ	Pr 59 140,91 ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,24 НЕОДИМ	Pm 61 [145] ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,40 САМАРИЙ	Eu 63 151,96 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,93 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,93 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,26 ЭРБИЙ	Tm 69 168,93 ТУЛИЙ	Yb 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,97 ЛЮТЕЦИЙ

** АКТИНОИДЫ

Th 90 232,04 ТОРИЙ	Pa 91 231,04 ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238,03 УРАН	Np 93 237,05 НЕПТУНИЙ	Pu 94 [244] ПЛУТОНИЙ	Am 95 [243] АМЕРИЦИЙ	Cm 96 [247] КЮРИЙ	Bk 97 [247] БЕРКЛИЙ	Cf 98 [251] КАЛИФОРНИЙ	Es 99 [254] ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 [257] ФЕРМИЙ	Md 101 [258] МЕНДЕЛЕВИЙ	(No) 102 [255] НОБЕЛИЙ	(Lr) 103 [256] ЛОУРЕНСИЙ

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Под редакцией
А. А. Равделя и А. М. Пономаревой

Издание девятое

Согласовано с Государственной службой стандартных справочных данных

Санкт-Петербург
Специальная Литература
1999

УДК 030 50 53
К78

Составители:
Н. М. Барон, А. М. Пономарева, А. А. Равдель, З. Н. Тимофеева

Рецензент
кандидат химических наук В. А. Рабинович

К78 **Краткий** справочник физико-химических величин. Издание девятое/Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой.— СПб.: Специальная Литература, 1998.—232 с.: ил.

ISBN 5-86457-116-4 36р

Приведены таблицы важнейших физико-химических величин, используемых при изучении физической химии, в лабораторной практике и при различных физико-химических расчетах. В настоящем издании материал пересмотрен по современным литературным источникам и значительно обновлен и дополнен.

Предназначен для научных и инженерно-технических работников, а также для студентов вузов и техникумов, аспирантов и преподавателей.

УДК 030 50 53

ISBN 5-86457-116-4

Содержание

ХИМИЧЕСКИЕ РАВНОВЕСИЯ

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩЕСТВА

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

КИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

АДСОРБЦИЯ И ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ

Предисловие

За восемь лет, прошедших со времени предыдущего издания «Краткого справочника физико-химических величин», многие из приводившихся ранее величин были пересмотрены и уточнены, изменилась также теоретическая и практическая значимость некоторых разделов физической химии. Это потребовало от авторов при подготовке нового издания существенно переработать справочник как в отношении его содержания, так и с точки зрения уровня достоверности представленных в нем сведений.

Авторы стремились дать в справочнике, хотя и в сжатой форме, но систематический и по возможности широкий набор современных физико-химических характеристик. В настоящее издание введено много новых таблиц и расширен ряд разделов (свойства растворителей и растворов, явления переноса — вязкость и диффузия в газах и растворах, сведения по симметрии молекул и кристаллов, магнитные свойства атомов и молекул, молекулярные диаграммы, молекулярные спектры, кинетика реакций в растворах, адсорбция, катализ и ингибирование и т. п.).

Существенно пересмотрен раздел химической термодинамики: приведена функция $\Delta G^{\circ}_{f,\,298}$ (что отвечает пожеланиям многих читателей), проверены или вновь составлены уравнения $C_p = f(T)$, рассчитаны значения логарифмов констант образования веществ в достаточно широком интервале температур, приведены и другие данные для вычисления констант химических равновесий различными способами, причем достигнуто согласование рассчитываемых величин.

Таблицы сгруппированы по разделам, что облегчит пользование справочником. Численным данным в необходимых случаях предпосланы краткие теоретические введения.

Все величины приведены в единицах СИ или дольных и кратных единицах. В отдельных случаях параллельно с единицами СИ сохранены и общеупотребительные внесистемные. Численные значения, как правило, округлены с сохранением необходимой для практических расчетов точности. Недостаточно надежные и оценочные величины заключены в скобки.

Для краткости вместо температуры 298,15 К (и аналогичных) указывается целое число 298 К (и т. п.).

Номенклатура соединений приведена в основном в соответствие с указаниями ИЮПАК. В большинстве таблиц неорганические вещества расположены по алфавиту формул, органические — в порядке возрастания числа атомов углерода, водорода, галогенов, кислорода, азота. В некоторых, преимущественно небольших, таблицах принято логическое расположение — по типам реакций, по порядку в Периодической системе.

В конце справочника приведена литература — как использованная для его составления, так и полезная в качестве краткой библиографии по соответствующему разделу.

Приведенные в справочнике данные в соответсвии с ГОСТ 8.310—78 относятся к категории информационных.

Авторы благодарят всех, приславших критические замечания к седьмому изданию, а также участников обсуждения (Киев, май 1981 г.) проекта восьмого издания на научно-методическом совете МВ и ССО СССР по химии (сектор физической химии). Особую признательность авторы выражают редактору издательства С. Л. Томарченко за незаменимую помощь в подготовке к печати последних пяти изданий справочника и исключительно внимательному рецензенту доценту В. А. Рабиновичу за ряд полезных предложений.

Все замечания по новому изданию будут приняты также с благодарностью.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Единицы измерения физических величин

Международная система единиц (СИ) предусматривает использование следующих основных единиц:

Длина — метр
Масса — килограмм
Время — секунда
Сила электрического тока — ампер
Термодинамическая температура — кельвин
Сила света — кандела
Количество вещества — моль

Обозначения единиц измерения

Название	Обозначение: русское	Обозначение: международное	Название	Обозначение: русское	Обозначение: международное
Ампер	А	A	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	mm Hg
Ангстрем	Å	Å	Минута	мин	min
Атмосфера	атм	atm	Моль	моль	mol
Бар	бар	bar	Ньютон	Н	N
Ватт	Вт	W	Ом	Ом	Ω
Вольт	В	V	Паскаль	Па	Pa
Гаусс	Гс	Gs	Пуаз	П	P
Герц	Гц	Hz	Сантиметр	см	cm
Грамм	г	g	Секунда	с	s
Дебай	Д	D	Сименс	См	S
Джоуль	Дж	J	Тесла	Т	T
Дина	дн	dyn	Торр (мм рт. ст.)	тор	torr
Калория	кал	cal	Фарада	Ф	F
Кельвин	К	K	Час	ч	h
Килограмм	кг	kg	Электронвольт	эВ	eV
Кулон	Кл	C	Эрг	эрг	erg
Литр	л	l			
Метр	м	m			
Микрон	мк	μ			

Десятичные приставки к названиям единиц

Приставки	Обозначение: русское	Обозначение: международное	Множитель	Приставки	Обозначение: русское	Обозначение: международное	Множитель
Тера	Т	T	10^{12}	санти	с	c	10^{-2}
Гига	Г	G	10^{9}	милли	м	m	10^{-3}
Мега	М	M	10^{6}	микро	мк	μ	10^{-6}
кило	к	k	10^{3}	нано	н	n	10^{-9}
гекто	г	h	10^{2}	пико	п	p	10^{-12}
дека	да	da	10	фемто	ф	f	10^{-15}
деци	д	d	10^{-1}	атто	а	a	10^{-18}

2. Основные физические постоянные

Постоянная	Обозначение	Значение	Погрешность последних знаков	Единицы измерения: СИ	Единицы измерения: СГС
Скорость света в вакууме	c	2,99792458	1	$\times 10^8$ м/с	$\times 10^{10}$ см/с
Диэлектрическая проницаемость вакуума (электрическая постоянная)	ε_0	8,85418782	7	10^{-12} Ф/м	$\varepsilon = 1$
Магнитная проницаемость вакуума (магнитная постоянная)	μ_0	1,2566	1	10^{-} Гс/м	$\mu = 1$
Элементарный заряд	e	1,6021892	46	10^{-19} Кл	10^{-20} см$^{1/2}\cdot$г$^{1/2}$ *
Масса покоя электрона	e	4,80298	20	—	10^{-10} (см$^{3/2}\cdot$г$^{1/2}$)/с **
» » протона	m_e	9,109534	47	10^{-31} кг	10^{-28} г
» » нейтрона	m_p	1,6726485	86	10^{-27} кг	10^{-24} г
Постоянная Фарадея	m_n	1,6749543	86	10^{-27} кг	10^{-24} г
» Больцмана	F	9,648456	27	10^4 Кл/моль	10^3 см$^{1/2}\cdot$г$^{1/2}$ 3*
» Планка	k	1,380662	44	10^{-23} Дж/К	10^{-16} эрг/К
» »	h	6,626176	36	10^{-34} Дж·с	10^{-27} эрг·с
» Ридберга	$\hbar$	1,054589	36	10^{-34} Дж·с	10^{-27} эрг·с
» газовая	R_∞	1,097373177	83	10^7 м$^{-1}$	10^5 см$^{-1}$
Радиус Бора (первый)	R	8,31441	26	Дж/(К·моль)	10^7 эрг/(град·моль
Магнетон Бора	a_0	5,2917706	44	10^{-11} м	10^{-9} см
Ядерный магнетон	μ_B	9,274078	36	10^{-24} Дж/Т	10^{-21} эрг/Гс
Магнитный момент электрона	μ_N	5,050824	20	10^{-27} Дж/Т	10^{-24} эрг/Гс
» » протона	μ_e	9,284832	36	10^{-24} Дж/Т	10^{-21} эрг/Гс
Число Авогадро	μ_p	1,410617	55	10^{-26} Дж/Т	10^{-23} эрг/Гс
	N_A	6,022045	31	10^{23} моль$^{-1}$	10^{23} моль$^{-1}$

* В единицах СГСМ.
** В единицах СГСЭ.
*** 1 моль одноэзарядных частиц.

3. Атомная единица массы и переход от массы к энергии

Атомная масса изотопа ^{12}C равна 12 (точно).

Атомная единица массы (а. е. м.) равна $^1/_{12}$ атомной массы ^{12}C, т. е. $1{,}66057\cdot10^{-27}$ кг.

Коэффициенты перехода от массы к энергии:

1 а. е. м. соответствует $1{,}49244\cdot10^{-10}$ Дж (=931,502 МэВ)

1 кг соответствует $8{,}98755\cdot10^{16}$ Дж (=$5{,}60954\cdot10^{29}$ МэВ)

4. Соотношения между единицами измерения и значения часто встречающихся величин

1 эрг = 10^{-7} Дж

1 термохим. кал (кал$_{тх}$) = 4,18400 Дж

1 мм рт. ст. = 133,3 Па

1 атм = $1{,}01325\cdot10^5$ Па (Н/м^2)

1 Д = $3{,}33564\cdot10^{-30}$ Кл·м

1 м$^{-1}$ соответствует 0,11972 кДж/моль

1 эВ соответствует 96,485 кДж/моль

Газовая постоянная R = 8,31441 Дж/(К·моль) = 1,98717 кал/(К·моль) = $8{,}2057\cdot10^{-2}$ л·атм/(К·моль)

$2{,}303R$ = 19,148 Дж/(К·моль)

$hc/k = 1{,}43878\cdot10^{-2}$ м·К

$k/h = 2{,}083\cdot10^{10}$ с$^{-1}\cdot$К$^{-1}$ (на 1 молекулу)

lg (k/h) = 10,3187

$ek/h = 5{,}662\cdot10^{10}$ с$^{-1}\cdot$К$^{-1}$ (на 1 молекулу)

lg (ek/h) = 10,753

Величина	T, К			
	273	298	323	373
RT, Дж/моль	2269,7	2477,6	2685,4	3101,1
$(kT/h)\cdot10^{-12}$, с$^{-1}$	5,687	6,207	6,728	7,770
lg (kT/h)	12,755	12,793	12,828	12,887
$(ekT/h)\cdot10^{-13}$, с$^{-1}$	1,546	1,687	1,829	2,112
lg (ekT/h)	13,189	13,227	13,262	13,325

5. Способы выражения концентраций и соотношения между ними

Молярность (c) — число молей растворенного вещества в 1 л раствора.

Моляльность (m) — число молей растворенного вещества на 1000 г растворителя.

Мольная доля (X) — число молей растворенного вещества в 1 моле раствора.

Массовое содержание (p) — число граммов растворенного вещества в 100 г раствора.

$$c = \frac{1000\rho m}{1000 + mM}; \quad c = \frac{p/M}{100}\,1000\rho = \frac{10p\rho}{M}$$

$$m = \frac{1000c}{1000\rho - cM}; \quad m = \frac{1000p}{M\,(100 - p)}$$

$$X = \frac{p}{p + (100 - p)\dfrac{M}{M_0}}; \quad X = \frac{mM_0}{mM_0 + 1000}$$

где M_0 и M — мольная масса растворителя и растворенного вещества; ρ — плотность раствора, г/см^3.

6. Свойства органических растворителей

Температуры плавления и кипения даны при нормальном атмосферном давлении. Растворимость: н. р. — не растворяются, т. р. — трудно растворяются (менее 10—15 г в 100 г воды), л. р. — растворяются (более 25 г в 100 г воды). Плотность ρ дана в г/см³ при 20 °С или t, °С. Показатель преломления n_D^{20} (для D-линии натрия $\lambda = 589$ нм) приведен при 20 °С. Относительная диэлектрическая проницаемость ε дана при t, °С. Дипольный момент μ выражен в Кл·м (1 Кл·м = $3 \cdot 10^{29}$ Д). Динамическая вязкость η приведена в Па·с при 20 °С или t, °С. Удельная электрическая проводимость $\varkappa$ указана в См/м при t, °С. Поверхностное натяжение σ выражено в Н/м при 20 °С или t, °С. Донорное число $DN_{SbCl_5} = -\Delta H_{D \cdot SbCl_5}$, где D — растворитель, являющийся донором электронов и образующий с $SbCl_5$ комплекс состава 1 : 1. Сведения о растворителях содержатся также в табл. 7, 10, 14, 54.

Растворитель	Мол. масса	$t_{плавл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость в воде	ρ^{20}, г/см³	n_D^{20}	ε	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	$\eta^{20} \cdot 10^{3}$, Па·с	$\varkappa$, См/м	$\sigma^{20} \cdot 10^{3}$, Н/м	DN_{SbCl_5}
Бензонитрил C_7H_5N	103,13	—13	190,7	н. р.	1,0051	1,5289	25,2 (25°)	13,14	1,24 (25°)	$5 \cdot 10^{-6}$ (20°)	39,05	11,9
Гексаметилфосфортриамид $C_6H_{18}ON_3P$	179,20	—	66	н. р.	1,02	1,4579	30,0 (20°)	5,54	3,5	—	—	38,8
Диметилацетамид C_4H_9ON	87,12	—20,0	165,0	∞	0,9366 (25°)	1,4384	38,9 (20°)	12,64	0,919 (25°)	—	—	27,8
Диметиловый эфир этиленгликоля (целлозольв, глим) $C_4H_{10}O_2$	90,12	—58	83	∞	0,863	1,3796	—	—	1,1	—	—	—
Диметилсульфоксид C_2H_6OS	78,13	18,4	189 (разл.)	∞	1,1014 (25°)	1,4770	45,0 (25°)	13,21	2,473	—	42,98 (25°)	29,8
Диметилформамид C_3H_7ON	73,09	—61,0	153,0	∞	0,9445 (25°)	1,4303	36,7 (25°)	12,74	0,796 (25°)	—	—	26,6
1,3-Диоксан $C_4H_8O_2$	88,10	—42	107	∞	1,034	1,4165	—	7,10	—	—	—	—
1,1-Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$	98,97	—96,98	57,28	н. р.	1,1757	1,4164	10,5 (25°)	6,87	0,505 (25°)	$<1,7 \cdot 10^{-6}$ (25°)	24,19 (25°)	—
1,2-Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$	98,97	—35,87	83,47	н. р.	1,257	1,4448	10,4 (25°)	5,84	0,80	—	32,23	0
Монометиловый эфир диэтиленгликоля $C_5H_{12}O_3$	120,15	—	193	∞	1,027	1,4264	—	—	—	—	—	—
Пропиленкарбонат $C_4H_6O_3$	102,09	—70	240	т. р.	1,204	1,4189	65,1 (25°)	16,6	2,53	—	—	15,1
Пропионитрил C_3H_5N	55,08	—91,9	97,4	т. р.	0,782	1,3655	27,0 (20°)	11,34	0,454 (15°)	—	—	16,1
Тетрагидрофуран C_4H_8O	72,10	—65	65,7	∞	0,8892	1,4050	7,6 (25°)	5,44	—	—	—	20,0
Тетраметиленсульфон (сульфолан) $C_4H_8O_2S$	120,16	28,9	283	л. р.	1,262 (30°)	—	44 (30°)	15,7	9,87 (30°)	—	—	14,8
Трибутилфосфат $C_{12}H_{27}O_4P$	266,33	—80	289	т. р.	0,9727 (25°)	1,4220	6,8 (25°)	—	3,89	—	27,2 (25°)	23,7
Фуран C_4H_4O	68,07	—85,65	32	н. р.	0,9366	1,4214	2,95 (20°)	2,20	—	—	—	—
Этилендиамин $C_2H_8N_2$	60,10	8,5	116,5	∞	0,8977	1,4568	14,2 (20°)	6,64	1,54 (25°)	—	—	—

7. Показатели преломления жидкостей при 20 °С

Спектральная линия D натрия $\lambda = 589$ нм; $\frac{dn}{dt}$ — температурный коэффициент показателя преломления, справедливый в интервале 20 ± 10 °С.

Вещество	n_D^{20}	$-\frac{dn_D}{dt}\cdot 10^4$	Вещество	n_D^{20}	$-\frac{dn_D}{dt}\cdot 10^4$
Аллиловый спирт C_3H_7O	1,4125 *	4,1	Нитрометан CH_3O_2N	1,3819	4,2
Анилин C_6H_7N	1,5861	5,2	Октан C_8H_{18}	1,3977 *	4,8
Ацетон C_3H_6O	1,3591	4,9	Пентан C_5H_{12}	1,3577 *	5,78
Ацетонитрил C_2H_3N	1,3442	4,6	Пиридин C_5H_5N	1,5095	5,5
Ацетофенон C_8H_8O	1,5340	4,6	1-Пропанол C_3H_8O	1,3854	3,8
Бензиловый спирт C_7H_8O	1,5405	4,0	2-Пропанол C_3H_8O	1,3776	3,9
Бензол C_6H_6	1,5011	6,35	Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	1,3869 *	3,8
Бромбензол C_6H_5Br	1,5601	4,9	Сероуглерод CS_2	1,6277	7,8
1-Бутанол $C_4H_{10}O$	1,3993	3,9	Тетрахлорметан CCl_4	1,4603	5,5
2-Бутанол $C_4H_{10}O$	1,3958	3,9	Тиофен C_4H_4S	1,5289	6,33
Вода H_2O	1,3330	0,8	Толуол C_7H_8	1,4969	5,67
Гексан C_6H_{14}	1,3751	5,4	Трихлорметан (хлороформ)	1,4456	5,9
Гептан C_7H_{16}	1,3876	5,06	Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	1,3718	3,9
Глицерин $C_3H_8O_3$	1,4744	2,2	Уксусный альдегид C_2H_4O	1,3311	5,6
1,4-Диоксан $C_4H_8O_2$	1,4224	4,3	Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	1,3902 *	4,0
Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	1,3526	5,6	Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	1,6105	2,4
м-Ксилол C_8H_{10}	1,4972	5,24	Фенилэтилен (стирол) C_8H_8	1,5468	—
о-Ксилол C_8H_{10}	1,5054	5,13	Фенол C_6H_6O	1,54 (45 °С)	—
п-Ксилол C_8H_{10}	1,4958	5,28			
Метанол CH_4O	1,3288	3,9	Формамид CH_3ON	1,4472	—
Метилацетат $C_3H_6O_2$	1,3593	—	Фтортрихлорметан (фреон-11) $CFCl_3$	1,5246 (18 °С)	—
Метилформиат $C_2H_4O_2$	1,3420	4,3			
Муравьиная кислота CH_2O_2	1,3714	3,8	Хлорбензол C_6H_5Cl	1,5248	5,4
Нитробензол $C_6H_5O_2N$	1,5524	4,6	Циклогексан C_6H_{12}	1,4263 *	5,44
			Этиленгликоль $C_2H_6O_2$	1,4318	2,6
			Этанол C_2H_6O	1,3611	4,0
			Этилацетат $C_4H_8O_2$	1,3726	4,9
			Этилформиат $C_3H_6O_2$	1,3603 *	4,4

* Линия D гелия.

8. Показатели преломления водных растворов при 20 °С

Растворенное вещество	n_D^{20} при массовом содержании растворенного вещества, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Метанол CH_4O	1,3353	1,3381	1,3404	1,3419	1,3424	1,3417	1,3401	1,3374	1,3335	1,3286
Этанол C_2H_6O	1,3396	1,3470	1,3535	1,3580	1,3612	1,3633	1,3646	1,3649	1,3642	1,3613
1-Пропанол C_3H_8O	1,3422	1,3515	1,3579	1,3639	1,3691	1,3740	1,3780	1,3814	1,4842	1,3854
2-Пропанол C_3H_8O	1,3421	1,3512	1,3588	1,3640	1,3684	1,3719	1,3746	1,3766	1,3777	1,3773
Этиленгликоль $C_2H_6O_2$	1,3424	1,3524	1,3625	1,3728	1,3831	1,3934	1,4034	1,4132	1,4226	1,4318
Глицерин $C_3H_8O_3$	1,3448	1,3575	1,3707	1,3841	1,3981	1,4130	1,4279	1,4429	1,4584	1,4744
Ацетон C_3H_6O	1,3403	1,3477	1,3537	1,3584	1,3624	1,3644	1,3654	1,3648	1,3625	1,3591
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	1,3402	1,3473	1,3540	1,3599	1,3655	1,3702	1,3740	1,3769	1,3772	1,3717
Сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$	1,3478	1,3638	1,3811	1,4016	1,4200	1,4418	1,4651	1,4901	—	—

9. Плотность воды в интервале —10 ÷ 100 °С

t, °С	$\rho\cdot 10^{-3}$, кг/м³	t, °С	$\rho\cdot 10^{-3}$, кг/м³	t, °С	$\rho\cdot 10^{-3}$, кг/м³	t, °С	$\rho\cdot 10^{-3}$, кг/м³	t, °С	$\rho\cdot 10^{-3}$, кг/м³
—10	0,99815	17	0,99880	24	0,99732	35	0,99406	70	0,97781
—5	0,99930	18	0,99862	25	0,99707	40	0,99224	75	0,97489
0	0,99987	19	0,99843	26	0,99681	45	0,99025	80	0,97183
4	0,00000	20	0,99823	27	0,99654	50	0,98807	85	0,96865
5	0,99999	21	0,99802	28	0,99626	55	0,98573	90	0,96534
10	0,99973	22	0,99780	29	0,99597	60	0,98324	95	0,96192
15	0,99913	23	0,99756	30	0,99567	65	0,98059	100	0,95838
16	0,99897								

10. Плотность жидкостей в интервале 0—60 °C

Вещество	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³, при температуре, °C						
	0	10	20	30	40	50	60
Аллиловый спирт C_3H_7O	0,8681	—	0,8508	0,8421	—	—	—
Анилин C_6H_7N	1.0390	1,0303	1,0218	1,0131	1,0045	0,9958	0,9872
Ацетон C_3H_6O	0,8125	0,8014	0,7905	0,7793	0,7682	0,7560	0,7496
Ацетонитрил C_2H_3N	0,8035	0,7926	0,7822	0,7713	—	—	—
Ацетофенон C_8H_8O	—	1,0364	1,0278	1,0194	1,0106	1,0021	0,9757
Бензиловый спирт C_7H_8O	1,0608	1,0532	1,0454	1,0376	1,0297	1,0219	—
Бензол C_6H_6	0,9001	0,8895	0,8790	0,8685	0,8576	0,8466	0,8357
Бромбензол C_6H_5Br	1,5218	1,5083	1,4948	1,4815	1,4682	1,4546	1,4411
1-Бутанол $C_4H_{10}O$	0,8246	0,8171	0,8086	0,8020	—	—	—
2-Бутанол $C_4H_{10}O$	—	—	0,8027	—	—	—	—
Вода H_2O	0,9999	0,9997	0,9982	0,9956	0,9922	0,9880	0,9832
Гексан C_6H_{14}	0,6769	0,6684	0,6595	0,6505	0,6412	0,6318	0,6221
Гептан C_7H_{16}	0,7005	0,6920	0,6836	0,6751	0,6665	0,6579	0,6491
Глицерин $C_3H_8O_3$	1,2674	1,2642	1,2594	1,2547	1,2500	1,2438	1,2376
1,4-Диоксан $C_4H_8O_2$	—	—	1,0338	—	—	—	—
Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	0,7362	0,7248	0,7135	0,7019	0,6894	0,6764	0,6658
о-Ксилол C_8H_{10}	0,8969	0,8886	0,8802	0,8719	0,8634	0,8549	0,8464
м-Ксилол C_8H_{10}	0,8811	0,8726	0,8642	0,8556	0,8470	0,8384	0 8297
п-Ксилол C_8H_{10}	—	—	0,8610	0,8525	0,8437	0,8350	0,8262
Метанол CH_4O	0,8100	0,8008	0,7915	0,7825	0,7740	0,7650	0,7555
Метилацетат $C_3H_6O_2$	0,9593	(0,946)	0,9338	(0,920)	0,9075	0,8939	0,8800
Метилформиат $C_2H_4O_2$	1,0032	0,9886	0,9742	0,9598	(0,945)	0,9294	(0,913)
Муравьиная кислота CH_2O_2	—	—	1,2196	—	—	—	—
Нитробензол $C_6H_5O_2N$	1,2231	1,2131	1,2033	1,1936	1,1837	1,1740	1,1638
Нитрометан CH_3O_2N	—	—	1,1382	—	—	—	—
Октан C_8H_{18}	0,7185	0,7102	0,7022	0,6942	0,6860	0,6778	0,6694
Пентан C_5H_{12}	0,6455	0,6360	0,6262	0,6163	0,6062	0,5957	0,5850
Пиридин C_5H_5N	1,0030	0,9935	0,9820	0,9729	0,9629	0,9526	0 9424
1-Пропанол C_3H_8O	0,8193	(0,811)	0,8040	(0,797)	0,7875	(0,780)	0,7700
2-Пропанол C_3H_8O	—	—	0,7851	—	—	—	—
Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	—	—	0,992	—	—	—	—
Сероуглерод CS_2	1,2927	1,2778	1,2632	1,2482	—	—	—
Тетрахлорметан CCl_4	1,6326	1,6135	1,5940	1,5748	1,5557	1,5361	1,5165
Тиофен C_4H_4S	—	—	1,0647	1,0524	—	—	—
Толуол C_7H_8	0,8855	0,8782	0,8670	0,8580	0,8483	0,8388	0,8293
Трихлорметан (хлороформ) $CHCl_3$	1,5264	1,5077	1,4890	1,4706	1,4509	1,4334	1,4114
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	1,0697	1,0593	1,0491	1,0390	1,0282	1,0175	1,0060
Уксусный альдегид C_2H_4O	—	—	0,783	—	—	—	—
Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	1,1053	1,0930	1,0810	1,0690	1,0567	1,0443	—
Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	—	—	1,0981	1,0899	1,0817	1,0737	1,0653
Фенилэтилен (стирол) C_8H_8	—	—	0,9060	—	—	—	—
Фенол C_6H_6O	—	—	—	—	1,0570 *	—	—
Формамид CH_3ON	—	—	1,1334	—	—	—	—
Фтортрихлорметан (фреон-11) $CFCl_3$	1,5342	—	1,4870	1,462	—	—	—
Хлорбензол C_6H_5Cl	1,1279	1,1171	1,1062	1,0954	1,084	1,0742	1,0636
Циклогексан C_6H_{12}	—	0,7879	0 7786	0,7691	0,7596	0,7499	0,7401
Этиленгликоль $C_2H_6O_2$	—	—	1,1130	—	—	—	—
Этанол C_2H_6O	0,8062	0,7979	0,7893	0,7810	0,7722	0,7632	0,7541
Этилацетат $C_4H_8O_2$	0,9244	(0,912)	0,9005	(0,891)	0,8762	(0,867)	0,8508
Этилформиат $C_3H_6O_2$	—	—	0,9168	—	—	—	—

* При 41 °C.

11. Плотность растворов солей в воде

Массовое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³								
	$AgNO_3$ (20 °C)	$AlCl_3$ (18 °C)	$BaCl_2$ (20 °C)	$CaCl_2$ (20 °C)	$CdSO_4$ (18 °C)	$CuSO_4$ (20 °C)	$FeSO_4$ (18 °C)	KCl (20 °C)	KNO_3 (20 °C)
1	1,0070	1,0075	—	1,0070	—	1,009	1,0085	1,0045	1,0046
2	1,0154	1,0164	1,0159	1,0148	1,0182	1,019	1,0092	1,0108	1,0108
4	1,0327	1,0344	1,0341	1,0316	1,0383	1,040	1,0375	1,0239	1,0234
6	1,0506	1,0526	1,0528	1,0486	1,0590	1,062	1,0575	1,0369	1,0363
8	1,0690	1,0711	1,0721	1,0659	1,0803	1,084	1,0785	1,0500	1,0494
10	1,0882	1,0900	1,0921	1,0835	1,1023	1,107	1,1000	1,0633	1,0627
12	1,1080	1,1093	1,1128	1,1015	1,1250	1,131	1,1220	1,0768	1,0762
14	1,1284	1,1290	1,1342	1,1198	1,1485	1,155	1,1445	1,0905	1,0899
16	1,1495	1,1491	1,1564	1,1384	1,1729	1,180	1,1675	1,1043	1,1030
18	1,1715	—	1,1793	1,1578	1,1982	1,206	1,1905	1,1185	1,1181
20	1,1942	—	1,2031	1,1775	1,2242	—	1,2135	1,1323	1,1326
22	—	—	1,2277	—	—	—	—	1,1474	1,1473
24	—	—	1,2531	—	—	—	—	1,1623	1,1623
26	—	—	1,2793	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	1,2603	—	—	—	—	—
30	1,3205	—	—	1,2816	1,3714	—	—	—	—
35	1,3931	—	—	1,3373	1,4551	—	—	—	—
40	1,4743	—	—	1,3957	1,5470	—	—	—	—

Массовое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³									
	K_2CO_3 (20 °C)	LiCl (20 °C)	NH_4Cl (20 °C)	NH_4NO_3 (20 °C)	NaCl (20 °C)	$NaCH_3COO$ (18 °C)	$NaNO_3$ (20 °C)	$NiSO_4$ (18 °C)	$ZnSO_4$ (20 °C)	$UO_2(NO_3)_2$ (25 °C)
1	1,0072	1,0041	1,0013	1,0023	1,0053	1,0033	1,0049	1,009	—	1,003
2	1,0163	1,0099	1,0045	1,0064	1,0125	1,0084	1,0117	1,020	1,0190	1,010
4	1,0345	1,0215	1,0107	1,0147	1,0268	1,0186	1,0254	1,042	1,0403	1,024
6	1,0529	1,0330	1,0168	1,0230	1,0413	1,0289	1,0392	1,063	1,0620	1,039
8	1,0715	1,0444	1,0227	1,0313	1,0559	1,0392	1,0532	1,085	1,0842	1,055
10	1,0904	1,0559	1,0286	1,0397	1,0707	1,0495	1,0674	1,109	1,1071	1,072
12	1,1096	1,0675	1,0344	1,0482	1,0857	1,0598	1,0819	1,133	1,1308	1,091
14	1,1291	1,0792	1,0401	1,0567	1,1009	1,0702	1,0967	1,158	1,1553	1,111
16	1,1490	1,0910	1,0457	1,0653	1,1162	1,0807	1,1118	1,183	1,1806	1,132
18	1,1692	1,1029	1,0512	1,0740	1,1319	1,0913	1,1272	1,209	—	1,154
20	1,1898	1,1150	1,0567	1,0828	1,1478	1,1021	1,1426	—	1,232	1,177
22	—	—	1,0621	—	1,1640	1,1130	—	—	—	1,201
24	1,2320	1,1399	—	1,1005	1,1804	1,1240	1,1752	—	—	1,226
26	—	—	1,0726	—	1,1972	1,1351	—	—	—	1,251
28	1,2756	1,1658	—	1,1186	—	1,1462	1,2085	—	—	1,277
30	—	—	—	—	—	—	1,2256	—	1,378	1,304
35	1,3548	—	—	1,1512	—	—	1,2701	—	—	(1,370)
40	1,4141	1,254	—	1,1754	—	—	1,3175	—	—	(1,450)

12. Плотность растворов неорганических кислот и оснований в воде при 20 °C

Массовое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³						
	HCl	HNO_3	H_2SO_4	H_3PO_4	KOH	NH_4OH	NaOH
1	1,003	1,004	1,005	1,0038	1,007	0,994	1,009
2	1,008	1,009	1,012	1,0092	1,016	0,989	1,020
4	1,018	1,010	1,025	1,0200	1,034	0,981	1,043
6	1,028	1,031	1,038	1,0309	1,053	0,973	1,065
8	1,038	1,043	1,052	1,0420	1,072	0,965	1,087
10	1,048	1,054	1,066	1,0532	1,090	0,957	1,109
12	1,057	1,066	1,080	1,0647	1,109	0,950	1,131
14	1,067	1,078	1,094	1,0764	1,128	0,943	1,153
16	1,078	1,090	1,109	1,0884	1,147	0,936	1,175
18	1,088	1,102	1,124	1,1008	1,166	0,929	1,197
20	1,098	1,115	1,139	1,1134	1,186	0,923	1,219
22	1,108	1,128	1,155	—	1,206	0,916	1,241
24	1,118	1,140	1,170	1,1395	1,226	0,910	1,263
26	1,129	1,154	1,186	—	1,246	0,904	1,285
28	1,139	1,167	1,202	1,1665	1,267	0,898	1,307
30	1,149	1,180	1,218	1,1805	1,288	0,892	1,328
35	1,174	1,214	1,260	1,2160	1,341	0,879	1,320
40	1,198	1,247	1,303	1,2540	1,396	—	1,430

13. Плотность растворов органических соединений в воде при 20 °C

Массовое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³						
	CH_2O_2 (муравьиная кислота)	CH_4O (метанол)	$C_2H_4O_2$ (уксусная кислота)	C_2H_6O (этанол)	$C_3H_8O_3$ (глицерин)	$C_6H_{12}O_6$ (глюкоза)	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (сахароза)
1	1,0020	0,9965	0,9997	0,99636	1,0006	—	1,0021
2	1,0045	0,9948	1,0012	0,99453	1,0030	1,0058	1,0060
4	1,0094	0,9914	1,0041	0,99103	1,0077	1,0138	1,0139
6	1,0142	0,9880	1,0069	0,98780	1,0125	1,0216	1,0219
8	1,0197	0,9847	1,0098	0,98478	1,0173	1,0296	1,0299
10	1,0247	0,9815	1,0126	0,98187	1,0221	1,0377	1,0381
12	1,0297	0,9784	1,0154	0,97910	1,0271	1,0460	1,0465
14	1,0346	0,9754	1,0181	0,97643	1,0320	1,0542	1,0549
16	1,0394	0,9725	1,0208	0,97387	1,0370	1,0626	1,0635
18	1,0442	0,9696	1,0235	0,97129	1,0420	1,0712	1,0721
20	—	0,9666	1,0261	0,96864	1,0470	1,0798	1,0810
22	1,0538	0,9636	1,0287	0,96592	1,0520	1,0886	1,0899
24	—	0,9607	1,0312	0 96312	1,0571	1,0974	1,0990
26	1,0634	0,9576	1,0336	0,96020	1,0622	1,1064	1,1082
28	—	0,9546	1,0360	0,95710	1,0674	1,1153	1,1175
30	1,0730	0,9515	1,0383	0,95382	1,0727	1,1247	1,1270
35	—	0,9433	1,0436	0,94494	1,0860	—	1,1513
40	—	0,9345	1,0488	0,93518	1,0995	—	1,1764

14. Поверхностное натяжение жидкостей в интервале 0—60 °С

Вещество	$\sigma \cdot 10^3$, Н/м, при температуре, °С							
	0	10	20	25	30	40	50	60
Аллиловый спирт C_3H_7O	—	—	25,68	—	24,92	—	—	—
Анилин C_6H_7N	45,42	44,38	43,30	—	42,24	41,20	40,10	39,40
Ацетон C_3H_6O	26,21	25,00	23,70	—	22,01	21,16	19,90	18,61
Ацетонитрил C_2H_3N	—	—	29,10	—	27,80	—	—	—
Ацетофенон C_8H_8O	—	39,50	38,21	—	—	—	—	—
Бензиловый спирт C_7H_8O	—	—	42,76	—	38,94	—	—	—
Бензол C_6H_6	—	30,24	28,88	28,18	27,49	26,14	24,88	23,66
Бромбензол C_6H_5Br	—	36,34	35,09	—	—	—	—	—
1-Бутанол $C_4H_{10}O$	26,2	25,4	24,6	—	23,8	23,0	22,1	21,4
2-Бутанол $C_4H_{10}O$	—	—	22,7 (18 °С)	—	—	—	—	—
Вода H_2O	75,62	74,22	72,75	71,96	71,15	69,55	67,91	66,17
Гексан C_6H_{14}	20,56	19,51	18,42	—	17,40	16,31	15,26	14,23
Гептан C_7H_{16}	—	—	20,86	—	19,54	18,47	17,42	16,39
Глицерин $C_3H_8O_3$	—	—	59,4	—	59,0	58,5	58,0	57,4
1,4-Диоксан $C_4H_8O_2$	—	—	—	—	—	—	—	—
Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	19,4	18,2	17,0	—	15,8	14,6	13,5	12,4
о-Ксилол C_8H_{10}	32,28	31,16	30,03	29,48	28,93	27,84	26,76	25,70
м-Ксилол C_8H_{10}	30,92	29,78	28,63	28,08	27,54	26,44	25,36	24,26
п-Ксилол C_8H_{10}	—	—	28,31	27,76	27,22	26,13	25,06	24,02
Метанол CH_4O	24,5	23,5	22,61	—	21,8	20,9	20,1	19,3
Метилацетат $C_3H_6O_2$	—	—	23,84	—	22,38	—	—	—
Метилформиат $C_2H_4O_2$	—	—	24,64	—	23,09	—	20,05	—
Муравьиная кислота CH_2O_2	—	38,13 (15 °С)	37,58	—	36,48	—	—	—
Нитробензол $C_6H_5O_2N$	46,4	45,2	43,9	—	42,7	41,5	40,2	39,0
Нитрометан CH_3O_2N	38,1	37,74 (15 °С)	36,98	—	35,51	—	—	—
Октан C_8H_{18}	23,70	22,73	21,76	—	20,79	19,78	18,79	17,82
Пентан C_5H_{12}	18,2	17,1	16,00	15,48	14,95	13,8	—	—
Пиридин C_5H_5N	—	—	38,0	—	—	35,0	—	—
1-Пропанол C_3H_8O	—	—	—	22,9	—	—	—	—
2-Пропанол C_3H_8O	—		21,7 (18 °С)	—	—	—	—	—
Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	—	27,21 (15 °С)	26,70	—	25,71	—	—	—
Сероуглерод CS_2	35,45	33,90	32,25	—	3[illegible]	—	27,8	—
Тетрахлорметан CCl_4	29,38	28,05	25,68	—	2[illegible]	24,41	23,22	22,38
Тиофен C_4H_4S	—	—	33,1	—		30,1	—	—
Толуол C_7H_8	30,92	29,70	28,53	27,92	2[illegible]	26,15	25,04	23,94
Трихлорметан (хлороформ) $CHCl_3$	—	28,50	27,14	—	2[illegible]	—	—	21,73
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	—	28,8	27,8	—	2[illegible]	25,8	24,8	23,8
Уксусный альдегид C_2H_4O	—	—	21,2	—	—	—	—	—
Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	—	33,37 (15 °С)	32,65	—	3[illegible]	30,05	29,00	—
Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	—	—	45,55	—	4[illegible]	—	—	40,40
Фенилэтилен (стирол) C_8H_8	—	—	32,0	—		—	—	—
Фенол C_6H_6O	—	—	40,9 *	—		—	37,66	36,57
Хлорбензол C_6H_5Cl	36,0	34,8	33,5	—	3[illegible]	31,1	29,9	28,7
Циклогексан C_6H_{12}	—	26,15	24,95	24,35	23,75	22,45	21,35	—
Этиленгликоль $C_2H_6O_2$	—	—	46,1	—	—	—	—	—
Этанол C_2H_6O	24,05	23,14	22,03	—	21,48	20,20	19,80	18,43
Этилацетат $C_4H_8O_2$	26,5	24,36 (15 °С)	23,75	—	22,25	—	20,2	—
Этилформиат $C_3H_6O_2$	—	—	23,84	—	22,38	—	—	—

* Переохлажденная жидкость.

15. Дипольные моменты функциональных групп молекул

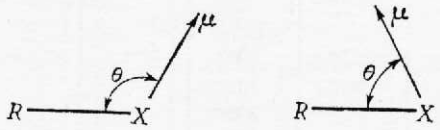
Дипольным моментом обладают молекулы, принадлежащие к группам симметрии C_n, C_{nv}, C_i, C_s (см. табл. 103). В случае принадлежности молекул к группам C_n и C_{nv} дипольный момент направлен вдоль оси вращения.

Единица измерения дипольного момента 1 Кл·м = $3 \cdot 10^{29}$ Д.

Дипольные моменты молекул можно рассматривать как векторную сумму индивидуальных дипольных моментов их связей и функциональных групп. При наличии у молекулы только двух моментов связей (групп) $\mu = \left(\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos\theta\right)^{1/2}$. В тех случаях, когда два заместителя лежат в плоскости бензольного кольца, дипольные моменты орто-, мета- и пара-соединений (μ_o, $\mu_м$ и μ_n) можно приближенно определить из моментов групп (μ_1 и μ_2) с помощью выражений:

$$\mu_o^2 = \mu_1^2 + \mu_1\mu_2 + \mu_2^2;\ \mu_м^2 = \mu_1^2 - \mu_1\mu_2 + \mu_2^2;\ \mu_n = \mu_1 - \mu_2 \text{ и } \mu_o = \sqrt{3}\mu_м$$

В таблице даны значения $\mu \cdot 10^{30}$ (в Кл·м) функциональных групп. Здесь θ — угол между направлением результирующего момента группы и направлением связи этой группы с атомом углерода; г — газ, р — раствор в бензоле.



Группа X	C_6H_5-X			CH_3-X			C_2H_5-X		
	г	р	θ°	г	р	θ°	г	р	θ°
CH_3	1,234	1,234	0	0	0	—	0	0	—
CF_3	9,541	8,473	180	7,840	7,740	180	—	—	—
CCl_3	—	6 805	180	5,905	5,238	180	—	—	—
CN	14,645	13,511	180	—	11,342	—	13.344	11,910	180
CNS	—	11,976	127	—	—	—	—	—	—
CHO	—	9,875	146	9,074	8,307	125	9,107	8,340	—
COOH	—	5,471	106	5,771	5,438	106	5,771	5,604	106
$COCH_3$	10,003	9,875	132	9,674	9,174	120	9,274	—	—
$COOCH_3$	—	6,105	110	5,571	5,838	130	5,871	6,338	130
$COOC_2H_5$	—	6,338	118	—	6,005	89	—	—	—
OH	4,670	5,338	90	5,671	5,671	118	5,638	5,671	118
OCH_3	4,504	4,270	72	4,337	4,270	124	—	—	—
$OCOCH_3$	—	5,638	66	—	—	—	—	—	—
OCF_3	—	7,873	160	—	—	—	—	—	—
NH_2	4,937	5,104	48,5	4,270	4.870	91	4,003	4,604	100
$NHCH_3$	—	5,705	40	—	—	—	—	—	—
$N(CH_3)_2$	5,371	5,271	30	2,035	2,869	109	—	—	—
$NHCOCH_3$	—	12,310	100	—	—	—	—	—	—
NO	—	10,308	149	—	—	—	—	—	—
NO_2	13,978	13,377	180	11,675	10,342	180	12,276	11,009	180
F	5,371	4,904	180	6,172	5,971	180	6,405	—	180
Cl	5,871	5,304	180	6,205	6,238	180	6,839	6,005	180
Br	5,471	5,238	180	6,072	6,072	180	6,705	6,338	180
I	5,705	4,670	180	5,671	5,504	180	6,005	6,005	180
SH	—	4,070	135	4,203	5,171	—	—	—	—
SCH_3	—	4,470	77,5	5,004	4,670	57	—	—	—
SCF_3	—	8,340	156	—	—	—	—	—	—
SO_2CH_3	—	15,779	117	—	—	—	—	—	—
SO_2CF_3	—	14,412	167	—	—	—	—	—	—
$SOCF_3$	—	12,944	143	—	—	—	—	—	—
SeH	—	3,60	169	—	—	—	—	—	—
$SeCH_3$	—	4,370	110	—	4,404	—	—	—	—
$Si(CH_3)_3$	—	1,468	0	—	0	0	—	—	—

16. Дипольные моменты молекул газообразных веществ

Вещество	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	Вещество	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	Вещество	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м
CO	0,33	H_2O	6,10	CH_3Cl	6,57
HBr	2,67	H_2S	3,40	CH_2Cl_2	5,30
HCl	3,47	NO_2	0,97	$CHCl_3$	3,17
HF	6,40	SO_2	5,34	C_2H_5OH	5,67
HI	1,27	NH_3	4,94	$(C_2H_5)_2O$	3,30
NO	0,23	PH_3	1,83	$C_6H_5CH_3$	1,33

17. Дипольные моменты молекул жидких веществ

Вещество	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	Вещество	$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м
Аллиловый спирт C_3H_7O	5,34	Метилформиат $C_2H_4O_2$	6,00
Анилин C_6H_7N	5,00	Пиридин C_5H_5N	7,34
Ацетальдегид C_2H_4O	8,97	2-Пропанол C_3H_8O	5,54
Ацетон C_3H_6O	9,1—9,7	Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	5,84
Ацетофенон C_8H_8O	10,07	Тиофен C_4H_4S	1,83
Бензиловый спирт C_7H_8O	5,70	Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	9,41
Бензойная кислота $C_7H_6O_2$	5,8	Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	5,50
Бромбензол C_6H_5Br	5,67	Фенилэтилен (стирол) C_8H_8	1,87
Бутанол $C_4H_{10}O$	5,54	Фенол C_6H_6O	4,84
Глицерин $C_3H_8O_3$	0,93	Фтортрихлорметан (фреон-11) $CFCl_3$	1,70
м-Дихлорбензол $C_6H_4Cl_2$	4,94	Хлорбензол C_6H_5Cl	5,64
о-Дихлорбензол $C_6H_4Cl_2$	7,51	Этиламин C_2H_7N	4,34
м-Ксилол C_8H_{10}	1,20	Этилацетат $C_4H_8O_2$	5,94
о-Ксилол C_8H_{10}	1,73	Этилформиат $C_3H_6O_2$	6,44
п-Ксилол C_8H_{10}	0,20		
Метилацетат $C_3H_6O_2$	5,74		

18. Относительная диэлектрическая проницаемость систем вода — органическое вещество

ε_∞ — предельная низкочастотная диэлектрическая проницаемость; X_2 — мольная доля; φ_2 — объемная доля органического компонента; c_2 — молярность, моль/л раствора.

Вода—1,4-диоксан (25 °C)			Вода—метанол (20 °C)			Вода—этилендиамин (25 °C)		Вода—анилин (25 °C)	
X_2	ε	ε_∞	φ_2	ε	ε_∞	c_2	ε	c_2	ε
0,415	13,37	4,66	0,1	80,8	5,8	0,525	75,5	0,5	73,0
0,504	9,75	4,25	0,3	72,9	8,9	1,05	73,0	1,0	67,0
0,612	6,80	3,63	0,5	62,8	8,0	1,57	71,0	1,5	61,1
0,717	4,90	3,21	0,7	53,7	7,0	—	—	—	—
0,702	3,81	2,94	0,9	42,2	6,7	—	—	—	—
0,801	2,80	—	1,0	35,7	5,9	—	—	—	—

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ

19. Растворимость газов в воде

Растворимость выражена в виде коэффициента абсорбции α, равного приведенному к нормальным условиям (0°C и 101,325 кПа) объему газа ($м^3$), поглощенному 1 $м^3$ воды при парциальном давлении газа 101,325 кПа, или λ, имеющего то же значение, но при общем (не парциальном) давлении 101,325 кПа.

Газ	Способ выражения растворимости	Температура, °C								
		0	10	20	30	40	50	60
CH_4	α	0,0556	0,0418	0,0331	0,0276	0,0237	0,0213	0,0195
C_2H_2	α	1,73	1,31	1,03	0,84	—	—	—
C_2H_4	α	0,226	0,162	0,122	0,098	—	—	—
C_2H_6	α	0,0987	0,0656	0,0472	0,0362	0,0291	0,0246	0,0218
CO	α	0,0354	0,0282	0,0232	0,0200	0,0177	0,0161	0,0149
CO_2	α	1,713	1,194	0,878	0,665	0,530	0,436	0,359
Cl_2	λ	4,610	3,148	2,299	1,799	1,438	1,225	1,023
H_2	α	0,0215	0,0195	0,0182	0,0170	0,0164	0,0161	0,0160
HCl	λ	507	474	442	412	386	362	339
H_2S	α	4,670	3,399	2,582	2,037	1,660	1,392	1,190
N_2	α	0,0236	0,0190	0,0160	0,0140	0,0125	0,0113	0,0102
NH_3	λ	1300	910	710	595	—	—	—
NO	α	0,0738	0,0571	0,0471	0,0400	0,0351	0,0315	0,0295
O_2	α	0,0489	0,0380	0,0310	0,0261	0,0231	0,0209	0,0195
SO	λ	79,79	56,65	39,37	27,16	18,77	—	—

20. Парциальные давления компонентов растворов

X_2 — мольная доля в жидкой фазе компонента, указанного вторым; p_1 и p_2 выражены в мм рт. ст.

$X_2 \cdot 10^2$	Вода—метанол; 25 °С		Вода—ацетон; 25 °С		Вода—1,4-диоксан; 25 °С		Тетрахлорметан-трихлорметан; 25 °С		Этанол—бензол; 20 °С		Ацетон—диэтиловый эфир; 30 °С	
	p_1	p_2	p_1	p_2	p_1	p_2	p_1	p_2	p_1	p_2	p_1	p_2
0	23,7	0	23,7	0	23,7	0	114,0	0	44,7	0	282,8	0
5	23,0	9,0	22,3	67	23,0	8,5	—	—	43,0	15,0	—	—
10	22,0	18,0	21,3	110	22,5	14,3	102,5	22,0	41,0	27,5	257	112
15	21,5	26,0	20,5	129	22,0	18,5	—	—	39,5	37,5	—	—
20	20,5	34 0	20,0	141	21,5	21,5	91,5	43,5	37,5	45,0	235	200
25	19,5	42,5	20,0	150	21,0	23,7	—	—	36,2	50,0	—	—
30	18,5	48,0	19,7	157	20,5	25,3	81,5	63,5	35,0	54,0	212	270
35	17,5	55,0	19,4	164	20,0	26,7	—	—	34,0	57,5	—	—
40	15,5	61,0	19,0	169	19,5	27,7	71,0	83,0	33,5	60,5	190	330
45	14,5	66,5	18,5	174	19,0	28,5	—	—	32,8	63,0	—	—
50	13,5	73,5	18,0	178	18,5	29,2	60,0	102,5	32,0	64,5	167	387
55	12,5	76,5	17,5	182	18,0	29,7	—	—	31,5	66,0	—	—
60	11,0	81,0	16,5	186	17,3	30,5	49,5	121,0	30,5	67,3	145	438
65	10,0	85,5	15,5	189	16,7	31,0	—	—	29,5	68,5	—	—
70	9,0	91,5	14,5	194	16,0	31,7	37,5	139,5	28,5	69,5	120	487
75	8,0	96,5	13,0	198	15,2	32,4	—	—	27,0	70,5	—	—
80	6,5	102,5	11,2	203	14,2	33,1	25,5	158,0	25,7	71,2	90	535
85	4,5	108,0	9,0	207	12,5	33,8	—	—	24,0	72,0	—	—
90	4,0	114,0	6,5	213	10,4	34,7	13,5	177,5	21,7	72,5	52	585
95	3,0	120,0	3,5	221	7,0	35,7	—	—	17,5	73,2	—	—
100	0	126,6	0	229,3	0	36,9	0	196,8	0	74,3	0	646

21. Давление насыщенного пара воды, льда и переохлажденной воды при различной температуре

t, °C	P, Па	P, мм рт. ст.	t, °C	P, кПа	P, атм
		Вода			
0,0	610,8	4,581	100	101,32	1,00
5,0	871,8	6,539	110	143,26	1,41
10,0	1 227,1	9,204	120	198,54	1,96
15,0	1 704,1	12,782	130	270,12	2,67
20,0	2 336,8	17,527	140	361,36	3,57
25,0	3 166,3	23,75	150	475,97	4,70
30,0	4 241,7	31,82	160	618,04	6,10
35,0	5 621,7	42,17	170	792,02	7,82
40,0	7 374,9	55,32	180	1002,7	9,90
50,0	12 335	92,52	190	1 255,2	12,39
55,0	15 740	118,06	200	1 555,1	15,35
60,0	19 919	149,40	220	2 320,1	22,90
65,0	25 008	187,58	240	3 348,0	33,04
70,0	31 161	233,73	260	4 694,0	46,33
75,0	38 548	289,13	280	6 419,1	63,35
80,0	47 359	355,22	300	8 591,7	84,79
85,0	57 803	433,56	320	11 290	111,4
90,0	70 108	525,85	340	14 608	144,2
95,0	84 525	633,99	360	18 674	184,3
100,0	101 325	760,0	370	21 053	207,8
			374,12	22 115	218,3

t, °C	P			
	Па	мм рт. ст.	Па	мм рт. ст.
	Лед		Переохлажденная вода	
0	610	4,579	610	4,579
−1	562	4,216	568	4,256
−2	517	3,879	527	3,952
−3	475	3,566	489	3,669
−4	436	3,276	454	3,404
−5	401	3,008	421	3,158
−10	259	1,946	286	2,143
−20	103	0,772	—	—
−30	37,3	0,280	—	—
−40	12,3	0,093	—	—
−50	3,9	0,029	—	—
−60	0,93	0,007	—	—

22. Давление насыщенного пара ртути в интервале −40÷358 °C

t, °C	$P\cdot10^3$, Па	$P\cdot10^3$, мм рт. ст.	t, °C	P, кПа	P, мм рт. ст.
−40	0,239	0,179	80	0,0119	0,0887
−30	0,893	0,670	90	0,0231	0,158
−20	2,933	2,200	100	0,0383	0,271
−10	8,976	6,734	120	0,1005	0,738
0	25,31	18,98	140	0,2449	1,821
10	66,28	49,71	160	0,5522	4,126
20	162,66	122,0	180	1,159	8,678
30	373,46	280,1	200	2,283	17,12
40	815,71	611,8	250	9,882	74,12
50	1696,0	1272	300	32,87	246,55
60	3367,9	2526	350	89,64	672,3
70	6430,5	4823	358	103,60	777,0

23. Давление насыщенного пара металлов в интервале 400—2000 K

Металл	Давление, Па, при температуре, K					
	400	500	600	800	1000	1200
Li	—	$7,85\cdot10^{-7}$	$4,19\cdot10^{-4}$	0,9856	95,59	1 955
Na	$1,69\cdot10^{-4}$	$8,74\cdot10^{-2}$	4,524	880,7	17 730	—
K	$1,56\cdot10^{-2}$	2,74	82,5	5465	64 900	—
Mg	—	$4,23\cdot10^{-5}$	$1,48\cdot10^{-2}$	21,06	1 427	19 730
Ca	—	$3,04\cdot10^{-6}$	$3,32\cdot10^{-5}$	0,185	18,4	771,9
Zn	$1,46\cdot10^{-6}$	$3,48\cdot10^{-3}$	0,623	320	11 410	—
Cd	$2,48\cdot10^{-4}$	0,2013	16,53	2933	62 130	—
	800	1000	1200	1500	1800	2000
Ag	$1,31\cdot10^{-2}$	$7,48\cdot10^{-2}$	0,164	34,5	1140	6506
Si	—	$5,63\cdot10^{-8}$	$1,15\cdot10^{-4}$	0,227	27,73	249,3
Ge	—	$2,72\cdot10^{-8}$	$5,61\cdot10^{-5}$	$6,17\cdot10^{-2}$	6,39	63,2
Sn	—	$6,67\cdot10^{-6}$	$2,60\cdot10^{-3}$	0,952	48,66	345,3
Pb	$5,43\cdot10^{-3}$	1,48	59,6	2347	26 130	86 390
Mn	$4,79\cdot10^{-2}$	$2,04\cdot10^{-3}$	0,481	100,7	2 453	11 810
Fe	—	—	$1,48\cdot10^{-5}$	$3,61\cdot10^{-2}$	6,13	70,4
Ni	—	$1,25\cdot10^{-5}$	$1,01\cdot10^{-2}$	7,43	585,3	4 520

24. Температура возгонки или кипения некоторых веществ при давлении ниже атмосферного или равном ему

Вещество	Температура, °С, при давлении, кПа (мм рт. ст.)										$T_{плавл}$, °С	Вещество
	0,133 (1)	0,667 (5)	1,333 (10)	2,666 (20)	5,333 (40)	7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)		
Неорганические соединения												
$AlCl_3$	100,0 (кр.)	116,4 (кр.)	123,8 (кр.)	131,8 (кр.)	139,9 (кр.)	145,4 (кр.)	152,0 (кр.)	161,8 (кр.)	171,6 (кр.)	180,2 (кр.)	192,4	$AlCl_3$
$AsCl_3$	−11,4	11,4	23,5	36,0	50,0	58,7	70,9	89,2	109,7	130,4	−18	$AsCl_3$
BCl_3	−91,5	−75,2	−66,9	−57,9	−47,8	−41,2	−32,4	−18,9	−3,6	+12,7	−107	BCl_3
BeB_2H_8	1,0 (кр.)	19,8 (кр.)	28,1 (кр.)	36,8 (кр.)	46,2 (кр.)	51,7 (кр.)	58,6 (кр.)	69,0 (кр.)	79,7 (кр.)	90 (кр.)	123	BeB_2H_8
$BeCl_2$	291 (кр.)	328 (кр.)	346 (кр.)	365 (кр.)	384 (кр.)	395 (кр.)	411	435	461	487	405	$BeCl_2$
Br_2	−48,7 (кр.)	−32,8 (кр.)	−25,0 (кр.)	−16,8 (кр.)	−8,0 (кр.)	−0,6	+9,3	24,3	41,0	58,2	−7,3	Br_2
Cl_2	−118,0 (кр.)	−106,7 (кр.)	−101,6 (кр.)	−93,3	−84,5	−79,0	−71,7	−60,2	−47,3	−33,8	−100,7	Cl_2
$HgCl_2$	136,2 (кр.)	166,0 (кр.)	180,2 (кр.)	195,8 (кр.)	212,5 (кр.)	222,2 (кр.)	237,0 (кр.)	256,5 (кр.)	275,5 (кр.)	304,0	277,0	$HgCl_2$
HNO_3	—	—	−5,4	—	—	—	34,2	—	—	83,8	−41,7	HNO_3
H_2O	−17,3 (кр.)	+1,2	11,3	22,2	34,1	41,6	51,6	66,5	83,0	100,0	0,0	H_2O
H_2O_2	15,3	38,8	50,4	63,3	77,0	85,8	97,9	116,5	137,4 (разл.)	158,0 (разл.)	−0,9	H_2O_2
H_2SO_4	145,8	178,0	194,2	211,5	229,7	241,5	257,0	279,8	305,0	330,0	10,5	H_2SO_4
I_2	38,7 (кр.)	62,2 (кр.)	73,2 (кр.)	84,7 (кр.)	97,5 (кр.)	105,4 (кр.)	116,5	137,3	159,8	183,0	112,9	I_2
NH_2OH	—	39,0 (кр.)	47,2 (кр.)	55,8	64,6	70,0	77,5	87,9	99,2	110,0	34,0	NH_2OH
NH_3	−109,1 (кр.)	−97,5 (кр.)	−91,9 (кр.)	−85,8 (кр.)	−79,2 (кр.)	−74,3	−68,4	−57,0	−45,4	−33,6	−77,7	NH_3
N_2H_4	—	—	18,9	30,3	43,2	51,5	61,8	77,8	95,5	113,6	0,7	N_2H_4
Na	439	511	549	589	633	662	701	758	823	892	97,5	Na
P	76,6	111,2	128	146,2	166,7	179,8	197,3	222,7	251,0	280,0	44,1	P
PCl_3	−51,6	−31,5	−21,3	−10,2	+2,3	10,2	21,0	37,6	56,9	74,2	−111,8	PCl_3
PCl_5	55,5 (кр.)	74,0 (кр.)	83,2 (кр.)	92,5 (кр.)	102,5 (кр.)	108,3 (кр.)	117,0 (кр.)	131,3 (кр.)	147,2 (кр.)	162,0 (кр.)	167,0	PCl_5
SO_2	−95,5 (кр.)	−83,0 (кр.)	−76,8 (кр.)	−69,7	−60,5	−54,6	−46,9	−35,4	−23,0	−10,0	−73,2	SO_2
SO_2Cl_2	—	−35,1	−24,8	−13,4	−1,0	+7,2	17,8	33,7	51,3	69,2	−54,1	SO_2Cl_2
SO_3-γ	−15,3 (кр.)	−2,0 (кр.)	+4,3 (кр.)	11,1 (кр.)	17,9 (кр.)	21,4 (кр.)	28,0 (кр.)	35,8 (кр.)	44,0 (кр.)	51,6 (кр.)	62,1	SO_3-γ
$SiCl_4$	−63,4	−44,1	−34,4	−24,0	−12,1	−4,8	+5,4	21,0	38,4	56,8	−68,8	$SiCl_4$
$TiCl_4$	−13,9	+9,4	21,3	34,2	48,4	58,0	71,0	90,5	112,7	136,0	−30	$TiCl_4$

Продолжение

Вещество		Температура, °С, при давлении, кПа (мм рт. ст.)											Вещество
		0,133 (1)	0,667 (5)	1,333 (10)	2,666 (20)	5,333 (40)	7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)	$T_{плавл}$, °С	
Органические соединения													
CCl_2F_2	Дихлордифторметан	−118,5	−104,6	−97,8	−90,1	−81,6	−76,1	−68,6	−57,0	−43,9	−29,8	−160	CCl_2F_2
CCl_2O	Фосген	−92,9	−77,0	−69,3	−60,3	−50,3	−44,0	−35,6	−22,3	−7,6	+8,3	−104	CCl_2O
CCl_3F	Трихлорфторметан	−84,3	−67,6	−59,0	−49,7	−39,0	−32,3	−23,0	−9,1	+6,8	23,7	−111	CCl_3F
CCl_4	Тетрахлорметан	−50,0 (кр.)	−30,0 (кр.)	−19,6	−8,2	+4,3	12,3	23,0	38,3	57,8	76,8	−22,9	CCl_4
$CHClF_2$	Хлордифторметан	−122,8	−110,2	−103,7	−96,5	−88,6	−83,4	−76,4	−65,8	−53,6	−40,8	−160	$CHClF_2$
$CHCl_2F$	Дихлорфторметан	−91,3	−75,5	−67,5	−58,6	−48,8	−42,6	−33,9	−20,9	−6,2	+8,9	−135	$CHCl_2F$
$CHCl_3$	Трихлорметан (хлороформ)	−58,0	−39,1	−29,7	−19,0	−7,1	+0,5	10,4	25,9	42,7	61,3	−63,5	$CHCl_3$
CHN	Циановодородная кислота	−70,8 (кр.)	−55,6 (кр.)	−48,2 (кр.)	−40,3 (кр.)	−31,3 (кр.)	−25,8 (кр.)	−18,8 (кр.)	−5,9	+9,8	25,8	−14	CHN
CH_2Cl_2	Дихлорметан	−70,0	−52,1	−43,3	−33,4	−22,3	−15,7	−6,3	+8,0	24,1	40,7	−96,7	CH_2Cl_2
CH_2O_2	Муравьиная кислота	−20,0 (кр.)	−5,0 (кр.)	+2,1 (кр.)	10,3	24,0	32,4	43,8	61,4	80,3	100,7	8,2	CH_2O_2
CH_4O	Метанол	−44,0	−25,3	−16,2	−6,0	+5,0	12,1	21,2	34,8	49,9	64,5	−97,9	CH_4O
CO_2	Диоксид углерода	−134,3 (кр.)	−124,4 (кр.)	−119,5 (кр.)	−114,4 (кр.)	−108,6 (кр.)	−104,8 (кр.)	−100,2 (кр.)	−93,0 (кр.)	−85,7 (кр.)	−78,2 (кр.)	−57,5	CO_2
CS_2	Сероуглерод	−73,8	−54,3	−44,7	−34,3	−22,5	−15,3	−5,1	+10,4	28,0	46,2	−111,9	CS_2
C_2Cl_4	Тетрахлорэтилен	−20,6 (кр.)	+2,4	13,8	26,3	40,1	49,2	61,3	79,8	100,0	120,8	−19,0	C_2Cl_4
$C_2HCl_3O_2$	Трихлоруксусная кислота	51,0 (кр.)	76,0	88,2	101,8	116,3	125,9	137,8	155,4	175,2	195,6	57	$C_2HCl_3O_2$
$C_2H_2Cl_2O_2$	Дихлоруксусная кислота	44,0	69,8	82,6	96,3	111,8	121,5	134,0	152,3	173,7	194,4	9,7	$C_2H_2Cl_2O_2$
$C_2H_3ClO_2$	Хлоруксусная кислота	43,0 (кр.)	68,3	81,0	94,2	109,2	118,3	130,7	149,0	169,0	189,5	61,2	$C_2H_3ClO_2$
C_2H_3N	Ацетонитрил	−47,0 (кр.)	−26,6	−16,3	−5,0	+7,7	15,9	27,0	43,7	62,5	81,6	−44,9	C_2H_3N
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	−17,2 (кр.)	+6,3 (кр.)	17,5	29,9	43,0	51,7	63,0	80,0	99,0	118,1	16,8	$C_2H_4O_2$
$C_2H_4Cl_2$	1,2-Дихлорэтан	−44,5	−24,0	−13,6	−2,4	+10,0	18,1	29,4	45,7	64,0	83,5	−35,9	$C_2H_4Cl_2$
C_2H_6O	Этанол	−31,3	−12,0	−2,3	+8,0	19,0	26,0	34,9	48,4	63,5	78,4	−114,5	C_2H_6O
$C_2H_6O_2$	Этиленгликоль	53,0	79,7	92,1	105,8	120,0	129,5	141,8	158,5	178,5	197,3	−15,6	$C_2H_6O_2$
C_3H_6O	Ацетон	−59,4	−40,5	−31,1	−20,8	−9,4	−2,0	+7,7	22,7	39,5	56,2	−95,4	C_3H_6O
$C_3H_6O_2$	Метилацетат	−57,2	−38,6	−29,3	−19,1	−7,9	−0,5	+9,4	24,0	40,0	57,8	−98,7	$C_3H_6O_2$
$C_3H_6O_2$	Пропионовая кислота	4,6	28,0	39,7	52,0	65,8	74,1	85,8	102,5	122,0	141,1	−22	$C_3H_6O_2$
C_3H_8O	Пропанол	−15,0	+5,0	14,7	25,3	36,4	43,5	52,8	66,8	82,0	97,2	−126,2	C_3H_8O
$C_3H_8O_3$	Глицерин	125,5	153,8	167,2	182,2	198,0	208,0	220,1	240,0	263,0	290,0	17,9	$C_3H_8O_3$

	Вещество	Температура, °С, при давлении, кПа (мм рт. ст.)									$T_{плавл}$, °С	Вещество
		0,133 (1)	0,667 (5)	1,333 (10)	2,666 (20)	5,333 (40)	7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)	
$C_4H_8O_2$	Масляная кислота	25,5	49,8	61,5	74,0	88,0	96,5	108,0	125,5	144,5	163,5	—4,7	$C_4H_8O_2$
$C_4H_8O_2$	1,4-Диоксан	—35,8 (кр.)	—12,8 (кр.)	—1,2 (кр.)	+12,0	25,2	33,8	45,1	62,3	81,8	101,3	11,8	$C_4H_8O_2$
$C_4H_8O_2$	Этилацетат	—43,4	—23,5	—13,5	—3,0	+9,1	16,6	27,0	42,0	59,3	77,2	—83,6	$C_4H_8O_2$
$C_4H_{10}O$	Диэтиловый эфир	—74,3	—56,9	—48,1	—38,5	—27,7	—21,8	—11,5	+2,2	17,9	34,6	—116,3	$C_4H_{10}O$
$C_4H_{10}O$	Бутанол	—1,2	+20,0	30,2	41,5	53,4	60,3	70,1	84,3	100,8	117,5	—79,9	$C_4H_{10}O$
$C_4H_{12}Pb$	Тетраметилсвинец	—29,0 (кр.)	—6,8	+4,4	16,6	30,3	39,2	50,8	68,8	89,0	110,0	—27,5	$C_4H_{12}Pb$
C_5H_5N	Пиридин	—18,9	+2,5	13,2	24,8	38,0	46,8	57,8	75,0	95,6	115,3	—41,8	C_5H_5N
$C_5H_{12}O$	Амиловый спирт	13,6	34,7	44,9	55,8	68,0	75,5	85,8	102,0	119,8	137,8	—78,8	$C_5H_{12}O$
C_6H_5Br	Бромбензол	2,9	27,8	40,0	53,8	68,6	78,1	90,8	110,1	132,3	156,2	—30,7	C_6H_5Br
C_6H_5Cl	Хлорбензол	—13,0	+10,6	22,2	35,3	49,7	58,3	70,7	89,4	110,0	132,2	—45,2	C_6H_5Cl
C_6H_5I	Иодбензол	24,1	50,6	64,0	78,3	94,4	105,0	118,3	139,8	163,9	188,6	—28,5	C_6H_5I
$C_6H_5NO_2$	Нитробензол	44,4	71,6	84,9	99,3	115,4	125,8	139,9	161,2	185,8	210,9	5,8	$C_6H_5NO_2$
C_6H_6	Бензол	—36,7 (кр.)	—19,6 (кр.)	—11,5 (кр.)	—2,6 (кр.)	+7,6	15,4	26,1	42,2	60,6	80,1	5,5	C_6H_6
C_6H_6O	Фенол	40,1 (кр.)	62,5	73,8	86,0	100,1	108,4	121,4	139,0	160,0	181,9	40,6	C_6H_6O
C_6H_7N	Анилин	34,8	57,9	69,4	82,0	96,7	106,0	119,9	140,1	161,9	184,4	—6,2	C_6H_7N
C_6H_{12}	Циклогексан	—45,3 (кр.)	—25,4 (кр.)	—15,9 (кр.)	—5,0 (кр.)	+6,7	14,7	25,5	42,0	60,8	80,7	6,6	C_6H_{12}
C_6H_{14}	Гексан	—53,9	—34,5	—25,0	—14,	—2,3	+5,4	15,8	31,6	49,6	68,7	—95,3	C_6H_{14}
$C_7H_6O_2$	Бензойная кислота	96,0 (кр.)	119,5 (кр.)	132,1	146,7	162,6	172,8	186,2	205,8	227,0	249,2	121,7	$C_7H_6O_2$
C_7H_8	Толуол	—26,7	—4,4	+6,4	18,4	31,8	40,3	51,9	69,5	89,5	110,6	—95,0	C_7H_8
C_7H_8O	Бензиловый спирт	58,0	80,8	92,6	105,8	119,8	129,3	141,7	160,0	183,0	204,7	—15,3	C_7H_8O
C_7H_{16}	Гептан	—34,0	—12,7	—2,1	+9,5	22,3	30,6	41,8	58,7	78,0	98,4	—90,6	C_7H_{16}
C_8H_8O	Ацетофенон	37,1	64,0	78,0	92,4	109,4	119,8	133,6	154,2	178,0	202,4	20,5	C_8H_8O
C_8H_{10}	Этилбензол	—9,8	+13,9	25,9	38,6	52,8	61,8	74,1	92,7	113,8	136,2	—94,9	C_8H_{10}
C_8H_{18}	Октан	—14,0	+8,3	19,2	31,5	45,1	53,8	65,7	83,6	104,0	125,6	—56,8	C_8H_{18}
$C_8H_{20}Pb$	Тетраэтилсвинец	38,4	63,6	74,8	88,0	102,4	111,7	123,8	142,0	161,8	183,0	—136,0	$C_8H_{20}Pb$
$C_{10}H_8$	Нафталин	52,6 (кр.)	74,2 (кр.)	85,8	101,7	119,3	130,2	145,5	167,7	193,2	217,9	80,2	$C_{10}H_8$
$C_{10}H_{16}O$	*d*-Камфора	41,5 (кр.)	68,6 (кр.)	82,3 (кр.)	97,5 (кр.)	114,0 (кр.)	124,0 (кр.)	138,0 (кр.)	157,9 (кр.)	182,0	209,2	178,5	$C_{10}H_{16}O$
$C_{12}H_{10}$	Дифенил	70,6	101,8	117,0	134,2	152,5	165,2	180,7	204,2	229,4	254,9	69,5	$C_{12}H_{10}$
$C_{14}H_{10}$	Антрацен	145,0 (кр.)	173,5 (кр.)	187,2 (кр.)	201,9 (кр.)	217,5 (кр.)	231,8	250,0	279,0	310,2	342,0	217,5	$C_{14}H_{10}$

25. Температура возгонки или кипения некоторых веществ при давлении выше атмосферного

Вещество	Температура, °С, при давлении, кПа (атм)								
	101,32 (1)	202,65 (2)	506,6 (5)	1013,2 (10)	2026,5 (20)	3039,8 (30)	4053,0 (40)	5066,2 (50)	6079,5 (60)
Br_2	58,2	78,8	110,3	139,8	174,0	197,0	216,0	230,0	243,5
CO_2	—78,2 (кр.)	—69,1 (кр.)	—56,7	—39,5	—18,9	—5,3	+5,9	14,9	22,4
$COCl_2$	8,3	27,3	57,2	85,0	119,0	141,8	159,8	174,0	—
Cl_2	—33,8	—16,9	+10,3	35,6	65,0	84,8	101,6	115,2	127,1
H_2	—252,5	—250,2	—246,0	—241,8	—	—	—	—	—
HCN	25,9	45,8	75,8	102,7	135,0	153,8	169,9	183,5	—
N_2	—195,8	—189,2	—179,1	—169,8	—157,6	—148,3	—	—	—
NH_3	—33,6	—18,7	+4,7	25,7	50,1	66,1	78,9	89,3	98,3
O_2	—183,1	—176,0	—164,5	—153,2	—140,0	—130,7	—124,1	—	—
SO	—10,0	+6,3	32,1	55,5	83,8	102,6	118,0	130,2	141,7
SO_3	44,8	60,0	82,5	104,0	138,0	157,8	175,0	187,8	198 0

26. Температура диссоциации твердых веществ при различном давлении

Под температурой диссоциации понимают температуру, при которой давление газов при равновесии равно внешнему давлению.

Реакция	Температура, °С, при давлении, кПа (мм рт ст.)								
	13,33 (100)	26,66 (200)	40,0 (300)	53,33 (400)	66,7 (500)	80,0 (600)	93,33 (700)	101,32 (760)	106,66 (800)
$NH_4Cl \rightleftarrows NH_3 + HCl$	260	292	306	317	324	332	337	340	341
$CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$	762	808	837	854	870	884	894	898	904
$Ca(OH)_2 \rightleftarrows CaO + H_2O$	450	479	499	513	524	534	543	547	550
$Mg(OH)_2 \rightleftarrows MgO + H_2O$	76	95	111	127	140	153	—	—	—
$2BaO_2 \rightleftarrows 2BaO + O_2$	680	717	743	760	773	783	792	—	—
$Fe_2(SO_4)_3 \rightleftarrows Fe_2O_3 + 3SO_3$	628	666	681	690	697	702	706	709	—

27. Давление пара над кристаллогидратами при различной температуре

t, °С	P, кПа	P, мм рт. ст.
$BaCl_2 \cdot 2H_2O \rightleftarrows BaCl_2 \cdot H_2O + H_2O$ (г.)		
20	0,447	3,35
25	0,680	5,10
30	1,007	7,55
35	1,487	11,15
$BaCl_2 \cdot H_2O \rightleftarrows BaCl_2 + H_2O$ (г.)		
65	0,613	4,6
70	0,987	7,4
75	1,373	10,3
$CuSO_4 \cdot 5H_2O \rightleftarrows CuSO_4 \cdot 3H_2O + 2H_2O$ (г.)		
15	0,425	3,19
20	0,647	4,85
25	0,980	7,35
30	1,437	10,78
35	2,077	15,58
$CuSO_4 \cdot 3H_2O \rightleftarrows CuSO_4 \cdot H_2O + 2H_2O$ (г.)		
25	0,747	5,6
30	1,093	8,2
35	1,560	11,7
40	2,120	15,9
50	4,053	30,4
60	7,666	57,5
70	14,00	105
80	24,40	183

t, °С	P, кПа	P, мм рт. ст
$CuSO_4 \cdot H_2O \rightleftarrows CuSO_4 + H_2O$ (г.)		
100	0,827	6,2
110	1,507	11,3
120	2,906	21,8
130	4,986	37,4
140	8,079	60,6
$MgSO_4 \cdot 7H_2O \rightleftarrows MgSO_4 \cdot 6H_2O + H_2O$ (г.)		
15	0,653	4,90
20	1,003	7,52
25	1,533	11,50
30	2,256	16,92
$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O \rightleftarrows Na_2SO_3 + 7H_2O$ (г.)		
15	1,168	8,76
20	1,732	12,99
25	2,478	18,59
30	3,577	26,83
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O \rightleftarrows Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O + 5H_2O$ (г.)		
15	1,200	9,00
20	1,724	12,93
25	2,560	19,20
30	3,606	27,05
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O \rightleftarrows ZnSO_4 \cdot 6H_2O + H_2O$ (г.)		
20	1,296	9,72
25	1,936	14,52
30	2,860	21,45

28. Равновесия фаз в одно-, двух- и трехкомпонентных системах

На рис. 28.1—28.31 приведены диаграммы гетерогенных систем: твердое—твердое, твердое—жидкость, жидкость—жидкость, твердое—газ, жидкость—газ, газ—газ.

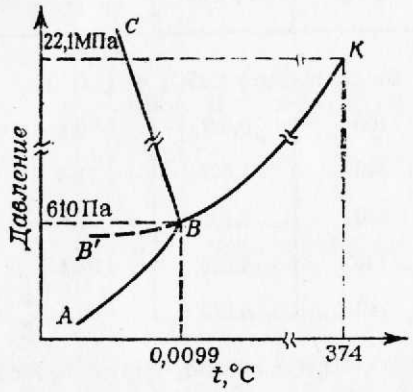


Рис. 28.1. Вода (схема).

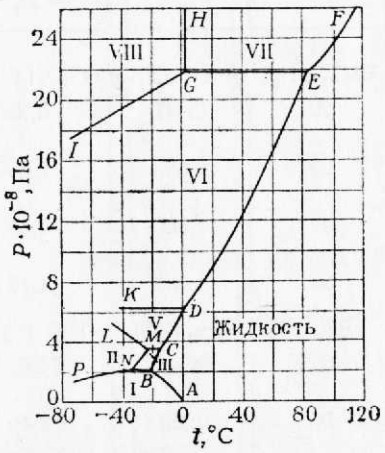


Рис. 28.2. Вода.

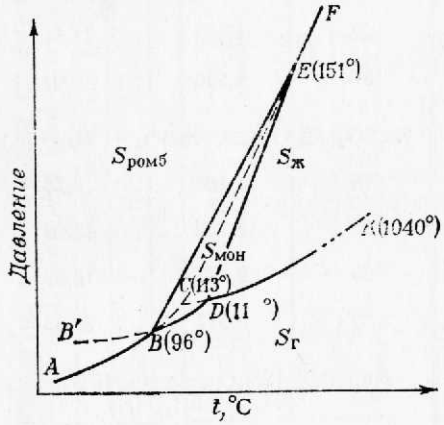


Рис. 28.3. Сера (схема).

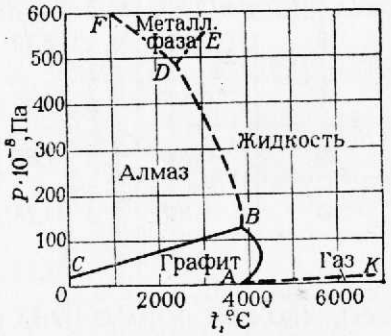


Рис. 28.4. Углерод (схема).

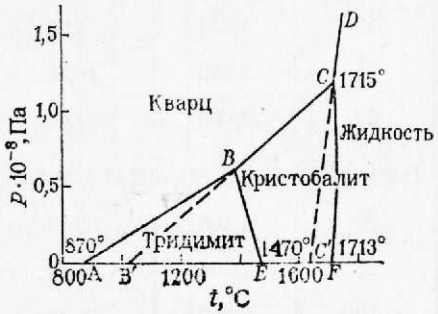


Рис. 28.5. SiO_2 (схема).

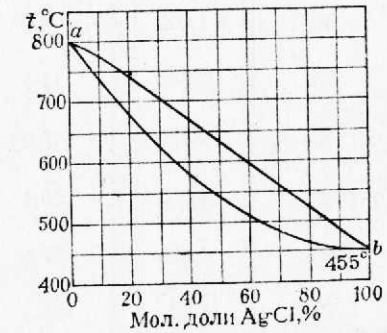


Рис. 28.6. NaCl—AgCl.

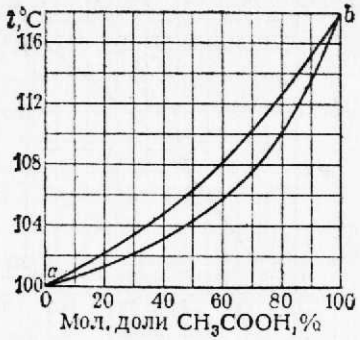


Рис. 28.7. $H_2O—CH_3COOH$.

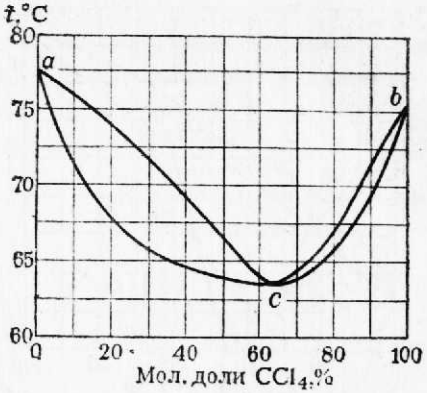


Рис. 28.8. $C_2H_5OH—CCl_4$.

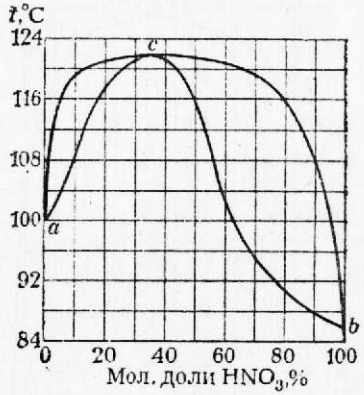


Рис. 28.9. $H_2O—HNO_3$.

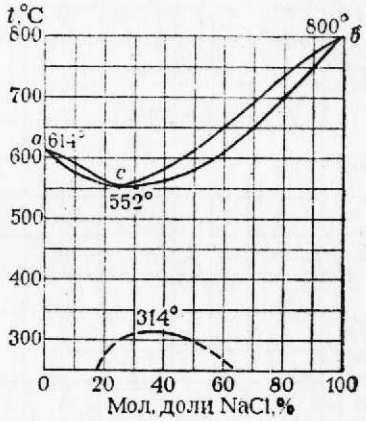


Рис. 28.10. LiCl—NaCl.

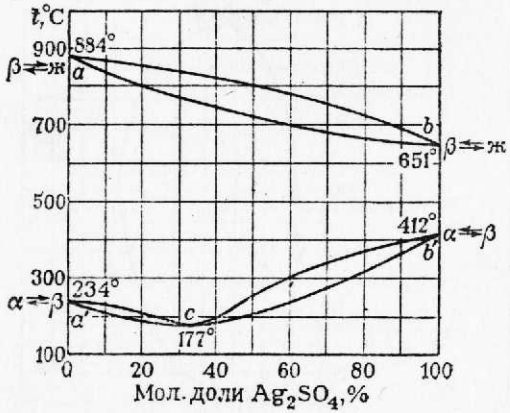


Рис. 28.11. $Na_2SO_4—Ag_2SO_4$.

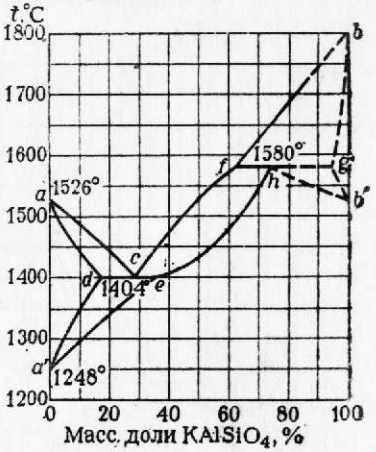


Рис. 28.12. $NaAlSiO_4—KAlSiO_4$

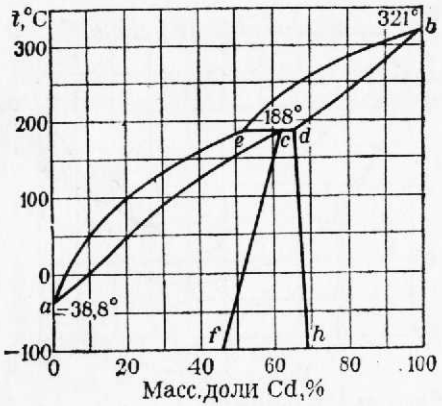


Рис. 28.13. Hg—Cd.

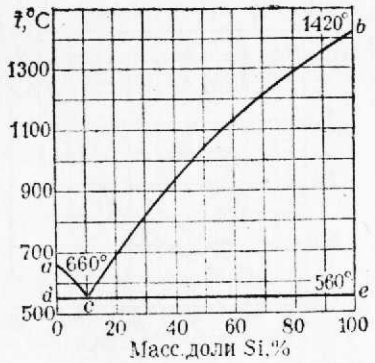


Рис. 28.14. Al—Si.

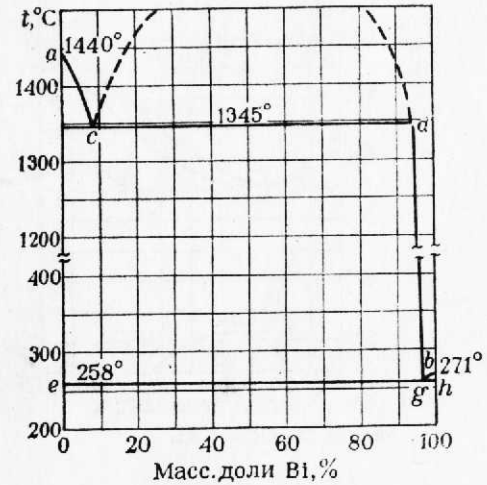


Рис. 28.15. Co—Bi.

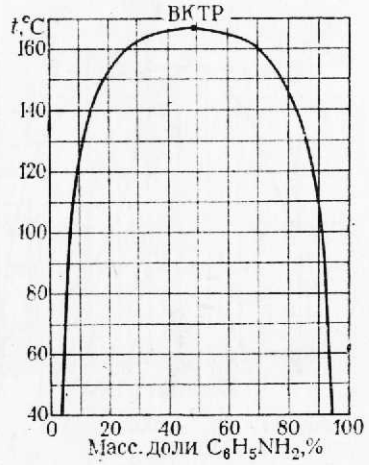


Рис. 28.16. $H_2O—C_6H_5NH_2$.

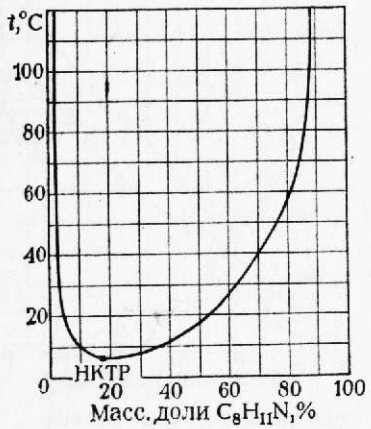


Рис. 28.17. $H_2O—C_8H_{11}N$ (вода—2,3,4-триметилпиридин).

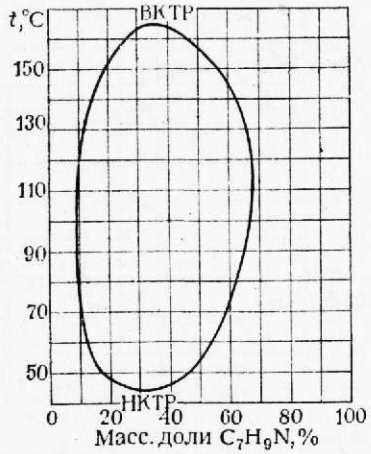


Рис. 28.18. $H_2O—C_7H_9N$ (вода—2,6-диметилпиридин).

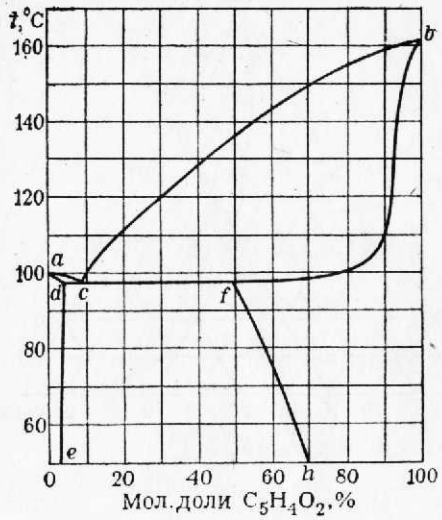


Рис. 28.19. $H_2O—C_5H_4O_2$ (вода — фурфурол).

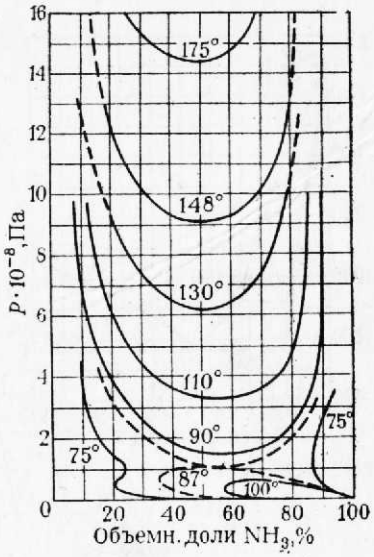


Рис. 28.20. $N_2—NH_3$.

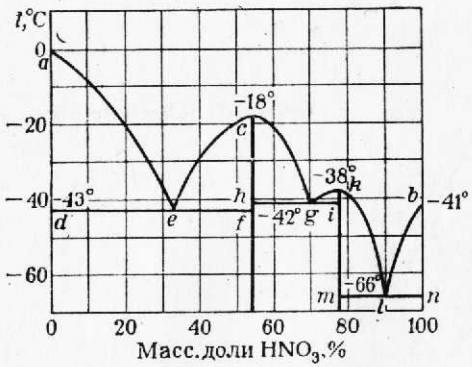


Рис. 28.21. $H_2O—HNO_3$.

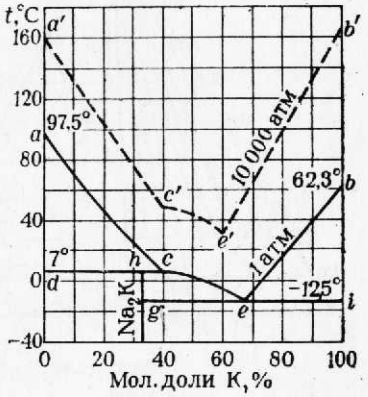


Рис. 28.22. Na—K.

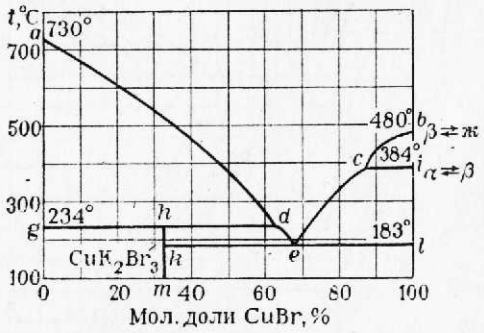


Рис. 28.23. KBr—CuBr.

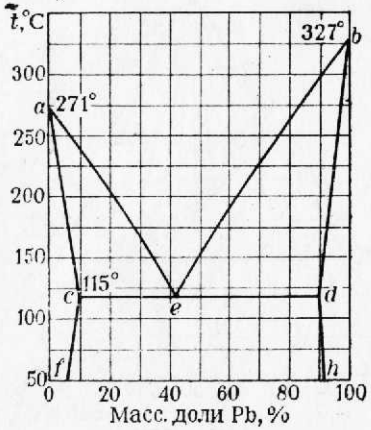


Рис. 28.24. Bi—Pb. →

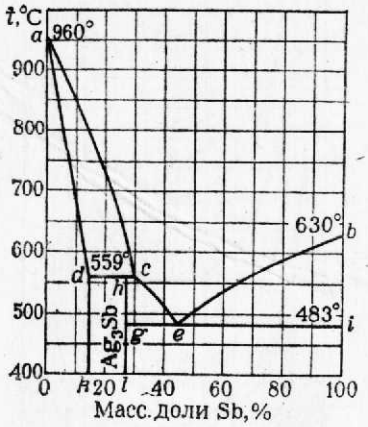


Рис. 28.25. Ag — Sb.

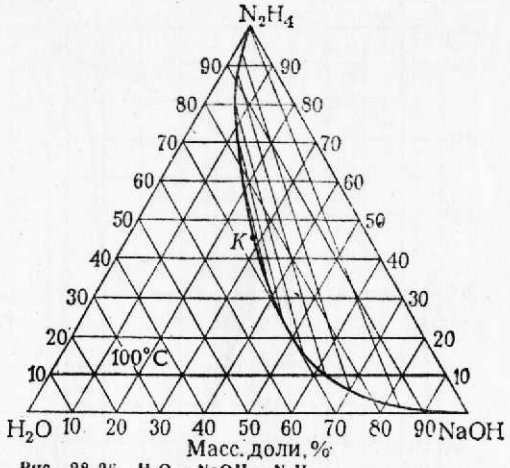


Рис. 28.26. H_2O — NaOH — N_2H_4.

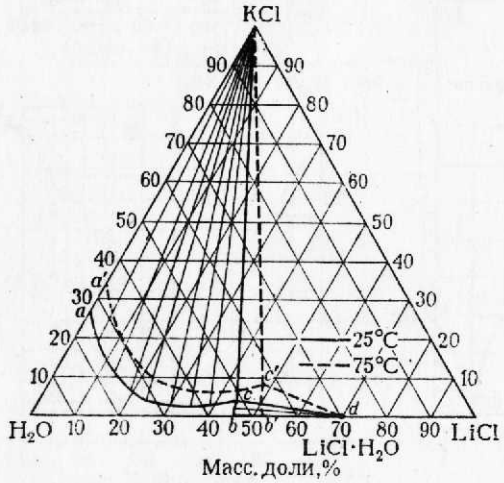
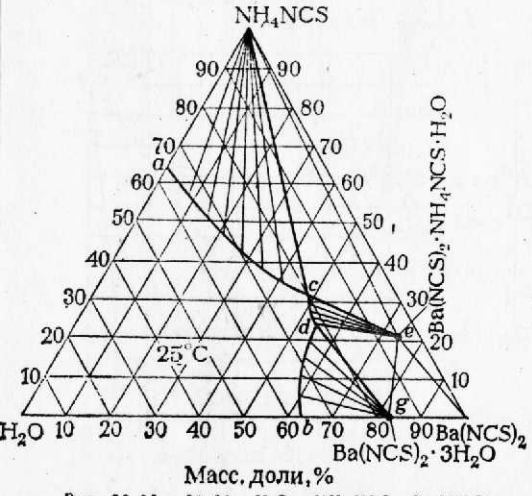


Рис. 28.27. H_2O — LiCl — KCl.



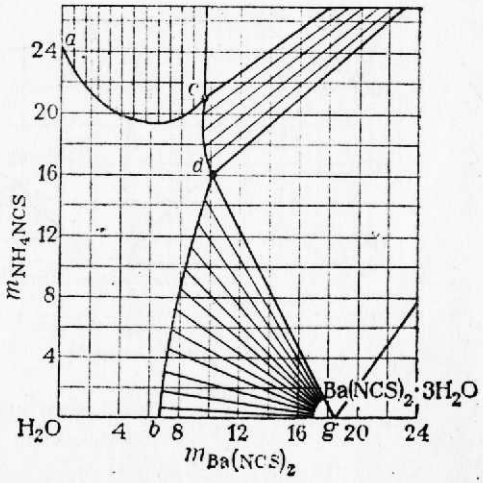


Рис. 28.28 и 28.29. H_2O — NH_4NCS — $Ba(NCS)_2$.

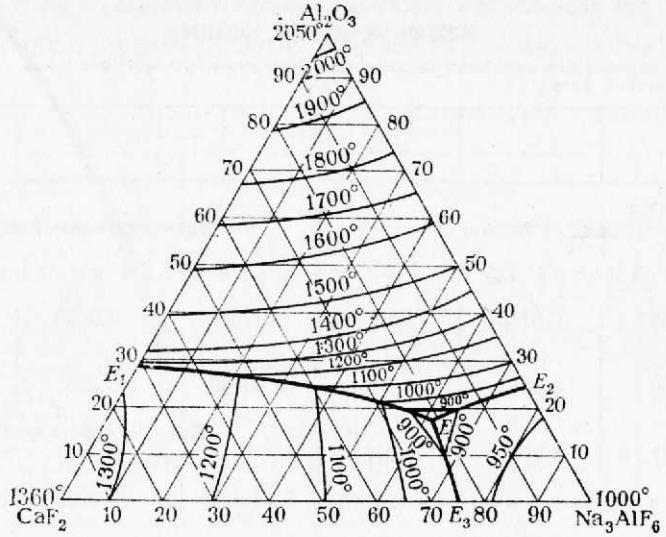


Рис. 28.30. CaF_2 — Na_3AlF_6 — Al_2O_3.

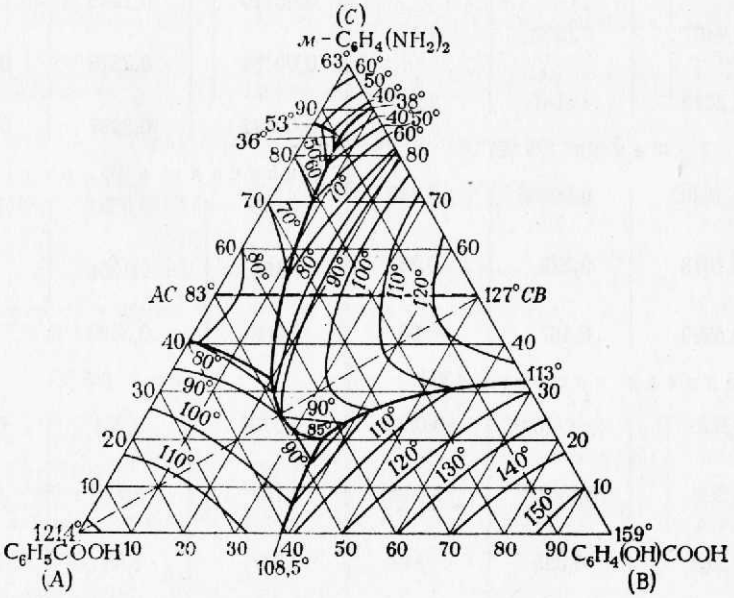


Рис. 28.31. C_6H_5COOH — $C_6H_4(OH)COOH$ — м-$C_6H_4(NH_2)_2$.

29. Коэффициенты распределения некоторых веществ между жидкими фазами

c_1 — равновесная молярная концентрация растворенного вещества в воде, моль/л; c_2 — то же во второй фазе.

c_1	c_2	c_1/c_2
Вода — бензол		
Ацетон (25 °C)		
0,01583	0,01437	1,102
0,2200	0,2065	1,065
2,2167	2,3947	0,926
Муравьиная кислота (25 °C)		
2,5739	0,00568	453
9,0466	0,0378	240
Уксусная кислота (25 °C)		
0,7760	0,0199	39,0
7,7407	0,8233	9,4
12,2073	4,8640	2,51
Фенол (25 °C)		
0,00202	0,00466	0,433
0,1013	0,279	0,36
0,5299	6,487	0,08
Соляная кислота (20 °C)		
0,946	$4{,}94\cdot10^{-5}$	20 000
2,599	$76{,}8\cdot10^{-5}$	3 400
8,555	0,025	342
19,709	0,507	38,9
Вода—диэтиловый эфир		
Бензойная кислота (10 °C)		
0,00090	0,0639	0,0141
0,00249	0,226	0,0110
Вода — сероуглерод		
Иод (25 °C)		
$5{,}18\cdot10^{-5}$	0,03036	0,0017
$25{,}71\cdot10^{-5}$	0,1676	0,0015
Вода — хлороформ		
Иод (25 °C)		
0,00025	0,0338	0,0074
0,00120	0,1546	0,0078
0,00184	0,2318	0,0079
0,00242	0,3207	0,0075
Уксусная кислота (25 °C)		
0,405	0,0231	17,5
1,188	0,1351	8,8
2,056	0,3493	5,9
Фенол (25 °C)		
0,0737	0,254	0,290
0,247	1,85	0,177
0,436	5,43	0,080

ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

30. Теплота сгорания некоторых веществ в стандартных условиях

Конечные продукты сгорания: CO_2 (г.), H_2O (ж.), SO_2 (г.), N_2 (г.). В соединениях, содержащих галогены, конечные продукты указаны в сносках.

Вещество	$-\Delta H^{\circ}_{298}$, кДж/моль	Вещество	$-\Delta H^{\circ}_{298}$, кДж/моль
Углеводороды			
CH_4 (г.) метан	890,31	C_6H_{12} (г.) циклогексан	3953,00
C_2H_2 (г.) ацетилен	1299,63	C_6H_{14} (ж.) гексан	4163,05
C_2H_4 (г.) этилен	1410,97	C_6H_{14} (г.) гексан	4194,75
C_2H_6 (г.) этан	1559,88	C_7H_8 (ж.) толуол	3910,28
C_4H_{10} (г.) бутан	2877,13	C_7H_8 (г.) толуол	3947,94
C_4H_{10} (г.) изобутан	2868,76	C_8H_{10} (ж.) *м*-ксилол	4551,81
C_5H_{10} (ж.) циклопентан	3290,73	C_8H_{10} (ж.) *о*-ксилол	4552,80
C_5H_{10} (г.) циклопентан	3319,54	C_8H_{10} (ж.) *п*-ксилол	4552,80
C_5H_{12} (ж.) пентан	3509,20	C_8H_{18} (ж.) октан	5470,58
C_5H_{12} (г.) пентан	3536,15	$C_{10}H_8$ (кр.) нафталин	5156,78
C_6H_6 (ж.) бензол	3267,58	$C_{12}H_{10}$ (кр.) дифенил	6249,22
C_6H_6 (г.) бензол	3301,51	$C_{14}H_{10}$ (кр.) антрацен	7067,45
C_6H_{12} (ж.) циклогексан	3919,91	$C_{14}H_{10}$ (кр.) фенантрен	7049,87
Кислородсодержащие соединения			
CO (г.) оксид углерода	282,92	$C_4H_8O_2$ (ж.) 1,4-диоксан	2316,56
CH_2O (г.) формальдегид	561,07	$C_4H_8O_2$ (ж.) этилацетат	2246,39
CH_2O_2 (ж.) муравьиная кислота	254,58	$C_4H_{10}O$ (ж.) бутанол	2671,90
CH_4O (ж.) метанол	726,60	$C_4H_{10}O$ (ж.) диэтиловый эфир	2726,71
$C_2H_2O_4$ (кр.) щавелевая кислота	251,88	$C_5H_{12}O$ (ж.) амиловый спирт	3320,84
C_2H_4O (г.) ацетальдегид	1193,07	C_6H_6O (кр.) фенол	3063,52
C_2H_4O (г.) этиленоксид	1306,05	$C_6H_6O_2$ (кр.) гидрохинон	2860,60
$C_2H_4O_2$ (ж.) уксусная кислота	874,58	$C_6H_{12}O_6$ (кр.) α-глюкоза	2802,04
C_2H_6O (ж.) этанол	1370,68	$C_6H_{12}O_6$ (кр.) β-глюкоза	2808,04
C_3H_6O (ж.) диметилкетон (ацетон)	1785,73	$C_7H_6O_2$ (кр.) бензойная кислота	3226,70
		$C_{10}H_{16}O$ (кр.) камфора	5924,84
C_3H_8O (ж.) 1-пропанол	2010,41	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (кр.) сахароза	5646,73
C_3H_8O (ж.) 2-пропанол	1986,56	$C_{18}H_{36}O_2$ (кр.) стеариновая кислота	11274,6
$C_3H_8O_3$ (ж.) глицерин	1661,05		
Галогенсодержащие соединения			
CCl_4 (ж.) тетрахлорметан	260,65 *	CH_3Cl (ж.) хлорметан	759,94 **
$CHCl_3$ (ж.) трихлорметан (хлороформ)	428,06 **	C_6H_5Cl (ж.) хлорбензол	3110,30 **
Серусодержащие соединения			
COS (г.) сероокись углерода	553,12	H_2S (г.) сероводород	578,98
CS_2 (ж.) сероуглерод	1075,29		
Азотсодержащие соединения			
CH_3O_2N (ж.) нитрометан	708,77	C_3H_9N (г.) триметиламин	2442,92
CH_4ON_2 (кр.) карбамид (мочевина)	632,20	C_5H_5N (ж.) пиридин	2755,16
		$C_6H_3O_7N_3$ (кр.) пикриновая кислота	2560,2
CH_5N (г.) метиламин	1085,08		
C_2H_7N (г.) диметиламин	1768,59	$C_6H_5O_2N$ (ж.) нитробензол	3091,2
C_2N_2 (г.) дициан	1087,8	$C_6H_5O_3N$ (кр.) *п*-нитрофенол	2884,0
$C_3H_5O_9N_3$ (ж.) нитроглицерин	1541,4	C_6H_7N (ж.) анилин	3396,2

* Продукты сгорания: CO_2 и Cl_2 (г.).
** Продукты сгорания: CO_2, Cl_2 (г.), HCl (раствор.).
*** Продукты сгорания: CO_2, H_2O (ж.), HCl (раствор.).

31. Интегральная теплота растворения солей в воде при 25 °C

При $m = 0{,}00$ даны значения ΔH_m, экстраполированные к бесконечному разбавлению.

m, моли соли на 1 кг H_2O	ΔH_m, кДж/моль								
	LiCl	LiBr	NaCl	NaBr	NaI	KCl	KBr	KI	$KClO_3$
0,00	—37,13	—49,02	3,89	—0,63	—7,57	17,23	20,04	20,50	50,84
0,01	—36,97	—48,91	4,06	—0,50	—7,41	17,39	20,17	20,67	50,89
0,02	—36,86	—48,87	4,10	—0,42	—7,36	17,44	20,25	20,71	50,84
0,05	—36,71	—48,74	4,18	—0,31	—7,24	17,51	20,29	20,73	50,66
0,1	—36,48	—48,62	4,25	—0,29	—7,20	17,55	20,33	20,71	50,37
0,2	—36,34	—48,39	4,27	—0,27	—7,15	17,57	20,29	20,67	—
0,3	—36,19	—48,28	4,25	—0,29	—7,24	17,55	20,25	20,59	—
0,4	—36,07	—48,20	4,16	—0,40	—7,32	17,50	20,15	20,42	—
0,5	—35,98	—48,12	4,10	—0,44	—7,41	17,43	20,04	20,29	—
1,0	—35,65	—47,74	3,79	—0,86	—7,82	17,28	19,54	19,73	—
2,0	—35,15	—47,11	3,18	—1,65	—8,62	16,72	18,68	18,62	—
3,0	—34,52	—46,53	2,66	—2,28	—9,37	16,17	17,99	17,66	—
4,0	—33,89	—46,02	2,26	—2,78	—10,04	15,75	17,36	16,82	—
5,0	—33,18	—45,50	1,99	—3,20	—10,54	—	16,82	16,09	—
6,0	—32,43	—44,85	1,88	—3,47	—10,92	—	—	15,47	—
7,0	—31,63	—44,2[illegible]	—	—3,66	—11,13	—	—	14,92	—
8,0	—30,79	—43,51	—	—3,70	—11,25	—	—	14,46	—
9,0	—29,92	—42,80	—	—3,62	—11,25	—	—	—	—
10,0	—29,00	—41,97	—	—	—11,17	—	—	—	—
Насыщ. раствор	—19,35	—31,88	1,95	—3,61	—10,59	15,45	16,49	14,07	—
$m_{насыщ}$	19,9	18,6	6,15	9,15	12,33	4,82	5,73	8,98	—

Продолжение

m, моли соли на 1 кг H_2O	ΔH_m, кДж/моль									
	KNO_3	NH_4Cl	NH_4NO_3	$CaCl_2$	K_2SO_4	$CuSO_4$	$MgSO_4$	$MnSO_4$	$ZnSO_4$	$Al_2(SO_4)_3$
0,00	34,93	14,73	25,77	—82,93	23,71	—73,14	—91,63	—64,39	—83,26	—350,5
0,01	35,03	14,85	25,77	—82,68	24,48	—69,87	—89,37	—60,71	—80,67	—
0,02	35,02	14,94	25,79	—82,38	24,58	—69,33	—89,04	—60,12	—80,29	—
0,05	34,94	15,02	25,82	—81,25	24,75	—68,70	—88,45	—59,29	—79,70	—
0,1	34,77	15,10	25,75	—80,88	24,78	—68,07	—87,91	—58,70	—79,16	—344,3
0,2	—	15,19	25,56	—80,50	24,58	—67,57	—87,26	—57,95	—78,78	—343,3
0,3	—	15,23	25,38	—80,25	24,27	—67,32	—86,92	—57,53	—78,58	—342,1
0,4	—	15,27	25,21	—80,02	23,95	—67,15	—86,67	—57,24	—78,41	—340,8
0,5	—	15,27	25,06	—79,83	23,58	—67,03	—86,48	—57,07	—78,28	—339,3
1,0	—	15,31	24,31	—79,04	—	—66,65	—85,77	—56,65	—77,91	—330,5
2,0	—	15,27	23,05	—77,74	—	—	—84,87	—55,56	—77,03	—
3,0	—	15,23	21,97	—	—	—	—	—	—75,44	—
4,0	—	15,19	21,17	—	—	—	—	—	—	—
5,0	—	15,15	20,46	—	—	—	—	—	—	—
6,0	—	15,10	19,92	—	—	—	—	—	—	—
7,0	—	15,02	19,41	—	—	—	—	—	—	—
8,0	—	—	18,95	—	—	—	—	—	—	—
9,0	—	—	18,54	—	—	—	—	—	—	—
10,0	—	—	18,16	—	—	—	—	—	—	—
Насыщ. раствор	—	15,02	—	—	22,78	—	—	—	—	—
$m_{насыщ}$	—	7,35	—	—	0,69	—	—	—	—	—

32. Интегральная теплота растворения кислот и оснований в воде при 25 °С

Число молей H_2O на 1 моль кислоты или щелочи	m, моли кислоты или щелочи на 1 кг H_2O	$-\Delta H_m$, кДж/моль							
		$HCOOH$	HCl	HNO_3	H_2SO_4	H_3PO_4	NH_3	$NaOH$	KOH
1	55,51	0,83	26,23	13,11	28,07	—4,52	29,54	—	—
2	27,75	0,87	48,82	20,08	41,92	—0,50	32,05	—	—
3	18,50	0,79	56,85	24,30	48,99	1,88	32,76	28,89	41,80
4	13,88	0,71	61,20	26,98	54,06	3,47	33,26	34,43	45,77
5	11,10	0,67	64,05	28,73	58,03	4,52	33,60	37,76	48,24
6	9,25	0,62	65,89	29,84	60,75	5,36	—	39,87	49,87
8	6,94	0,58	68,23	31,12	64,60	6,40	—	41,92	51,76
10	5,55	0,56	69,49	31,84	67,03	7,11	34,27	42,51	52,66
15	3,70	0,55	70,99	32,46	70,17	8,08	—	42,84	53,62
20	2,78	0,55	71,78	32,67	71,50	8,58	34,43	42,87	53,95
30	1,85	0,56	72,59	32,76	72,68	9,12	34,48	—	—
40	1,39	0,57	73,02	32,75	73,09	—	34,48	—	—
50	1,11	0,60	73,28	32,74	73,35	9,58	34,52	42,53	54,33
75	0,740	0,65	73,65	32,74	73,68	9,87	—	—	—
100	0,555	0,66	73,85	32,75	73,97	10,04	34,56	42,34	54,45
200	0,278	—	74,20	32,80	74,94	10,42	34,64	42,30	54,56
500	0,111	—	74,52	32,90	76,73	10,71	—	42,36	54,75
700	0,0793	—	74,61	32,94	77,57	10,79	—	—	—
1 000	0,0555	—	74,68	32,98	78,58	10,84	—	42,47	54,87
2 000	0,0278	—	74,82	33,05	80,88	10,96	—	42,55	55,00
5 000	0,0111	—	74,93	33,13	84,43	11,05	—	42,66	55,10
10 000	0,0056	—	74,99	33,19	87,07	11,09	—	42,72	55,17
20 000	0,0028	—	75,04	—	89,62	11,13	—	—	—
50 000	0,0011	—	75,08	33,27	92,34	11,17	—	42,80	55,25
∞	0,0000	0,71	75,14	33,34	96,19	(13,4)	34,64	42,87	55,31

33. Интегральная теплота растворения солей, образующих кристаллогидраты, при 25 °С

Вещество	Число молей H_2O на 1 моль соли	$-\Delta H_m$, кДж/моль	Вещество	Число молей H_2O на 1 моль соли	$-\Delta H_m$, кДж/моль
$BaCl_2$	400	11,18	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	400	1,00
$BaCl_2 \cdot H_2O$	400	—7,74	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	400	—15,86
$BaCl_2 \cdot 2H_2O$	400	—18,74	Na_2CO_3	400	23,43
$CuSO_4$	500	68,37	$Na_2CO_3 \cdot 7H_2O$	400	—45,86
$CuSO_4 \cdot H_2O$	500	40,42	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	400	—69,04
$CuSO_4 \cdot 3H_2O$	500	12,68	Na_2HPO_4	500	25,94
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	500	—10,50	$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	500	0,17
$LiCl$	800	36,53	$Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$	500	—47,95
$LiCl \cdot H_2O$	800	18,58	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	500	—96,06
$LiCl \cdot 2H_2O$	800	4,06	$ZnSO_4$	500	77,28
$LiCl \cdot 3H_2O$	800	—8,83	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	500	42,13
$MgSO_4$	400	87,61	$ZnSO_4 \cdot 6H_2O$	500	—4,31
$MgSO_4 \cdot 2H_2O$	400	46,36	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	500	—18,87
$MgSO_4 \cdot 4H_2O$	400	17,66			

34. Интегральная теплота растворения солей в ацетоне, этиленгликоле, этаноле и метаноле

При m = 0,00 даны значения $-\Delta H_m$, экстраполированные к бесконечному разбавлению.

m, моли соли на 1 кг растворителя	$-\Delta H_m$, кДж/моль																	
	NaI в ацетоне		NaI в этиленгликоле		NaI в этаноле		NaI в метаноле		KI в метаноле		KI в этиленгликоле
	25 °С	40 °С	2,5 °С	25 °С	25 °С	45 °С	25 °С	50 °С	25 °С	50 °С	25 °С
0,00	44,10	42,93	33,89	31,80	24,52	23,79	32,05	29,08	—	—	4,35
0,01	42,55	41,46	30,42	—	23,64	22,43	31,71	—	—	—	4,18
0,05	39,37	37,28	30,04	29,08	21,09	20,29	29,87	—	—	—	3,49
0,1	36,82	32,97	29,66	28,37	19,75	18,41	27,99	28,66	—0,63	—0,00	3,14
0,2	34,39	31,46	29,08	27,61	18,03	16,57	26,48	27,20	—2,64	—2,01	2,64
0,3	33,39	30,54	28,70	27,24	16,86	15,31	25,98	26,36	—3,97	—3,56	2,28
0,4	32,55	29,79	28,45	27,03	16,02	14,39	25,61	25,94	—4,06	—3,97	2,01
0,5	31,88	29,20	28,20	26,78	15,48	13,60	25,23	25,52	—4,14	—4,39	1,78
1,0	28,95	26,11	27,28	25,86	14,31	11,17	23,85	22,59	—4,52	—6,07	0,95
2,0	23,93	21,00	25,52	24,02	11,92	8,49	21,55	17,99	—	—	—0,35
Насыщ. раствор	21,92	20,59	—	—	10,21	6,02	14,23	10,04	—4,69	—6,40	—
$m_{насыщ}$	2,68	≈2,20	—	—	2,84	2,89	5,34	5,34	1,01	1,08	—

35. Интегральная теплота растворения иодида натрия в водно-диоксановых растворах при 25 °C

При $m = 0{,}000$ даны значения $-\Delta H_m$, экстраполированные к бесконечному разбавлению.

m, моли NaI на 1 кг растворителя	$-\Delta H_m$ (кДж/моль) при массовом содержании диоксана в растворителе, %			
	30	46	52	68
0,000	15,06	20,88	22,76	27,74
0,025	14,27	19,92	22,26	27,15
0,050	13,81	19,25	21,80	26,57
0,100	13,60	18,83	20,96	25,77
0,150	13,47	18,58	20,63	25,40
0,200	13,37	18,45	20,46	25,19
0,300	13,22	18,24	20,29	24,94
0,400	13,12	18,07	20,17	24,81
0,500	13,05	17,99	20,08	24,73
0,600	13,03	17,95	20,00	24,69
0,700	13,01	17,91	19,96	24,64
0,800	12,99	17,89	19,92	24,64
0,900	12,99	17,87	19,87	24,64
1,000	13,01	17,84	19,85	24,64
1,100	13,01	17,82	19,85	24,64
1,200	13,03	17,82	19,85	24,64
1,570	13,12	17,82	19,85	24,64
2,653	13,33	17,82	19,85	—
2,995	13,43	17,82	—	—
$m_{насыщ}$	4,953	2,995	2,653	1,570

36. Теплота смешения жидкостей при 25 °C

Приведена теплота смешения жидкостей ΔH^M (в Дж/моль) — изменение энтальпии системы при смешении n_1 молей первого компонента и n_2 молей второго компонента. Из сопоставления уравнений

$$\Delta H^M = \frac{H_{(1+2)} - n_1H_1 - n_2H_2}{n_1 + n_2} \quad \text{и} \quad \Delta H_m = \frac{H_{(1+2)} - n_1H_1 - n_2H_2}{n_2}$$

следует:

$$\Delta H^M = \frac{n_2}{n_1 + n_2}\,\Delta H_m = X_2\,\Delta H_m$$

Здесь ΔH_m — интегральная теплота растворения; X_2 — мольная доля второго компонента.

$X_2 \cdot 10^2$	$H_2O—CH_3NO$ (формамид)	$H_2O—C_5H_5N$ (пиридин)	$H_2O—CH_3OH$ (метанол)	$H_2O—C_2H_5OH$ (этанол)	$H_2O—C_3H_6O$ (ацетон)	$H_2O—C_4H_8O_2$ (диоксан)	CH_3OH — (метанол) — C_2H_5OH (этанол)
5	—	—	—334,7	—460,2	—	—326,4	—
10	138,1	—606,7	—581,6	—682,0	—439,3	—477,0	1,80
15	—	—	—728,0	—774,0	—	—510,4	—
20	217,6	—1046,0	—815,9	—774,0	—506,3	—477,0	3,26
25	—	—	—857,7	—715,5	—	—397,5	—
30	251,0	—1359,8	—870,3	—644,3	—447,7	—301,2	4,27
35	—	—	—1108,8	—573,2	—	—205,0	—
40	267,8	—1581,6	—849,4	—514,6	—280,3	—104,6	4,64
45	—	—	—824,2	—460,2	—	0	—
50	272,0	—1552,3	—790,8	—414,2	—100,4	100,4	4,35
55	—	—	—753,1	—368,2	—	200,8	—
60	242,7	—1280,3	—711,3	—330,5	79,5	301,2	3,81
65	—	—	—661,1	—292,9	—	393,3	—
70	200,8	—937,2	—598,3	—259,4	225,9	468,6	3,14
75	—	—	—531,4	—230,1	—	506,3	—
80	159,0	—581,6	—447,7	—209,2	305,4	506,3	2,22
85	—	—	—351,5	—184,1	—	489,5	—
90	92,0	—359,8	—251,0	—138,1	276,1	426,8	1,13
95	—	—	—150,6	—83,7	196,6	267,8	—

Продолжение

$x_s \cdot 10^4$	CH_3OH — (метанол) — C_6H_6 (бензол)	$CHCl_3$ — (хлороформ) — C_2H_5OH (этанол)	CH_3COOH — (уксусная кислота) — C_5H_5N (пиридин)	C_2H_5OH — (этанол) — $C_4H_8O_2$ (диоксан)	C_3H_6O — (ацетон) — $(C_2H_5)_2O$ (диэтиловый эфир)	$C_4H_8O_2$ — (этилацетат) — $(C_2H_5)_2O$ (диэтиловый эфир)	$(C_2H_5)_2O$ — (диэтиловый эфир) — C_6H_6 (бензол)	C_5H_5N — (пиридин) — C_6H_{12} (циклогексан)
5	—	305,4	—125,5	326,4	92,0	54,4	—10,46	251,0
10	149,4	431,0	—238,5	535,6	167,4	96,2	—17,57	510,4
15	—	451,3	—330,4	711,3	240,6	133,9	—21,76	711,3
20	292,9	431,0	—389,1	857,7	309,6	163,2	—23,85	891,2
25	—	372,4	—435,1	991,6	355,6	188,3	—24,27	1046,0
30	422,6	288,7	—472,8	1108,8	403,8	209,2	—23,85	1171,5
35	—	188,3	—502,1	1213,4	439,3	225,9	—22,38	1271,9
40	531,4	75,3	—514,6	1318,0	472,8	238,5	—19,66	1351,4
45	—	—54,4	—518,8	1414,2	491,6	248,9	—15,06	1401,6
50	619,2	—184,1	—510,4	1477,0	500,0	255,2	—9,41	1430,9
55	—	—318,0	—485,3	1477,0	502,1	255,2	—3,14	1435,1
60	682,0	—443,5	—451,9	1439,[illegible]	497,9	251,0	3,77	1422,6
65	—	—556,5	—410,0	1376,5	489,5	242,7	10,88	1376,5
70	715,5	—631,8	—359,8	1284,[illegible]	464,4	225,9	16,32	1271,9
75	—	—652,7	—309,6	1159,0	422,6	207,1	19,66	1138,0
80	694,5	—644,3	—251,0	1016,7	372,4	179,9	20,08	991,6
85	—	—585,8	—188,3	836,[illegible]	305,4	146,4	19,46	811,7
90	581,6	—410,0	—129,7	602,5	230,1	100,4	16,32	644,3
95	426,8	—209,2	—62,8	292,9	138,1	54,4	10,46	401,7

37. Энтальпия сольватации галогенидов щелочных металлов в различных растворителях при 25 °C

Энтальпия сольватации электролита $\Delta H_{сольв}$, кДж/моль, равна разности между первой теплотой растворения $\Delta H_{m=0} \equiv \Delta H_0$ и энергией кристаллической решетки (см. табл. 128). ε — относительная диэлектрическая проницаемость растворителя.

Электролит MX		Метанол (ε = 32,6)	Вода (ε = 78,5)	Формамид (ε = 110)	Метилформамид (ε = 182)
катион M	анион X				
Li^+	F^-	—	1039,7	—	—
	Cl^-	914,2	899,3	901,7	917,1
	Br^-	769,8	808,4	875,6	—
	I^-	—	827,9	841,0	853,0
Na^+	F^-	—	925,0	—	—
	Cl^-	796,8	784,6	797,3	793,5
	Br^-	769,8	758,7	771,5	771,4
	I^-	739,7	713,3	736,8	740,4
K^+	F^-	—	840,8	836,3	834,0
	Cl^-	713,0	700,4	714,1	716,3
	Br^-	685,6	669,5	688,4	692,8
	I^-	648,5	629,0	653,6	662,8
Rb^+	F^-	—	816,2	812,2	—
	Cl^-	687,1	675,8	689,6	—
	Br^-	—	644,9	663,6	—
	I^-	—	604,4	628,6	636,4
Cs^+	F^-	—	791,9	786,9	—
	Cl^-	658,9	651,5	664,9	665,2
	Br^-	—	620,6	639,2	—
	I^-	596,2	580,1	604,0	610,4

38. Удельная теплоемкость водных растворов

Вещество	Температура, °C	c_p, Дж/(г·K), при концентрации m, моль/кг H_2O			
		2,22	1,11	0,555	0,278
$CdSO_4$	12	2,91	3,40	3,74	—
$CuSO_4$	18—23	—	3,52	3,80	3,98
HCl	18	3,68	3,90	4,04	4,10
HNO_3	18	3,62	3,89	4,03	—
H_2SO_4	21	3,57	3,83	4,00	4,09
KCl	18	3,46	3,78	3,97	4,06
KNO_3	18—23	3,48	3,77	3,95	4,04
KOH	18	3,00	3,83	3,99	4,08
$MgSO_4$	18	3,24	3,59	3,84	3,99
NH_4CH_3COO	17,5	3,81	3,98	4,08	—
NH_4Cl	18	3,67	3,92	4,04	4,11
NH_4NO_3	18	3,68	3,89	4,03	—
$NaCH_3COO$	18	→	3,93	4,04	—
NaCl	18	3,68	3,90	4,03	4,09
$NaNO_3$	18	3,61	3,83	3,98	4,08
NaOH	18	3,80	3,94	4,05	—

39. Истинные атомные и молекулярные изобарные теплоемкости в интервале 10—298 К

Теплоемкости приведены в Дж/(моль·К), теплота фазовых превращений — в кДж/моль.

T, К	Ag	C (графит)	Cu	H_2O	NH_3	O_2	C_2H_6 этан	C_6H_6 бензол	C_6H_{12} метилциклопентан	C_7H_8 толуол	C_8H_{10} м-ксилол	C_8H_{18} 2,2,4-триметилпентан
10	0,21	—	—	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—
15	0,63	0,04	0,17	1,00	0,96	7,11	2,76	3,89	5,23	—	7,28	8,37
20	1,72	0,08	0,50	2,00	1,97	15,06 $\Delta H^{пер.\ I}_{20,6} = 0,09$	6,65	7,70	10,38	13,18	13,72	16,74
25	2,93	0,13	1,05	3,10	3,35	22,18	10,54	12,97	16,32	19,66	21,76	25,10
30	4,81	0,21	1,67	4,10	4,60	27,61	15,02	17,99	22,18	25,52	29,29	32,22
40	8,16	0,38	3,35	6,13	7,95	41,00 $\Delta H^{пер.\ II}_{43,8} = 0,74$	24,85	27,07	32,59	34,89	41,25	43,51
50	11,25	0,59	5,86	7,90	11,30	46,02 $\Delta H^{плавл}_{54,4} = 0,44$	32,68	33,68	40,92	43,10	49,37	52,72
60	13,81	0,75	8,16	9,60	14,31	55,28	39,54	39,00	47,78	48,79	55,44	61,50
80	17,49	1,17	12,55	12,82	20,29	56,07 $\Delta H^{исп}_{90,1} = 6,81$	53,22 $\Delta H^{плавл}_{90} = 2,87$	45,40	58,74	56,69	65,02	79,50
100	20,00	1,67	16,32	15,82	25,94	29,12	68,53	51,04	68,20	61,88	72,84	97,07
120	21,63	2,26	18,83	18,50	31,13	29,13	69,24	55,56	77,15 $\Delta H^{плавл}_{130,7} = 6,93$	68,45	80,12	115,06
140	22,80	2,93	20,33	20,82	36,19	29,14	69,83	61,30	125,06	74,22	87,99	132,21
160	23,64	3,60	21,34	23,15	41,21	29,15	70,84	68,20	126,11	79,87 $\Delta H^{плавл}_{178,2} = 6,53$	96,06	149,79 $\Delta H^{плавл}_{165,8} = 9,21$
180	24,35	4,31	22,09	25,60	45,81 $\Delta H^{плавл}_{195,4} = 5,66$	29,16	72,22 $\Delta H^{исп}_{181,1} = 14,70$	75,73	128,07	132,84	104,85	189,12
200	24,89	5,02	22,59	28,12	52,30 $\Delta H^{исп}_{239,7} = 23,35$	29,17	44,14	84,35	131,00	136,06	113,60 $\Delta H^{плавл}_{225,3} = 11,57$	195,81
235	—	—	—	—	54,81	—	—	—	—	—	—	—
250	25,31	6,86	23,85	34,70	34,52	29,29	48,00	109,62 $\Delta H^{плавл}_{278,6} = 9,83$	142,80	142,67	168,41	216,52
280	—	—	—	—	—	—	—	129,79	—	—	—	—
298	25,31	8,62	24,69	37,78 (273,16К)	35,73	29,37	52,72	135,14	158,16	156,06	183,26	239,53

40. Средняя теплоемкость простых веществ и соединений

Средние изобарные теплоемкости $\bar{C}_{p,\ 298-T}$ [в Дж/(моль·К)] приведены для температурного интервала от 298 К до указанной в таблице температуры. Для некоторых веществ $\bar{C}_{p,\ 298-T}$ приведены с учетом превращения α-модификации в β- и γ- или плавления вещества.

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
Простые вещества						
Alg (кр.)	25,90	26,20	26,48	26,76	27,03	27,31
As (кр.)	25,61	26,23	26,85	27,47	28,09	—
Au (кр.)	25,57	25,86	26,14	26,43	—	—
A (кр.)	25,75	26,01	26,27	26,53	26,79	27,05
B (кр.)	15,36	16,65	17,70	18,60	19,40	20,14
Ba (-α, -β)	27,77	28,46	30,52	30,90	31,64	—
	(α)	(α)	(β)			
Be (кр.)	19,50	20,47	21,30	22,03	22,69	23,32
Br (г.)	20,75	20,78	20,82	20,87	20,91	20,97
Br_2 (г.)	36,67	36,84	36,97	37,06	37,15	37,22
C (алмаз)	10,24	11,60	12,75	13,78	14,73	15,62
C (графит)	13,03	14,22	15,15	15,90	16,54	17,09
C_2 (г.)	39,09	38,15	37,54	37,12	36,85	36,67
Ca-α	27,78	28,47	29,17	—	—	—
Cd-α	27,13	27,74	—	—	—	—
		(594K)				
Cl (г.)	22,23	22,30	22,35	22,37	22,38	22,39
Cl_2 (г.)	35,39	35,74	35,99	36,20	36,37	36,50
Co-α	26,51	27,35	28,19	—	—	—
Cr (кр.)	25,90	26,80	27,60	28,31	28,97	29,60
Cu (кр.)	25,15	25,46	25,77	26,09	26,40	26,72
D_2 (г.)	29,25	29,39	29,53	29,69	29,87	30,06
F (г.)	22,42	22,25	22,10	21,98	21,88	21,79
F_2 (г.)	33,20	33,73	34,13	34,47	34,75	35,01
Fe-α	27,12	28,36	29,60	30,74	32,31	34,70
Ge (кр.)	24,82	25,25	25,61	25,92	26,20	26,46
H_2 (г.)	28,92	29,02	29,15	29,28	29,42	29,57
Hg (ж.)	27,47	27,38	—	—	—	—
I (г.)	20,65	20,64	20,63	20,63	20,65	20,66
I_2 (г.)	37,16	37,26	37,35	37,42	37,49	37,54
Mg (кр.)	26,26	26,84	27,40	27,96	28,51	—
Mn-α	28,42	29,31	30,15	30,94	31,73	32,50
						(980 K)
Mo (кр.)	24,44	24,79	25,14	25,49	25,83	26,18
N_2 (г.)	29,58	29,80	30,01	30,22	30,44	30,65
Ni (-α, -β)	28,74	30,21	31,55	31,39	31,41	31,56
	(α)	(α)	(β)			
O (г.)	21,46	21,35	21,27	21,22	21,18	21,14
O_2 (г.)	30,28	30,87	31,34	31,74	32,09	32,39
O_3 (г.)	44,16	45,57	46,70	47,64	48,47	49,21
P (красн.)	22,89	23,64	24,38	25,12	—	—
P_2 (г.)	33,61	34,13	34,51	34,82	35,06	35,26
Pb (кр., ж.)	27,71	28,14	40,59	38,51	37,08	36,00
	(кр.)	(кр.)	(ж.)			
Pt (кр.)	26,26	26,54	26,82	27,10	27,38	27,66
S_2 (г.)	34,18	34,64	34,97	35,24	35,42	35,64
Sb (кр.)	26,00	26,37	26,73	27,10	27,46	—
Si (кр.)	21,98	22,57	23,05	23,45	23,81	24,14

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
Sn (кр., ж.)	28,81	52,24	46,36	42,79	40,41	38,71
	(кр.)	(ж.)				
Sr (кр.)	27,76	28,46	29,15	[illegible]35	—	—
Te (кр.)	27,93	29,04	30,14	—	—	—
Th-α	28,64	29,27	29,91	30,54	31,18	31,82
Ti-α	25,31	25,83	26,36	26,89	27,41	27,94
U-α	29,79	31,09	32,45	33,87	35,30	—
W (кр.)	24,78	25,02	25,25	25,48	25,72	25,95
Zn (кр.)	26,38	26,89	27,39	—	—	—
			(690 K)			
Zr-α	26,61	27,19	28,94	28,35	28,94	29,52
Неорганические соединения						
AgBr (кр.)	58,89	62,11	—	—	—	—
AgCl (кр.)	56,35	57,82	58,93	—	—	—
AlF_3 α	84,10	87,47	90,54	—	—	—
Al_2O_3 (корунд)	96,67	101,16	104,55	107,25	109,47	111,42
$Al_2(SO_4)_3$ (кр.)	315,82	331,54	343,67	353,55	361,85	369,25
$AsCl_3$ (г.)	78,50	79,22	79,74	80,15	80,47	80,75
BCl_3 (г.)	68,47	70,21	71,62	72,83	73,90	74,89
BF_3 (г.)	57,28	59,68	61,80	63,72	65,53	67,27
B_2O_3 (кр.)	75,27	81,20	86,95	—	—	—
$BaCO_3$ (кр.)	98,40	102,19	105,68	108,76	111,76	114,66
$BaCl_2$ (кр.)	76,70	77,40	78,10	78,80	79,50	80,20
$Ba(NO_3)_2$ (кр.)	174,07	183,42	192,23	200,70	—	—
BaO (кр.)	49,48	50,62	51,50	52,22	52,82	53,35
$Ba(OH)_2$ (кр.)	107,27	111,85	—	—	—	—
$BaSO_4$ (кр.)	117,75	121,70	124,53	126,64	128,26	129,60
BeO (кр.)	33,13	35,45	37,35	38,98	40,43	41,77
$BeSO_4$ (кр.)	102,31	108,84	114,92	120,74	—	—
Bi_2O_3 (кр.)	116,86	118,54	120,21	121,89	—	—
CO (г.)	29,74	29,99	30,24	30,47	30,69	30,92
CO_2 (г.)	42,02	43,43	44,56	45,52	46,37	47,15
$COCl_2$ (г.)	65,88	67,50	68,82	69,97	70,98	71,93
COS (г.)	45,99	47,33	48,41	49,32	50,12	50,86
CS_2 (г.)	49,71	50,88	51,82	52,61	53,29	53,91
CaC_2-α	67,55	69,12	70,40	—	—	—
$CaCO_3$ (кальцит)	95,86	99,86	103,03	105,69	107,97	110,06
$CaCl_2$ (кр.)	75,27	76,19	77,02	77,81	78,58	79,29
CaF_2 (кр.)	73,30	74,61	75,97	77,38	78,81	80,26
$CaHPO_4$ (кр.)	133,30	140,58	146,56	151,74	156,35	160,64
$Ca(NO_3)_2$ (кр.)	172,72	182,35	191,43	200,17	—	—
CaO (кр.)	46,76	47,76	48,55	49,19	49,74	50,23
$Ca(OH)_2$ (кр.)	97,23	99,39	—	—	—	—
CaS (кр.)	49,02	49,82	50,61	51,41	52,20	53,00
$CaSO_4$ (ангидрит)	109,61	114,54	119,48	124,42	129,36	134,29
$Ca_3(PO_4)_2$-α	254,04	264,69	274,66	284,22	293,48	302,58
$CdCl_2$ (кр.)	77,28	79,29	81,29	83,30	—	—
CdO (кр.)	47,50	48,37	49,08	49,69	50,23	50,74
CdS (кр.)	55,47	55,66	55,85	56,04	56,23	56,4
$CdSO_4$ (кр.)	108,20	112,07	115,94	119,81	123,68	127,55
ClO_2 (г.)	46,09	47,33	48,33	49,17	49,90	50,57
Cl_2O (г.)	49,30	50,34	51,13	51,76	52,28	52,75

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
$CoCl_2$ (кр.)	84,66	87,72	90,77	93,83	96,88	99,94
$CrCl_3$ (кр.)	95,94	98,00	100,06	102,12	104,18	106,25
Cr_2O_3 (кр.)	112,54	114,75	116,46	117,86	119,04	120,10
CsCl (кр.)	53,60	54,07	54,55	55,03	55,50	—
CsI (кр.)	53,00	53,56	54,18	54,68	—	—
CuCl (кр.)	52,23	53,98	55,72	—	—	—
$CuCl_2$ (кр.)	74,45	75,32	76,20	—	—	—
CuO (кр.)	46,63	48,07	49,38	50,57	51,68	52,74
CuS (кр.)	48,76	49,31	49,86	50,42	50,97	51,52
$CuSO_4$ (кр.)	107,24	110,84	114,44	118,04	121,63	—
Cu_2O (кр.)	68,26	69,72	71,19	72,65	74,11	75,58
$FeCO_3$ (кр.)	93,40	99,01	104,61	110,22	—	—
FeO (кр.)	52,01	52,82	53,51	54,14	54,72	55,28
FeS_2 (кр.)	68,45	70,16	71,45	72,49	73,36	74,12
Fe_2O_3 (кр.)	117,87	122,92	127,55	131,94	136,14	140,23
Fe_3O_4 (кр.)	169,63	180,08	190 52	200,97	—	—
Ga_2O_3 (кр.)	104,95	108,07	110,53	112,56	114,30	115,87
GeO_2 (гексаг.)	60,96	63,43	65,34	66,89	68,20	69,36
GeO_2 (тетраг.)	59,33	61,90	63,90	65,54	66,94	68,19
HBr (г.)	29,22	29,39	29,60	29,82	30,07	30,32
HCN (г.)	39,84	41,08	42,12	43,05	43,89	44,68
HCl (г.)	29,10	29,20	29,35	29,51	29,69	29,88
HD (г.)	29,20	29,25	29,34	29,43	29,53	29,66
HF (г.)	29,00	29,05	29,13	29,24	29,36	29,49
HI (г.)	29,31	29,50	29,72	29,97	30,22	30,48
HNCS (г.)	51,65	53,90	55,93	57,74	59,31	60,66
H_2O (г.)	34,49	34,99	35,50	36,02	36,54	37,06
H_2O_2 (г.)	49,07	50,99	52,53	53,84	54,39	56,02
H_2S (г.)	35,51	36,28	37,05	37,82	38,59	39,36
HgO (кр.)	47,86	49,35	50,83	52,31	—	—
HgS (красн.)	49,93	50,70	51,46	52,23	—	—
Hg_2Cl_2 (кр.)	104,82	106,37	107,92	109,47	—	—
$In_2(SO_4)_3$ (кр.)	300,52	313,10	325,67	338,24	350,81	—
$KAl(SO_4)_2$ (кр.)	227,75	238,40	247,19	254,80	261,64	267,94
KCl (кр.)	52,22	52,95	53,78	54,67	55,61	56,58
KI (кр.)	53,69	54,56	55,63	56,78	58,00	—
K_2CrO_4 (кр.)	153,60	157,35	161,10	164,84	168,58	—
$K_2Cr_2O_7$ (кр.)	244,87	256,34	—	—	—	—
K_2SO_4 (кр.)	148,14	155,11	161,52	167,56	—	—
$LaCl_3$ (кр.)	105,75	106,82	107,90	108,97	110,04	111,12
LiCl (кр.)	50,76	51,93	53,10	54,27	—	—
LiOH (кр.)	57,55	60,34	62,82	—	—	—
Li_2SO_4 (кр.)	133,00	139,76	146,51	153,27	—	—
$MgCO_3$ (кр.)	89,26	94,10	98,38	—	—	—
$MgCl_2$ (кр.)	75,66	76,93	77,91	78,72	79,42	—
MgO (кр.)	42,56	43,99	45,06	45,90	46,59	47,18
$MgSO_4$ (кр.)	110,21	114,97	119,04	122,66	126,00	129,13
$MnCO_3$ (кр.)	94,37	98,51	102,02	—	—	—
$MnCl_2$ (кр.)	76,91	78,21	79,32	80,33	81,26	—
MnO (кр.)	47,25	48,06	48,77	49,39	49,97	50,51
MnO_2 (кр.)	62,62	64,95	66,76	—	—	—
MnS (кр.)	50,70	51,08	51,46	51,83	52,21	52,59
Mn_2O_3 (кр.)	108,39	111,66	114,49	117,05	119,43	121,69

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
Mn_3O_4 (кр.)	156,82	160,12	163,11	165,93	168,62	171,23
NH_3 (г.)	38,84	40,31	41,71	43,09	44,44	45,78
$(NH_4)_2SO_4$ (кр.)	215,59	229,63	—	—	—	—
NO (г.)	30,72	30,98	31,22	31,45	31,67	31,88
NOCl (г.)	43,29	44,46	45,40	46,20	46,91	47,56
NO_2 (г.)	40,96	42,32	43,45	44,44	45,33	46,16
N_2O (г.)	43,40	44,79	45,90	46,84	47,67	48,42
N_2O_4 (г.)	89,75	93,40	96,58	99,46	102,14	104,69
N_2O_5 (г.)	112,00	116,50	119,96	122,75	125,11	127,16
$NaAlO_2$ (кр.)	83,11	85,98	88,28	90,23	91,94	93,48
NaBr (кр.)	53,23	53,90	54,56	55,23	55,89	56,56
NaCl (кр.)	52,45	53,27	54,08	54,90	55,71	56,53
NaF (кр.)	49,06	50,02	50,95	51,84	52,72	53,58
NaI (кр.)	53,68	54,29	54,89	55,49	56,09	—
$Na_2B_4O_7$ (кр.)	211,70	219,75	226,60	232,70	238,30	243,55
Na_2CO_3-α	124,73	131,51	138,29	—	—	—
Na_2O (кр.)	76,37	78,75	80,72	82,44	84,00	85,43
Na_2O_2-α	96,61	99,44	102,27	—	—	—
Na_2S (кр.)	85,63	85,97	86,31	86,66	87,00	87,34
Na_2SO_3 (кр.)	124,47	126,65	128,82	131,00	133,17	135,35
Na_2SO_4(-α, -β, -γ)	143,91 (α)	189,17 (β)	187,02 (β)	186,82 (β)	187,59 (β)	189,63 (γ)
Na_2SiO_3 (кр.)	128,15	133,19	137,35	140,98	144,26	147,28
$Na_2Si_2O_5$ (-α, -β)	183,88 (α)	192,39 (α)	199,49 (α)	205,69 (α)	211,30 (α)	220,10 (β)
Na_3AlF_6 (-α, -β)	235,49 (α)	243,41 (α)	251,34 (α)	259,26 (α)	278,99 (β)	280,35 (β)
Na_3PO_4 (кр.)	162,83	166,18	169,53	172,88	176,23	179,58
Na_4SiO_4 (кр.)	192,20	195,91	199,63	203,34	207,05	210,76
$NiCl_2$ (кр.)	75,21	76,42	77,48	78,44	79,33	80,19
NiS (кр.)	49,39	50,72 (597 K)	—	—	—	—
$NiSO_4$ (кр.)	142,50	144,58	146,65	148,73	150,80	152,88
OH (г.)	29,89	29,89	29,89	29,89	29,94	30,04
PCl_3 (г.)	76,00	77,04	77,84	78,47	79,00	79,45
PCl_5 (г.)	119,65	121,64	123,09	124,22	125,14	125,83
P_4O_{10} (кр.)	255,77	276,13	—	—	—	—
$PbBr_2$ (кр.)	81,45	81,91	—	—	—	—
$PbCO_3$ (кр.)	99,58	105,57	111,55	117,53	—	—
$PbCl_2$ (кр., ж.)	80,13 (кр.)	81,81 (кр.)	83,48 (кр.)	133,38 (ж.)	128,53	125,06
$PbCl_2$ (г.)	57,00	57,05	57,10	57,15	57,20	57,24
PbI_2 (кр.)	83,15	84,14	(85,12)	—	—	—
PbO (желт., кр.)	48,56	49,89	51,23	52,57	53,91	55,23
PbO_2 (кр.)	66,16	67,80	69,43	71,06	72,69	74,32
Pb_3O_4 (кр.)	171,55	176,55	180,61	184,08	187,17	189,98
PbS (кр.)	50,41	50,87	51,33	51,79	52,25	52,71
$PbSO_4$ (кр.)	109,40	113,93	119,00	124,44	130,10	135,94
$PtCl_2$ (кр.)	78,15	79,45	80,74	82,04	—	—
$PtCl_4$ (кр.)	163,96	170,45	—	—	—	—
SO_2 (г.)	44,16	45,41	46,43	47,28	48,03	48,72
SO_2Cl_2 (г.)	84,80	87,20	89,15	90,81	92,28	93,61

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
SO_3 (г.)	58,69	61,10	62,99	64,56	65,92	67,12
$SbCl_3$ (г.)	79,71	80,26	80,66	80,96	81,19	81,38
Sb_2O_3 (кр.)	118,43	121,73	125,04	128,34	131,65	—
Sb_2S_3 (черн., кр.)	123,33	126,09	128,85	131,61	—	—
$SiCl_4$ (г.)	96,48	98,10	99,36	100,40	101,28	102,05
SiF_4 (г.)	83,56	86,41	88,65	90,49	92,07	93,47
SiH_4 (г.)	52,36	55,63	58,48	61,08	63,52	65,83
SiO_2 (кварц-α, -β)	53,10 (α)	56,08 (α)	58,69 (α)	61,09 (α)	63,65 (β)	64,27
SiO_2 (тридимит-β)	57,68	59,49	60,68	61,61	62,42	63,15
SiO_2 (кристобалит-α, -β)	57,06 (α)	61,21 (β)	62,35	63,21	63,92	64,55
$SnCl_2$ (кр., ж.)	84,02 (кр.)	135,95 (ж.)	126,07	120,12	116,15	—
$SnCl_4$ (г.)	102,07	102,99	103,65	104,16	104,56	104,91
SnO (кр.)	45,80	46,53	47,27	48,00	48,73	49,46
SnO (г.)	33,40	33,87	34,22	34,50	34,72	34,92
SnO_2 (кр.)	63,37	66,28	68,51	70,30	71,81	73,12
SnS (-α, -β)	50,71 (α)	51,85 (α)	53,12 (α)	54,45 (α)	56,58 (β)	56,47
SrO (кр.)	48,49	49,49	50,27	50,92	51,49	51,99
$SrSO_4$ (кр.)	113,40	116,19	118,97	121,75	124,53	127,32
TeE_6 (г.)	132,04	135,73	138,43	140,48	142,12	143,45
TeO_2 (кр.)	67,63	68,92	70,05	71,07	72,04	72,96
ThO_2 (кр.)	66,59	67,94	69,07	70,08	71,00	71,84
ThS_2 (кр.)	75,64	76,12	76,60	77,08	77,56	78,04
$Th(SO_4)_2$ (кр.)	196,75	208,30	219,85	231,40	242,95	—
$TiCl_4$ (г.)	100,29	101,49	102,35	103,01	103,53	103,95
TiO_2 (рутил)	60,71	62,39	63,76	64,92	65,95	66,89
TiO_2 (анатаз)	63,21	65,18	66,59	67,64	68,47	69,12
TlCl (кр.)	53,55	53,97	54,39	—	—	—
TlCl (г.)	36,70	36,81	36,90	36,96	37,01	37,05
Tl_2O (кр.)	72,76	74,86	76,95	79,04	—	—
UF_4 (кр.)	119,05	120,54	122,03	123,51	124,98	126,46
UF_6 (г.)	139,53	142,08	143,98	145,48	146,70	147,73
UO_2 (кр.)	71,92	74,10	75,77	77,10	78,21	79,17
UO_2F_2 (кр.)	112,95	115,61	117,63	119,25	120,61	121,78
U_3O_8 (кр.)	263,63	271,07	276,90	281,74	285,92	—
WO_3 (кр.)	82,36	85,12	87,33	89,19	90,82	92,27
WS_2 (кр.)	69,05	70,80	72,27	73,57	74,75	75,85
$ZnCl_2$ (кр.)	69,85	71,00 (590 К)	—	—	—	—
ZnO (кр.)	44,90	46,18	47,16	47,96	48,64	49,24
ZnS (кр.)	48,10	48,91	49,55	50,11	50,60	51,04
$ZnSO_4$ (кр.)	106,74	110,55	114,36	118,17	121,97	125,78
$ZrCl_4$ (кр.)	124,99	126,64	—	—	—	—
Органические соединения						
Углеводороды						
CH_4 (г.) метан	41,16	44,06	46,85	49,52	52,08	54,52
C_2H_2 (г.) ацетилен	48,72	50,83	52,75	54,49	56,06	57,46
C_2H_4 (г.) этилен	53,84	58,17	62,25	66,08	69,66	72,98

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
C_2H_6 (г.) этан	66,21	72,27	77,94	83,24	88,14	92,66
C_3H_4 (г.) пропадиен (аллен)	71,43	76,87	81,85	86,35	90,37	93,93
C_3H_6 (г.) пропен	79,86	87,06	93,94	100,52	106,76	112,69
C_3H_6 (г.) циклопропан	75,14	83,65	91,45	98,55	104,94	110,62
C_3H_8 (г.) пропан	94,39	103,52	112,02	119,90	127,15	133,76
C_4H_6 (г.) 1,2-бутадиен	97,50	105,27	112,48	119,12	125,20	130,72
C_4H_6 (г.) 1,3-бутадиен (дивинил)	98,92	107,38	115,09	122,05	128,27	133,74
C_4H_8 (г.) 1-бутен	111,43	120,58	129,19	137,27	144,80	151,80
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *цис-*	101,72	111,89	121,32	130,00	137,95	145,14
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *транс-*	108,53	117,55	126,04	134,03	141,52	148,50
C_4H_8 (г.) 2-метилпропен	110,54	119,60	128,16	136,22	143,76	150,80
C_4H_8 (г.) циклобутан	98,68	110,42	121,21	131,07	139,99	147,95
C_4H_{10} (г.) бутан	124,29	135,15	145,39	155,01	164,02	172,41
C_4H_{10} (г.) 2-метилпропан (изобутан)	126,23	137,47	147,84	157,37	166,03	173,82
C_5H_8 (г.) 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	129,60	140,43	150,33	159,31	167,37	174,50
C_5H_{10} (г.) циклопентан	117,90	132,80	146,83	159,67	171,27	181,67
C_5H_{12} (г.) пентан	151,75	165,84	178,91	190,96	201,97	211,96
C_5H_{12} (г.) 2-метилбутан (изопентан)	151,24	165,72	179,13	191,48	202,75	212,95
C_5H_{12} (г.) 2,2-диметилпропан (неопентан)	155,09	169,92	183,55	196,00	207,25	217,29
C_6H_6 (г.) бензол	110,94	123,02	133,98	143,81	152,50	160,06
C_6H_{12} (г.) циклогексан	149,80	169,02	186,70	202,86	217,48	230,56
C_6H_{14} (г.) гексан	180,50	197,21	212,67	226,91	239,92	251,70
C_7H_8 (г.) толуол	137,72	152,70	166,40	178,84	190,00	199,90
C_7H_{16} (г.) гептан	209,28	228,53	246,40	262,84	277,85	291,40
C_8H_6 (г.) этинилбензол (фенилацетилен)	146,23	159,77	172,04	183,03	192,74	201,18
C_8H_8 (г.) фенилэтилен (стирол)	156,96	172,22	186,13	198,70	209,90	219,75
C_8H_{10} (г.) этилбензол	167,54	184,71	200,40	214,64	227,41	238,69
о-C_8H_{10} (г.) *о*-ксилол	169,90	186,11	201,02	214,66	227,00	238,04
м-C_8H_{10} (г.) *м*-ксилол	165,54	182,32	197,74	211,82	224,51	235,83
п-C_8H_{10} (г.) *п*-ксилол	164,59	181,29	196,66	210,69	223,37	234,71
C_8H_{18} (г.) октан	237,95	259,86	280,14	298,78	315,80	331,17
$C_{10}H_8$ (г.) нафталин	175,24	193,83	210,71	225,90	239,40	251,18
$C_{10}H_8$ (г.) азулен	172,29	191,29	208,53	224,02	237,73	249,67
$C_{12}H_{10}$ (г.) дифенил	215,37	238,38	259,21	277,89	294,38	308,69
Кислородсодержащие соединения						
CH_2O (г.) формальдегид	39,57	41,77	43,86	45,84	47,72	49,50
CH_2O_2 (г.) муравьиная кислота	56,66	60,12	63,24	66,03	68,49	70,66
CH_4O (г.) метанол	52,20	56,03	59,64	63,04	66,22	69,21
C_2H_4O (г.) ацетальдегид	65,49	70,70	75,53	79,98	84,06	87,81
C_2H_4O (г.) этиленоксид	62,03	68,17	73,80	78,90	83,50	87,64
$C_2H_4O_2$ (г.) уксусная кислота	80,64	86,91	92,62	97,80	102,43	106,58
C_2H_6O (г.) этанол	80,57	87,39	93,69	99,48	104,74	109,55
C_2H_6O (г.) диметиловый эфир	79,99	86,48	92,56	98,24	103,50	108,40
$C_2H_6O_2$ (г.) этиленгликоль	111,56	118,00	123,90	129,25	134,06	138,38

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
C_3H_6O (г.) ацетон	92,64	99,81	106,53	112,81	118,65	124,10
C_3H_8O (г.) 1-пропанол	107,78	117,13	125,78	133,75	141,03	147,69
C_3H_8O (г.) 2-пропанол	110,78	120,55	129,55	137,75	145,14	151,82
$C_4H_{10}O$ (г.) диэтиловый эфир	138,20	149,86	160,67	170,68	179,86	188,31
$C_4H_{10}O$ (г.) бутанол	136,53	148,51	159,57	169,74	179,00	187,49
$C_5H_{12}O$ (г.) амиловый спирт	166,03	181,38	195,46	208,26	219,78	230,17
Галогенсодержащие соединения						
CCl_4 (г.) тетрахлорметан	90,00	92,54	94,75	96,63	98,18	99,40
CF_4 (г.) тетрафторметан	71,01	75,04	78,61	81,71	84,34	86,50
$CHCl_3$ (г.) трихлорметан (хлороформ)	74,16	77,38	80,00	82,00	83,41	84,21
CHF_3 (г.) трифторметан	60,15	64,07	67,60	70,73	73,47	75,83
CH_2Cl_2 (г.) дихлорметан	58,96	62,36	65,46	68,25	70,72	72,89
CH_2F_2 (г.) дифторметан	51,07	54,84	58,30	61,45	64,30	66,83
CH_3Br (г.) бромметан	49,76	52,96	55,98	58,81	61,47	63,94
CH_3Cl (г.) хлорметан	47,97	51,28	54,42	57,36	60,11	62,67
CH_3F (г.) фторметан	44,84	48,21	51,38	54,35	57,12	59,71
CH_3I (г.) иодметан	51,39	54,53	57,44	60,14	62,62	64,89
C_2H_5Cl (г.) хлорэтан	76,78	83,03	88,80	94,08	98,87	103,20
C_2H_5F (г.) фторэтан	73,13	79,43	85,27	90,65	95,56	100,00
C_6H_5Cl (г.) хлорбензол	125,10	136,80	147,40	156,80	165,20	172,50
C_6H_5F (г.) фторбензол	122,30	134,40	145,40	155,10	163,80	171,30
$C_7H_5F_3$ (г.) фенилтрифторметан	149,60	164,20	177,50	189,50	200,20	209,60
Азотсодержащие соединения						
CH_2N_2 (г.) диазометан	57,76	60,80	63,43	65,79	67,98	70,04
CH_3NO_2 (г.) нитрометан	69,82	75,35	80,44	85,08	89,28	93,04
CH_5N (г.) метиламин	60,93	65,64	70,08	74,25	78,15	81,77
CH_6N_2 (г.) метилгидразин	87,55	93,87	99,82	105,40	110,58	115,40
C_2H_7N (г.) диметиламин	87,02	95,08	102,6	109,5	115,8	121,5
C_3H_3N (г.) акрилонитрил	75,67	80,90	85,71	90,09	94,04	97,57
C_3H_9N (г.) триметиламин	116,6	127,7	137,8	147,1	155,6	163,1
C_5H_5N (г.) пиридин	104,1	115,4	125,7	135,0	143,2	150,4
C_6H_7N (г.) анилин	139,2	152,5	164,6	175,5	185,1	193,5
Серусодержащие соединения						
CH_4S (г.) метантиол	58,58	62,35	65,89	69,19	72,26	75,08
C_2H_4S (г.) тиациклопропан	67,58	73,63	79,15	84,13	88,57	92,48
C_2H_6S (г.) диметилсульфид	87,93	94,23	100,14	105,65	110,76	115,45
C_2H_6S (г.) этантиол	87,48	94,11	100,28	106,00	111,25	116,04
$C_2H_6S_2$ (г.) диметилдисульфид	109,77	116,70	123,18	129,14	134,61	139,59
C_3H_6S (г.) тиациклобутан	90,35	99,65	108,18	115,95	122,94	129,17
C_4H_4S (г.) тиофен	93,42	102,34	110,40	117,63	124,02	129,54
C_4H_8S (г.) тиациклопентан	118,67	130,90	142,07	152,21	161,32	169,38
$C_4H_{10}S$ (г.) диэтилсульфид	144,23	156,52	168,00	178,69	188,58	197,67
$C_4H_{10}S_2$ (г.) диэтилдисульфид	166,16	178,13	189,07	199,02	207,96	215,88
$C_5H_{10}S$ (г.) тиациклогексан	148,50	166,32	182,70	197,64	211,14	223,18
C_6H_6S (г.) бензолтиол (тиофенол)	133,96	146,59	158,05	168,36	177,52	185,50
C_2H_4OS (г.) тиоуксусная кислота	92,39	97,45	102,10	106,35	110,20	113,65

ХИМИЧЕСКИЕ РАВНОВЕСИЯ

41. Термодинамические константы равновесия важнейших газовых реакций в зависимости от температуры

Константы равновесия выражают в парциальных давлениях K_p, в концентрациях K_c, в летучестях или фугитивностях K_f, в активностях K_a, в мольных долях K_X и в числах молей K_n реагентов. Термодинамические константы равновесия K_a и K_f безразмерны. Константа равновесия, записанная по закону действующих масс, — размерная величина; в частности, в этом случае K_p или K_c имеют размерность давления или концентрации в степени $\Delta\nu$ (изменение числа молей при реакции).

Константа равновесия, по закону действующих масс, численно равна термодинамической константе равновесия, если все парциальные давления или концентрации отнесены к соответствующим стандартным значениям.

Зависимость константы равновесия от температуры выражена уравнением (значения коэффициентов a, b, c и c' см. в табл. 44):

$$\lg K_a = -\frac{\Delta H_0^\circ}{2{,}303RT} + \frac{\Delta a}{R}\lg T + \frac{\Delta b}{2{,}303\cdot 2R}T + \frac{\Delta c'}{2{,}303\cdot 2RT^2} + \frac{\Delta c}{2{,}303\cdot 6R}T^2 + \text{const}$$

Реакция	Выражение константы K_a	Уравнение $\lg K_a = f(T)$
$2H = H_2$	$K_a = \frac{a_{H_2}}{a_H^2}$	$\lg K_a = \frac{22\,545}{T} - 1{,}720\lg T + 0{,}085\cdot 10^{-3}T + \frac{0{,}013\cdot 10^5}{T^2} - 0{,}185$
$2Cl = Cl_2$	$K_a = \frac{a_{Cl_2}}{a_{Cl}^2}$	$\lg K_a = \frac{12\,552}{T} - 1{,}113\lg T + 0{,}052\cdot 10^{-3}T + \frac{0{,}024\cdot 10^5}{T^2} - 2{,}428$
$2Br\ (г.) = Br_2\ (г.)$	$K_a = \frac{a_{Br_2\,(г.)}}{a_{Br\,(г.)}^2}$	$\lg K_a = \frac{10\,061}{T} - 0{,}318\lg T - 0{,}057\cdot 10^{-3}T - \frac{0{,}052\cdot 10^5}{T^2} - 4{,}553$
$2I\ (г.) = I_2\ (г.)$	$K_a = \frac{a_{I_2\,(г.)}}{a_{I\,(г.)}^2}$	$\lg K_a = \frac{7875{,}2}{T} - 0{,}330\lg T - 0{,}020\cdot 10^{-3}T - \frac{0{,}042\cdot 10^5}{T^2} - 4{,}346$
$H_2 + Cl_2 = 2HCl$	$K_a = \frac{a_{HCl}^2}{a_{H_2}a_{Cl_2}}$	$\lg K_a = \frac{9400}{T} - 1{,}353\lg T + 0{,}138\cdot 10^{-3}T + \frac{0{,}118\cdot 10^5}{T^2} + 5{,}035$
$H_2 + Br_2\ (г.) = 2HBr$	$K_a = \frac{a_{HBr}^2}{a_{H_2}a_{Br_2\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{5189{,}9}{T} - 1{,}479\lg T + 0{,}208\cdot 10^{-3}T + \frac{0{,}077\cdot 10^5}{T^2} + 5{,}375$

Продолжение

Реакция	Выражение константы K_a	Уравнение $\lg K_a = f(T)$
$H_2 + I_2$ (г.) $= 2HI$	$K_a = \frac{a^2_{HI}}{a_{H_2} a_{I_2\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{302,4}{T} - 1,448 \lg T + 0,210 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,054 \cdot 10^5}{T^2} + 5,290$
$2Cl_2 + 2H_2O$ (г.) $= 4HCl + O_2$	$K_a = \frac{a^4_{HCl} a_{O_2}}{a^2_{Cl_2} a^2_{H_2O\,(г.)}}$	$\lg K_a = -\frac{6019,9}{T} + 0,423 \lg T - 0,025 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,147 \cdot 10^5}{T^2} + 5,672$
$CO + Cl_2 = COCl_2$ (г.)	$K_a = \frac{a_{COCl_2\,(г.)}}{a_{CO} a_{Cl_2}}$	$\lg K_a = \frac{5835,1}{T} + 0,206 \lg T + 0,190 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,150 \cdot 10^5}{T^2} - 8,032$
$2H_2 + O_2 = 2H_2O$ (г.)	$K_a = \frac{a^2_{H_2O\,(г.)}}{a^2_{H_2} a_{O_2}}$	$\lg K_a = \frac{24\,820}{T} - 3,130 \lg T + 0,301 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,090 \cdot 10^5}{T^2} + 4,397$
$2CO + O_2 = 2CO_2$	$K_a = \frac{a^2_{CO_2}}{a^2_{CO} a_{O_2}}$	$\lg K_a = \frac{29\,791}{T} + 0,169 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,324 \cdot 10^5}{T^2} - 9,495$
$CO + H_2O$ (г.) $= H_2 + CO_2$	$K_a = \frac{a_{H_2} a_{CO_2}}{a_{CO} a_{H_2O\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{2485,5}{T} + 1,565 \lg T - 0,066 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,207 \cdot 10^5}{T^2} - 6,946$
$2H_2 + S_2$ (г.) $= 2H_2S$ (г.)	$K_a = \frac{a^2_{H_2S\,(г.)}}{a^2_{H_2} a_{S_2\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{8369}{T} - 3,840 \lg T + 0,606 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,066 \cdot 10^5}{T^2} + 6,824$
$2SO_2 + O_2 = 2SO_3$	$K_a = \frac{a^2_{SO_3}}{a^2_{SO_2} a_{O_2}}$	$\lg K_a = \frac{10\,679}{T} + 0,736 \lg T + 0,114 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,354 \cdot 10^5}{T^2} - 12,419$
$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	$K_a = \frac{a^2_{NH_3}}{a_{N_2} a^3_{H_2}}$	$\lg K_a = \frac{4189,0}{T} - 6,028 \lg T + 0,964 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,126 \cdot 10^5}{T^2} + 6,491$
$2NO + O_2 = 2NO_2$	$K_a = \frac{a^2_{NO_2}}{a^2_{NO} a_{O_2}}$	$\lg K_a = \frac{6017,2}{T} - 0,998 \lg T + 0,302 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,237 \cdot 10^5}{T^2} - 5,175$
$N_2 + O_2 = 2NO$	$K_a = \frac{a^2_{NO}}{a_{N_2} a_{O_2}}$	$\lg K_a = -\frac{9581}{T} - 0,022 \lg T + \frac{0,068 \cdot 10^5}{T^2} + 1,380$
$2NO_2 = N_2O_4$	$K_a = \frac{a_{N_2O_4}}{a^2_{NO_2}}$	$\lg K_a = \frac{3070,2}{T} + 0,189 \lg T + 0,446 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,022 \cdot 10^5}{T^2} - 10,019$
$CO + 2H_2 = CH_3OH$ (г.)	$K_a = \frac{a_{CH_3OH\,(г.)}}{a_{CO} a^2_{H_2}}$	$\lg K_a = \frac{3886,0}{T} - 8,142 \lg T + 2,470 \cdot 10^{-3} T - 0,270 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,014 \cdot 10^5}{T^2} + 10,826$
$2CO + 2H_2 = CH_3COOH$ (г.)	$K_a = \frac{a_{CH_3COOH\,(г.)}}{a^2_{CO} a^2_{H_2}}$	$\lg K_a = \frac{10\,050}{T} - 11,614 \lg T + 4,752 \cdot 10^{-3} T - 0,676 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,002 \cdot 10^5}{T^2} + 11,600$
$C_2H_4 + H_2O$ (г.) $= C_2H_5OH$ (г.)	$K_a = \frac{a_{C_2H_5OH\,(г.)}}{a_{C_2H_4} a_{H_2O\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{2049,3}{T} - 3,648 \lg T + 1,880 \cdot 10^{-3} T - 0,316 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,009 \cdot 10^5}{T^2} + 2,940$
$2C_2H_5OH$ (г.) $= C_4H_6 + 2H_2O$ (г.) $+ H_2$ (1, 3-бутадиен)	$K_a = \frac{a_{C_4H_6} a^2_{H_2O\,(г.)} a_{H_2}}{a^2_{C_2H_5OH\,(г.)}}$	$\lg K_a = -\frac{4141,1}{T} + 8,826 \lg T - 2,912 \cdot 10^{-3} T + 0,319 \cdot 10^{-6} T^2 + \frac{0,030 \cdot 10^5}{T^2} - 11,191$
$2C_2H_2 + 3H_2O$ (г.) $= C_3H_6O$ (г.) $+ CO_2 + 2H_2$	$K_a = \frac{a_{C_3H_6O\,(г.)} a_{CO_2} a^2_{H_2}}{a^2_{C_2H_2} a^3_{H_2O\,(г.)}}$	$\lg K_a = \frac{17\,637}{T} - 2,611 \lg T + 1,356 \cdot 10^{-3} T - 0,092 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,223 \cdot 10^5}{T^2} - 3,794$

3 Заказ 1

Вещество	T, К	t, °С	$P \cdot 10^{-2}$, кПа	P, атм	$V \cdot 10^{6}$, м³/моль
C_2H_4O этиленоксид	468,2	195	71,9	71,0	138
$C_2H_4O_2$ уксусная кислота	594,8	321,6	57,9	57,1	171
C_2H_6O этанол	516,3	243,1	63,8	63,0	167
C_2H_6O диметиловый эфир	400,1	126,9	53,7	53	190
C_3H_6O ацетон	508,7	235,5	47,2	46,6	213
C_3H_8O 1-пропанол	537,2	264	50,9	50,2	220
C_3H_8O 2-пропанол	508,8	235,6	53,7	53	219
$C_4H_8O_2$ этилацетат	523,3	250,1	38,3	37,8	286
$C_4H_8O_2$ 1,4-диоксан	585,2	312	51,4	50,7	245
$C_4H_{10}O$ диэтиловый эфир	467,2	194	36,1	35,6	281
Галогенсодержащие соединения					
$CClF_3$ хлортрифторметан	301,9	28,7	38,8	38,3	179,4
CCl_2F_2 дихлордифторметан	385,2	112,0	41,3	40,8	226,8
CCl_3F трихлорфторметан	471,2	198,0	43,8	43,2	248
CCl_4 тетрахлорметан	556,6	283,4	46,2	45,6	276,0
CF_4 тетрафторметан	227,5	—45,7	37,4	36,9	140,6
$CHClF_2$ хлордифторметан	369,3	96,1	49,9	49,2	168,2
$CHCl_2F$ дихлорфторметан	451,6	178,4	51,9	51,2	195,7
$CHCl_3$ трихлорметан (хлороформ)	536,5	263,3	55,0	54,3	238,8
CH_3Cl хлорметан	416,3	143,1	66,8	65,9	139,1
C_2H_5Cl хлорэтан	460,4	187,2	52,7	52,0	195
C_6H_5Cl хлорбензол	632,4	359,2	45,2	44,6	308
C_6H_5F фторбензол	560,1	286,9	45,5	44,9	269
$C_7H_5F_3$ фенилтрифторметан	562,7	289,5	35,6	35,1	342
Азотсодержащие соединения					
CH_5N метиламин	430,1	156,9	74,6	73,6	—
C_2H_7N диметиламин	437,7	164,5	53,1	52,4	—
C_3H_9N триметиламин	433,3	160,1	40,7	40,2	254
C_5H_5N пиридин	617,4	344,2	60,8	60,0	—
C_6H_7N анилин	699,2	426,0	53,1	52,4	297
Серусодержащие соединения					
CH_4S метантиол	470,0	196,8	72,3	71,4	149
C_2H_6S диметилсульфид	503,1	229,9	55,3	54,6	203
C_2H_6S этантиол	498,7	225,5	54,9	54,2	206
C_4H_4S тиофен	590,2	317	48,6	48	—
$C_4H_{10}S$ диэтилсульфид	512,0	238,8	39,6	39,1	323
$C_4H_{10}S_2$ диэтилдисульфид	642,2	369	—	—	—

43. Коэффициенты активности реальных газов

Обобщенный метод расчета коэффициента активности реальных газов основан на принципе соответственных состояний. Приведенное давление $\pi = P/P_{крит}$; приведенная температура $\tau = T/T_{крит}$. При вычислении свойств H_2, He и Ne необходимо использовать вместо $P_{крит}$ и $T_{крит}$ псевдокритические параметры ($P_{крит} + 8$) и ($T_{крит} + 8$).

$\pi = \frac{P}{P_{крит}}$	$\tau = \frac{T}{T_{крит}}$														
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,5
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1	0,612	0,735	0,814	0,870	0,906	0,926	0,948	0,956	0,964	0,976	0,990	1,000	1,006	1,010	1,014
2	0,385	0,560	0,668	0,760	0,824	0,872	0,898	0,914	0,930	0,956	0,980	1,000	1,012	1,020	1,028
3	0,288	0,435	0,560	0,668	0,748	0,806	0,854	0,880	0,902	0,940	0,974	1,000	1,020	1,032	1,046
4	0,248	0,370	0,494	0,602	0,690	0,764	0,824	0,858	0,882	0,930	0,972	1,000	1,030	1,048	1,062
5	0,226	0,338	0,464	0,566	0,654	0,736	0,802	0,842	0,866	0,922	0,972	1,008	1,042	1,062	1,080
6	0,210	0,318	0,442	0,544	0,634	0,720	0,788	0,834	0,860	0,920	0,978	1,014	1,052	1,074	1,098
7	0,202	0,310	0,430	0,532	0,626	0,710	0,780	0,832	0,860	0,926	0,988	1,026	1,068	1,092	1,112
8	0,200	0,308	0,428	0,528	0,624	0,712	0,784	0,834	0,868	0,934	1,000	1,040	1,086	1,110	1,136
9	0,200	0,310	0,430	0,532	0,630	0,720	0,792	0,840	0,878	0,948	1,014	1,058	1,106	1,130	1,158
10	0,202	0,312	0,434	0,542	0,640	0,730	0,806	0,852	0,890	0,964	1,034	1,076	1,128	1,153	1,180
11	—	—	0,460	0,552	0,654	0,746	0,810	0,866	0,908	0,982	1,054	1,100	1,152	1,174	1,204

Продолжение

$\pi = \frac{P}{P_{крит}}$	$\tau = \frac{T}{T_{крит}}$														
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,5
12	—	—	0,474	0,566	0,668	0,760	0,834	0,884	0,928	1,008	1,078	1,126	1,174	1,198	1,226
13	—	—	0,490	0,582	0,686	0,778	0,852	0,906	0,952	1,014	1,106	1,152	1,202	1,222	1,250
14	—	—	0,510	0,598	0,706	0,798	0,874	0,930	0,978	1,066	1,134	1,180	1,228	1,248	1,280
15	—	—	0,532	0,620	0,728	0,826	0,902	0,958	1,006	1,100	1,166	1,214	1,256	1,280	1,310
16	—	—	0,545	0,646	0,758	0,854	0,934	0,996	1,036	1,114	1,198	1,240	1,290	1,310	1,340
17	—	—	0,565	0,672	0,786	0,890	0,970	1,026	1,072	1,172	1,230	1,274	1,322	1,342	1,368
18	—	—	0,578	0,706	0,824	0,930	1,006	1,066	1,110	1,208	1,270	1,310	1,354	1,374	1,402
19	—	—	0,604	0,738	0,860	0,970	1,050	1,106	1,150	1,248	1,308	1,348	1,392	1,414	1,434
20	—	—	0,628	0,768	0,894	1,006	1,088	1,142	1,180	1,288	1,340	1,386	1,432	1,442	1,468
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,328	1,406	1,418	1,472	1,476	1,504
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,366	1,426	1,466	1,514	1,522	1,564

$\pi = \frac{P}{P_{крит}}$	$\tau = \frac{T}{T_{крит}}$															
	3,5	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	1,080	1,076	1,071	1,063	1,057	1,056	1,048	1,043	1,038	1,036	1,030	1,028	1,024	1,019	1,015	1,012
10	1,180	1,167	1,152	1,135	1,120	1,117	1,102	1,088	1,072	1,070	1,061	1,052	1,048	1,039	1,031	1,028
15	1,310	1,274	1,244	1,214	1,194	1,181	1,160	1,136	1,110	1,108	1,087	1,080	1,072	1,058	1,045	1,042
20	1,468	1,402	1,346	1,302	1,274	1,248	1,210	1,182	1,152	1,148	1,127	1,110	1,100	1,082	1,060	1,054
25	—	1,540	1,450	1,398	1,356	1,318	1,284	1,234	1,192	1,188	1,158	1,142	1,128	1,106	1,084	1,070
30	—	1,686	1,570	1,502	1,444	1,392	1,352	1,292	1,234	1,228	1,192	1,176	1,156	1,130	1,106	1,086
35	—	1,868	1,708	1,612	1,534	1,470	1,424	1,350	1,284	1,270	1,228	1,208	1,184	1,160	1,126	1,104
40	—	2,028	1,854	1,728	1,630	1,554	1,492	1,410	1,328	1,312	1,266	1,240	1,212	1,178	1,146	1,118
45	—	2,228	2,018	1,850	1,736	1,644	1,570	1,470	1,380	1,354	1,306	1,274	1,242	1,202	1,168	1,134
50	—	2,450	2,190	1,986	1,850	1,744	1,654	1,534	1,432	1,400	1,346	1,308	1,272	1,228	1,188	1,152
55	—	2,694	2,372	2,126	1,968	1,844	1,740	1,598	1,486	1,448	1,388	1,342	1,302	1,252	1,208	1,168
60	—	2,966	2,570	2,274	2,098	1,952	1,828	1,664	1,546	1,500	1,432	1,380	1,334	1,278	1,230	1,182
65	—	—	—	—	—	—	—	—	1,602	1,552	1,476	1,416	1,368	1,306	1,252	1,196
70	—	—	—	—	—	—	—	—	1,662	1,608	1,526	1,454	1,380	1,332	1,272	1,214
75	—	—	—	—	—	—	—	—	1,728	1,668	1,590	1,494	1,438	1,362	1,292	1,238
80	—	—	—	—	—	—	—	—	1,794	1,728	1,622	1,538	1,472	1,390	1,314	1,248
85	—	—	—	—	—	—	—	—	1,862	1,790	1,672	1,582	1,512	1,426	1,338	1,268
90	—	—	—	—	—	—	—	—	1,930	1,862	1,726	1,626	1,548	1,456	1,360	1,288
95	—	—	—	—	—	—	—	—	2,002	1,912	1,774	1,668	1,590	1,490	1,380	1,308
100	—	—	—	—	—	—	—	—	2,070	1,978	1,828	1,712	1,628	1,528	1,402	1,328

44. Термодинамические свойства простых веществ, соединений и ионов в водных растворах и в жидком аммиаке

$\Delta H^\circ_{f,\,298}$ и $\Delta G^\circ_{f,\,298}$ — изменения стандартных энтальпии (теплоты образования) и энергии Гиббса при образовании (индекс f — formation) данного вещества из простых веществ, термодинамически устойчивых при 101,325 кПа (1 атм) и при выбранной температуре 298 К. S°_{298} и $C^\circ_{p,\,298}$ — стандартные значения энтропии и изобарной теплоемкости вещества при 298 К.

Теплоемкость [в Дж/(моль·К)] при температуре T в указанном в таблице интервале температур выражается уравнениями:

$$C^\circ_p = a + bT + c'/T^2 \text{ или } C^\circ_p = a + bT + cT^2$$

Свойства ионов в растворах даны при $a = 1$ по отношению к H^+, соответствующие характеристики которого приняты равными нулю.

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	
Простые вещества								
Ag (кр.)	0	42,55	0	25,44	23,97	5,27	—0,25	273—1234
Al (кр.)	0	28,33	0	24,35	20,67	12,38	—	273—932
As (серый)	0	35,61	0	24,74	23,28	5,74	—	298—800
Au (кр.)	0	47,40	0	25,36	23,68	5,19	—	298—1336
B (кр.)	0	5,86	0	11,09	16,78	9,04	—7,49	298—1700
Ba-α	0	60,67	0	28,28	22,26	13,81	—	298—643
Ba-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{643} = 0{,}63$	—	—	—	10,46	29,29	—	643—983
Be (кр.)	0	9,54	0	16,44	19,16	8,87	—4,77	298—1556
Bi (кр.)	0	56,90	0	26,02	18,79	22,59	—	298—544,5
Br (г.)	111,88	174,90	82,44	20,79	19,98	1,34	0,36	298—1000
					18,33	3,88	—0,84 ($c\cdot10^6$)	1000—2500
Br^- (г.)	—218,87	163,39	—238,67	20,79	20,79	—	—	До 20 000 К
Br_2 (ж.)	0	152,21	0	75,69	75,69	—	—	298—332
Br_2 (г.)	30,91	245,37	3,14	36,07	37,32	0,50	—1,26	298—1600
C (алмаз)	1,83	2,37	2,83	6,11	9,12	13,22	—6,19	298—1200
C (графит)	0	5,74	0	8,54	16,86	4,77	—8,54	298—2500
C (г.)	716,67	157,99	671,28	20,84	20,80	—	—	298—1600
C_2 (г.)	830,86	199,31	774,86	43,21	30,67	3,97	10,19	298—2000
Ca-α	0	41,63	0	26,36	22,22	13,93	—	273—713
Cd-α	0	51,76	0	25,94	22,22	12,30	—	273—594
Cl (г.)	121,34	165,08	105,35	21,84	23,14	—0,67	—0,96	298—2000
Cl^- (г.)	—233,63	153,25	—239,86	20,79	20,79	—	—	До 20 000 К
Cl_2 (г.)	0	222.98	0	33,93	37,03	0,67	—2,85	298—3000
Co-α	0	30,04	0	24,81	19,83	16,75	—	298—700
Cr (кр.)	0	23,64	0	23,35	24,43	9,87	—3,68	298—2000
Cs (кр.)	0	84,35	0	31,38	31,38	—	—	273—301,8
Cu (кр.)	0	33,14	0	24,43	22,64	6,28	—	298—1357
D (г.)	221,67	123,24	206,52	20,79	20,79	—	—	До 20 000 К
D_2 (г.)	0	144,86	0	29,20	28,58	0,88	1,96 ($c\cdot10^6$)	298—1500
F (г.)	79,38	158,64	62,30	22,75	23,70	—3,21	—	298—500
					21,08	—0,10	2,67	500—3000
F^- (г.)	—259,68	145,47	—266,61	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
F_2 (г.)	0	202,67	0	31,30	34,56	2,51	—3,51	298—2000
Fe-α	0	27,15	0	24,98	17,24	24,77	—	298—700
					—159,80	181,00	332,36	700—1000
Ga (кр.)	0	41,09	0	26,07	26,07	—	—	298—302,9
Ge (кр.)	0	31,09	0	23,35	25,02	3,43	—2,34	298—1210
H (г.)	217,98	114,60	203,28	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
H^+ (г.)	1536,21	108,84	1517,00	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
H^- (г.)	139,03	108,85	132,26	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
H_2 (г.)	0	130.52	0	28,83	27,28	3,26	0,50	298—3000
Hg (ж.)	0	75,90	0	27,99	26,94	0,00	0,79	298—629,9
Hg (г.)	61,30	174,85	31,80	20,79	20,79	—	—	до 4 000 К
I (г.)	106,76	180,67	70,21	20,79	20,07	0,68	0,46	298—3000
I^- (г.)	—195,02	169,15	—221,92	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
I_2 (кр.)	0	116,14	0	54,44	40,12	49,79	—	298—385
I_2 (г.)	62,43	260,60	19,39	36,90	37,40	0,59	—0,71	298—3000
In (кр.)	0	57,82	0	26,74	20,25	21,59	—	298—430
K (кр.)	0	64,18	0	29,58	5,61	81,17	—	298—335
La (кр.)	0	56,90	0	27,82	25,8	6,70	—	298—1153
Li (кр.)	0	28,24	0	24,73	6,86	46,44	3,51	298—450
Mg (кр.)	0	32,68	0	24,89	22,30	10,63	—0,42	298—920
Mn-α	0	32,01	0	26,28	23,85	14,14	—1,59	298—980
Mo (кр.)	0	28,62	0	24,06	21,67	6,95	—	298—2890
N_2 (г.)	0	191,50	0	29,12	27,88	4,27	—	298—2500
Na (кр.)	0	51,21	0	28,24	16,82	37,82	—	298—371
Na (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{371} = 2{,}60$	—	—	—	—	—	—	—
Ni-α	0	29,87	0	26,07	16,99	29,46	—	298—633
Ni-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{633} = 0{,}38$	—	—	—	25,10	7,53	—	633—1725

Продолжение

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, $\frac{Дж}{моль \cdot К}$	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, $\frac{Дж}{моль \cdot К}$	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	
O (г.)	249,17	160,95	231,75	21,91	20,80	0,01	0,98	298—3000
O^+ (г.)	1568,78	154,85	1546,96	20,79	20,79	—	—	298—2500
O^- (г.)	101,43	157,69	91,20	21,67	20,84	—0,02	0,75	298—3000
O_2 (г.)	0	205,04	0	29,37	31,46	3,39	—3,77	298—3000
O_3 (г.)	142,26	238,82	162,76	39,25	47,02	8,04	—9,04	298—1500
P (бел.)	0	41,09	0	23,82	23,82	—	—	273—317
P (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{317,3} = 0,66$	—	—	—	26,33	—	—	317—550
P (красн.)	—17,45	22,80	—12,00	21,39	16,95	14,89	—	298—870
P_2 (г.)	143,85	217,94	103,37	32,05	36,16	0,85	—4,31	298—2000
Pb (кр.)	0	64,81	0	26,82	24,23	8,71	—	298—601
Pb (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{601} = 4,77$	—	—	—	32,49	—3,09	—	601—1200
Pt (кр.)	0	41,55	0	25,86	24,02	5,61	—	298—2000
Ra (кр.)	0	(71,2)	0	(27,2)	—	—	—	—
Rb (кр.)	0	76,23	0	30,88	30,88	—	—	298—310
S (монокл.)	0,38	32,55	0,19	23,64	23,64	—	—	368—392
S (ромб.)	0	31,92	0	22,68	22,68	—	—	273—368
S (г.)	278,81	167,75	238,31	23,67	—	—	—	—
S_2 (г.)	128,37	228,03	79,42	32,51	36,11	1,09	—3,51	298—2000
Sb (кр.)	0	45,69	0	25,23	23,10	7,28	—	273—900
Se (кр.)	0	42,44	0	25,36	18,95	23,01	—	273—490
Si (кр.)	0	18,83	0	19,99	22,82	3,86	—3,54	298—1685
Sn (бел.)	0	51,55	0	26,99	21,59	18,10	—	298—505
Sn (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{505} = 7,03$	—	—	—	21,54	6,15	12,88	505—800
Sr (кр.)	0	55,69	0	26,36	22,22	13,89	—	298—830
Te (кр.)	0	49,50	0	25,71	19,12	22,09	—	298—720
Th-α	0	53,39	0	27,32	23,56	12,72	—	298—1600
Ti-α	0	30,63	0	25,02	21,10	10,54	—	298—1155
Tl-α	0	64,18	0	26,32	22,01	14,48	—	273—500
U-α	0	50,29	0	27,66	16,19	30,63	2,05	298—940
W (кр.)	0	32,64	0	24,27	22,91	4,69	—	298—2500
Zn (кр.)	0	41,63	0	25,44	22,38	10,04	—	273—690
Zr-α	0	38,99	0	25,44	21,97	11,63	—	298—1135

Неорганические соединения

AgBr (кр.)	—100,42	107,11	—97,02	52,30	33,18	64,43	—	298—700
AgCl (кр.)	—126,78	96,23	—109,54	50,79	62,26	4,18	—11,30	298—725
AgI-α	—61,92	115,48	—66,35	54,43	24,35	100,83	—	298—420
$AgNO_3$-α	—124,52	140,92	—33,60	93,05	36,65	189,12	—	298—433
Ag_2O (кр.)	—30,54	121,75	—10,90	65,86	55,48	29,46	—	298—500
Ag_2S-α	—31,80	143,51	—39,70	76,53	64,60	39,96	—	298—449
Ag_2SO_4 (кр.)	—715,88	200,00	—618,36	131,38	96,65	116,73	—	298—597
$AlBr_3$ (кр.)	—513,38	180,25	—490,60	100,50	49,95	169,58	—	298—370
$AlCl_3$ (кр.)	—704,17	109,29	—628,58	91,00	77,12	47,83	—	273—453
AlF_3-α	—1510,42	66,48	—1431,15	75,10	72,26	45,86	—9,62	298—727
Al_2O_3 (корунд)	—1675,69	50,92	—1582,27	79,04	114,55	12,89	—34,31	298—1800
$Al_2(SO_4)_3$ (кр.)	—3441,80	239,20	—3100,87	259,41	366,31	62,59	—112,47	298—1100
$AsCl_3$ (ж.)	—305,01	216,31	—259,16	133,47	—	—	—	—
$AsCl_3$ (г.)	—270,34	328,82	—258,04	75,48	82,09	1,00	—5,94	298—2000
As_2O_3 (клаудетит)	—653,37	122,72	—577,03	112,21	59,83	175,73	—	298—582
As_2O_3 (арсенолит)	—656,89	108,32	—576,16	95,65	35,02	203,34	—	298—548
As_2O_5 (кр.)	—921,32	105,44	—478,69	116,52	—	—	—	—
BCl_3 (г.)	—402,96	290,08	—387,98	62,63	70,54	11,97	—10,21	298—1000
BF_3 (г.)	—1136,58	254,01	—1119,93	50,46	52,05	28,03	—8,87	298—1000
B_2O_3 (кр.)	—1270,43	53,84	—1191,29	62,76	36,53	106,32	—5,48	298—723
$BaCO_3$ (кр.)	—1210,85	112,13	—1132,77	85,35	86,90	48,95	—11,97	298—1040
$BaCl_2$ (кр.)	—859,39	123,64	—811,71	75,31	71,13	13,97	—	298—1195
$Ba(NO_3)_2$ (кр.)	—992,07	213,80	—797,23	151,63	125,73	149,37	—16,78	298—868
BaO (кр.)	—553,54	70,29	—525,84	46,99	53,30	4,35	—8,28	298—1270
$Ba(OH)_2$ (кр.)	—943,49	100,83	—855,42	97,91	70,71	91,63	—	298—681
$BaSO_4$ (кр.)	—1458,88	132,21	—1348,43	102,09	141,42	0,0	—35,27	298—1300
BeO (кр.)	—598,73	14,14	—569,54	25,56	35,35	16,74	—13,26	298—1175
$BeSO_4$ (кр.)	—1200,81	77,97	—1089,45	85,69	71,78	99,69	—13,78	298—863
Bi_2O_3 (кр.)	—570,70	151,46	—490,23	113,8	103,51	33,47	—	298—978
CO (г.)	—110,53	197,55	—137,15	29,14	28,41	4,10	—0,46	298—2500
CO_2 (г.)	—393,51	213,66	—394,37	37,11	44,14	9,04	—8,54	298—2500
$COCl_2$ (г.)	—219,50	283,64	—205,31	57,76	67,15	12,03	—9,04	298—1000
COS (г.)	—141,70	231,53	—168,94	41,55	48,12	8,45	—8,20	298—1800
CS_2 (ж.)	88,70	151,04	64,41	75,65	—	—	—	—
CS_2 (г.)	116,70	237,77	66,55	45,48	52,09	6,69	—7,53	298—1800
CaC_2-α	—59,83	69,96	—64,85	62,72	68,62	11,88	—8,66	298—720
$CaCO_3$ (кальцит)	—1206,83	91,71	—1128,35	83,47	104,52	21,92	—25,94	298—1200
$CaCl_2$ (кр.)	—795,92	108,37	—749,34	72,59	71,88	12,72	—2,51	298—1055

Продолжение

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	
CaF_2-α	—1220,89	68,45	—1168,46	67,03	59,83	30,46	1,97	298—1000
$CaHPO_4$ (кр.)	—1808,56	111,38	—1675,38	110,04	138,41	55,10	—40,38	298—1000
$CaHPO_4\cdot2H_2O$ (кр.)	—2397,46	189,45	—2148,60	197,07	—	—	—	—
$Ca(H_2PO_4)_2$ (кр.)	—3114,57	189,54	—2811,81	—	—	—	—	—
$Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O$ (кр.)	—3408,29	259,83	—3057,00	258,82	—	—	—	—
$Ca(NO_3)_2$ (кр.)	—938,76	193,30	—743,49	149,33	122,88	153,97	—17,28	298—800
CaO (кр.)	—635,09	38,07	—603,46	42,05	49,62	4,52	—6,95	298—1800
$Ca(OH)_2$ (кр.)	—985,12	83,39	—897,52	87,49	105,19	12,01	—19,00	298—600
CaS (кр.)	—476,98	56,61	—471,93	47,49	42,68	15,90	—	298—1000
$CaSO_4$ (ангидрит)	—1436,28	106,69	—1323,90	99,66	70,21	98,74	—	298—1400
$Ca_3(PO_4)_2$-α	—4120,82	235,98	—3884,9	227,82	201,84	166,02	—20,92	298—1373
$CdCl_2$ (кр.)	—390,79	115,27	—343,24	73,22	61,25	40,17	—	298—841
CdO (кр.)	—258,99	54,81	—229,33	43,64	48,24	6,38	—4,90	298—1500
CdS (кр.)	—156,90	71,13	—153,16	47,32	53,97	3,77	—	298—1273
$CdSO_4$ (кр.)	—934,41	123,05	—823,88	99,62	77,32	77,40	—	298—1273
ClO_2 (г.)	104,60	257,02	122,34	41,84	48,28	7,53	—7,74	298—1500
Cl_2O (г.)	75,73	266,23	93,40	45,44	53,18	3,35	—7,78	298—2000
$CoCl_2$ (кр.)	—312,54	109,29	—269,69	78,49	60,29	61,09	—	298—1000
$CoSO_4$ (кр.)	—867,76	113,39	—760,83	103,22	—	—	—	—
$CrCl_3$ (кр.)	—556,47	123,01	—486,37	91,80	79,50	41,21	—	298—1218
CrO_3 (кр.)	—590,36	73,22	—513,44	69,33	82,55	21,67	—17,49	298—470
Cr_2O_3 (кр.)	—1140,56	81,17	—1058,97	104,52	119,37	9,20	—15,65	298—1800
CsCl (кр.)	—442,83	101,18	—414,61	52,63	49,79	9,54	—	298—918
CsI (кр.)	—336,81	125,52	—331,77	51,88	48,53	11,21	—	298—894
CsOH (кр.)	—406,68	77,82	—354,71	—	—	—	—	—
CuCl (кр.)	—137,24	87,02	—120,06	48,53	38,27	34,38	—	298—703
$CuCl_2$ (кр.)	—205,85	108,07	—161,71	71,88	67,44	17,56	—	298—766
CuO (кр.)	—162,00	42,63	—134,26	42,30	43,83	16,77	—5,88	298—1359
CuS (кр.)	—53,14	66,53	—53,58	47,82	44,35	11,05	—	298—1273
$CuSO_4$ (кр.)	—770,90	109,20	—661,79	98,87	78,53	71,96	—	298—900
Cu_2O (кр.)	—173,18	92,93	—150,56	63,64	56,57	29,29	—	298—1500
Cu_2S (кр.)	—79,50	120,92	—86,27	76,32	39,25	130,54	—	298—376
D_2O (ж.)	—294,60	75,90	—243,47	84,31	—	—	—	—

D_2O (г.)	—249,20	198,23	—234,55	34,27	—	—	—	—
$FeCO_3$ (кр.)	—738,15	95,40	—665,09	83,26	48,66	112,13	—	298—855
FeO (кр.)	—264,85	60,75	—244,30	49,92	50,80	8,61	—3,31	298—1650
FeS-α	—100,42	60,29	—100,78	50,54	0,502	167,36	—	298—411
FeS-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{411} = 4{,}39$	—	—	—	50,42	11,42	—	411—1468
$FeSO_4$ (кр.)	—927,59	107,53	—819,77	100,58	—	—	—	—
FeS_2 (кр.)	—177,40	52,93	—166,05	62,17	74,81	5,52	—12,76	298—1000
Fe_2O_3 (кр.)	—822,16	87,45	—740,34	103,76	97,74	72,13	—12,89	298—1000
Fe_3O_4 (кр.)	—1117,13	146,19	—1014,17	150,79	86,27	208,92	—	298—866
Ga_2O_3 (кр.)	—1089,10	84,98	—998,24	92,05	112,88	15,44	—21,00	298—2068
GeO_2 (гексаг.)	—554,71	55,27	—500,79	52,09	68,91	9,83	—17,70	298—1390
GeO_2 (тетраг.)	—580,15	39,71	—521,59	50,17	66,61	11,59	—17,74	298—1300
HBr (г.)	—36,38	198,58	—53,43	29,14	26,15	5,86	1,09	298—1600
HCN (г.)	132,00	201,71	121,58	35,90	39,37	11,30	—6,02	298—2500
HCl (г.)	—92,31	186,79	—95,30	29,14	26,53	4,60	1,09	298—2000
HD (г.)	0,32	143,70	—1,47	29,20	29,25	—1,15	2,50 ($c\cdot10^6$)	298—1500
HF (г.)	—273,30	173,67	—275,41	29,14	26,90	3,43	1,09	298—2500
HI (г.)	26,36	206,48	1,58	29,16	26,32	5,94	0,92	298—2000
HNCS (г.)	127,61	248,03	112,89	46,40	26,48	76,99	—34,18 ($c\cdot10^6$)	298—1000
HNO_3 (ж.)	—173,00	156,16	—79,90	109,87	—	—	—	—
HNO_3 (г.)	—133,91	266,78	—73,78	54,12	—	—	—	—
H_2O (кр.)	—291,85	(39,33)	—	—	4,41	109,50	46,47 ($c\cdot10^6$)	100—273
H_2O (ж.)	—285,83	69,95	—237,23	75,30	39,02	76,64	11,96	273—380
H_2O (г.)	—241,81	188,72	—228,61	33,61	30,00	10,71	0,33	298—2500
H_2O_2 (ж.)	—187,86	109,60	—120,52	89,33	53,60	117,15	—	298—450
H_2O_2 (г.)	—135,88	234,41	—105,74	42,39	52,30	11,88	—11,88	298—1500
H_2S (г.)	—20,60	205,70	—33,50	33,44	29,37	15,40	—	298—1800
H_2SO_4 (ж.)	—813,99	156,90	—690,14	138,91	156,90	28,30	—23,46	298—553
H_3PO_4 (кр.)	—1279,05	110,50	—1119,20	106,06	49,83	189,24	—	298—316
H_3PO_4 (ж.)	—1266,90	200,83	—1134,00	106,10	—	—	—	—
$HgBr_2$ (кр.)	—169,45	170,31	—152,22	75,32	66,58	29,29	—	298—514
$HgCl_2$ (кр.)	—228,24	140,02	—180,90	73,91	69,99	20,28	—1,89	298—550
HgI_2-α	—105,44	184,05	—103,05	78,24	72,84	16,74	—	273—403
HgO (красн.)	—90,88	70,29	—58,66	44,88	36,04	29,64	—	298—800
HgS (красн.)	—58,99	82,42	—51,42	48,41	43,84	15,27	—	298—800
Hg_2Br_2 (кр.)	—207,07	217,70	—181,35	—	—	—	—	—

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	
Hg_2Cl_2 (кр.)	—265,06	192,76	—210,81	101,70	92,47	30,96	—	273—798
Hg_2SO_4 (красн.)	—744,65	200,71	—627,51	131,96	—	—	—	—
In_2O_3 (кр.)	—925,92	107,95	—831,98	92,05	—	—	—	—
$In_2(SO_4)_3$ (кр.)	—2725,50	302,08	—2385,87	275,00	200,20	251,04	—	298—943
$KAl(SO_4)_2$ (кр.)	—2465,00	204,50	—2235	193,00	234,10	82,34	—58,41	298—1000
KBr (кр.)	—393,80	95,94	—380,60	52,30	48,37	13,89	—	298—543
KCl (кр.)	—436,68	82,55	—408,93	51,49	41,38	21,76	3,22	298—1000
$KClO_3$ (кр.)	—391,20	142,97	—289,80	100,25	—	—	—	—
$KClO_4$ (кр.)	—430,12	151,04	—300,58	112,40	—	—	—	—
KI (кр.)	—327,90	106,40	—323,18	53,00	38,84	28,92	4,93	298—955
$KMnO_4$ (кр.)	—828,89	171,54	—729,14	117,57	—	—	—	—
KNO_3-α	—492,46	132,88	—392,75	96,29	60,88	118,83	—	273—401
KOH (кр.)	—424,72	79,28	—379,22	65,60	42,66	76,96	—	298—522
K_2CO_3 (кр.)	—1150,18	155,52	—1064,87	114,44	80,29	109,04	—	630—1171
K_2CrO_4 (кр.)	—1385,74	200,00	—1277,84	146,00	123,72	74,89	—	298—939
$K_2Cr_2O_7$ (кр.)	—2067,27	291,21	—1887,85	219,70	153,38	229,29	—	298—671
K_2SO_4 (кр.)	—1433,69	175,56	—1316,04	130,01	120,37	99,58	—17,82	298—856
$LaCl_3$ (кр.)	—1070,68	144,35	—997,07	103,60	97,19	21,46	—	298—1128
LiCl (кр.)	—408,27	59,30	—384,30	48,39	41,42	23,40	—	298—883
$LiNO_3$ (кр.)	—482,33	71,13	—374,92	83,26	38,37	150,62	—	273—523
LiOH (кр.)	—484,67	42,78	—439,00	49,58	50,17	34,48	9,50	298—744
Li_2CO_3 (кр.)	—1216,00	90,16	—1132,67	96,20	42,53	177,24	—	298—623
Li_2SO_4 (кр.)	—1435,86	114,00	—1321,28	117,60	118,95	93,34	—27,20	298—595
$MgCO_3$ (кр.)	—1095,85	65,10	—1012,15	76,11	77,91	57,74	—17,41	298—750
$MgCl_2$ (кр.)	—644,80	89,54	—595,30	71,25	79,08	5,94	—8,62	298—900
MgO (кр.)	—601,49	27,07	—569,27	37,20	48,98	3,14	—11,44	298—3000
$Mg(OH)_2$ (кр.)	—924,66	63,18	—833,75	76,99	46,99	102,85	—	298—541
$MgSO_4$ (кр.)	—1287,42	91,55	—1173,25	95,60	106,44	46,28	—21,90	298—1400
$MgSO_4\cdot6H_2O$ (кр.)	—3089,50	348,10	—2635,10	348,10	—	—	—	—
$MnCO_3$ (кр.)	—881,66	109,54	—811,40	81,50	92,01	38,91	—19,62	298—700
$MnCl_2$ (кр.)	—481,16	118,24	—440,41	72,97	75,48	13,22	—5,73	298—923
MnO (кр.)	—385,10	61,50	—363,34	44,10	46,48	8,12	—3,68	298—1800
MnO_2 (кр.)	—521,49	53,14	—466,68	54,02	69,45	10,21	—16,23	298—523
MnS (кр.)	—214,35	80,75	—219,36	49,92	47,70	7,53	—	298—1800
Mn_2O_3 (кр.)	—957,72	110,46	—879,91	107,50	—	—	—	—
Mn_3O_4 (кр.)	—1387,60	154,81	—1282,91	148,08	144,93	45,27	—9,20	298—1445
NH_3 (ж.)	—69,87	—	—	80,75	—	—	—	—
NH_3 (г.)	—45,94	192,66	—16,48	35,16	29,80	25,48	—1,67	298—1800
$NH_4Al(SO_4)_2$ (кр.)	—2353,50	216,31	—2039,80	226,40	—	—	—	—
NH_4Cl-β	—314,22	95,81	—203,22	84,10	—	—	—	—
NH_4NO_3 (кр.)	—365,43	151,04	—183,93	139,33	—	—	—	—
$(NH_4)_2SO_4$ (кр.)	—1180,31	220,08	—901,53	187,30	103,60	280,80	—	298—600
NO (г.)	91,26	210,64	87,58	29,86	29,58	3,85	—0,59	298—2500
NOCl (г.)	52,59	263,50	66,37	39,37	44,89	7,70	—6,95	298—2000
NO_2 (г.)	34,19	240,06	52,29	36,66	41,16	11,33	—7,02	298—1500
N_2O (г.)	82,01	219,83	104,12	38,62	45,69	8,62	—8,53	298—2000
N_2O_4 (г.)	11,11	304,35	99,68	79,16	83,89	39,75	—14,90	298—1000
N_2O_5 (г.)	13,30	355,65	117,14	95,28	127,45	16,54	—32,85	298—2000
$NaAlO_2$ (кр.)	—1133,03	70,29	—1069,20	73,30	87,95	17,70	—17,74	298—1900
NaBr (кр.)	—361,41	86,82	—349,34	51,90	47,92	13,31	—	—
$NaC_2H_3O_2$ (кр.)	—710,40	123,10	—608,96	80,33	—	—	—	—
NaCl (кр.)	—411,12	72,13	—384,13	50,81	45,94	16,32	—	298—1070
NaF (кр.)	—573,63	51,30	—543,46	46,86	43,51	16,23	—1,38	298—1265
$NaHCO_3$ (кр.)	—947,30	102,10	—849,65	87,70	44,89	143,89	—	298—500
NaI (кр.)	—287,86	98,32	—284,59	52,50	48,88	12,05	—	298—933
$NaNO_3$-α	—466,70	116,50	—365,97	93,05	25,69	225,94	—	298—550
NaOH-α	—426,35	64,43	—380,29	59,66	7,34	125,00	13,38	298—566
NaOH (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{595} = 6,36$	—	—	—	89,58	—5,86	—	595—1000
$Na_2B_4O_7$ (кр.)	—3276,70	189,50	—3081,80	186,80	206,10	77,09	—37,49	298—1000
Na_2CO_3-α	—1130,80	138,80	—1048,20	111,30	70,63	135,6	—	298—723
Na_2CO_3 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1127} = 33,00$	—	—	—	—	—	—	—
$Na_2CO_3\cdot10H_2O$ (кр.)	—4077	2172	—3906	536	—	—	—	—
NaH_2PO_4 (кр.)	—1544,90	127,57	—1394,24	116,94	—	—	—	—
Na_2HPO_4 (кр.)	—1754,86	150,60	—1615,25	135,28	—	—	—	—
Na_2O (кр.)	—417,98	75,06	—379,26	68,89	77,11	19,33	—12,59	298—1000
Na_2O_2-α	—513,21	94,81	—449,81	90,89	74,00	56,66	—	298—785
Na_2S (кр.)	—374,47	79,50	—358,13	84,93	82,89	6,86	—	298—1250
Na_2SO_3 (кр.)	—1089,43	146,02	—1001,21	120,08	107,11	43,51	—	298—1000
Na_2SO_4-α	—1387,21	149,62	—1269,50	128,35	82,32	154,36	—	298—522
Na_2SO_4-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{522} = 10,81$	—	—	—	145,05	54,60	—	522—980
Na_2SO_4-γ	$\Delta H^{\beta\to\gamma}_{920} = 0,33$	—	—	—	142,68	59,31	—	980—1157

Продолжение

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{f,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^{\circ}_{f,298}$, кДж/моль	$C^{\circ}_{p,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^{\circ}_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (кр.)	—4324,75	591,87	—3644,09	547,46	—	—	—	—
Na_2SO_4 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1157} = 23,01$	—	—	—	197,40	—	—	1157—2000
$Na_2S_2O_3$ (кр.)	—1117,13	(225)	(—1043)	145,98	—	—	—	—
Na_2SiF_6 (кр.)	—2849,72	214,64	—2696,29	—	—	—	—	—
Na_2SiO_3 (кр.)	—1561,43	113,76	—1467,50	111,81	130,29	40,17	—27,07	298—1362
Na_2SiO_3 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1361} = 51,80$	—	—	—	177,32	—	—	1362—2000
Na_2SiO_3 (стекл.)	—1541,64	—	—	179,20	179,20	—	—	298—2000
$Na_2Si_2O_5$-α	—2470,07	164,05	—2324,39	156,50	185,69	70,54	—44,64	298—951
$Na_2Si_2O_5$-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{951} = 0,42$	—	—	—	292,88	—	—	951—1147
$Na_2Si_2O_5$ (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1147} = 35,56$	—	—	—	261,21	—	—	1147—2000
$Na_2Si_2O_5$ (стекл.)	—2443,04	—	—	—	—	—	—	—
Na_3AlF_6-α	—3309,54	283,49	—3158,53	219,51	172,27	158,45	—	298—834
Na_3AlF_6-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{834} = 9,29$	—	—	—	151,49	144,29	—	834—1279
Na_3AlF_6 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1279} = 107,28$	—	—	—	396,22	—	—	1279—2500
Na_3PO_4 (кр.)	—1924,64	224,68	—1811,31	153,57	136,10	67,00	—	298—1000
Na_4SiO_4 (кр.)	—2106,64	195,81	—1976,07	184,72	162,59	74,22	—	298—1393
$NiCl_2$ (кр.)	—304,18	98,07	—258,03	71,67	73,27	13,23	—4,98	298—1300
NiO-α	—239,74	37,99	—211,60	44,31	—20,88	157,23	16,28	298—525
NiS (кр.)	—79,50	52,97	—76,87	47,11	38,70	26,78	—	273—597
$NiSO_4$ (кр.)	—873,49	103,85	—763,76	97,70	125,94	41,51	—	298—1200
PCl_3 (ж.)	—320,91	218,49	—274,08	131,38	131,38	—	—	298—340
PCl_3 (г.)	—287,02	311,71	—267,98	71,84	80,11	3,10	7,99	298—1000
PCl_5 (кр.)	—445,89	170,80	—318,36	(138)	(138)	—	—	298—432
PCl_5 (г.)	—374,89	364,47	—305,10	112,97	129,49	2,93	—16,40	298—1500
P_2O_3 (ж.)	(—1097)	(142)	(—1023)	144,4	—	—	—	—
P_2O_5 (кр.)	—1507,2	140,3	—1371,7	(41,8)	35,06	22,61	—	(298—500)
P_4O_{10} (кр.)	—2984,03	228,86	—2697,60	211,71	93,30	407,19	—	298—630
P_4O_{10} (г.)	—2894,49	394,55	—2657,46	190,79	—	—	—	—
$PbBr_2$ (кр.)	—282,42	161,75	—265,94	80,54	77,78	9,20	—	298—640
$PbCO_3$ (кр.)	—699,56	130,96	—625,87	87,45	51,84	119,66	—	298—800
$PbCl_2$ (кр.)	—359,82	135,98	—314,56	76,99	66,78	33,47	—	298—768
$PbCl_2$ (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{768} = 23,85$	—	—	—	104,18	—	—	768—1226
$PbCl_2$ (г.)	—173,64	315,89	—182,02	55,23	56,62	0,96	—	298—2000
PbI_2 (кр.)	—175,23	175,35	—173,56	81,17	75,31	19,66	—	298—680
PbO (желт.)	—217,61	68,70	—188,20	45,77	37,87	26,78	—	298—1000
PbO (красн.)	—219,28	66,11	—189,10	45,81	36,15	32,47	—	298—760
PbO_2 (кр.)	—276,56	71,92	—217,55	64,77	53,14	32,64	—	298—1000
Pb_3O_4 (кр.)	—723,41	211,29	—606,17	146,86	177,49	34,39	—29,29	298—1500
PbS (кр.)	—100,42	91,21	—98,77	49,48	46,74	9,20	—	298—1392
PbS (г.)	122,34	251,33	76,25	35,10	37,32	—2,05	—	1609—2400
$PbSO_4$ (кр.)	—920,48	148,57	—813,67	103,22	45,86	129,70	17,57	298—1100
$PtCl_2$ (кр.)	—106,69	219,79	—93,35	(75,52)	67,78	25,98	—	298—854
$PtCl_4$ (кр.)	—229,28	267,88	—163,80	(150,86)	112,21	129,70	—	298—600
$RaCl_2$ (кр.)	—887,6	144,4	(—842,9)	(80,25)	77,04	10,9	—	298—1000
$Ra(NO_3)_2$ (кр.)	—992,27	217,71	(—795,5)	—	—	—	—	—
RaO (кр.)	—544	(71)	(—513)	(46,5)	44,0	8,4	—	298—1000
$RaSO_4$ (кр.)	—1473,75	142,35	(—1363,2)	—	—	—	—	—
SO_2 (г.)	—296,90	248,07	—300,21	39,87	46,19	7,87	—7,70	298—2000
SO_2Cl_2 (ж.)	—394,13	216,31	—321,49	133,89	133,89	—	—	219—342
SO_2Cl_2 (г.)	—363,17	311,29	—318,85	77,40	87,91	6,15	—14,23	298—1000
SO_3 (г.)	—395,85	256,69	—371,17	50,09	64,98	11,75	—16,37	298—1300
					91,28	—3,84	—119,61	1000—2000
$SbCl_3$ (кр.)	—381,16	183,26	—322,45	110,46	43,10	213,80	—	273—346
$SbCl_3$ (г.)	—311,96	338,49	—299,54	77,40	83,05	0,00	—4,98	298—1000
Sb_2O_3 (кр.)	—715,46	132,63	—636,06	111,76	92,05	66,11	—	298—930
Sb_2O_5 (кр.)	—1007,51	125,10	—864,74	117,61	45,86	241,04	—	298—500
Sb_4O_6 (кр.)	—1417,12	282,00	—1263,10	223,80	—	—	—	—
Sb_2S_3 (черн.)	—157,74	181,59	—156,08	123,22	101,29	55,23	—	273—820
$SiCl_4$ (ж.)	—687,85	239,74	—620,75	145,27	145,27	—	—	298—330
$SiCl_4$ (г.)	—657,52	330,95	—617,62	90,37	101,46	6,86	—11,51	298—1000
SiF_4 (г.)	—1614,94	282,38	—1572,66	73,64	91,46	13,26	—19,66	298—1000
SiH_4 (г.)	34,73	204,56	57,18	42,89	46,26	36,76	—12,77	298—1500
SiO_2 (кварц-α)	—910,94	41,84	—856,67	44,43	46,99	34,31	—11,30	298—846
SiO_2 (кварц-β)	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{846} = 0,63$	—	—	—	60,29	8,12	—	846—2000
SiO_2 (тридимит-α)	—909,06	43,51	—855,29	44,60	13,68	103,76	—	298—390
SiO_2 (тридимит-β)	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{390} = 0,29$	—	—	—	57,07	11,05	—	390—2000
SiO_2 (кристобалит-α)	—909,48	42,68	—855,46	44,18	17,91	88,12	—	298—515
SiO_2 (кристобалит-β)	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{515} = 1,30$	—	—	—	60,25	8,54	—	515—2000

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	
SiO_2 (стекл.)	—903,49	46,86	—850,71	44,35	56,02	15,41	—14,44	298—2000
$SnCl_2$ (кр.)	—330,95	131,80	—288,40	75,58	50,63	83,68	—	298—520
$SnCl_2$ (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{520} = 14,52$	—	—	—	96,23	—	—	520—925
$SnCl_4$ (ж.)	—528,86	258,99	—457,74	165,27	165,27	—	—	298—388
$SnCl_4$ (г.)	—489,11	364,84	—449,55	98,32	106,98	0,84	—7,82	298—1000
SnO (кр.)	—285,98	56,48	—256,88	44,35	39,96	14,64	—	298—1200
SnO (г.)	20,85	232,01	—2,39	31,76	35,23	1,34	—3,51	298—2000
SnO_2 (кр.)	—580,74	52,30	—519,83	52,59	73,85	10,04	—21,59	298—1500
SnS-α	—110,17	76,99	—108,24	49,25	35,69	31,30	3,77	298—875
SnS-β	$\Delta H^{\alpha\to\beta}_{875} = 0,67$	—	—	—	40,96	15,65	—	875—1150
SrO (кр.)	—592,04	54,39	—562,10	45,03	50,75	5,27	—6,49	298—1800
$SrSO_4$ (кр.)	—1444,74	117,57	—1332,42	107,79	91,20	55,65	—	298—1600
$TeCl_4$ (кр.)	—323,84	200,83	—236,00	138,49	138,49	—	—	298—500
TeF_6 (г.)	—1369,00	335,89	—1273,11	117,32	152,08	3,10	—31,71	298—2000
TeO_2 (кр.)	—323,42	74,06	—269,61	63,88	65,19	14,56	—5,02	298—1000
$Th(OH)_4$ (кр.)	—1764,7	134	—1588,6	—	—	—	—	—
ThO_2 (кр.)	—1226,75	65,23	—1169,15	61,76	66,27	12,05	—6,69	298—2000
ThS_2 (кр.)	—627,60	96,23	—621,34	74,67	71,80	9,62	—	298—2180
$Th(SO_4)_2$ (кр.)	—2541,36	148,11	—2306,04	173,46	104,60	230,96	—	298—900
$TiCl_4$ (ж.)	—804,16	252,40	—737,32	145,20	142,79	8,71	—0,16	298—410
$TiCl_4$ (г.)	—763,16	354,80	—726,85	95,45	107,18	0,47	—10,55	298—2000
TiO_2 (рутил)	—944,75	50,33	—889,49	55,04	62,86	11,36	—9,96	298—2140
TiO_2 (анатаз)	—933,03	49,92	—877,65	55,21	75,04	0,00	—17,63	298—2000
TlCl (кр.)	—204,18	111,29	—184,98	52,70	50,21	8,37	—	298—700
TlCl (г.)	—68,41	256,06	—92,38	36,23	37,40	0,00	—1,05	298—2000
Tl_2O (кр.)	—167,36	134,31	—138,57	68,54	56,07	41,84	—	298—850
UF_4 (кр.)	—1910,37	151,67	—1819,74	115,98	107,53	29,29	—0,25	298—1309
UF_4 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{1309} = 58,6$	—	—	—	133,98	37,68	—	1309—1500
UF_4 (г.)	—1591,55	349,36	—1559,87	90,79	—	—	—	—
UF_6 (кр.)	—2188,23	227,61	—2059,82	167,49	52,72	384,93	—	273—337
UF_6 (ж.)	$\Delta H^{плавл}_{337} = 19,22$	—	—	—	198,32	—	—	337—450
UF_6 (г.)	—2138,61	377,98	—2055,03	129,74	151,04	5,44	—20,38	298—1000
UO_2 (кр.)	—1084,91	77,82	—1031,98	63,71	80,33	6,78	—16,57	298—1500
UO_2F_2 (кр.)	—1637,20	135,56	—1541,06	103,05	222,88	8,62	—19,92	298—1500
$UO_2(NO_3)_2$ (кр.)	—1348,99	276,33	—1114,76	—	—	—	—	—
U_3O_8 (кр.)	—3574,81	282,42	—3369,50	237,24	282,42	36,94	—49,95	298—900
WO_3 (кр.)	—842,91	75,90	—764,11	72,79	87,65	16,17	—17,50	298—1050
WS_2 (кр.)	—259,41	64,85	—249,98	63,55	68,63	15,61	—8,66	298—1500
$ZnCO_3$ (кр.)	—812,53	80,33	—730,66	80,08	38,91	138,07	—	298—500
$ZnCl_2$ (кр.)	—415,05	111,46	—369,39	67,53	60,67	23,01	—	298—590
$ZnCl_2$ (г.)	—265,68	276,56	—269,24	56,90	60,25	0,84	—	1005—2000
ZnO (кр.)	—348,11	43,51	—318,10	40,25	48,99	5,10	—9,12	298—1600
ZnS (кр.)	—205,18	57,66	—200,44	45,36	49,25	5,27	—4,85	298—1290
$ZnSO_4$ (кр.)	—981,36	110,54	—870,12	99,06	76,36	76,15	—	298—1020
$Zn(OH)_2$ (кр.)	—645,43	76,99	—555,92	74,27	—	—	—	—
$ZrCl_4$ (кр.)	—979,77	181,42	—889,27	119,77	124,97	14,14	—8,37	298—607
$ZrCl_4$ (г.)	—869,31	368,19	—834,50	98,32	107,46	0,29	—8,26	607—2000
ZrO_2-α	—1097,46	50,36	—1039,72	56,05	69,62	7,53	—14,06	298—1480

	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$		
	a	$b\cdot10^3$	$c\cdot10^6$

Органические соединения

Углеводороды

CH_4 (г.) метан	—74,85	186,27	—50,85	35,71	14,32	74,66	—17,43	298—1500
C_2H_2 (г.) ацетилен	226,75	200,82	209,21	43,93	26,44	66,65	—26,48	298—1000
C_2H_4 (г.) этилен	52,30	219,45	68,14	43,56	11,32	122,01	—37,90	298—1500
C_2H_6 (г.) этан	—84,67	229,49	—32,93	52,64	5,75	175,11	—57,85	298—1500
C_3H_4 (г.) пропадиен (аллен)	192,13	243,93	202,36	58,99	13,05	175,31	—71,17	298—1000
C_3H_6 (г.) пропен	20,41	266,94	62,70	63,89	12,44	188,38	—47,60	298—1000
C_3H_6 (г.) циклопропан	53,30	237,44	104,38	55,94	—14,94	268,91	—105,90	298—1000
C_3H_8 (г.) пропан	—103,85	269,91	—23,53	73,51	1,72	270,75	—94,48	298—1500
C_4H_6 (г.) 1,2-бутадиен	162,21	293,01	198,44	80,12	17,74	234,43	—84,73	298—1000
C_4H_6 (г.) 1,3-бутадиен (дивинил)	110,16	278,74	150,64	79,54	8,08	273,22	—111,75	298—1000

Продолжение

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, $\frac{Дж}{моль \cdot К}$	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, $\frac{Дж}{моль \cdot К}$	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	
C_4H_8 (г.) 1-бутен	—0,13	305,60	71,26	85,65	21,47	258,40	—80,84	298—1500
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *цис*-	—6,99	300,83	65,82	78,91	—2,72	307,11	—111,29	298—1000
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *транс*-	—11,17	296,48	62,94	87,82	20,78	250,88	—75,93	298—1000
C_4H_8 (г.) 2-метилпропен	—16,90	293,59	58,07	89,12	22,30	252,07	—75,90	298—1000
C_4H_8 (г.) циклобутан	26,65	265,39	110,03	72,22	—24,43	365,97	—140,88	298—1000
C_4H_{10} (г.) бутан	—126,15	310,12	—17,19	97,45	18,23	303,56	—92,65	298—1500
C_4H_{10} (г.) 2-метилпропан (изобутан)	—134,52	294,64	—20,95	96,82	9,61	344,79	—128,83	298—1000
C_5H_8 (ж.) 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	49,40	229,40	145,22	153,20	—	—	—	—
C_5H_8 (г.) 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	75,73	315,64	145,84	104,60	14,23	345,60	—138,49	298—1000
C_5H_{10} (ж.) циклопентан	—105,97	204,40	36,22	126,82	—	—	—	—
C_5H_{10} (г.) циклопентан	—77,24	292,88	38,57	83,01	—42,43	475,30	—182,51	298—1000
C_5H_{12} (г.) пентан	—173,33	262,85	—9,66	172,90	—	—	—	—
C_5H_{12} (г.) пентан	—146,44	348,95	—8,44	120,21	6,90	425,93	—154,39	298—1000
C_5H_{12} (ж.) 2-метилбутан (изопентан)	—179,28	260,37	—14,86	164,85	—	—	—	—
C_5H_{12} (г.) 2-метилбутан (изопентан)	—154,47	343,59	—14,87	118,78	2,05	439,32	—160,54	298—1000
C_5H_{12} (г.) 2,2-диметилпропан (неопентан)	—165,98	306,39	—15,29	121,63	—0,75	463,59	—179,16	298—1000
C_6H_6 (ж.) бензол	49,03	173,26	124,38	135,14	59,50	255,01	—	281—353
C_6H_6 (г.) бензол	82,93	269,20	129,68	81,67	—21,09	400,12	—169,87	298—1000
C_6H_{12} (ж.) циклогексан	—156,23	204,35	26,60	156,48	—	—	—	—
C_6H_{12} (г.) циклогексан	—123,14	298,24	31,70	106,27	—51,71	598,77	—230,00	298—1000
C_6H_{14} (ж.) гексан	—198,82	296,02	—4,41	194,93	—	—	—	—
C_6H_{14} (г.) гексан	—167,19	388,40	—0,32	143,09	8,66	505,85	—194,43	298—1000
C_7H_8 (ж.)толуол	12,01	220,96	113,77	156,06	59,62	326,98	—	281—382
C_7H_8 (г.) толуол	50,00	320,66	122,03	103,64	—21,59	476,85	—190,33	298—1000
C_7H_{16} (ж.) гептан	—224,54	328,79	0,73	138,91	—	—	—	—
C_7H_{16} (г.) гептан	—187,78	427,90	7,94	165,98	10,00	587,14	—215,56	298—1000
C_8H_6 (г.) этинилбензол (фенилацетилен)	327,27	321,67	361,80	114,89	—1,97	449,49	—191,59	298—1000
C_8H_8 (ж.) фенилэтилен (стирол)	103,89	237,57	202,41	182,59	—	—	—	—
C_8H_8 (г.) фенилэтилен (стирол)	147,36	345,10	213,82	122,09	—7,32	494,42	—202 92	298—1000
C_8H_{10} (ж.) этилбензол	—12,48	255,35	119,65	186,56	—	—	—	—
C_8H_{10} (г.) этилбензол	29,79	360,45	130,59	128,41	—15,61	548,82	—220,37	298—1000
о-C_8H_{10} (ж.) *о*-ксилол	—24,43	246,02	110,48	187,86	—	—	—	—
о-C_8H_{10} (г.) *о*-ксилол	19,00	352,75	122,09	133,26	0,04	504,59	—193,55	298—1000
м-C_8H_{10} (ж.) *м*-ксилол	—25,42	252,17	107,66	183,26	—	—	—	—
м-C_8H_{10} (г.) *м*-ксилол	17,24	357,69	118,86	127,57	—11,30	526,64	—204,76	298—1000
п-C_8H_{10} (ж.) *п*-ксилол	—24,43	247,69	109,98	183,68	—	—	—	—
п-C_8H_{10} (г.) *п*-ксилол	17,95	352,42	121,14	126,86	—10,67	521,03	—200,66	298—1000
C_8H_{18} (ж.) октан	—249,95	360,79	6,40	254,14	—	—	—	—
C_8H_{18} (г.) октан	—208,45	466,73	16,32	188,87	11,84	666,51	—244,93	298—1000
$C_{10}H_8$ (кр.) нафталин	78,07	166,90	201,08	165,27	—	—	—	—
$C_{10}H_8$ (ж.) нафталин	(97)	251,63	(195)	—	(180)	—	—	352—490
$C_{10}H_8$ (г.) нафталин	150,96	335,64	223,66	132,55	—26,48	609,48	—255,01	298—1000
$C_{10}H_8$ (г.) азулен	279,91	337,86	351,95	128,41	—34,85	627,06	—264,85	298—1000
$C_{12}H_{10}$ (кр.) дифенил	100,50	205,85	254,24	197,07	—	—	—	—
$C_{12}H_{10}$ (ж.) дифенил	(119,32)	259,87	(256,95)	—	140,00	393,30	—	350—528
$C_{12}H_{10}$ (г.) дифенил	182,09	392,67	280,12	162,34	—36,36	763,58	—325,56	298—1000
$C_{14}H_{10}$ (кр.) антрацен	129,16	207,44	285,84	207,94	—	—	—	—
$C_{14}H_{10}$ (кр.) фенантрен	116,15	211,84	271,52	234,30	—	—	—	—
Кислородсодержащие соединения								
CH_2O (г.) формальдегид	—115,90	218,78	—109,94	35,39	18,82	58,38	—15,61	298—1500
CH_2O_2 (ж.) муравьиная кислота	—424,76	128,95	—361,74	99,04	—	—	—	—
CH_2O_2 (г.) муравьиная кислота	—378,80	248,77	—351,51	45,80	19,40	112,80	—47,50	298—1000
CH_4O (ж.) метанол	—238,57	126,78	—166,27	81,60	—	—	—	—
CH_4O (г.) метанол	—201,00	239,76	—162,38	44,13	15,28	105,20	—31,04	298—1000
$C_2H_2O_4$ (кр.) щавелевая кислота	—829,94	120,08	—701,73	109,00	—	—	—	—
C_2H_4O (г.) ацетальдегид	—166,00	264,20	—132,95	54,64	13,00	153,50	—53,70	298—1000
C_2H_4O (г.) этиленоксид	—52,63	242,42	—13,09	48,50	—2,02	190,60	—73,60	298—1000
$C_2H_4O_2$ (ж.) уксусная кислота	—484,09	159,83	—389,36	123,43	—	—	—	—

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c\cdot10^6$	
$C_2H_4O_2$ (г.) уксусная кислота	—434,84	282,50	—376,68	66,50	14,82	196,70	—77,70	298—1000
C_2H_6O (ж.) этанол	—276,98	160,67	—174,15	111,96	—	—	—	—
C_2H_6O (г.) этанол	—234,80	281,38	—167,96	65,75	10,99	204,70	—74,20	298—1000
C_2H_6O (г.) диметиловый эфир	—184,05	267,06	—112,94	65,81	16,18	183,90	—58,70	298—1000
$C_2H_6O_2$ (ж.) этиленгликоль	—454,90	167,32	—323,49	151,0	—	—	—	—
$C_2H_6O_2$ (г.) этиленгликоль	—389,32	323,55	—304,49	93,30	44,26	200,50	—77,90	298—1000
C_3H_6O (ж.) ацетон	—248,11	200,41	—155,42	125,00	—	—	—	—
C_3H_6O (г.) ацетон	—217,57	294,93	—153,05	74,90	22,47	201,80	—63,50	298—1500
C_3H_8O (ж.) 1-пропанол	—304,55	192,88	—170,70	148,60	—	—	—	—
C_3H_8O (г.) 1-пропанол	—257,53	324,80	—163,01	87,11	13,10	277,50	—98,44	298—1000
изо-C_3H_8O (ж.) 2-пропанол	—318,70	180,00	—181,01	153,40	—	—	—	—
изо-C_3H_8O (г.) 2-пропанол	—272,59	309,91	—173,63	88,74	8,67	303,10	—115,80	298—1000
$C_3H_8O_3$ (ж.) глицерин	—668,60	204,47	—477,07	223,01	—	—	—	—
$C_4H_4O_4$ (кр.) малеиновая кислота	—790,61	159,41	—631,20	136,82	—	—	—	—
$C_4H_4O_4$ (кр.) фумаровая кислота	—811,07	166,10	—653,65	141,84	—	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) масляная кислота	—524,30	255,00	—376,69	177,82	—	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) этилацетат	—479,03	259,41	—332,74	169,87	—	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) 1,4-диоксан	—400,80	196,60	—235,78	152,90	—	—	—	—
$C_4H_{10}O$ (ж.) бутанол	—325,56	225,73	—160,88	183,26	—	—	—	—
$C_4H_{10}O$ (г.) бутанол	—274,43	363,17	—150,73	110,00	14,68	358,10	—129,00	298—1000
$C_4H_{10}O$ (ж.) диэтиловый эфир	—279,49	253,13	—123,05	173,30	—	—	—	—
$C_4H_{10}O$ (г.) диэтиловый эфир	—252,21	342,67	—122,39	112,51	21,09	341,70	—117,90	298—1000
$C_5H_{10}O$ (ж.) циклопентанон	—300,16	205,85	—127,84	184,00	—	—	—	—
$C_5H_{12}O$ (ж.) амиловый спирт	—357,94	254,80	—161,30	209,20	—	—	—	—
$C_5H_{12}O$ (г.) амиловый спирт	—302,38	402,54	—149,79	132,88	6,29	474,90	—182,45	298—1000
$C_6H_4O_2$ (кр.) хинон	—186,82	161,08	—85,62	132,00	—	—	—	—
C_6H_6O (кр.) фенол	—164,85	144,01	—50,21	134,70	—	—	—	—
$C_6H_6O_2$ (кр.) гидрохинон	—362,96	140,16	—216,68	139,74	—	—	—	—
$C_7H_6O_2$ (кр.) бензойная кислота	—385,14	167,57	—245,24	145,18	—	—	—	—
C_7H_8O (ж.) бензиловый спирт	—161,00	216,70	—27,40	217,80	—	—	—	—
$C_8H_4O_3$ (кр.) ангидрид фталевой кислоты	—460,66	179,49	—330,96	161,80	—	—	—	—
$C_8H_6O_4$ (кр.) фталевая кислота	—782,24	207,94	—591,54	188,20	—	—	—	—
$C_{12}H_{10}O_4$ (кр.) хингидрон	—563,6	—	—	—	—	—	—	—
$C_{12}H_{22}O_{11}$ (кр.) сахароза	—2222,12	360,24	—1544,70	425,00	—	—	—	—
Галогенсодержащие соединения								
CCl_2F_2 (г.) дихлордифторметан (фреон-12)	—477,44	300,79	—438,50	72,40	—	—	—	—
CCl_3F (г.) трихлорфторметан (фреон-11)	—285,15	309,74	—245,85	77,99	—	—	—	—
CCl_4 (ж.) тетрахлорметан	—132,84	216,19	—62,66	131,70	—	—	—	—
CCl_4 (г.) тетрахлорметан	—100,42	310,12	—58,23	83,76	59,36	97,00	—49,57	298—1000
CF_4 (г.) тетрафторметан	—933,03	261,50	—888,46	61,46	24,10	146,20	—70,26	298—1000
$CHClF_2$ (г.) хлордифторметан (фреон-22)	—479,12	280,84	—448,02	55,85	—	—	—	—
$CHCl_2F$ (г.) дихлорфторметан (фреон-21)	—282,19	293,05	—251,70	60,98	—	—	—	—
$CHCl_3$ (ж.) трихлорметан (хлороформ)	—132,21	202,92	—71,85	116,30	—	—	—	—
$CHCl_3$ (г.) трихлорметан (хлороформ)	—101,25	295,64	—68,52	65,73	29,50	148,90	—90,70	298—773
CHF_3 (г.) трифторметан	—697,51	259,58	—663,11	51,04	16,51	133,40	—58,96	298—1000
CH_2Cl_2 (ж.) дихлорметан	—124,26	178,66	—70,45	100,00	—	—	—	—
CH_2Cl_2 (г.) дихлорметан	—95,39	270,24	—68,87	51,13	22,09	111,30	—46,36	298—1000
CH_2F_2 (г.) дифторметан	—452,88	246,60	—425,36	42,88	11,39	118,20	—46,00	298—1000
CH_3Br (г.) бромметан	—37,66	245,81	—28,18	42,43	18,53	89,40	—27,28	298—1500
CH_3Cl (г.) хлорметан	—86,31	234,47	—62,90	40,75	15,57	92,74	—28,31	298—1500
CH_3F (г.) фторметан	—246,90	222,80	—223,04	37,48	11,87	94,58	—29,30	298—1500
CH_3I (ж.) иодметан	—13,76	162,76	15,10	127,2	—	—	—	—
CH_3I (г.) иодметан	13,97	254,01	15,63	44,14	19,67	92,67	—32,28	298—1000
C_2H_5Cl (г.) хлорэтан	—111,72	275,85	—60,04	62,72	11,63	193,00	—72,92	298—1000
C_2H_5F (г.) фторэтан	—261,50	264,93	—209,60	59,04	8,27	190,90	—69,55	298—1000
C_6H_5Cl (ж.) хлорбензол	10,79	209,20	89,17	145,60	—	—	—	—
C_6H_5Cl (г.) хлорбензол	51,84	313,46	99,15	98,03	—3,09	388,92	—166,25	298—1000
C_6H_5F (ж.) фторбензол	—151,17	205,94	—74,84	146,40	—	—	—	—
C_6H_5F (г.) фторбензол	—116,57	302,63	—69,06	94,43	—9,91	401,30	—171,40	298—1000
$C_7H_5F_3$ (ж.) фенилтрифторметан	—637,64	271,50	—518,74	188,40	—	—	—	—

Продолжение

Вещество	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	$C^\circ_{p,\,298}$, Дж/моль·К	Коэффициенты уравнения $C^\circ_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b\cdot10^3$	$c\cdot10^6$	
$C_7H_5F_3$ (г.) фенилтрифторметан	—600,07	372,58	—511,29	116,10	—7,36	472,10	—193,40	298—1000
Азотсодержащие соединения								
CH_2N_2 (г.) диазометан	192,46	242,80	217,78	48,85	54,02	31,50	—13,16 ($c'\cdot10^{-5}$)	298—1000
CH_3NO_2 (г.) нитрометан	—74,73	275,01	—7,00	57,32	11,76	172,60	—56,42	298—1000
CH_4N_2O (кр.) карбамид (мочевина)	—333,17	104,60	—197,15	93,14	—	—	—	—
CH_5N (г.) метиламин	—23,01	242,59	32,18	50,08	14,70	132,60	—41,08	298—1000
CH_6N_2 (ж.) метилгидразин	53,14	165,94	179,15	134,72	—	—	—	—
CH_6N_2 (г.) метилгидразин	85,35	278,70	177,76	71,13	25,31	178,99	—56,40	298—1500
$C_2H_5NO_2$ (кр.) аминоуксусная кислота (гликоколь)	—524,67	109,20	—366,84	100,42	—	—	—	—
C_2H_7N (г.) диметиламин	—18,83	272,96	67,91	69,04	4,54	242,10	—86,24	298—1000
C_3H_3N (г.) акрилонитрил	184,93	273,93	195,31	63,76	20,46	164,50	—84,14	298—1000
C_3H_9N (г.) триметиламин	—23,85	288,78	98,79	91,76	1,60	341,00	—129,30	298—1000
C_5H_5N (ж.) пиридин	99,96	177,90	181,31	132,72	—	—	—	—
C_5H_5N (г.) пиридин	140,16	282,80	190,23	78,12	—18,45	370,10	—154,30	298—1000
$C_6H_5NO_2$ (ж.) нитробензол	15,90	224,26	146,20	(186)	—	—	—	—
C_6H_7N (ж.) анилин	31,09	191,29	149,08	190,79	—	—	—	—
C_6H_7N (г.) анилин	86,86	319,20	166,67	108,40	—6,00	439,40	—185,30	298—1000
Серусодержащие соединения								
CH_4S (г.) метантиол	—22,97	255,06	—9,96	50,25	21,00	108,66	—35,56	298—1000
C_2H_4S (ж.) тиациклопропан	51,92	162,51	94,24	—	—	—	—	—
C_2H_4S (г.) тиациклопропан	82,22	255,27	96,88	53,68	2,38	196,23	—80,58	298—1000
C_2H_6S (ж.) диметилсульфид	—65,40	196,40	5,73	117,24 (290 К)	89,33	96,23	—	270—290
C_2H_6S (г.) диметилсульфид	—37,53	285,85	6,93	74,10	24,98	182,30	—60,21	298—1000
C_2H_6S (г.) этантиол	—46,11	296,10	—4,71	72,68	20,00	197,36	—69,33	298—1000
$C_2H_6S_2$ (ж.) диметилдисульфид	—62,59	235,39	6,43	146,00	112,13	112,97	—	300—350
$C_2H_6S_2$ (г.) диметилдисульфид	—24,14	336,64	14,69	94,31	38,91	207,65	—73,72	298—1000
C_3H_6S (ж.) тиациклобутан	25,27	187,11	100,88	113,46	62,34	171,54	—	270—330
C_3H_6S (г.) тиациклобутан	61,13	285,22	107,49	69,33	—8,03	293,59	—115,39	298—1000
C_4H_4S (ж.) тиофен	81,04	181,17	121,22	123,93	74,06	167,36	—	270—340
C_4H_4S (г.) тиофен	115,73	278,86	126,78	72,89	—4,27	296,52	—126,82	298—1000
C_4H_8S (ж.) тиациклопентан	—72,43	207,82	37,63	140,32	70,50	234,30	—	270—340
C_4H_8S (г.) тиациклопентан	—33,81	309,36	45,98	90,88	—11,46	389,66	—155,85	298—1000
$C_4H_{10}S$ (ж.) диэтилсульфид	—119,33	269,28	11,32	171,86	111,71	200,83	—	270—320
$C_4H_{10}S$ (г.) диэтилсульфид	—83,47	368,02	17,74	111,03	20,84	358,44	—120,75	298—1000
$C_4H_{10}S_2$ (ж.) диэтилдисульфид	—120,04	305,01	9,47	203,96	152,59	172,38	—	270—300
$C_4H_{10}S_2$ (г.) диэтилдисульфид	—74,64	414,51	22,23	141,34	39,04	380,28	—151,34	298—1000
$C_5H_{10}S$ (ж.) тиациклогексан	—105,94	218,24	41,64	163,23	64,73	330,54	—	292—340
$C_5H_{10}S$ (г.) тиациклогексан	—63,26	323,26	53,01	108,20	—39,12	558,56	—216,77	298—1000
C_6H_6S (ж.) бензолтиол (тиофенол)	63,89	222,80	133,99	173,22	115,69	192,46	—	300—370
C_6H_6S (г.) бензолтиол (тиофенол)	111,55	336,85	147,65	104,89	—3,01	413,92	—173,30	298—1000
C_2H_4OS (ж.) тиоуксусная кислота	—219,20	—	—	—	—	—	—	—
C_2H_4OS (г.) тиоуксусная кислота	—181,96	313,21	—154,01	80,88	39,50	157,03	—60,04	298—1000

Ионы в водных растворах

Ион	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/(моль·К)	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	Ион	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/(моль·К)	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль
Ag^+	105,75	73,39	77,10	CH_3COO^-	—485,64	87,58	—369,37
Al^{3+}	—529,69	—301,25	—489,80	CN^-	150,62	96,45	171,58
AsO_4^{3-}	—890,06	—167,28	—648,93	CNO^-	—145,90	101,13	—96,07
Ba^{2+}	—524,05	8,79	—547,50	CNS^-	74,27	146,05	89,96
Br^-	—121,50	82,84	—104,04	CO_3^{2-}	—676,64	—56,04	—527,60
BrO_3^-	—83,68	163,18	1,53	$C_2O_4^{2-}$	—824,25	51,04	—674,86

Продолжение

Ион	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°_{298}, Дж/(моль·К)	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	Ион	$\Delta H^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль	S°, Дж/(моль·К)	$\Delta G^\circ_{f,\,298}$, кДж/моль
Ca^{2+}	—542,66	—55,23	—552,70	HPO_3^{2-}	—969,01	(16,81)	—811,70
Cd^{2+}	—75,31	—70,92	—77,65	HPO_4^{2-}	—1292,14	—33,47	—1089,28
Cl^-	—167,07	56,74	—131,29	HS^-	—17,57	62,76	12,15
ClO^-	—110,04	32,97	—36,61	HSO_3^-	—627,98	132,38	—527,32
ClO_2^-	—66,53	101,25	17,12	HSO_4^-	—887,77	127,97	—755,23
ClO_3^-	—95,56	164,43	—0,19	$H_2PO_3^-$	—969,43	79,50	—830,81
ClO_4^-	—123,60	183,68	—3,40	HF_2^-	—660,65	67,78	—581,52
Co^{2+}	—56,61	—110,46	—53,64	$H_2PO_4^-$	—1296,29	90,37	—1130,34
Co^{3+}	94,14	—285,01	129,70	Hg^{2+}	173,47	—25,15	164,68
Cr^{2+}	—138,91	41,87	—183,26	Hg_2^{2+}	171,75	82,17	153,60
Cr^{3+}	—235,98	—215,48	—223,06	I^-	—56,90	106,69	—51,94
CrO_4^{2-}	—875,42	46,02	—720,91	I_3^-	—51,46	239,32	—51,42
$Cr_2O_7^{2-}$	—1490,93	270,39	—1295,62	IO_3^-	—220,52	117,78	—127,16
Cs^+	—258,04	132,84	—291,96	K^+	—252,17	101,04	—282,62
Cu^+	72,80	44,35	50,00	Li^+	—278,45	11,30	—292,86
Cu_2^+	66,94	—92,72	65,56	Mg^{2+}	—461,75	—119,66	—455,24
$CuNH_3^{2+}$	—36,86	17,90	15,76	Mn^{2+}	—220,50	—66,94	—229,91
$Cu(NH_3)_2^+$	—151,04	263,59	—65,37	MnO_4^-	—533,04	196,23	—440,28
$Cu(NH_3)_2^{2+}$	—140,21	117,74	—30,50	NH_4^+	—132,80	112,84	—79,52
$Cu(NH_3)_3^{2+}$	—244,01	204,24	—73,18	NO_2^-	—104,60	139,85	—37,16
$Cu(NH_3)_4^{2+}$	—346,52	280,50	—111,51	NO_3^-	—207,38	146,94	—111,49
$Cu(NH_3)_5^{2+}$	—448,23	309,47	—134,64	Na^+	—240,30	58,41	—261,90
F^-	—333,84	—14,02	—279,99	Ni^{2+}	—53,14	—126,05	—45,56
Fe^{2+}	—87,86	—113,39	—84,88	OH^-	—230,02	—10,71	—157,35
Fe^{3+}	—47,70	—293,30	—10,53	PO_4^{3-}	—1277,38	—220,29	—1018,81
H^+	0	0	0	Pb^{2+}	(—1,18)	—24,32	(11,82)
$HCOO^-$	—426,22	90,81	—351,54	$PtCl_4^{2-}$	—500,82	125,64	—354,01
HCO_3^-	—691,28	92,57	—586,56	$PtCl_6^{2-}$	—669,44	223,43	—485,31
$HC_2O_4^-$	—818,18	117,03	—688,47	Ra^{2+}	—529,69	28,87	(—555,99)
Rb^+	—251,12	120,46	—283,76	Tl^-	5,52	126,20	—32,43
S^{-2}	32,64	—14,52	85,40	Tl^{3+}	201,25	—176,92	214,76
SO_3^{2-}	—638,27	—38,28	—486,73	U^{3+}	—514,63	—125,52	—520,59
SO_4^{2-}	—909,26	18,20	—743,99	U^{4+}	—590,15	—382,62	—538,91
SiF_6^{2-}	—2396,51	125,94	—2208,25	UO_2^{2+}	—1018,66	—89,68	—954,71
Sn^{2+}	—10,23	—25,26	—26,24	Zn^{2+}	—153,64	—110,62	—147,16
Sr^{2+}	—545,51	—26,36	—560,97				

Ионы в жидком аммиаке

Ион	ΔH°_f, кДж/моль	S°, Дж/(моль·К)	ΔG°_f, кДж/моль	Ион	ΔH°_f, кДж/моль	S°, Дж/(моль·К)	Δ°_f, кДж/моль
Ag^+	108,8	96,2	73,6	K^+	—169,4	89,5	—196,6
Br^-	—246,9	—126,8	—167,4	Li^+	—205,0	33,5	—225,9
Ca^{2+}	—418,4	—87,9	—418,0	NCS^-	—49,4	—	—
Cl^-	—274,9	—126,8	—184,5	NH_2^-	42,3	—41,8	141,8
ClO_3^-	—199,6	62,8	—74,1	NH_4^+	—67,4	103,3	—11,3
Cs^+	—163,2	121,3	—193,7	NO_3^-	—324,7	—20,9	—178,6
H^+	0,0	0,0	0,0	Na^+	—159,4	63,2	—182,4
Hg^{2+}	189,1	146,4	129,3	Pb^{2+}	87,9	46,0	54,4
I^-	—189,5	—104,6	—121,3	Rb^+	—163,2	121,3	—196,2

45. Величина M_n для вычисления стандартного изменения энергии Гиббса по методу Темкина и Шварцмана

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - T\,\Delta S_{298}^\circ - T\,(\Delta a M_0 + \Delta b M_1 + \Delta c M_2 + \Delta c' M_{-2})$$

где ΔH_{298}° — стандартный тепловой эффект; $\Delta S_{298}^\circ = \sum (\nu_i S_{298}^\circ)_{\text{прод}} - \sum (\nu_i S_{298}^\circ)_{\text{исх}}$;

Δa (соответственно Δb, Δc, $\Delta c'$) $= \sum (\nu_i a)_{\text{прод}} - \sum (\nu_i a)_{\text{исх}}$ (обозначения см. табл. 44).

$$M_0 = \ln \frac{T}{298{,}15} + \frac{298{,}15}{T} - 1$$

$$M_n = \frac{T^n}{n\,(n+1)} + \frac{298{,}15^{n+1}}{(n+1)\,T} - \frac{298{,}15^n}{n} \quad (\text{при } n \neq 0)$$

T, K	M_0	$M_1 \cdot 10^{-3}$	$M_2 \cdot 10^{-6}$	$M_{-2} \cdot 10^{5}$
300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
400	0,0392	0,0130	0,0043	0,0364
500	0,1133	0,0407	0,0140	0,0916
600	0,1962	0,0759	0,0303	0,1423
700	0,2794	0,1153	0,0498	0,1853
800	0,3597	0,1574	0,0733	0,2213
900	0,4361	0,2012	0,1004	0,2521
1000	0,5088	0,2463	0,1310	0,2783
1100	0,5765	0,2922	0,1652	0,2988
1200	0,6410	0,3389	0,2029	0,3176
1300	0,7019	0,3860	0,2440	0,3340
1400	0,7595	0,4336	0,2886	0,34835
1500	0,8141	0,4814	0,3362	0,3610
1600	0,8665	0,5296	0,3877	0,3723
1700	0,9162	0,5780	0,4424	0,3824
1800	0,9635	0,6265	0,5005	0,3915
1900	1,009	0,6752	0,5619	0,3998
2000	1,0525	0,7240	0,6265	0,4072
2100	1,094	0,7730	0,6948	0,4140
2200	1,134	0,8220	0,7662	0,4203
2300	1,173	0,8711	0,8411	0,4260
2400	1,210	0,9203	0,9192	0,4314
2500	1,246	0,9696	1,0008	0,4363
2600	1,280	1,0189	1,0856	0,4408
2700	1,314	1,0683	1,1738	0,44505
2800	1,346	1,1177	1,2654	0,4490
2900	1,3775	1,1672	1,3603	0,4527
3000	1,408	1,2166	1,4585	0,4562

46. Термодинамические функции линейного гармонического осциллятора (по Эйнштейну)

В таблице даются, в Дж/(моль·К), колебательные составляющие изохорной теплоемкости C, приведенной внутренней энергии $\frac{U-U_0}{T}$, приведенной энергии Гельмгольца $\frac{A-U_0}{T}$ и энтропии S на одну степень свободы. $\theta = \frac{h\omega}{k}$ — характеристическая температура, К.

θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S	θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S
0,00	8,31	8,31	∞	∞	0,94	7,73	5,01	4,12	9,13
0,02	8,31	8,23	32,61	40,84	0,96	7,70	4,95	4,01	8,97
0,04	8,31	8,15	26,93	35,08	0,98	7,68	4,90	3,91	8,81
0,06	8,31	8,07	23,64	31,71	1,00	7,66	4,84	3,81	8,65
0,08	8,31	7,99	21,33	29,32	1,02	7,63	4,78	3,72	8,50
0,10	8,31	7,91	19,56	27,46	1,04	7,60	4,73	3,63	8,35
0,12	8,30	7,83	18,12	25,95	1,06	7,58	4,67	3,54	8,21
0,14	8,30	7,75	16,92	24,67	1,08	7,55	4,62	3,45	8,07
0,16	8,30	7,67	15,89	23,56	1,10	7,52	4,56	3,36	7,93
0,18	8,29	7,59	15,00	22,58	1,12	7,50	4,51	3,28	7,79
0,20	8,29	7,51	14,20	21,71	1,14	7,47	4,46	3,20	7,66
0,22	8,28	7,43	13,49	20,92	1,16	7,44	4,40	3,13	7,53
0,24	8,28	7,36	12,84	20,20	1,18	7,41	4,35	3,05	7,40
0,26	8,27	7,28	12,26	19,54	1,20	7,38	4,30	2,98	7,27
0,28	8,26	7,20	11,72	18,92	1,22	7,36	4,25	2,91	7,16
0,30	8,25	7,13	11,23	18,36	1,24	7,33	4,20	2,84	7,04
0,32	8,24	7,06	10,77	17,82	1,26	7,30	4,15	2,77	6,92
0,34	8,24	6,98	10,34	17,32	1,28	7,27	4,10	2,71	6,81
0,36	8,22	6,91	9,95	16,85	1,30	7,24	4,05	2,65	6,70
0,38	8,22	6,83	9,58	16,41	1,32	7,20	4,00	2,58	6,58
0,40	8,20	6,76	9,23	15,99	1,34	7,17	3,95	2,52	6,48
0,42	8,19	6,69	8,90	15,59	1,36	7,14	3,90	2,47	6,37
0,44	8,18	6,62	8,59	15,21	1,38	7,11	3,86	2,41	6,27
0,46	8,17	6,55	8,30	14,84	1,40	7,08	3,81	2,35	6,16
0,48	8,16	6,48	8,02	14,50	1,42	7,05	3,76	2,30	6,06
0,50	8,14	6,41	7,76	14,16	1,44	7,02	3,72	2,25	5,97
0,52	8,13	6,34	7,50	13,84	1,46	6,98	3,67	2,20	5,87
0,54	8,12	6,27	7,28	13,54	1,48	6,95	3,63	2,15	5,77
0,56	8,10	6,20	7,04	13,24	1,50	6,92	3,58	2,10	5,68
0,58	8,08	6,14	6,82	12,96	1,52	6,88	3,54	2,05	5,59
0,60	8,07	6,07	6,62	12,68	1,54	6,85	3,49	2,01	5,50
0,62	8,05	6,00	6,42	12,42	1,56	6,82	3,45	1,96	5,41
0,64	8,04	5,94	6,23	12,16	1,58	6,78	3,41	1,92	5,32
0,66	8,02	5,87	6,05	11,92	1,60	6,75	3,36	1,88	5,24
0,68	8,00	5,80	5,87	11,68	1,62	6,71	3,32	1,83	5,16
0,70	7,98	5,74	5,71	11,45	1,64	6,68	3,28	1,79	5,08
0,72	7,96	5,68	5,55	11,22	1,66	6,64	3,24	1,75	4,99
0,74	7,94	5,61	5,39	11,00	1,68	6,61	3,20	1,72	4,92
0,76	7,92	5,55	5,24	10,79	1,70	6,57	3,16	1,68	4,84
0,78	7,90	5,49	5,10	10,59	1,72	6,54	3,12	1,64	4,76
0,80	7,88	5,43	4,96	10,39	1,74	6,50	3,08	1,60	4,68
0,82	7,86	5,37	4,83	10,19	1,76	6,46	3,04	1,57	4,61
0,84	7,84	5,31	4,70	10,00	1,78	6,43	3,00	1,54	4,54
0,86	7,82	5,24	4,58	9,82	1,80	6,39	2,96	1,50	4,47
0,88	7,80	5,19	4,46	9,64	1,82	6,36	2,93	1,47	4,40
0,90	7,78	5,13	4,34	9,46	1,84	6,32	2,89	1,44	4,32
0,92	7,75	5,07	4,23	9,30	1,86	6,28	2,85	1,41	4,26
					1,88	6,24	2,82	1,38	4,19

θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S	θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S
1,90	6,21	2,78	1,35	4,12	3,50	3,27	0,91	0,26	1,16
1,92	6,17	2,74	1,32	4,06	3,55	3,19	0,87	0,24	1,12
1,94	6,13	2,71	1,29	4,00	3,60	3,11	0,84	0,23	1,07
1,96	6,10	2,67	1,26	3,93	3,65	3,04	0,81	0,22	1,03
1,98	6,06	2,64	1,24	3,87	3,70	2,96	0,78	0,21	0,99
2,00	6,02	2,60	1,21	3,81	3,75	2,88	0,75	0,20	0,95
2,02	5,98	2,57	1,18	3,75	3,80	2,81	0,72	0,19	0,91
2,04	5,94	2,54	1,16	3,69	3,85	2,74	0,70	0,18	0,88
2,06	5,91	2,50	1,13	3,64	3,90	2,67	0,67	0,17	0,84
2,08	5,87	2,47	1,11	3,58	3,95	2,60	0,64	0,16	0,81
2,10	5,83	2,44	1,09	3,52	4,00	2,53	0,62	0,15	0,77
2,12	5,79	2,40	1,06	3,47	4,05	2,46	0,60	0,15	0,74
2,14	5,75	2,37	1,04	3,41	4,10	2,40	0,57	0,14	0,71
2,16	5,72	2,34	1,02	3,36	4,15	2,33	0,55	0,13	0,68
2,18	5,68	2,31	1,00	3,31	4,20	2,27	0,53	0,13	0,66
2,20	5,64	2,28	0,98	3,26	4,25	2,20	0,51	0,12	0,63
2,22	5,60	2,25	0,96	3,20	4,30	2,14	0,49	0,11	0,60
2,24	5,56	2,22	0,94	3,16	4,35	2,08	0,47	0,11	0,58
2,26	5,52	2,19	0,92	3,11	4,40	2,03	0,46	0,10	0,56
2,28	5,49	2,16	0,90	3,06	4,45	1,97	0,44	0,10	0,54
2,30	5,45	2,13	0,88	3,01	4,50	1,91	0,42	0,09	0,51
2,32	5,41	2,10	0,86	2,96	4,60	1,80	0,39	0,08	0,47
2,34	5,37	2,07	0,84	2,92	4,70	1,70	0,36	0,08	0,44
2,36	5,33	2,05	0,82	2,87	4,80	1,60	0,33	0,07	0,40
2,38	5,29	2,02	0,81	2,83	4,90	1,51	0,31	0,06	0,37
2,40	5,26	1,99	0,79	2,78	5,00	1,42	0,28	0,06	0,34
2,42	5,22	1,96	0,78	2,74	5,10	1,34	0,26	0,05	0,31
2,44	5,18	1,94	0,76	2,70	5,20	1,25	0,24	0,05	0,29
2,46	5,14	1,91	0,74	2,65	5,30	1,18	0,22	0,04	0,26
2,48	5,10	1,88	0,73	2,61	5,40	1,10	0,20	0,04	0,24
2,50	5,06	1,86	0,71	2,57	5,50	1,04	0,19	0,03	0,22
2,52	5,02	1,83	0,70	2,53	5,60	0,97	0,17	0,03	0,20
2,56	4,95	1,78	0,67	2,45	5,70	0,91	0,16	0,03	0,19
2,60	4,87	1,73	0,64	2,38	5,80	0,85	0,15	0,02	0,17
2,64	4,80	1,69	0,62	2,30	5,90	0,80	0,14	0,02	0,16
2,68	4,72	1,64	0,59	2,23	6,00	0,75	0,12	0,02	0,14
2,72	4,64	1,60	0,57	2,16	6,20	0,65	0,10	0,02	0,12
2,76	4,57	1,55	0,54	2,09	6,40	0,57	0,09	0,01	0,10
2,80	4,49	1,51	0,52	2,03	6,60	0,49	0,08	0,01	0,09
2,84	4,42	1,46	0,50	1,97	6,80	0,43	0,06	0,01	0,07
2,88	4,34	1,42	0,48	1,90	7,00	0,37	0,05	0,01	0,06
2,92	4,27	1,38	0,46	1,84	7,20	0,32	0,04	0,01	0,05
2,96	4,20	1,34	0,44	1,79	7,40	0,28	0,04	0,01	0,04
3,00	4,13	1,31	0,42	1,72	7,60	0,24	0,03	0,00	0,04
3,05	4,04	1,26	0,40	1,66	7,80	0,21	0,03	0,00	0,03
3,10	3,95	1,22	0,38	1,60	8,00	0,18	0,02	0,00	0,02
3,15	3,86	1,17	0,36	1,54	8,40	0,13	0,02	0,00	0,02
3,20	3,77	1,13	0,35	1,48	8,80	0,10	0,01	0,00	0,01
3,25	3,68	1,09	0,33	1,42	9,20	0,07	0,01	0,00	0,01
3,30	3,60	1,05	0,31	1,36	9,60	0,05	0,01	0,00	0,01
3,35	3,52	1,01	0,30	1,31	10,0	0,04	0,00	0,00	0,00
3,40	3,43	0,98	0,28	1,26	11,0	0,02	0,00	0,00	0,00
3,45	3,35	0,94	0,27	1,21	12,0	0,01	0,00	0,00	0,00

47. Характеристическая температура кристаллических веществ

Характеристическая температура по Дебаю: $\theta = \frac{h\nu_{макс}}{k}$. Величины θ в скобках вычислены из приведенных значений мольного объема V и температуры плавления $T_{плавл}$.

Вещество	$T_{плавл}$, K	$V \cdot 10^6$, м³/моль	θ, K	Вещество	$T_{плавл}$, K	$V \cdot 10^6$, м³/моль	θ, K
Ag	1235	10,28	214 (210)	K	336,4	45,30	100
Al	933,5	10,19	389	Li	456	11,76	385
Au	1337,6	10,21	173 (165)	Mg	923	13,98	290
Ba	983	36,34	115	N_2	62,7	13,65 **	68
Be	1556	5,26	1000	Na	370,7	22,85	172
Bi	544,5	21,26	80 (78)	Ni	1728	6,59	375 (390)
Br_2	265,8	25,03 **	86	O_2	54,7	11,22 **	89
C (алмаз)	3800 *	3,41	1910 (2240)	Pb	600,6	18,28	88 (87)
Ca	1123	25,22	228	Pt	2045	8,66	(229)
Cd	594	12,99	168	Si	1688	11,37	(660)
Cl_2	171,9	21,36 **	115	Sn	505	(18,2)	110
Co	1767	6,76	385 (390)	Ti	1941	10,5	(392)
Cr	2130	7,72	(490)	W	3653	9,83	(370)
Cu	1358	7,12	313 (325)	KBr	1003	44,0	177
F_2	50	16,66 **	100	KCl	1049	37,5	230
Fe	1806	7,11	433 (410)	NaCl	1073	27,0	281
H_2	13,8	13,21 **	91	BaF_2	1563	36,4	177
I_2	386,8	25,93 **	76	CaF_2	1691	24,5	474
				H_2O	273,15	19,6	192

* При давлении > 10132,5 кПа.

** Атомный объем.

48. Термодинамические колебательные функции кристаллических веществ (по Дебаю)

θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S	θ/T	C	$\frac{U-U_0}{T}$	$-\frac{A-U_0}{T}$	S
0	24,94	24,94	∞	∞	4,4	11,17	3,82	1,58	5,40
0,2	24,89	23,12	50,29	73,43	4,6	10,50	3,50	1,42	4,92
0,4	24,77	21,40	34,81	56,23	4,8	9,83	3,20	1,27	4,48
0,6	24,52	19,77	26,44	46,23	5,0	9,20	2,94	1,14	4,08
0,8	24,18	18,25	20,97	39,22	5,2	8,62	2,69	1,04	3,73
1,0	23,76	16,82	17,08	32,90	5,6	7,61	2,29	0,86	3,15
1,2	23,22	15,48	14,09	29,57	6,0	6,61	1,93	0,71	2,64
1,4	22,68	14,23	11,81	26,04	6,4	5,77	1,64	0,59	2,23
1,6	22,05	13,08	9,98	23,06	6,8	5,10	1,42	0,50	1,92
1,8	21,34	12,00	8,57	20,50	7,2	4,47	1,22	0,42	1,64
2,0	20,58	10,99	7,29	18,28	7,6	3,92	1,05	0,36	1,42
2,2	19,83	10,08	6,29	16,37	8,0	3,48	0,92	0,31	1,24
2,4	19,04	9,23	5,45	14,68	8,4	3,14	0,82	0,28	1,10
2,6	18,16	8,45	4,74	13,19	8,8	2,82	0,73	0,25	0,98
2,8	17,32	7,72	4,14	11,87	9,2	2,51	0,64	0,22	0,86
3,0	16,51	7,07	3,63	10,69	9,6	2,19	0,56	0,19	0,75
3,2	15,65	6,46	3,19	9,65	10	1,89	0,48	0,16	0,64
3,4	14,85	5,91	2,82	8,73	11	1,435	0,36	0,12	0,48
3,6	14,06	5,42	2,49	7,91	12	1,12	0,28	0,09	0,37
3,8	13,30	4,96	2,21	7,17	13	0,88	0,22	0,07	0,29
4,0	12,56	4,53	1,97	6,50	14	0,70	0,18	0,06	0,23
4,2	11,84	4,16	1,76	5,92	15	0,57	0,14	0,05	0,20

49. Логарифмы констант равновесия реакций образования некоторых веществ

Приведенные значения $\lg K_{f,\,T}$ относятся к образованию (индекс f — formation) соединений из простых веществ, устойчивых при 101,325 кПа (1 атм) и 298 К. Расчет $\lg K_{f,\,T}$ произведен с использованием средних теплоемкостей. Значения $\lg K_{f,\,T}$ служат для вычисления констант равновесия химических реакций при указанных температурах T (в К) по уравнению: $\lg K_{a,\,T} = \Delta \lg K_{f,\,T} = \sum \nu_i \lg K_{f,\,i}$(прод.) $- \sum \nu_i \lg K_{f,\,i}$ (исх.)

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
Неорганические соединения						
AgCl (кр.)	10,30	9,79	7,08	—	—	—
Ag_2O (кр.)	—0,248	—	—	—	—	—
AlF_3-α	143,95	117,71	99,00	—	—	—
Al_2O_3 (корунд)	158,68	129,54	108,73	93,13	81,00	—
$AsCl_3$ (г.)	26,09	21,38	18,01	15,48	—	—
As_2O_3 (клаудетит)	55,08	—	—	—	—	—
As_2O_3 (арсенолит)	54,61	—	—	—	—	—
BCl_3 (г.)	39,47	32,45	27,44	23,68	20,76	18,42
BF_3 (г.)	115,76	95,95	81,79	71,17	62,91	56,31
B_2O_3 (кр.)	118,85	96,75	81,00	—	—	—
$BaCO_3$ (кр.)	112,89	91,87	—	—	—	—
$BaCl_2$ (кр.)	81,50	66,59	—	—	—	—
$Ba(NO_3)_2$ (кр.)	69,66	52,56	—	—	—	—
BaO (кр.)	53,05	43,40	—	—	—	—
$Ba(OH)_2$ (кр.)	83,25	66,95	—	—	—	—
BeO (кр.)	57,42	47,00	39,57	34,00	29,67	26,22
Bi_2O_3 (кр.)	45,62	—	—	—	—	—
CO (г.)	16,22	14,29	12,90	11,86	11,04	10,37
CO_2 (г.)	41,25	34,39	29,48	25,80	22,94	20,64
$COCl_2$ (г.)	20,46	16,64	13,92	11,88	10,30	9,04
CaC_2-α	7,21	6,21	5,50	—	—	—
$CaCO_3$ (кальцит)	112,38	91,42	76,47	—	—	—
$CaCl_2$ (кр.)	75,06	61,25	51,40	—	—	—
CaF_2-α	118,43	97,23	82,10	—	—	—
$Ca(NO_3)_2$ (кр.)	64,00	47,84	36,40	—	—	—
CaO (кр.)	60,83	49,79	41,90	—	—	—
$Ca(OH)_2$ (кр.)	87,79	70,82	—	—	—	—
$CdCl_2$ (кр.)	32,58	25,86	—	—	—	—
CdO (кр.)	21,82	17,40	—	—	—	—
ClO_2 (г.)	—14,05	—12,23	—10,93	—9,95	—9,19	—8,57
Cl_2O (г.)	—11,01	—9,70	—8,75	—8,05	—7,49	—7,05
$CoCl_2$ (кр.)	25,28	19,95	16,20	—	—	—
$CrCl_3$ (кр.)	45,95	36,34	29,51	24,42	20,49	17,37
Cr_2O_3 (кр.)	104,9	85,1	71,02	52,20	45,61	35,72
CuCl (кр.)	11,38	9,05	7,41	—	—	—

4 Заказ 1

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
$CuCl_2$ (кр.)	13,85	10,33	7,84	—	—	—
CuO (кр.)	12,10	9,32	7,34	5,88	4,75	3,86
Cu_2O (кр.)	14,09	11,10	8,96	7,38	6,16	5,19
$FeCO_3$ (кр.)	64,36	51,56	42,47	35,70	—	—
FeO (кр.)	24,13	19,55	16,28	13,83	11,92	10,35
Fe_2O_3 (кр.)	71,66	57,44	47,33	39,78	33,92	29,20
Fe_3O_4 (кр.)	98,83	79,55	65,89	55,75	—	—
GeO_2 (гекс.)	48,54	38,92	32 07	26,94	22,97	19,81
GeO_2 (тетраг.)	50,37	40,30	33,13	27,77	23,61	20,29
HCN (г.)	—11,98	—9,69	—7,99	—6,74	—5,89	—5,14
HCl (г.)	10,15	8,53	7,37	6,49	5,81	5,26
HF (г.)	28,91	24,14	20,73	18,16	16,17	14,57
H_2O (г.)	22,89	18,64	15,59	13,30	11,52	10,08
H_2O_2 (г.)	8,85	6,45	4,74	3,45	2,44	1,66
HgO (кр.)	3,88	2,33	—	—	—	—
Hg_2Cl_2 (кр.)	18,27	13,73	—	—	—	—
$MgCO_3$ (кр.)	99,83	80,80	67,23	—	—	—
$MgCl_2$ (кр.)	67,36	47,60	39,65	33,70	29,08	—
MgO (кр.)	57,19	46,73	39,26	33,66	29,31	—
$MnCO_3$ (кр.)	79,83	64,53	53,61	—	—	—
$MnCl_2$ (кр.)	43,20	34,88	28,95	24,52	21,08	—
MnO (кр.)	36,44	29,74	24,96	21,38	18,59	16,35
MnO_2 (кр.)	44,90	35,84	29,38	—	—	—
Mn_2O_3 (кр.)	86,45	69,80	57,84	49,03	42,12	36,60
NH_3 (г.)	—0,480	—1,35	—1,98	—2,46	—2,84	—3,13
NO (г.)	—8,88	—7,29	—6,16	—5,30	—4,64	—4 11
NO_2 (г.)	—6,77	—6,18	—5,76	—5,45	—5,20	—5,00
NOCl (г.)	—7,94	—7,03	—6,39	—5,90	—5,53	—5,22
N_2O (г.)	—12,45	—11,01	—9,99	—9,22	—8,61	—8,12
N_2O_4 (г.)	—16,69	—16,47	—16,30	—16,14	—16,00	—15,86
N_2O_5 (г.)	—19,55	—19,26	—19,02	—18,82	—18,64	—18,48
$SbCl_3$ (г.)	30,41	24,98	21,10	18,18	15,91	—
Sb_2O_3 (кр.)	60,95	48,60	39,30	33,30	28,26	—
$SiCl_4$ (г.)	61,79	50,35	42,19	36,07	31,31	27,52
SiF_4 (г.)	161,46	133,29	113,16	98,06	86,39	77,01
SiH_4 (г.)	—7,73	—7,22	—6,87	—6,60	—6,39	—6,22
SiO_2 (кр.)	85,65	69,81	58,52	50,07	—	—
SrO (кр.)	56,70	46,41	39,06	33,55	—	—
TeF_6 (г.)	126,39	102,56	85,54	—	—	—
TeO_2 (кр.)	24,44	18,84	14,85	—	—	—
ThO_2 (кр.)	118,25	96,90	81,66	70,23	61,35	54,25
$TiCl_4$ (г.)	73,46	60,19	50,70	43,59	38,05	33,62
TiO_2 (рутил)	89,15	72,71	60,98	52,18	45,35	39,89

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
TiO_2 (анатаз)	87,92	71,70	60,12	51,45	44,71	39,31
UF_4 (кр.)	184,05	150,84	127,14	109,37	95,57	—
UF_6 (кр.)	209,08	171,84	145,24	125,29	109,77	—
UO_2 (кр.)	104,26	85,40	71,94	61,85	54,00	—
U_3O_8 (кр.)	338,20	276,12	231,85	198,67	172,89	—
UO_2F_2 (кр.)	154,49	126,04	95,97	90,52	78,69	—
WO_3 (кр.)	74,31	59,71	49,31	41,53	35,50	30,69

Органические соединения

Углеводороды

CH_4 (г.) метан	3,44	2,02	0,991	0,213	—0,392	—0,873
C_2H_2 (г.) ацетилен	—21,41	—17,49	—14,70	—12,61	—10,99	—9,70
C_2H_4 (г.) этилен	—8,41	—7,61	—7,06	—6,84	—6,31	—6,04
C_2H_6 (г.) этан	—0,496	—2,14	—3,33	—4,22	—4,91	—5,45
C_3H_4 (г.) пропадиен (аллен)	—22,01	—18,76	—16,45	—14,71	—13,35	—12,27
C_3H_6 (г.) пропен	—9,81	—9,62	—9,50	—9,40	—9,30	—9,20
C_3H_6 (г.) циклопропан	—14,82	—14,06	—13,53	—13,12	—12,79	—12,51
C_3H_8 (г.) пропан	—3,58	—5,60	—7,05	—8,13	—8,96	—9,60
C_4H_6 (г.) 1,2-бутадиен	—23,53	—20,86	—18,97	—17,54	—16,43	—15,52
C_4H_6 (г.) 1,3-бутадиен (дивинил)	—18,83	—17,06	—15,79	—14,84	—14,08	—13,46
C_4H_8 (г.) 1-бутен	—12,83	—13,03	—13,20	—13,31	—13,39	—13,42
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *цис-*	—12,42	—12,77	—13,049	—13,25	—13,39	—13,49
C_4H_8 (г.) 2-бутен, *транс-*	—12,17	—12,58	—12,90	—13,13	—13,30	—13,41
C_4H_8 (г.) 2-метилпропен	—11,71	—12,21	—12,59	—12,87	—13,07	—13,20
C_4H_8 (г.) циклобутан	—17,80	—17,57	—17,41	—17,28	—17,15	—17,02
C_4H_{10} (г.) бутан	—6,34	—8,79	—10,56	—11,88	—12,89	—13,66
C_4H_{10} (г.) изобутан	—6,26	—8,85	—10,71	—12,10	—13,16	—13,99
C_5H_8 (г.) 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	—20,49	—19,38	—18,54	—17,93	—17,43	—17,01
C_5H_{10} (г.) циклопентан	—12,76	—14,42	—15,61	—16,49	—17,14	—17,62
C_5H_{12} (г.) пентан	—9,33	—12,24	—14,30	—15,82	—16,98	—17,88
C_5H_{12} (г.) 2-метилбутан (изопентан)	—8,84	—11,82	—13,97	—15,57	—16,78	—17,71
C_5H_{12} (г.) 2,2-диметилпропан (неопентан)	—9,56	—12,72	—15,00	—16,67	—17,95	—18,94
C_6H_6 (г.) бензол	—17,17	—15,91	—15,03	—14,34	—13,80	—13,35
C_6H_{12} (г.) циклогексан	—14,86	—17,33	—19,09	—20,37	—21,31	—22,00
C_6H_{14} (г.) гексан	—12,36	—15,61	—17,96	—19,70	—21,02	—22,04

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
C_7H_8 (г.) толуол	—18,25	—17,62	—17,17	—16,81	—16,51	—16,24
C_7H_{16} (г.) гептан	—15,34	—19,00	—21,63	—23,58	—25,06	—26,20
C_8H_6 (г.) этинилбензол (фенилацетилен)	—40,50	—34,96	—31,00	—28,02	—25,67	—23,78
C_8H_8 (г.) фенилэтилен (стирол)	—27,41	—25,06	—23,39	—22,12	—21,11	—20,27
C_8H_{10} (г.) этилбензол	—21,25	—21,01	—20,85	—20,71	—20,57	—20,43
C_8H_{10} (г.) *о*-ксилол	—20,51	—20,46	—20,44	—20,41	—20,36	—20,29
C_8H_{10} (г.) *м*-ксилол	—20,11	—20,10	—20,10	—20,09	—20,05	—20,00
C_8H_{10} (г.) *п*-ксилол	—20,45	—20,44	—20,44	—20,43	—20,40	—20,34
C_8H_{18} (г.) октан	—18,35	—22,41	—25,33	—27,49	—29,13	—30,39
$C_{10}H_8$ (г.) нафталин	—28,92	—26,54	—24,84	—23,53	—22,49	—21,63
$C_{10}H_8$ (г.) азулен	—42,29	—37,67	—34,37	—31,87	—29,90	—28,29
$C_{12}H_{10}$ (г.) дифенил	—36,70	—33,82	—31,76	—30,18	—28,91	—27,86

Кислородсодержащие соединения

CH_2O (г.) формальдегид	10,96	8,87	7,37	6,24	5,36	4,66
CH_2O_2 (г.) муравьиная кислота	34,70	28,05	23,30	19,75	11,98	14,78
CH_4O (г.) метанол	14,03	10,4	7,80	5,84	4,32	3,1
C_2H_4O (г.) ацетальдегид	11,35	8,34	6,18	4,56	3,30	2,30
C_2H_4O (г.) этиленоксид	—1,65	—2,72	—3,44	—4,00	—4,43	—4,76
$C_2H_4O_2$ (г.) уксусная кислота	35,04	27,35	21,86	17,75	14,56	12,02
C_2H_6O (г.) этанол	12,54	8,28	5,23	2,94	1,17	—0,23
C_2H_6O (г.) диметиловый эфир	6,48	3,11	0,68	—1,14	—2,55	—3,66
$C_2H_6O_2$ (г.) этиленгликоль	25,62	18,74	13,82	10,14	7,29	5,02
C_3H_6O (г.) ацетон	11,14	7,17	4,32	2,18	0,52	—0,79
C_3H_8O (г.) 1-пропанол	9,98	5,28	1,90	—0,63	—2,58	—4,12
C_3H_8O (г.) 2-пропанол	10,79	5,84	2,30	—0,35	—2,39	—4,00
$C_4H_{10}O$ (г.) диэтиловый эфир	3,17	—1,48	—4,82	—7,31	—9,23	—10,74
$C_4H_{10}O$ (г.) бутанол	6,55	1,30	—2,11	—4,81	—6,89	—8,53
$C_5H_{12}O$ (г.) амиловый спирт	4,34	—1,47	—5,20	—8,17	—10,45	—12,24

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000

Галогенсодержащие соединения

CCl_4 (г.) тетрахлорметан	3,10	1,36	0,113	—0,820	—1,54	—2,12
CF_4 (г.) тетрафторметан	89,66	73,42	61,82	53,12	46,36	40,95
$CHCl_3$ (г.) трихлорметан (хлороформ)	4,85	3,09	1,83	0,893	0,367	—0,422
CHF_3 (г.) трифторметан	66,84	54,70	46,03	39,53	34,47	30,43
CH_2Cl_2 дихлорметан	5,21	3,49	2,25	1,33	0,623	0,061
CH_2F_2 (г.) дифторметан	42,35	34,38	28,68	24,40	21,09	18,44
CH_3Cl (г.) хлорметан	4,76	3,16	2,01	1,15	0,480	—0,046
CH_3F (г.) фторметан	21,44	17,04	13,88	11,51	9,67	8,20
C_2H_5Cl (г.) хлорэтан	2,62	0,678	—0,707	—1,75	—2,55	—3,20
C_2H_5F (г.) фторэтан	18,23	13,68	10,43	7,99	6,10	4,59
C_6H_5Cl (г.) хлорбензол	—13,70	—12,79	—12,15	—11,66	—11,28	—10,97
$C_6H_5F_3$ (г.) фенилтрифторметан	46,75	36,08	28,45	22,74	18,33	14,81

Азотсодержащие соединения

CH_2N_2 (г.) диазометан	—24,62	—21,32	—18,96	—17,18	—15,80	—14,68
CH_3NO_2 (г.) нитрометан	—4,25	—5,65	—6,66	—7,40	—8,03	—8,40
CH_5N (г.) метиламин	—7,50	—8,04	—8,44	—8,73	—8,96	—9 12
CH_6N_2 (г.) метилгидразин	—25,36	—24,01	—23,04	—22,31	—21,71	—21,21
C_2H_7N (г.) диметиламин	—13,56	—14,08	—14,45	—14,72	—14,92	—15,06
C_3H_3N (г.) акрилонитрил	—21,27	—18,12	—15,89	—14,21	—12,89	—11,83
C_3H_9N (г.) триметиламин	—19,40	—20,04	—20,50	—20,83	—21,06	—21,22
C_5H_5N (г.) пиридин	—23,70	—21,42	—19,79	—18,54	—17,55	—16,74
C_6H_7N (г.) анилин	—23,39	—22,06	—21,10	—20,36	—19,77	—19,27

50. Приведенная энергия Гиббса, приращение энтальпии и стандартная теплота образования (при $T = 0$ К) некоторых веществ в состоянии идеального газа

Приведенная энергия Гиббса $\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$, приращение энтальпии $H_T^\circ - H_0^\circ$ и теплота образования $\Delta H_{f,0}^\circ$ служат для вычисления тепловых эффектов и констант равновесия:

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_0^\circ + \Delta\left(H_T^\circ - H_0^\circ\right);$$

$$\ln K_{a,T} = -\frac{1}{R}\left[\Delta\left(\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}\right) + \frac{\Delta H_0^\circ}{T}\right]$$

В отдельной таблице приведены функции Φ_T некоторых веществ от 2000 до 5000 К.

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(К·моль)] при T, К							$H_T^\circ - H_0^\circ$ (кДж/моль) при T, К							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
	298	500	600	700	800	900	1000	298	500	600	700	800	900	1000	
Простые вещества															
Br	154,13	164,88	168,66	171,79	174,65	177,08	179,30	6,20	10,40	12,48	14,56	16,66	18,77	20,89	117,94 *
Br_2	212,76	230,07	236,33	241,68	246,45	250,50	254,40	9,72	17,13	20,84	24,58	28,32	32,08	35,84	45,70 *
C (графит)	2,20	4,85	6,24	7,62	8,99	10,34	11,64	1,05	3,45	5,03	6,80	8,70	10,70	12,83	0
Cl	144,05	155,06	159,02	162,48	165,32	168,02	170,24	6,27	10,80	13.08	15,34	17,61	19,85	22,09	119,66
Cl_2	192,20	208,57	214,55	219,68	224,22	228,19	231,94	9,18	16,31	19,92	23,60	27,30	31,00	34,74	0
F	136,78	148,16	152,19	155,68	158,53	161,10	163,41	6,52	11,03	13,24	15,41	17,57	19,71	21,84	77,28
F_2	173,08	188,71	194,40	199,42	203,65	207,59	211,05	8,82	15,50	18,96	22,52	26,14	29,80	33,50	0
D	102,46	113,16	116,99	120,26	122,97	125,48	127,61	6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	219,75
D_2	116,12	130,92	136,28	140,82	144,63	148,06	151,22	8,57	14,45	17,40	20,39	23,40	26,49	29,60	0
H	93,82	104,57	108,35	111,62	114,34	116,84	118,98	6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	216,03
H_2	102,17	116,92	122,19	126,52	130,48	133,80	136,96	8,47	14,38	17,30	20,22	23,18	26,16	29,16	0
I	159,89	170,64	174,43	177,65	180,41	182,86	185,05	6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	107,16 **
I_2	226,65	244,57	251,01	256,60	261,34	265,62	269,45	10,12	17,64	21,38	25,15	28,91	32,70	36,50	65,51 **
N_2	162,42	177,47	182,79	187,34	191,27	194,70	197,93	8,67	14,60	17,56	20,62	23,72	26,90	30,13	0
O	138 39	149,92	153,97	157,34	160,26	162,77	165,09	6,73	11,06	13,19	15,29	17,40	19,49	21,59	246,80
O_2	175,92	191,06	196,46	201,00	205,16	208,75	212,08	8,68	14,80	17,92	21,20	24,52	27,94	31,39	0
P_2	188,17	203,95	209,75	214,72	219,09	223,00	226,53	8,90	15,70	19,19	22,79	26,38	30,05	33,71	145,64 **
S	145,40	157,00	161,20	164,70	167,70	170,35	172,70	6,66	11,34	13,60	15,81	18,01	20,17	22,33	276,56 **
S_2	198,00	214,35	219,62	224,64	229,08	234,00	236,60	8,96	15,90	19,40	23,00	26,70	30,40	34,00	128,23 **
Неорганические вещества															
CO	168,47	183,53	188,88	193,39	197,37	200,91	204,08	8,67	14,62	17,61	20,71	23,84	27,10	30,35	—113,81
CO_2	182,26	199.44	206,02	211,92	217,16	222,00	226,41	9,37	17,70	22,27	27,10	32,17	37,30	42,76	—393,15
$COCl_2$	240,40	264,85	274,45	283,00	290,83	297,80	304,40	12,87	25,75	32,65	40,00	47,30	55,00	62,55	—217,81
COS	198,17	216,69	223,75	230,20	235,80	241,00	245,75	9,93	19,10	24,15	29,20	34,70	40,00	45,85	—141,83
CS_2	202,02	221,89	229,56	236,40	242,49	248,00	253,10	10,66	20,60	25,94	31,45	37,12	42,85	48,74	115,91
HBr	169,58	184,61	189 90	194,40	198,36	201,80	204,98	8,65	14,56	17,52	20,55	23,61	26,75	29,94	—28,54 *
HCl	157,81	172,82	178,14	182,65	186,52	190,00	193,11	8,64	14,53	17,47	20,46	23,48	26,56	29,69	—92,13
HF	144,82	159,78	165,04	169.50	173,42	176,80	179,93	8,60	14,48	17,41	20,34	23,28	26,25	29,25	—273,26
HI	177,45	192,48	197,80	202,30	206,30	209,80	213,00	8,66	14,60	17,59	20,65	23,80	27,00	30,31	27,00 **
H_2O	155,50	172,77	178,93	184,20	188,84	192,90	196,74	9,91	16,80	20,41	24,10	27,93	31,90	35,95	—238,91
H_2S	172,30	189,77	196,07	201,50	206,35	210,60	214,65	9,96	17,15	20,98	25,00	29,17	33,52	38,05	—17,68 **
NH_3	158,98	176,82	183,30	189,30	194,46	199,25	203,65	10,04	17,85	22,20	26,80	31,80	37,00	42,60	—39,22
NO	179,82	195,63	201,23	205,95	210,07	213,70	217,00	9,18	15,25	18,33	21,45	24,74	28,00	31,41	90,15
NO_2	205,81	224,12	230,85	236,85	242,25	247,18	251,70	10,21	18,30	22 85	27,55	32,55	37,50	42,85	36,50
SO_2	212,71	231,76	238,95	245,25	250,87	256,00	260,67	10,55	19,30	24,09	29,00	34,25	39,40	44,95	—294,36 **
SO_3	217,40	239,30	248,20	256,00	263,50	270,00	276,25	11,74	23,30	29,85	36,70	44,05	51,22	59,00	—391,44 **

* Из Br_2 (ж.).
** Из I_2 (кр.).
** Из P (бел., кр.).
** Из S (ромб.).

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(К·моль)] при T, К							$H_T^\circ - H_0^\circ$ (кДж/моль) при T, К							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
	298	500	600	700	800	900	1000	298	500	600	700	800	900	1000	
Органические соединения															
Углеводороды															
CH_4 метан	152,60	170,60	177,46	183,63	189,26	194,55	199,31	10,03	18,27	23,25	28,77	34,88	41,45	48,52	—66,89
C_2H_2 ацетилен	167,23	186,25	193,77	200,55	206,69	212,35	217,56	10,01	20,05	25,66	31,52	37,67	44,03	50,59	227,31
C_2H_4 этилен	184,00	204,02	212,18	219,73	226,79	233,45	239,77	10,56	21,44	28,17	35,71	43,86	52,57	61,81	60,78
C_2H_6 этан	189,37	212,45	222,12	231,18	239,70	247,80	255,66	11,95	25,17	33,58	43,00	53,37	64,58	76,51	—69,11
C_3H_4 пропадиен (аллен)	201,56	226,30	236,66	246,28	255,22	263,71	271,72	12,62	27,10	35,84	45,46	55,76	66,68	78,18	199,60
C_3H_6 пропен	221,47	248,22	259,63	270,36	280,51	290,22	229,45	13,54	29,65	39,77	51,07	63,46	76,72	90,78	35,43
C_3H_8 пропан	220,58	250,31	263,36	275,79	287,65	299,02	309,98	14,69	33,64	45,78	59,42	74,35	90,42	107,45	—81,51
C_4H_6 1,2-бутадиен	238,90	271,15	284,96	297,90	310,14	321,71	332,79	16,12	35,91	48,09	61,56	76,12	91,64	108,00	175,70
C_4H_6 1,3-бутадиен (дивинил)	227,81	258,94	272,74	285,74	298,10	309,83	321,01	15,17	35,95	48,18	62,07	77,01	92,87	109,48	124,60
C_4H_8 1-бутен	247,84	282,53	297,67	311,99	325,60	338,62	351,11	17,20	39,09	52,94	68,42	85,28	103,32	122,44	20,75
C_4H_8 2-бутен, *цис-*	244,91	278,06	292,44	306,12	319,13	331,65	343,71	16,66	37,16	50,38	65,36	81,76	99,50	118,29	14,43
C_4H_8 2-бутен, *транс-*	237,63	272,84	288,09	302,45	316,07	329,09	341,54	17,53	39,45	51,92	68,49	85,23	103,18	122,17	9,38
C_4H_8 2-метилпропен	236,26	271,06	286,33	300,75	314,50	327,59	340,15	17,08	39,42	53,36	68,88	85,78	103,86	122,98	4,10
C_4H_{10} бутан	244,88	284,14	301,32	317,64	333,19	348,06	362,40	19,44	44,38	60,19	77,97	97,39	118,27	140,40	—99,04
C_4H_{10} изобутан	234,58	271,74	288,50	304,49	319,84	334,59	348,84	17,89	42,91	58,89	76,80	96,34	117,30	139,52	—105,86
C_5H_8 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	252,83	292,07	309,68	326,41	342,33	357,49	371,95	18,71	45,36	61,81	79,88	99,34	120,00	141,64	96,15
C_5H_{10} циклопентан	242,33	274,65	290,12	305,39	320,42	335,19	349,62	15,06	38,91	55,39	74,39	95,43	118,28	142,63	—44,70
C_5H_{12} пентан	269,88	317,74	338,80	358,83	377,91	396,21	413,76	23,55	54,30	73,84	95,68	119,61	145,22	172,42	—113,92
C_5H_{12} 2-метилбутан (изопентан)	269,22	315,10	335,70	335,38	374,26	392,45	409,33	22,15	52,82	72,44	94,45	118,51	144,32	171,73	—120,55
C_5H_{12} 2,2-диметилпропан (неопентан)	235 74	280,54	301,14	320,98	340,04	358,41	376,14	21,05	52,60	72,76	95,32	119,83	146,07	173,81	—130,96
C_6H_6 бензол	221,43	252,08	266,56	280,64	294,34	310,57	320,41	14,23	36,66	51,43	68,08	86,28	105,69	126,24	100,41
C_6H_{12} циклогексан	238,72	277,84	296,92	315,97	334,74	353,22	371,38	17,73	47,85	68,69	92,71	19,44	148,44	179,32	—83,75
C_6H_{14} гексан	295,39	351,90	376,86	400,59	423,22	444,94	465,76	27,71	64,28	87,50	113,48	141,85	172,27	204,48	—129,31
C_7H_8 толуол	260,18	298,90	317,07	334,77	351,95	368,59	384,69	18,02	46,09	64,59	85,47	108,27	132,70	158,60	73,21
C_7H_{16} гептан	320,94	386,10	414,95	442,40	468,57	493,71	517,83	31,86	74,29	101,19	131,27	164,12	199,30	236,54	—144,53
C_8H_8 фенилэтилен (стирол)	275,08	319,87	340,66	360,71	380,03	398,62	416,50	20,86	52,99	73,54	96,46	121,28	147,72	175,54	168,78
C_8H_{10} этилбензол	285,52	333,26	355,50	376,98	397,74	417,82	437,16	22,32	56,50	78,68	103,57	130,64	159,64	190,22	58,22
C_8H_{10} *м*-ксилол	282,48	330,08	352,10	373,35	393,87	413,68	432,81	22,40	56,04	77,80	102,31	129,09	157,79	188,09	45,59
C_8H_{10} *о*-ксилол	274,43	323,83	346,46	368,22	389,15	409,30	428,71	23,33	57,81	79,81	104,50	131,40	160,15	190,56	46,42
C_8H_{10} *п*-ксилол	277,16	324,65	346,55	367,73	388,12	407,84	426,86	22,42	55,81	77,44	101,79	128,44	157,02	187,27	46,28
C_8H_{10} октан	345,82	419,63	452,38	483,54	513,25	541,77	569,16	36,02	84,62	114,85	149,07	186,35	226,35	268,61	—159,84
Кислородсодержащие соединения															
CH_2O формальдегид	185,14	203,05	209,73	215,68	221,07	226,02	230,64	10,02	17,97	22,57	27,59	33,03	38,81	44,87	—112,06
CH_2O_2 муравьиная кислота	212,25	232,73	240,95	248,40	255,32	261,72	267,78	10,87	21,71	28,11	35,10	42,58	50,41	58,61	—371,47
CH_4O метанол	201,34	222,37	230,61	238,11	245,04	251,52	257,65	11,43	21,85	28,17	35,24	42,89	51,14	59,84	—190,10
C_2H_4O этиленоксид	205,96	227,18	236,20	244,73	252,82	260,56	267,92	10,86	23,45	31,57	40,65	50,57	61,19	72,41	—40,11
C_2H_4O ацетальдегид	221,00	245,46	255,39	264,58	273,11	281,17	288,79	12,87	26,13	34,29	43,29	53,08	63,50	74,54	—155,49

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(К·моль)] при T, К							$H_T^\circ - H_0^\circ$ (кДж/моль) при T, К							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
	298	500	600	700	800	900	1000	298	500	600	700	800	900	1000	
$C_2H_4O_2$ уксусная кислота	236,43	263,68	275,23	286,00	296,14	305,71	314,76	13,72	30,12	40,12	51,12	62,97	75,43	88,53	—420,84
C_2H_6O этанол	234,97	262,71	274,42	285,39	295,65	305,45	314,76	14,18	30,50	40,66	51,92	64,18	77,27	91,08	—217,13
C_2H_6O диметиловый эфир	219,10	246,90	258,52	269,38	279,54	289,22	298,42	14,29	30,40	40,27	51,36	63,45	76,46	90,23	—166,49
C_3H_6O ацетон	240,30	272,05	285,42	297,93	309,69	320,87	331,54	16,27	34,85	46,39	59,32	73,38	88,49	104,47	—200,94
C_3H_8O 1-пропанол	264,17	300,02	315,36	329,80	343,44	356,45	368,92	18,06	39,86	53,50	68,69	85,26	102,95	121,74	—234,22
C_3H_8O 2-пропанол	252,18	287,19	302,62	317,19	331,05	344,32	356,98	17,20	39,79	53,94	69,63	86,70	104,85	123,98	—248,42
$C_4H_{10}O$ бутанол	288,59	333,09	352,33	370,48	387,70	404,09	419,82	22,22	49,83	67,16	86,49	107,49	130,00	153,81	—245,76
C_6H_6O фенол	256,75	294,51	312,02	328,89	345,11	360,64	375,51	17,53	44,73	61,92	81,00	101,50	123,26	146,02	—77,84
Галогенсодержащие соединения															
CCl_4 тетрахлорметан	252,29	285,75	299,18	311,25	322,06	331,98	341,05	17,23	35,72	45,64	55,85	66,22	76,77	87,40	—98,24
$CHCl_3$ трихлорметан (хлороформ)	248,04	275,36	286,36	296,27	305,28	313,57	321,25	14,18	29,16	37,48	46,23	55,27	64,56	74,01	—98,22
CH_2Cl_2 дихлорметан	230,50	253,09	262,14	270,36	277,91	284,91	291,42	11,85	24,02	31,00	38,49	46,40	54,68	63,26	—85,61
CH_3Cl хлорметан	199,51	218,79	226,40	233,28	239,65	245,58	251,17	10,41	20,16	25,97	32,38	39,28	46,60	54,34	—72,85

Температура 2000 — 5000 К

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(моль·К)]			Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(моль·К)]		
	2000 К	3000 К	5000 К		2000 К	3000 К	5000 К
Br	193,98	202,80	214,06	CO	225,91	239,45	257,24
Br_2	279,67	294,80	314,53	CO_2	258,76	279,96	308,54
C	22,50	30,17	41,60	$COCl_2$	351,00	380,63	419,72
Cl	185,51	194,34	205,33	CS_2	289,10	311,83	341,72
Cl_2	256,57	271,64	291,18	HBr	226,50	239,92	257,78
F	178,41	187,07	197,88	HCl	214,35	227,57	245,19
F_2	233,15	250,17	270,02	HF	200,61	213,38	230,42
H	133,38	141,81	152,43	HI	234,82	248,44	266,53
H_2	157,60	170,38	187,59	H_2O	223,39	241,10	266,03
I	199,48	208,00	218,96	H_2S	243,26	262,35	288,87
I_2	295,11	310,39	330,34	NH_3	237,03	260,66	294,97
N_2	219,56	233,00	250,66	NO	239,50	253,25	271,27
O	179,92	188,50	199,28	NO_2	283,80	305,39	334,44
O_2	234,32	248,81	267,60	SO_2	293,97	315,24	343,53
S_2	261,00	276,44	296,24	SO_3	320,90	350,60	389,15
CH_3	239,00	268,29	310,67				

51. Эмпирические данные и зависимости для вычисления термодинамических величин

Теплоемкость

Твердые и жидкие вещества: $C_p = \sum C_i n_i$ [Дж/(моль·К)], где C_i — атомная теплоемкость; n_i — число атомов в молекуле.

Теплоемкость	Элементы					
	C	H	N	B	Be	O
C_i твердых веществ, Дж/(моль·К)	7,53	9,62	11,30	11,72	15,90	16,74
C_i жидких веществ, Дж/(моль·К)	11,72	17,99	—	19,66	—	25,10

Теплоемкость	Элементы				
	Si	F	S	P	остальные элементы
C_i твердых веществ, Дж/(моль·К)	20,08	20,92	22,59	23,01	25,94—26,78
C_i жидких веществ, Дж/(моль·К)	24,27	29,29	30,96	29,29	33,47

Сплавы, шлаки, стекла, растворы: $c = \frac{g_1c_1 + g_2c_2 + \cdots}{100}$ [Дж/(г·К)], где g_1, g_2 — массовые доли компонентов, %; c_1, c_2 — их удельная теплоемкость.

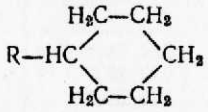
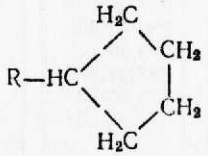
Примечание. При значительной теплоте смешения (растворения) получаются повышенные результаты.

Теплота сгорания органических соединений в газообразном состоянии

$$\Delta H_{сгор} = -\left(204{,}2n + 44{,}4m + \sum x\right) \text{ [кДж/моль]}$$

где n — число атомов кислорода, необходимое для полного сгорания вещества; m — число молей образующейся воды; x — поправка (термическая характеристика), постоянная в пределах гомологического ряда.

Численные значения термической характеристики

Группы атомов или типы связей		x, кДж/моль
Ординарная связь	C—C	0
Двойная связь	C=C	87,9
Тройная связь	C≡C	213,4
Фенильная группа	R—C_6H_5	100,4
Спиртовая группа	R—CH_2OH	50,2
Простые эфиры	R—O—R	87,9
Альдегидная группа	R—CHO	75,3
Кетогруппа	R—CO—R	50,2
Кислотная группа в одноосновной кислоте	R—COOH	0
Кислотные группы в двухосновной кислоте	HOOC—R—COOH	12,6
Алкилциклогексаны		0
Алкилциклопентаны		25,1

Пример. Вычисление теплоты сгорания газообразного коричного альдегида $C_6H_5CH{=}CHCHO$.

Термическая характеристика коричного альдегида складывается из следующих значений:

Фенильная группа	100,4
Двойная связь	87,9
Альдегидная группа	75,3
	x = 263,6 кДж/моль

Реакция сгорания:

$$C_6H_5(CH)_2CHO + 10{,}5\,O_2 = 9CO_2 + 4H_2O$$

$n = 21$; $m = 4$.

$$\Delta H_{сгор} = -(204{,}2 \cdot 21 + 44{,}4 \cdot 4 + 263{,}6) = -4729{,}4 \text{ кДж/моль}$$

По литературным данным, $\Delta H_{сгор} = -4727{,}9$ кДж/моль.

Теплота испарения неполярных жидкостей при нормальной температуре кипения

$$\frac{\Delta H_{исп}}{T_{кип}} = 36{,}61 + 19{,}14 \lg T_{кип} \text{ Дж/(моль·К)}$$

$$\frac{\Delta H_{исп}}{T_{кип}} \approx 89{,}12 \text{ Дж/(моль·К)}$$

Теплота плавления

Простые вещества: $\frac{\Delta H_{плавл}}{T_{плавл}} = 10{,}5 \pm 2{,}1$ Дж/(моль·К).

Неорганические вещества: $\frac{\Delta H_{плавл}}{T_{плавл}} \doteq 25{,}1 \pm 4{,}2$ Дж/(моль·К).

Органические вещества: $\frac{\Delta H_{плавл}}{T_{плавл}} = 54{,}4 \pm 12{,}6$ Дж/(моль·К).

Энтропия

Твердые неорганические вещества: $S^\circ_{298} = A \lg M + B$, где M — относительная молекулярная масса; A и B — константы, характерные для каждого типа соединений. Каждому типу окислов (ЭО, $Э_2O_3$, $ЭO_2$ и т. п.) отвечают свои значения A и B, которые определяют по известным энтропиям двух веществ данного типа.

Константы A и B, Дж/(моль·К), для некоторых типов соединений

Здесь Э — металл, X — галоген.

Тип соединения	A	B	Тип соединения	A	−B
$Э_2O$	87,45	−87,45	ЭX	62,76	−38,07
ЭO	60,67	−70,71	$ЭX_2$	136,82	−185,35
$Э_2O_3$	138,49	−227,61	$ЭXO_3$	35,98	68,20
$ЭO_2$	64,02	−68,62	ЭS	69,87	−73,22
$Э_2O_5$	133,05	−209,20	$ЭNO_3$	90,79	−60,67

Газообразные неорганические вещества:

$$\lg S^\circ_{298} = A \lg M + \lg B \text{ или } S^\circ_{298} = BM^A \text{ [Дж/(моль·К)]}$$

где M — относительная молекулярная масса; A и B — константы, определяемые в основном числом атомов в молекуле.

Зависимость постоянных A и B от числа атомов в молекуле

Молекулы газов	A	B	$\lg B$	Молекулы газов	A	B	$\lg B$
Двухатомные	0,136	124,68	2,096	Пятиатомные	0,213	102,51	2,011
Трехатомные	0,211	101,67	2,007	Шестиатомные	0,294	82,42	1,916
Четырехатомные	0,221	101,25	2,005				

Твердые нормальные парафины: $S^\circ_{298} = 75{,}31 \pm 24{,}27n$ [Дж/(моль·К)], где n — число атомов углерода в молекуле.

Жидкие парафины (в том числе с разветвленной цепью), *циклические и ароматические углеводороды* (в том числе с боковыми цепями):

$$S^\circ_{298} = 104{,}60 + 32{,}22n - 18{,}83\,(r - 2) + 81{,}59p_1 + 110{,}88p_2 \text{ [Дж/(моль·К)]}$$

где n — число углеродных атомов вне кольца; p_1 — число фенильных групп; p_2 — число насыщенных колец (циклопентана или циклогексана); r — число разветвлений на прямой цепи или число углеводородных групп (алифатических, ароматических или циклических), присоединенных к какому-либо углеродному атому алифатической цепи.

Примеры. Трифенилметан: $n = 1$, $r = 3$, $p_1 = 3$; *трет*-бутилбензол: $n = 4$, $r = 4$, $p_1 = 1$.

Газообразные нормальные парафины: $S^\circ_{298} = 142{,}3 + 41{,}8n$ [Дж/(моль·К)], где n — число атомов углерода в молекуле.

Твердые органические вещества: $S^\circ_{298} = 1{,}1C_p$ [Дж/(моль·К)], где C_p — мольная теплоемкость.

Жидкие органические вещества: $S^\circ_{298} = 1{,}4C_p$ [Дж/(моль·К)], где C_p — мольная теплоемкость.

Ионы одноатомные в водных растворах:

$$S^\circ_{298} = 28{,}7 \lg A - \frac{1130z}{(r + x)^2} + 155 \text{ [Дж/(моль·К)]}$$

где A — атомная масса; z — заряд иона; r — радиус иона в кристаллическом веществе (табл. 123), Å; x принят равным 2,0 для положительных и 1,0 для отрицательных ионов.

Приближенное вычисление стандартной теплоты образования, теплоемкости и энтропии органических веществ в состоянии идеального газа см. в предыдущих изданиях справочника (теплоту образования можно вычислить из теплоты сгорания).

52. Вязкость газов при 25 °С и атмосферном давлении

Вещество	$\eta \cdot 10^7$, Па·с	Вещество	$\eta \cdot 10^7$, Па·с
Азот	177,8	Кислород	205,2
Аммиак	102,5	Метан	110,8
Воздух	184,0	Оксид углерода	176,5
Водяной пар	97,5	Сернистый газ	127,0
Диоксид углерода	148,6	Хлор	136,0

53. Вязкость воды в интервале 5—100 °С

t, °С	η_0, мПа·с	$x = \lg \eta_0$	t, °С	η_0, мПа·с	$x = \lg \eta_0$
5	1,5193	0,182	55	0,5044	—0,297
10	1,3073	0,116	60	0,4670	—0,331
15	1,1383	0,056	65	0,4339	—0,363
20	1,0020	0,001	70	0,4046	—0,393
25	0,8902	—0,050	75	0,3785	—0,422
30	0,7973	—0,098	80	0,3551	—0,450
35	0,7191	—0,143	85	0,3341	—0,476
40	0,6527	—0,185	90	0,3150	—0,502
45	0,5961	—0,225	95	0,2978	—0,526
50	0,5471	—0,262	100	0,2821	—0,550

54. Вязкость жидкостей в интервале 0—60 °С

Вещество	$\eta \cdot 10^3$, Па·с, при температуре, °С							
	0	10	20	25	30	40	50	60
Аллиловый спирт C_3H_7O	2,145	1,703	1,363	(1,200)	1,070	0,914	0,767	0,657
Анилин C_6H_7N	10,20	6,46	4,40	(3,77)	3,20	2,35	1,821	1,52
Ацетон C_3H_6O	0,397	0,361	0,325	(0,310)	0,296	0,271	0,249	0,228
Ацетонитрил C_2H_3N	0,442	0,396	0,357	(0,345)	0,325	—	—	—
Ацетофенон C_8H_8O	—	2,30	1,84	1,67	1,51	1,38	1,24	—
Бензиловый спирт C_7H_8O	—	—	5,800	5,054	4,320	3,288	2,574	—
Бензол C_6H_6	0,910	0,755	0,652	0,600	0,559	0,503	0,436	0,389
Бромбензол C_6H_5Br	1,520	1,310	1,130	(1,060)	0,990	0,890	0,790	0,720
1-Бутанол $C_4H_{10}O$	5,19	3,87	2,95	2,60	2,28	1,78	1,41	1,133
2-Бутанол $C_4H_{10}O$	8,30	5,65	3,95	3,35	2,88	2,12	1,61	1,24
Вода * H_2O	1,792	1,308	1,002	0,894	0,801	0,656	0,549	0,469
Гексан C_6H_{14}	0,381	0,343	0,307	0,294	0,290	0,253	0,248	0,222
Гептан C_7H_{16}	—	—	0,414	0,390	0,373	0,338	0,308	0,281
Глицерин $C_3H_8O_3$	$12,1 \cdot 10^3$	$3,95 \cdot 10^3$	$1,49 \cdot 10^3$	$0,95 \cdot 10^3$	$0,63 \cdot 10^3$	330	180	102
1,4-Диоксан $C_4H_8O_2$	—	—	1,255	1,196	1,063	0,917	0,778	0,685
Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	0,284	0,258	0,233	0,222	0,213	0,197	0,180	0,166
о-Ксилол C_8H_{10}	1,108	0,939	0,809	0,756	0,708	0,625	0,557	0,501
м-Ксилол C_8H_{10}	0,80	0,70	0,61	0,581	0,55	0,490	0,433	0,403
п-Ксилол C_8H_{10}	—	0,74	0,64	0,605	0,57	0,51	0,456	0,414
Метанол CH_4O	0,817	0,690	0,597	0,547	0,510	0,450	0,396	0,350
Метилацетат $C_3H_6O_2$	0,479	0,425	0,381	0,362	0,344	0,312	0,284	0,258

* При 5° С—1,519, при 15° С—1,140 Па·с.

Метилформиат $C_2H_4O_2$	0,429	0,385	0,348	0,330	0,318	—	—	—
Муравьиная кислота CH_2O_2	—	2,262	1,804	1,160	1,460	1,290	1,025	0,890
Нитробензол $C_6H_5O_2N$	3,090	2,483	2,034	(1,845)	1,682	1,438	1,251	1,094
Нитрометан CH_3O_2N	0,85	0,74	0,66	0,627	0,595	0,530	0,478	0,433
Октан C_8H_8	0,714	0,622	0,546	0,514	0,486	0,435	0,392	0,356
Пентан C_5H_{12}	0,283	0,259	0,240	0,230	0,220	—	—	—
Пиридин C_5H_5N	1,330	1,120	0,974	0,895	0,830	0,735	0,651	0,580
1-Пропанол C_3H_8O	3,883	2,897	2,234	2,00	1,75	1,400	1,129	0,921
2-Пропанол C_3H_8O	4,60	3,26	2,39	2,05	1,77	1,33	1,03	0,80
Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	1,52	1,29	1,10	1,02	0,958	0,840	0,746	0,662
Сероуглерод CS_2	0,433	0,396	0,365	(0,352)	0,341	0,319	0,297	—
Стирол (фенилэтилен) C_8H_8	1,047	0,879	0,749	0,695	0,648	0,565	0,502	0,453
Тетрахлорметан CCl_4	1,330	1,132	0,969	(0,900)	0,843	0,739	0,651	0,585
Тиофен C_4H_4S	0,871	0 753	0,658	(0,620)	0,582	0,520	0,468	0,424
Толуол C_7H_8	0,770	0,667	0,584	(0,552)	0,517	0,469	(0,425)	0,381
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	—	1,450	1,210	(1,125)	1,040	0,900	0,790	0,700
Уксусный альдегид C_2H_4O	0,276	0,253	0,225	—	—	—	—	—
Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	1,245	1,058	0,907	(0,845)	0,787	0,699	0,623	0,550
Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	—	—	0,456	(0,45)	0,443	0,404	—	—
Фенол C_6H_6O	—	—	11,6	8,8	7,00	4,77	3,42	2,60
Формамид CH_3ON	7,5	5,0	3,75	3,30	2,94	2,43	2,04	1,71
Фтортрихлорметан (фреон-11) $CFCl_3$	0,540	0,480	0,440	0,420	0,405	0,375	0,355	0,346
Хлорбензол C_6H_5Cl	1,056	0,915	0,802	(0,750)	0,708	0,635	0,573	0,520
Хлороформ (трихлорметан) $CHCl_3$	0,700	0,630	0,570	(0,542)	0,514	0,466	0,426	0,390
Циклогексан C_6H_{12}	—	—	0,970	0,898	0,822	0,706	0,610	0,538
Этанол C_2H_6O	1,773	1,466	1,200	1,096	1,003	0,834	0,702	0,592
Этилацетат $C_4H_8O_2$	0,582	0,512	0,458	0,430	0,403	0,360	0,324	0,294
Этиленгликоль $C_2H_6O_2$	—	—	19,9	(16,5)	13,2	9,13	(6,65)	4,95
Этилформиат $C_3H_6O_2$	0,51	0,45	0,402	0,382	0,358	0,329	0,308	—

55. Вязкость водных растворов в зависимости от концентрации

Растворенное вещество	t, °C	$\eta \cdot 10^3$, Па·с, при массовом содержании растворенного вещества, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
HCl	20	1,16	1,36	1,70	—	—	—	—	—	—	—
HNO_3	20	1,03	1,12	1,30	1,55	1,84	2,02	2,02	1,88	1,33	0,9
H_2SO_4	20	1,12	1,38	1,82	2,48	3,58	5,52	9,65	23,2	23,1	27,8
H_3PO_4	20	1,7	2,0	2,5	3,7	5,5	9,0	16,7	34	—	—
NaCl	0	2,01	2,67	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	1,19	1,56	—	—	—	—	—	—	—	—
NaOH	20	1,86	4,48	—	—	—	—	—	—	—	—
CH_3OH	0	2,59	3,23	3,61	3,65	3,35	2,89	2,37	1,76	1,19	0,82
	20	1,32	1,58	1,76	1,84	1,76	1,60	1,39	1,14	0,86	0,58
C_2H_5OH	0	3,311	5,319	6,94	7,14	6,58	5,75	4,762	3,690	2,732	1,773
	25	1,323	1,815	2,18	2,35	2,40	2,24	2,037	1,748	1,424	1,096
	50	0,734	0,907	1,050	1,132	1,155	1,127	1,062	0,968	0,848	0,702
CH_3COOH	20	1,22	1,45	1,70	1,96	2,21	2,43	2,66	2,75	2,43	1,22
$C_3H_8O_3$ (глицерин)	20	1,311	1,769	2,501	3,750	6,050	10,96	22,94	62,0	234,6	1499
$C_{12}H_{22}O_{11}$ (сахароза)	25	—	1,0794	1,1252	1,1744	1,2273	1,2840	1,3445	—	—	—

56. Вязкость водных растворов электролитов

Формулы для вычисления вязкости (в мПа·с) в указанном интервале температур с помощью приведенных в таблице коэффициентов:

$$\eta = \eta_r \eta_0; \qquad \lg \eta_r = (a + bx) \cdot 10^{-3}$$

Значения η_0 и x см. в табл. 53.

Растворенное вещество	Коэффициент	Коэффициенты уравнения $\lg \eta_r = f(x)$ при массовом содержании растворенного вещества, %								Температурный интервал, °C	Максимальная погрешность, %
		5	10	15	20	25	30	35	40		
$BaCl_2$	a	25	53	83	114	—	—	—	—	10—50	10
	b	—30	—55	—75	—90	—	—	—	—		
$CaCl_2$	a	51	115	193	287	400	535	—	—	10—60	10
	b	—38	—63	—74	—70	—50	—13	—	—		
CsCl	a	—7	—14	—21	—27	—32	—35	—34	—31	15—90	5
	b	—34	—68	—102	—136	—170	—202	—232	—261		
HCl	a	32	65	100	139	183	234	294	—	10—80	5
	b	—86	—160	—218	—255	—266	—246	—190	—		
KCl	a	—5	—6	—3	5	18	—	—	—	10—80	5
	b	—60	—114	—161	—201	—235	—	—	—		
KNO_3	a	—10	—15	—14	—7	7	—	—	—	10—90	5
	b	—49	—89	—120	—143	—160	—	—	—		
KOH	a	42	91	148	214	291	381	487	614	18—90	10
	b	—33	—59	—76	—82	—74	—47	5	89		
LiCl	a	72	148	231	326	440	581	756	970	10—100	5
	b	—14	—27	—38	—44	—28	16	91	199		
$MgBr_2$	a	47	95	145	200	265	343	436	545	20—60	10
	b	—17	—31	—41	—45	—35	—16	8	34		
$MgCl_2$	a	92	193	310	450	619	823	—	—	20—60	10
	b	1	9	27	60	115	201	—	—		

Продолжение

Растворенное вещество	Коэффициент	Коэффициенты уравнения $\lg \eta_r = f(x)$ при массовом содержании растворенного вещества, %											Температурный интервал, °C	Максимальная погрешность, %
		5	10	15	20	25	30	35	40					
$MgSO_4$	*a*	118	261	428	618	—	—	—	—				10—60	5
	b	11	60	147	234	—	—	—	—					
NH_4Cl	*a*	—8	—13	—13	—7	3	—	—	—				10—75	5
	b	—67	—125	—174	—212	—239	—	—	—					
NH_4NO_3	*a*	—12	—20	—24	—23	—16	—3	16	41				10—80	5
	b	—57	—105	—146	—182	—214	—242	—265	—282					
NaCl	*a*	34	75	127	192	274	—	—	—				10—100	5
	b	—29	—50	—55	—39	—5	—	—	—					
$NaNO_3$	*a*	12	32	61	99	146	204	272	350				10—90	5
	b	—37	—62	—76	—80	—75	—62	—41	—13					
NaOH	*a*	120	260	420	630	870	1110	—	—				18—40	10
	b	40	115	225	380	590	860	—	—					
Na_2SO_4	*a*	80	176	289	420	—	—	—	—				25—90	20
	b	—15	15	80	170	—	—	—	—					
		10	20	30	40	50	60	70	80					
CH_3COOH	*a*	77	147	211	270	324	373	418	420				15—95	5
	b	33	62	88	111	132	148	158	148					
$HClO_4$	*a*	2	17	56	128	259	448	653	—				10—90	10
	b	—69	—122	—167	—187	—167	—114	—122	—					
HNO_3	*a*	15	45	118	193	260	308	308	270				10—90	10
	b	—92	—150	—173	—160	—110	—50	—50	—110					
H_3PO_4	*a*	119	255	409	581	771	979	1211	1505				25—75	20
	b	50	101	154	211	275	355	495	703					
H_2SO_4	*a*	100	190	316	459	614	781	1013	1316				25—75	20
	b	0	0	0	0	0	0	166	534					

57. Коэффициенты диффузии газов в воздухе при нормальном атмосферном давлении

Вещество	t, °C	$D \cdot 10^6$, м²/с	Вещество	t, °C	$D \cdot 10^6$, м²/с
Анилин	20	0,061	Муравьиная кислота	20	0,131
Бензол	20	0,077	Нафталин	96,6	0,051
Вода	8,0	0,239	Толуол	16,4	0,071
Диоксид углерода	0,0	0,139	Уксусная кислота	22,9	0,106
Диэтиловый эфир	17,1	0,078	Этанол	18,35	0,102
Метанол	14,5	0,132	Этилацетат	18,9	0,071

58. Коэффициенты самодиффузии неэлектролитов в жидкостях при нормальном атмосферном давлении

Вещество	t, °C	$D \cdot 10^9$, м²/с	Вещество	t, °C	$D \cdot 10^9$, м²/с
Бензол	25	2,15	Тетрахлорметан	25	1,41
	45	2,67		45	1,99
Этанол	25	1,05	Вода	25	2,43
	45	1,70		45	3,84

59. Коэффициенты диффузии электролитов в водных растворах в зависимости от температуры и состава

При $c = 0$ дано значение $D°$ по Нернсту (из ионных электрических проводимостей) Погрешность измерений ±3 %, в редких случаях — до ±10 %.

Электролит	$D \cdot 10^9$, м²/с, при 25 °C и концентрации c, моль/л					
	0,000	0,001	0,003	0,005	0,010	0,05
$BaCl_2$	1,385	1,320	1,283	1,265	—	1,179
$CaCl_2$	1,335	1,249	1,201	1,179	—	1,121
LiCl	1,366	1,345	1,331	1,323	1,312	1,28
KCl	1,993	1,964	1,945	1,934	1,917	1,864
$KClO_4$	1,871	1,845	1,835	1,829	1,790	—
KNO_3	1,928	1,899	1,879	1,866	1,846	—
$MgCl_2$	1,249	1,187	1,158	—	—	—
NaCl	1,610	1,585	1,570	1,560	1,545	1,507
$NaNO_3$	1,568	—	—	1,516	1,503	—
Na_2SO_4	1,230	1,175	1,147	1,123	—	—
$ZnSO_4$	0,846	0,748	0,724	0,705	—	—

Электролит	c, моль/л, при 25°	$D \cdot 10^9$, м²/с	
		25 °C	60 °C
LiCl	0	1,37	2,83
	0,10	1,28	2,36
	0,28	1,23	2,14
	0,45	1,26	2,03
	0,96	1,30	2,03
	1,97	1,36	2,65
	3,11	1,43	2,94
NaCl	0	1,61	3,30
	0,07	1,51	2,53
	0,22	1,48	2,09
	0,57	1,47	2,18
	1,08	1,48	2,52
	2,10	1,52	2,94
	3,11	1,57	3,03
KCl	0	1,99	3,92
	0,05	1,86	3,37
	0,26	1,83	3,17
	0,53	1,81	3,19
	1,18	1,91	3,38
	2,01	2,00	3,54
	3,11	2,11	3,38
RbCl	0	2,05	3,97
	0,01	2,02	3,13
	0,20	1,70	2,99
	0,48	1,75	3,15
	0,96	1,85	3,48
	1,96	2,03	3,80
	2,83	2,24	3,61
CsF	0	1,71	3,33
	0,04	1,49	2,95
	0,18	1,43	2,28
	0,50	1,45	2,40
	1,02	1,47	2,68
	2,04	1,51	3,08
	2,94	1,56	3,39
CsCl	0	2,04	3,97
	0,04	2,04	2,64
	0,19	1,86	3,42
	0,39	1,86	3,37
	0,99	1,90	3,74
	1,95	2,03	4,01
	2,96	1,22	3,02
CsI	0	2,05	3,96
	0,02	1,89	3,52
	0,17	1,93	3,26
	0,56	2,15	3,27
	0,94	1,98	3,33
	1,47	1,60	3,35
	1,97	1,28	3,31
KNO_3	0	1,93	3,73
	0,20	1,77	3,34
	0,48	1,74	3,36
	0,96	1,64	3,25
	1,96	1,28	2,96
	2,83	1,10	2,58
NH_4Cl	0	2,00	3,86
	0,20	1,87	3,29
	0,42	1,86	3,33
	1,58	1,98	3,46
	2,92	2,12	3,68
NH_4NO_3	0	1,92	3,65
	0,20	1,74	3,18
	0,50	1,71	3,04
	1,00	1,68	3,01
	1,97	1,60	2,96
	3,00	1,58	2,82
$MgCl_2$	0	1,25	2,56
	0,20	1,06	1,80
	0,53	1,24	1,98
	1,03	1,40	2,12
	1,56	1,46	2,20
	2,31	1,44	2,20
	3,27	1,37	2,27
$MgBr_2$	0	1,26	2,64
	0,18	1,16	1,83
	0,62	1,39	2,29
	1,02	1,46	2,39
	2,03	1,41	2,42
	2,99	1,33	2,31
$CaCl_2$	0	1,39	2,70
	0,18	1,12	1,77
	0,52	1,14	1,02
	1,02	1,22	2,12
	2,05	1,29	2,28
	3,01	1,27	2,16
$SrCl_2$	0	1,39	2,65
	0,17	1,19	2,00
	0,49	1,16	1,80
	1,01	1,18	1,70
	1,91	1,21	1,72
	3,02	1,18	1,64
$BaCl_2$	0	1,35	2,64
	0,18	1,16	1,96
	0,49	1,17	1,83
	1,01	1,19	1,88
	1,55	1,18	1,90
$MgSO_4$	0	0,85	1,86
	0,20	0,58	1,11
	0,51	0,48	0,96
	1,01	0,44	0,81
	1,94	0,36	0,78
	2,59	0,32	0,76

60. Коэффициенты диффузии в твердых телах

Диффундирующее вещество	Диффузионная среда	$D \cdot 10^4$, м²/с	Диффундирующее вещество	Диффузионная среда	$D \cdot 10^4$, м²/с
C	α-Fe	$2 \cdot 10^{-2} e^{-\frac{10\,100}{T}}$	Fe	FeO	$0{,}118 e^{-\frac{14\,950}{T}}$
	γ-Fe	$1{,}9 \cdot 10^{-2} e^{-\frac{14\,200}{T}}$		Fe_2O_3	$4{,}0 \cdot 10^{15} e^{-\frac{56\,400}{T}}$
Co	CoO	$2{,}15 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{17\,360}{T}}$		Fe_3O_4	$5{,}2 e^{-\frac{27\,700}{T}}$
Cu	Fe	$3{,}0 e^{-\frac{30\,700}{T}}$	H_2	α-Fe	$2{,}2 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{1\,460}{T}}$
	Ni	$1{,}01 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{17\,900}{T}}$	N_2	α-Fe	$6{,}6 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{9\,360}{T}}$
	PbS	$5{,}0 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{3\,590}{T}}$	Pb	PbS	$1{,}3 e^{-\frac{21\,140}{T}}$
Fe	Cu	$1{,}6 \cdot 10^{6} e^{-\frac{46\,200}{T}}$			

61. Удельная электрическая проводимость предельно чистой воды, перегнанной в вакууме

Удельная проводимость воды, перегнанной в присутствии воздуха, $\varkappa = (1-2) \cdot 10^{-4}$ См/м и возрастает с увеличением температуры на 1 °C (вблизи комнатной температуры) на 2—2,5 %.

t, °C	$\varkappa \cdot 10^6$, См/м	t, °C	$\varkappa \cdot 10^6$, См/м	t, °C	$\varkappa \cdot 10^6$, См/м
10	2,85	25	(6,33)	34	9,62
18	4,41	26	6,70	35	(10,02)
20	(4,85)	30	(8,15)	50	18,9

62. Удельная электрическая проводимость растворов KCl в интервале 0—30 °C

Концентрация KCl, моль/л	$\varkappa$, См/м, при температуре, °C						
	0	5	10	15	20	25	30
0,01	0,0776	0,0896	0,1020	0,1147	0,1278	0,1413	0,1552
0,02	0,1521	0,1752	0,1994	0,2243	0,2501	0,2765	0,3036
0,1	0,715	0,822	0,933	1,048	1,167	1,288	1,412
1,0	6,541	7,414	8,319	9,252	10,207	11,180	—

63. Молярная электрическая проводимость разбавленных водных растворов электролитов при 25 °С

$$\lambda_c = \lambda^* (1 - a\sqrt{c} + bc)$$

λ_c — молярная проводимость при концентрации c, моль/л. Коэффициенты λ^*, a и b применимы в области концентраций 0,001—0,1 моль/л.

Молярная проводимость λ^* в таблице выражена в (См·м²)/моль.

Электролит	$\lambda^* \cdot 10^4$	a	b	Электролит	$\lambda^* \cdot 10^4$	a	b
$AgNO_3$	133,3	0,68	0,35	$LiNO_3$	111	0,77	0,45
$^1/_2Ag_2SO_4$	142	1,30	—3,5	LiOH	236,5	0,48	0,5
$^1/_3AlBr_3$	139	1,64	2,2	$^1/_2Li_2SO_4$	119,2	1,48	1,4
$^1/_3AlCl_3$	137,6	1,65	2,0	$^1/_2MgBr_2$	129	1,34	2,2
$^1/_3AlI_3$	137,6	1,66	3,1	$^1/_2Mg(NO_3)_2$	129	1,35	1,8
$^1/_3Al(NO_3)_3$	129,5	1,72	2,2	$^1/_2MnBr_2$	128	1,34	1,7
$^1/_2BaBr_2$	141,1	1,28	1,78	$^1/_2MnCl_2$	126	1,36	1,6
$^1/_2Ba(COOCH_3)_2$	104,2	1,59	1,7	NH_4Br	155	0,62	0,60
$^1/_2BaCl_2$	139,5	1,28	1,74	NH_4Cl	150,5	0,63	0,49
$^1/_2Ba(NO_3)_2$	132	1,34	1,2	NH_4NCS	140,8	0,65	0,5
$^1/_2CaBr_2$	133	1,32	2,1	NH_4NO_3	145,3	0,64	0,55
$^1/_2CaCl_2$	135,6	1,3	1,8	NaBr	126,0	0,70	0,5
$^1/_2Ca(NO_3)_2$	130	1,35	2,0	$^1/_2Na_2CO_3$	124,1	1,47	1,6
$^1/_2CdCl_2$	104	1,65	0,9	$NaCOOCH_3$	91,1	0,89	0,34
$^1/_2CdSO_4$	105	2,89	3,7	NaCl	126,5	0,70	0,74
$^1/_2CoCl_2$	124,5	1,37	1,2	$NaClO_3$	115	0,75	0,6
$^1/_2Co(NO_3)_2$	122,4	1,39	2,0	$NaClO_4$	110	0,77	0,6
CsCl	154,6	0,62	—0,7	NaF	106	0,79	0,6
CsOH	271	0,45	0,5	NaI	127,0	0,70	0,80
$^1/_2CuCl_2$	131	1,33	1,5	$NaHCO_3$	96,0	0,85	0,6
$^1/_2CuSO_4$	113	2,79	3,3	NaNCS	110,5	0,77	0,75
$^1/_2FeCl_2$	137	1,34	1,05	NaOH	246,5	0,47	0,3
HBr	429,4	0,37	0,35	$^1/_2Na_2SO_4$	129,0	1,39	1,50
HCl	426,0	0,37	0,38	$^1/_2NiCl_2$	123,3	1,37	1,7
$HClO_4$	417	0,36	0,4	$^1/_2NiSO_4$	100	2,7	1,6
HI	428	0,37	0,42	$^1/_2PbCl_2$	145,0	1,26	—7
HIO_3	391,2	0,38	—4,7	RbBr	148	0,63	0,2
HNCS	404	0,38	0,37	RbCl	153	0,62	0,7
HNO_3	420	0,37	0,36	RbOH	272	0,45	0,5
KBr	151,7	0,62	0,62	$^1/_3SmBr_3$	140,2	1,63	2,9
$KBrO_3$	129,4	0,69	0,48	$^1/_3SmCl_3$	139,8	1,64	3,0
$KCOOCH_3$	115,4	0,75	1,3	$^1/_3SmI_3$	138,5	1,64	3,4
KCl	149,8	0,63	0,64	$^1/_2SrCl_2$	136,0	1,30	1,74
$KClO_3$	138,7	0,66	0,4	$^1/_2Sr(NO_3)_2$	131,8	1,34	1,5
KF	128	0,70	0,5	TlCl	150,3	0,63	—1,3
$^1/_3K_3Fe(CN)_6$	167,8	1,56	1,8	$TlClO_3$	137,6	0,65	0,45
$^1/_4K_4Fe(CN)_6$	169	2,48	3,6	TlOH	273,1	0,45	0,45
KI	150,8	0,63	0,62	$^1/_3YCl_3$	136	1,67	3,5
KNCS	140	0,65	0,65	$^1/_2ZnBr_2$	159	1,23	0,7
KNO_3	144,5	0,64	0,36	$^1/_2Zn(COOCH_3)_2$	88	1,77	1,2
KOH	271	0,45	0,4	$^1/_2ZnCl_2$	130	1,48	2,3
$^1/_2K_2SO_4$	151,4	1,24	1,14	$^1/_2ZnSO_4$	105	2,90	4,2
LiBr	121,4	0,72	0,5	$(CH_3)_4NI$	118,6	0,73	0,35
LiCl	115	0,75	0,78	$(C_2H_5)_4NI$	108	0,78	—
LiI	117,7	0,74	0,8	$(C_3H_7)_4NI$	100	0,83	

64. Числа переноса катионов в водных растворах электролитов при 25 °С

Электролит	Концентрация, моль/л					
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0
$AgNO_3$	—	0,468	0,466	0,465	0,465	0,464
$^1/_2CaCl_2$	0,395	0,406	0,414	0,422	0,426	0,438
HCl	0,834	0,831	0,829	0,827	0,825	0,821
KBr	0,484	0,483	0,483	0,483	0,483	0,485
$KCOOCH_3$	—	0,661	0,657	0,652	0,650	0,643
KCl	0,489	0,490	0,490	0,490	0,490	0,491
KI	0,489	0,488	0,488	0,488	0,488	0,489
KNO_3	0,512	0,510	0,509	0,509	0,508	0,507
$^1/_2K_2SO_4$	0,491	0,489	0,487	0,485	0,483	0,479
$^1/_3LaCl_3$	0,423	0,438	0,448	0,458	0,462	0,477
LiCl	0,311	0,317	0,321	0,326	0,329	0,336
NH_4Cl	0,491	0,491	0,490	0,491	0,491	0,491
NaCl	0,382	0,385	0,388	0,390	0,392	0,396
$NaCOOCH_3$	0,561	0,559	0,557	0,555	0,554	0,551
$^1/_2Na_2SO_4$	0,383	0,383	0,383	0,384	0,385	0,386
KOH	0,263	0,263	0,263	0,263	0,263	—
LiOH	0,150	0,150	—	—	—	—
NaOH	0,177	0,183	0,189	0,197	0,203	—

65. Предельная молярная электрическая проводимость ионов в воде в интервале 0—100 °С

$$\lambda_{0,\,t} = \lambda_{0,25}\,[1 + \alpha\,(t - 25)]$$

В интервале от 15 до 35 °С температурный коэффициент электрической проводимости $\alpha = \frac{1}{\lambda_{0,25}}\left(\frac{d\lambda}{dt}\right) \approx 0{,}02$.

Катион	$\lambda_0 \cdot 10^4$, (См·м²)/моль, при температуре, °С					$\alpha \cdot 10^4$
	0	18	25	55	100	
Ag^+	33,1	53,5	61,9	—	175	1,94
$^1/_3Al^{3+}$	29	—	63	—	—	2,1
$^1/_2Ba^{2+}$	34,0	54,6	63,6	—	195	2,0
$^1/_2Be^{2+}$	—	—	45	—	—	≈2
$^1/_2Ca^{2+}$	31,2	50,7	59,5	—	180	2,1
$^1/_2Cd^{2+}$	28	45,1	54	—	—	2,0
$^1/_3Ce^{3+}$	—	—	69,6	—	—	≈2
$^1/_2Co^{2+}$	28	45	54	—	—	≈2
CNS^-	41,7	56,6	66,5	—	—	≈2
$^1/_3Cr^{3+}$	—	—	67	—	—	≈2
Cs^+	44	67	77,2	123,6	200	1,9
$^1/_2Cu^{2+}$	28	45,3	56,6	—	—	2,4
$^1/_3Eu^{3+}$	—	—	67,8	—	—	≈2
$^1/_2Fe^{2+}$	28	44,5	53,5	—	—	2,4
$^1/_3Fe^{3+}$	—	—	68,0	—	—	≈2
H^+	225	315	349,8	483,1	630	1,42
$^1/_2Hg^{2+}$	—	—	63,6	—	—	≈2
$^1/_2Hg_2^{2+}$	—	—	68,6	—	—	≈2
K^+	40,7	63,9	73,5	119,2	195	1,87
$^1/_3La^{3+}$	35	59,2	69,6	—	220	1,5
Li^+	19,4	32,8	38,6	68,7	115	2,14
$^1/_2Mg^{2+}$	28,9	44,9	53,0	—	170	2,18
$^1/_2Mn^{2+}$	27	44,5	53,5	—	—	2,5
Na^+	26,5	42,8	50,1	86,8	145	2,08
NH_4^+	40,2	63,9	73,5	—	180	1,87
$N(CH_3)_4^+$	24,1	40,0	44,9	—	—	1,56
$N(C_2H_5)_4^+$	16,4	28,2	32,6	—	—	1,93
$N(C_3H_7)_4^+$	11,5	20,9	23,4	—	—	1,52
$N(C_4H_9)_4^+$	9,6	—	19,4	—	—	≈2
$N(C_5H_{11})_4^+$	8,8	—	17,4	—	—	≈2
$^1/_3Nd^{3+}$	—	—	64,3	—	—	≈2
$^1/_2Ni^{2+}$	28	45	54	—	—	≈2
$^1/_2Pb^{2+}$	37,5	60,5	70	—	—	1,78
$^1/_3Pr^{3+}$	—	—	69,8	—	—	≈2
$^1/_2Ra^{2+}$	33	56,6	66,8	—	—	1,88
Rb^+	43,9	66,5	77,8	124,2	—	2,07
$^1/_3Sc^{3+}$	—	—	64,7	—	—	≈2

Катион	$\lambda_0 \cdot 10^4$, (См·м²)/моль, при температуре, °С					$\alpha \cdot 10^2$
	0	18	25	55	100	
$^1/_3Sm^{3+}$	—	—	65,8	—	—	≈2
$^1/_2Sr^{2+}$	31	50,6	59,4	—	—	2,12
Tl^+	43,3	66,0	74,7	—	—	1,76
UO_2^+	—	—	32	—	—	≈2
$^1/_2Zn^{2+}$	28	45	54	—	—	1,85
Анион						
Br^-	42,6	68,0	78,1	127,8	—	1,85
BrO_3^-	43,1	49,0	55,8	—	155	≈2
Cl^-	41,0	66,0	76,35	126,4	212	1,94
ClO_2^-	—	—	52	—	—	≈2
ClO_3^-	36	55	64,6	—	172	2,12
ClO_4^-	36,9	58,8	67,3	—	179	2,0
CN^-	—	—	78	—	—	2
$^1/_2CO_3^{2-}$	36	60,5	69,3	—	—	1,92
$^1/_2CrO_4^{2-}$	42	72	85	—	—	2,1
F^-	—	47,3	55,4	—	—	2,1
$^1/_3Fe(CN)_6^{3-}$	—	—	99,1	—	—	≈2
$^1/_4Fe(CN)_6^{4-}$	—	—	111	—	—	≈2
HCO_3^-	—	—	44,5	—	—	≈2
$^1/_2HPO_4^{2-}$	—	—	57	—	—	≈2
$H_2PO_4^-$	—	28	36	—	—	≈2
HS^-	40	57	65	—	—	≈2
HSO_3^-	27	—	50	—	—	≈2
HSO_4^-	—	—	52	—	—	≈2
I^-	41,4	66,5	76,8	125,4	—	1,92
IO_3^-	21	33,9	41,0	—	127	2,4
IO_4^-	—	49	54,5	—	—	1,44
MnO_4^-	36	53	61,3	—	—	2,24
NO_2^-	44	59	72	—	—	2,48
NO_3^-	40,0	62,3	71,46	—	195	1,84
OH^-	105	171	198,3	—	450	1,96
$^1/_3PO_4^{3-}$	—	—	69	—	—	≈2
$^1/_2S^{2-}$	—	53,5	—	—	—	≈2
$^1/_2SO_3^{2-}$	—	—	72	—	—	≈2
$^1/_2SO_4^{2-}$	41	68,4	80,0	—	260	2,06
$^1/_2S_2O_3^{2-}$	—	—	87,4	—	—	≈2
$^1/_2S_2O_4^{2-}$	34	—	66,5	—	—	≈2
$^1/_2Se_2O_4^{2-}$	—	65	75,7	—	—	≈2
$HCOO^-$	—	47	54,6	—	—	≈2
CH_3COO^-	20,3	34	40,9	—	130	2,06
$C_2H_5COO^-$	—	—	35,8	—	—	≈2
$C_3H_7COO^-$	—	—	32,6	—	—	≈2
$C_4H_9COO^-$	—	—	28,8	—	—	≈2
$C_6H_5COO^-$	17	—	32,3	—	—	≈2
CH_2ClCOO^-	—	—	39,8	—	—	≈2
$CHCl_2COO^-$	—	—	38,3	—	—	≈2
CCl_3COO^-	—	—	36,6	—	—	≈2
CH_2CNCOO^-	—	—	39,8	—	—	≈2
$HOOC—COO^-$ оксалат-ион	—	—	40,2	—	—	≈2
$^1/_2C_2O_4^{2-}$ оксалат-ион	32	—	74	—	—	≈2
$C_6H_2O_7N_3^-$ пикрат-ион	15,3	—	30,4	—	—	≈2

66. Электрическая проводимость растворов слабых кислот и оснований при 25 °С

Кислота	$\mu \cdot 10^4$, (См·м²)/моль, при разведении, л/моль					
	32	64	128	256	512	1024
Дихлоруксусная $CHCl_2COOH$	269,8	309,9	338,4	359,2	375,4	383,8
Изомасляная *изо*-C_3H_7COOH	8,0	11,4	15,9	22,2	30,8	42,6
Масляная C_3H_7COOH	8,2	11,6	16,3	22,7	31,5	43,3
Муравьиная $HCOOH$	31,2	43,2	59,2	80,6	108,8	143
Пропионовая C_2H_5COOH	7,8	11,1	15,5	21,7	30,1	41,3
Трихлоруксусная CCl_3COOH	344,3	354,8	363,5	371,4	377,0	379,5
Угольная H_2CO_3	(1,32)	(1,9)	—	—	—	—
Уксусная CH_3COOH	9,2	12,9	18,1	25,4	34,3	49,0
Фосфорная H_3PO_4	156	195	240	279	317	341
Хлоруксусная $CH_2ClCOOH$	77,2	103,2	130,1	174,8	219,4	265,7
Щавелевая $(COOH)_2$	285	319	345	369	388	408

Основание	$\mu \cdot 10^4$, (См·м²)/моль, при разведении, л/моль					
	8	16	32	64	128	256
Гидразин $N_2H_4 \cdot H_2O$	1,4	1,7	2,1	2,7	3,8	5,5
Гидроксид аммония NH_4OH	3,4	4,8	6,7	9,5	13,5	18,2
Диметиламин $(CH_3)_2NH \cdot H_2O$	17,2	24,0	33,2	45,3	61,2	80,7
Диэтиламин $(C_2H_5)_2NH \cdot H_2O$	20,4	28,8	39,7	53,8	71,8	92,7
Метиламин $CH_3NH_2 \cdot H_2O$	15,1	21,0	28,9	39,3	53,0	70,0
Пиперидин $CH_2(CH_2)_4NH \cdot H_2O$	23,0	32,3	44,2	59,2	77,8	99,7
Пропиламин $C_3H_7NH_2 \cdot H_2O$	13,2	18,7	25,6	35,4	47,8	63,8
Триметиламин $(CH_3)_3N \cdot H_2O$	—	—	—	15,4	21,4	29,4
Этиламин $C_2H_5NH_2 \cdot H_2O$	14,8	21,0	28,9	39,2	52,9	70,2

67. Ионное произведение воды в интервале 0—100 °C

$K_B = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$; $pK_B = -\lg K_B$

t, °C	$K_B \cdot 10^{11}$	pK_B	t, °C	$K_B \cdot 10^{14}$	pK_B
0	0,1139	14,9435	25	1,008	13,9965
5	0,1846	14,7338	30	1,469	13,8330
10	0,2920	14,5346	35	2,089	13,6801
15	0,4505	14,3463	40	2,918	13,5348
18	0,5702	14,2439	45	4,018	13,3960
20	0,6809	14,1669	50	5,474	13,2617
21	0,742	14,1296	55	7,297	13,1369
22	0,802	14,0958	60	9,614	13,0171
23	0,868	14,0615	100	59,0	12,2291
24	0,948	14,0232			

68. Значения функции кислотности при 25 °C

Согласно реакции $B + H^+ \longrightarrow HB^+$ функция кислотности:

$$H_0 = pK_{HB^+} - \lg \frac{c_{HB^+}}{c_B} = -\lg \frac{a_{H^+}\gamma_B}{\gamma_{HB^+}} = -\lg h_0$$

Кислотой является H^+, основанием — B. По определению, основание — соединение, у которого зависимость $\lg\left(\frac{c_{HB^+}}{c_B}\right)$ от H_0 — прямая с тангенсом наклона, равным единице.

Здесь m — моляльность; c — молярность; a_w — активность воды.

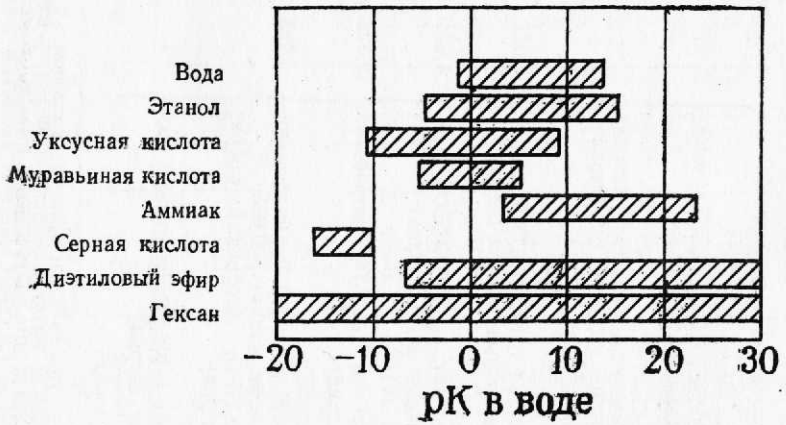
Массовое содержание, %	m, моль/кг растворителя	c, моль/л раствора	a_w	$-H_0$	Массовое содержание, %	m, моль/кг растворителя	c, моль/л раствора	a_w	$-H_0$
Соляная кислота									
3	0,85	0,83	0,961	0,13	22	7,75	6,69	0,531	2,35
6	1,71	1,69	0,919	0,58	26	9,65	8,05	0,419	2,87
9	2,71	2,57	0,865	0,90	30	11,76	9,45	0,317	3,39
12	3,74	3,48	0,801	1,21	34	14,14	10,90	0,225	3,95
15	4,83	4,41	0,730	1,54	36	15,40	11,64	0,186	—
18	6,04	5,37	0,649	1,87	40	18,32	13,15	0,121	—
Серная кислота									
10	1,13	1,085	0,956	0,31	60	15,31	9,16	0,160	4,46
20	2,55	2,32	0,879	1,01	70	23,81	11,48	0,050	5,80
30	4,37	3,73	0,752	1,72	80	40,82	14,07	0,005	7,34
40	6,80	5,31	0,564	2,41	90	91,84	16,65	0,0003	8,92
50	10,19	7,11	0,352	3,38	100	—	—	—	11,94
Хлорная кислота									
10	1,10	1,05	0,956	0,35	50	9,95	6,98	0,330	3,52
20	2,49	2,23	0,890	0,95	60	14,92	9,13	0,110	5,25
30	4,26	3,58	0,770	1,60	70	23,20	11,60	—	7,72
40	6,63	5,15	0,580	2,40	78,6	—	—	—	10,31

69. Константы кислотности в воде при 18 °C

$A = B + H^+$; $K_a = (c_B/c_A)\,H^+$

Кислота	Основание	K_a	Кислота	Основание	K_a
H_3O^+	H_2O	55,5	H_3BO_3	$H_2BO_3^-$	$6 \cdot 10^{-10}$
H_2O	OH^-	$1{,}07 \cdot 10^{-10}$	NH_4^+	NH_3	$5{,}5 \cdot 10^{-10}$
H_2S	HS^-	$8 \cdot 10^{-8}$	$Al(H_2O)_6^{3+}$	$Al(H_2O)_5OH^{2+}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$
HS^-	S^{2-}	$2 \cdot 10^{-15}$	$Fe(H_2O)_6^{3+}$	$Fe(H_2O)_5OH^{2+}$	$6{,}3 \cdot 10^{-3}$
H_2SO_3	HSO_3^-	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$HCOOH$	$HCOO^-$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$
HSO_3^-	SO_3^{2-}	$5 \cdot 10^{-8}$	CH_3COOH	CH_3COO^-	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
HSO_4^-	SO_4^{2-}	$2 \cdot 10^{-2}$	$CH_2ClCOOH$	CH_2ClCOO^-	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$
H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	$7{,}6 \cdot 10^{-3}$	$CHCl_2COOH$	$CHCl_2COO^-$	$5{,}5 \cdot 10^{-2}$
$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	$5{,}9 \cdot 10^{-8}$	$COOHCOOH$	$COOHCOO^-$	$5{,}7 \cdot 10^{-2}$
HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	$3{,}5 \cdot 10^{-13}$	$COOHCOO^-$	$(COO)_2^{2-}$	$6{,}8 \cdot 10^{-5}$
H_2CO_3	HCO_3^-	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	$CH_3NH_3^+$	CH_3NH_2	$1{,}6 \cdot 10^{-11}$
HCO_3^-	CO_3^{2-}	$4{,}7 \cdot 10^{-4}$	$(CH_3)_2NH_2$	$(CH_3)_2NH^-$	$1{,}2 \cdot 10^{-13}$
HCN	CN^-	$7 \cdot 10^{-10}$			

Области существования кислот и оснований в различных растворителях



70. pH стандартных растворов

Раствор	Температура, °C									
	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90
0,05 *M* $KHC_2O_4 \cdot H_2C_2O_4$ (тетраоксалат калия)	1,669	1,676	1,681	1,685	1,697	1,712	1,726	1,743	1,766	1,792
Насыщенный при 25 °C раствор $(CHOH)_2(COOH)COOK$ (первичный тартрат калия)	—	—	3,555	3,547	3,543	3,549	3,565	5,580	3,609	3,650
0,01 *M* $(CHOH)_2(COOH)COOK$ (первичный тартрат калия)	3,671	3,647	3,637	3,633	3,630	3,640	3,654	—	—	—
0,05 *M* $C_6H_4(COOH)COOK$ (первичный фталат калия)	4,001	4,001	4,005	4,011	4,030	4,059	4,097	4,12	4,16	4,20
0,01 *M* $Na_2B_4O_7$ (тетраборат натрия)	9,328	9,223	9,177	9,135	9,066	9,012	8,961	8,93	8,89	8,85
0,025 *M* KH_2PO_4 (первичный фосфат калия) + 0,025 *M* Na_2HPO_4 (вторичный фосфат натрия)	6,923	6,881	6,865	6,853	6,838	6,833	6,836	6,845	6,859	6,877
0,01 *M* Na_3PO_4 (третичный фосфат натрия)	—	—	11,72	—	—	—	—	—	—	—

При 25 °C pH буферных растворов:
0,025 *M* $NaHCO_3$ (бикарбонат натрия) + 0,025 *M* Na_2CO_3 (карбонат натрия) — 10,02;
0,025 *M* $(CH_2)_2(COOH)COOK$ (первичный сукцинат натрия) + 0,025 *M* $(CH_2COONa)_2$ (сукцинат натрия) — 5,40;
0,01 *M* CH_3COOH (уксусная кислота) + 0,01 *M* CH_3COONa (ацетат натрия) — 4,67.

71. Осмотические коэффициенты электролитов в водных растворах при 25 °C

m, моль/кг воды	Осмотические коэффициенты, φ, электролитов									
	HCl	$HClO_4$	NaOH	NaCl	$NaClO_4$	NaBr	$NaNO_3$	KCl	KNO_3	KOH
0,1	0,943	0,947	0,925	0,932	0,930	0,934	0,921	0,927	0,906	0,933
0,2	0,945	0,951	0,925	0,925	0,920	0,928	0,902	0,913	0,873	0,930
0,3	0,952	0,958	0,929	0,922	0,915	0,928	0,890	0,906	0,851	0,934
0,4	0,963	0,966	0,933	0,920	0,912	0,929	0,881	0,902	0,833	0,941
0,5	0,974	0,976	0,937	0,921	0,910	0,933	0,873	0,899	0,817	0,951
0,6	0,986	0,988	0,941	0,923	0,909	0,937	0,867	0,898	0,802	0,960
0,7	0,998	1,000	0,945	0,926	0,910	0,942	0,862	0,897	0,790	0,970
0,8	1,011	1,013	0,949	0,929	0,911	0,947	0,858	0,897	0,778	0,982
0,9	1,025	1,026	0,953	0,932	0,912	0,953	0,854	0,897	0,767	0,992
1,0	1,039	1,041	0,958	0,936	0,913	0,958	0,851	0,897	0,756	1,002
1,2	1,067	1,072	0,969	0,943	0,916	0,969	0,845	0,899	0,736	1,025
1,4	1,096	1,106	0,980	0,951	0,920	0,983	0,839	0,901	0,718	1,050
1,6	1,126	1,141	0,991	0,962	0,925	0,997	0,835	0,904	0,700	1,075
1,8	1,157	1,175	1,002	0,972	0,930	1,012	0,830	0,908	0,684	1,099
2,0	1,188	1,210	1,015	0,983	0,934	1,028	0,826	0,912	0,669	1,124
2,5	1,266	1,305	1,054	1,013	0,947	1,067	0,817	0,924	0,631	1,183
3,0	1,348	1,406	1,094	1,045	0,960	1,107	0,810	0,937	0,602	1,248
3,5	1,431	1,511	1,139	1,080	0,975	1,150	0,804	0,950	0,577	1,317
4,0	1,517	1,622	1,195	1,116	0,991	1,199	0,797	0,960	—	1,387
4,5	1,598	1,738	1,255	1,153	1,008	—	0,792	0,980	—	1,459
5,0	1,680	1,860	1,314	1,192	1,025	—	0,788	—	—	1,524
5,5	1,763	1,981	1,374	1,231	1,042	—	0,787	—	—	1,594
6,0	1,845	2,106	1,434	1,271	1,060	—	0,788	—	—	1,661

5 Заказ 1

72. Средние ионные коэффициенты активности сильных электролитов в водных растворах при 25 °C

Коэффициенты активности $\gamma_{\pm}$ приведены в интервалах концентраций (m) 0,001—3,0, 4,0—11,0 и 12,0—20,0 моль/кг воды.

Электролит	Концентрация, моль/кг воды											
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
$AgNO_3$	—	—	0,925	0,897	0,860	0,793	0,734	0,657	0,536	0,429	0,316	0,252
$AlCl_3$	—	—	—	—	—	0,447	0,337	0,305	0,331	0,539	—	—
$Al(ClO_3)_3$	0,78	0,72	0,62	0,53	0,45	0,35	0,30	0,27	0,26	—	—	—
$Al_2(SO_4)_3$	—	—	—	—	—	—	0,035	0,023	0,014	0,018	—	—
$BaCl_2$	0,881	0,840	0,774	0,716	0,651	0,564	0,500	0,444	0,397	0,395	—	—
$Ba(OH)_2$	—	0,853	0,773	0,712	0,627	0,526	0,443	0,370	—	—	—	—
$CaCl_2$	0,889	0,852	0,789	0,731	0,668	0,583	0,518	0,472	0,448	0,500	0,792	—
$Ca(NO_3)_2$	0,88	0,84	0,77	0,71	0,64	0,545	0,485	0,426	0,363	0,336	0,345	0,380
$CdCl_2$	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,164	0,101	0,0669	0,0441	0,0352
CdI_2	—	—	0,490	0,379	0,281	0,167	0,106	0,0685	0,0376	0,0251	0,0180	—
$CdSO_4$	0,726	0,639	0,505	0,399	0,307	0,206	0,150	0,102	0,061	0,041	0,032	0,033
$CoCl_2$	—	—	—	—	—	—	0,522	0,479	0,462	0,531	0,860	1,458
$Co(NO_3)_2$	—	—	—	—	—	—	0,518	0,471	0,445	0,490	0,726	1,182
$Cr_2(SO_4)_3$	—	—	—	—	—	—	0,0458	0,0300	0,0190	0,0208	—	—
$CsCl$	—	—	0,92	0,90	0,86	0,809	0,756	0,694	0,606	0,544	0,495	0,479
CsI	—	—	—	—	—	—	0,754	0,692	0,599	0,533	0,470	0,434
$CuCl_2$	0,888	0,849	0,783	0,723	0,659	0,577	0,508	0,455	0,411	0,417	0,466	0,520
$CuSO_4$	0,74	—	0,573	0,438	0,317	0,217	0,154	0,104	0,062	0,043	—	—
$FeCl_2$	0,89	0,86	0,80	0,75	0,70	0,62	0,52	0,47	0,45	0,51	0,79	—
HBr	0,966	—	0,930	0,906	0,879	0,838	0,805	0,782	0,789	0,871	1,183	1,693
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,830	0,796	0,767	0,757	0,809	1,009	1,316
$HClO_4$	—	—	—	—	—	—	0,803	0,778	0,769	0,823	1,055	1,448
HF	0,544	—	0,300	0,224	—	0,108	0,077	0,031	—	0,024	—	—
HNO_3	0,965	0,951	0,927	0,902	0,871	0,823	0,791	0,754	0,720	0,724	0,793	0,909
H_2SO_4	0,830	0,757	0,639	0,544	0,453	0,340	0,265	0,209	0,156	0,132	0,128	0,142
KBr	0,965	0,952	0,927	0,903	0,872	0,822	0,772	0,722	0,657	0,617	0,593	0,595
KCl	0,965	0,952	0,927	0,902	0,869	0,816	0,770	0,718	0,649	0,604	0,573	0,569
$KClO_3$	0,967	0,955	0,932	0,907	0,875	0,813	0,749	0,681	0,568	—	—	—
$KClO_4$	0,965	0,951	0,924	0,895	0,857	—	—	—	—	—	—	—
KF	—	—	—	—	—	—	0,775	0,727	0,670	0,645	0,658	0,705
$K_3Fe(CN)_6$	—	—	(0,700)	(0,589)	(0,495)	(0,355)	0,268	0,212	0,155	0,128	—	—
$K_4Fe(CN)_6$	—	—	(0,525)	(0,398)	(0,305)	0,19	0,139	0,100	0,062	—	—	—
KI	0,952	—	0,928	0,903	0,872	0,820	0,778	0,733	0,676	0,645	0,637	0,652
KNO_3	0,965	0,951	0,926	0,898	0,862	0,799	0,739	0,663	0,545	0,443	0,333	0,269
KOH	—	—	—	—	—	0,824	0,798	0,760	0,732	0,756	0,888	1,081
$LaBr_3$	0,790	0,729	0,639	0,562	0,490	0,402	—	—	—	—	—	—
$LaCl_3$	0,790	0,729	0,636	0,560	0,483	0,388	0,314	0,274	0,266	0,342	0,825	—
$LiCl$	0,963	0,948	0,921	0,895	0,865	0,819	0,790	0,757	0,739	0,774	0,921	1,156
$LiClO_4$	—	—	—	—	—	—	0,812	0,794	0,808	0,887	1,158	1,582
$MgCl_2$	—	—	—	—	—	—	0,529	0,489	0,481	0,570	1,053	2,32
$Mg(ClO_4)_2$	—	—	—	—	—	—	0,590	0,578	0,647	0,946	2,65	9,19
$MgSO_4$	—	—	—	—	—	—	0,150	0,108	0,068	0,049	0,042	0,049
NH_4Cl	—	—	0,924	0,896	0,862	0,808	0,770	0,718	0,649	0,603	0,570	0,561
NH_4NO_3	—	—	0,925	0,897	0,860	0,799	0,740	0,677	0,582	0,504	0,419	0,368
$NaBr$	0,97	0,96	0,94	0,91	0,89	0,85	0,782	0,741	0,697	0,687	0,731	0,812
$NaCl$	0,965	0,952	0,928	0,903	0,872	0,822	0,778	0,735	0,681	0,657	0,668	0,714
$NaClO_3$	0,965	0,953	0,928	0,904	0,873	0,822	0,775	0,720	0,645	0,589	0,538	0,515
$NaClO_4$	—	—	—	—	—	—	0,775	0,729	0,668	0,629	0,609	0,611
NaF	—	—	—	—	—	—	0,765	0,710	0,632	0,573	—	—
NaH_2PO_4	—	—	—	—	—	—	0,744	0,675	0,563	0,468	0,371	0,320
NaI	—	—	—	—	—	—	0,787	0,751	0,723	0,736	0,820	0,963
$NaNO_3$	0,966	0,953	0,929	0,905	0,873	0,821	0,762	0,703	0,617	0,548	0,478	0,437
$NaOH$	—	—	—	0,905	0,871	0,818	0,766	0,727	0,690	0,678	0,709	0,784
Na_2SO_4	0,887	0,847	0,778	0,714	0,642	0,536	0,445	0,365	0,266	0,201	0,152	0,137
$Na_2S_2O_3$	—	—	—	—	—	—	0,457	0,382	0,292	0,234	0,198	0,199
$NiSO_4$	—	—	—	—	—	—	0,150	0,105	0,063	0,042	0,034	—
$Pb(NO_3)_2$	0,88	0,84	0,76	0,69	0,60	0,46	0,37	0,27	0,17	0,11	—	—
$SnCl_2$	0,809	0,716	0,624	0,512	0,398	0,283	0,233	—	—	—	—	—
$TlCl$	0,962	0,946	—	0,876	—	—	—	—	—	—	—	—
$TlClO_4$	—	—	—	—	—	—	0,730	0,652	0,527	—	—	—
$UO_2(ClO_4)_2$	—	—	—	—	—	—	0,626	0,634	0,790	1,390	5,91	30,9
$UO_2(NO_3)_2$	—	—	—	—	—	—	0,551	0,520	0,542	0,689	1,237	2,03
$ZnBr_2$	—	—	—	—	—	—	0,547	0,510	0,511	0,552	0,572	0,598
$ZnCl_2$	0,88	0,84	0,77	0,71	0,64	0,56	0,515	0,462	0,394	0,339	0,289	0,287
$ZnSO_4$	0,700	0,608	0,477	0,387	0,298	0,202	0,150	0,104	0,063	0,043	0,035	0,041
$HCOONa$	—	—	—	—	—	—	0,778	0,734	0,685	0,661	0,658	0,678
CH_3COOCs	—	—	—	—	—	—	0,799	0,711	0,762	0,802	0,95	1,145
CH_3COOLi	—	—	—	—	—	—	0,784	0,742	0,700	0,689	0,729	0,798
CH_3COONa	—	—	—	—	—	—	0,791	0,757	0,735	0,757	0,851	0,982
CH_3COORb	—	—	—	—	—	—	0,796	0,767	0,755	0,792	0,933	1,126
CH_3COOTl	—	—	—	—	—	—	0,750	0,686	0,589	0,515	0,444	0,405
C_2H_5COONa	—	—	—	—	—	—	0,800	0,772	0,764	0,808	0,966	1,160
C_3H_7COONa	—	—	—	—	—	—	0,800	0,774	0,782	0,868	1,083	1,278
C_4H_9COONa	—	—	—	—	—	—	0,800	0,776	0,790	0,868	1,030	0,982
$C_5H_{11}COONa$	—	—	—	—	—	—	0,803	0,779	0,794	0,858	0,763	0,612

Продолжение

Электролит	Концентрация, моль/кг воды										
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
$AgNO_3$	0,210	0,181	0,159	0,142	0,129	0,118	0,109	0,102
$CaCl_2$	2,93	5,89	11,11	18,28	26,0	34,2	43,0	—
HCl	1,762	2,38	3,22	4,37	5,90	7,94	10,44	13,51
$HClO_4$	2,08	3,11	4,76	7,44	11,83	19,11	30,9	50,1
H_2SO_4	0,170	0,208	0,257	0,317	0,386	0,467	0,559	0,643
KOH	1,352	1,72	2,20	2,88	3,77	4,86	6,22	8,10
LiCl	1,510	2,02	2,72	3,71	5,10	6,96	9,40	12,55
NH_4Cl	0,560	0,562	0,564	0,566	—	—	—	—
NH_4NO_3	0,331	0,302	0,279	0,261	0,245	0,232	0,221	0,210
$NaClO_4$	0,626	0,649	0,677	—	—	—	—	—
NaH_2PO_4	0,293	0,276	0,265	—	—	—	—	—
NaOH	0,903	1,077	1,299	1,603	2,01	2,55	3,23	4,10
$UO_2(ClO_4)_3$	160,2	750	—	—	—	—	—	—
$ZnBr_2$	0,664	0,774	0,930	1,149	1,439	1,809	2,26	—
$ZnCl_2$	0,307	0,354	0,417	0,499	0,607	0,737	0,898	—

Электролит	Концентрация, моль/кг воды										
	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
$AgNO_3$	0,096	0,090	—	—	—	—	—	—	—
HCl	17,25	21,8	27,3	34,1	42,4	—	—	—	—
$HClO_4$	80,8	129,5	205,0	322,0	500,0	—	—	—	—
H_2SO_4	0,742	0,830	0,967	1,093	1,234	1,387	—	—	—
KOH	10,5	13,2	15,8	19,6	24,6	—	—	—	—
LiCl	16,41	20,9	26,2	31,9	37,9	43,8	49,9	56,3	62,4
NH_4NO_3	0,202	0,194	0,186	0,180	0,174	0,168	0,163	0,158	0,153
NaOH	5,19	6,50	8,04	9,74	11,58	13,47	15,41	17,38	19,33
$ZnBr_2$	3,39	—	4,63	—	5,90	—	6,92	—	7,86
$ZnCl_2$	1,294	—	1,73	—	2,18	—	2,63	—	3,06

73. Средние ионные коэффициенты активности электролитов в водных растворах в интервале 0—60 °С

m, моль/кг воды	$\gamma_\pm$ при температуре, °С					
	0	20	30	40	50	60
Соляная кислота						
0,005	0,930	0,929	0,928	0,926	0,925	0,924
0,01	0,906	0,905	0,903	0,902	0,900	0,899
0,05	0,835	0,832	0,828	0,825	0,821	0,817
0,1	0,803	0,798	0,794	0,789	0,785	0,781
0,5	0,776	0,762	0,753	0,743	0,734	0,724
1,0	0,842	0,816	0,802	0,786	0,770	0,751
1,5	0,945	0,906	0,885	0,860	0,840	0,818
2,0	1,078	1,024	0,993	0,960	0,932	0,907
3,0	1,452	1,345	—	—	—	—
4,0	2,006	1,812	—	—	—	—
Серная кислота						
0,0005	0,912	0,890	0,880	0,869	0,859	0,848
0,001	0,876	0,839	0,823	0,806	0,790	0,775
0,005	0,734	0,656	0,623	0,593	0,566	0,533
0,01	0,649	0,562	0,527	0,495	0,467	0,441
0,05	0,426	0,354	0,326	0,301	0,279	0,260
0,1	0,341	0,278	0,254	0,227	0,214	0,197
0,5	0,202	0,162	0,147	0,133	0,122	0,107
1,0	0,173	0,137	0,123	0,111	0,101	0,0922
1,5	0,167	0,131	0,117	0,106	0,0956	0,0869
2,0	0,170	0,132	0,118	0,105	0,0949	0,0859
3,0	0,210	0,151	0,132	0,117	0,104	0,0926
4,0	0,254	0,184	0,159	0,138	0,121	0,106
6,0	0,427	0,289	0,242	0,205	0,174	0,150
10,0	1,012	0,618	0,493	0,398	0,325	0,268
17,5	3,217	1,703	1,275	0,972	0,752	0,589
Хлорид калия						
0,1	0,786	0,770	0,768	0,765	—	—
0,5	0,642	0,651	0,651	0,646	—	—
1,0	0,588	0,604	0,604	0,603	—	—
1,5	0,563	0,582	0,585	0,585	—	—
2,0	0,547	0,573	0,578	0,578	—	—
3,0	0,539	0,567	0,573	0,573	—	—
4,0	—	0,574	0,582	0,585	—	—

m, моль/кг воды	$\gamma_\pm$ при температуре, °C					
	0	20	30	40	50	60
Гидроксид калия						
0,05	0,829	0,825	0,823	—	—	—
0,1	0,795	0,796	0,792	0,782	0,780	0,773
0,5	0,737	0,732	0,725	—	—	—
1,0	0,755	0,756	0,752	0,742	0,730	0,715
1,5	0,809	0,814	0,812	—	—	—
2,0	0,880	0,888	0,878	0,860	0,840	0,814
3,0	1,088	1,087	1,072	—	—	—
4,0	1,391	1,375	1,337	1,292	1,238	1,180
6,0	—	2,33	—	2,09	—	1,81
10,0	—	6,73	—	5,50	—	4,37
Хлорид натрия						
0,1	0,781	0,779	0,779	0,774	0,770	0,766
0,2	0,731	0,733	0,731	0,728	(0,72)	0,721
0,5	0,674	0,679	0,679	(0,67)	(0,67)	0,672
1,0	0,636	0,654	0,657	0,657	(0,66)	0,655
1,5	0,626	0,652	0,658	(0,66)	(0,66)	(0,66)
2,0	0,630	0,665	0,674	(0,68)	(0,68)	0,683
3,0	0,660	0,712	0,724	(0,73)	(0,73)	0,736
4,0	0,717	0,783	0,797	(0,80)	(0,80)	(0,80)
Гидроксид натрия						
0,05	0,820	0,819	0,818	—	—	—
0,1	0,767	0,766	0,765	—	—	—
0,5	0,648	0,693	0,693	—	—	—
1,0	0,660	0,678	0,680	—	—	—
1,5	0,661	0,682	0,685	0,684	0,674	0,657
2,0	0,682	(0,71)	0,712	0,707	0,696	0,677
3,0	0,763	(0,79)	0,791	0,783	0,767	0,742
4,0	0,900	0,916	0,911	0,895	0,87	0,839
6,0	1,39	1,35	1,32	1,27	1,21	1,14
10,0	4,12	3,61	3,31	3,00	2,67	2,34
17,0	22,5	15,82	13,00	10,52	9,39	6,60

74. Соотношения между концентрацией, активностью и средним ионным коэффициентом активности электролитов разного типа

Средняя ионная моляльность $m_\pm = (\nu_+^{\nu_+}\nu_-^{\nu_-})^{\frac{1}{\nu}}\, m$; активность $a = (m_\pm\gamma_\pm)^\nu = a_\pm^\nu$, где ν_+ — число катионов; ν_- — число анионов, ν — общее число ионов.

В зависимости от способа выражения концентрации раствора средние ионные коэффициенты активности электролитов обозначают: $\gamma_{\pm,c} \equiv y_\pm$; $\gamma_{\pm,m} \equiv \gamma_\pm$; $\gamma_{\pm,X} \equiv f_\pm$. Соотношения между ними: $y_\pm = m\rho_0\gamma_\pm/c$; $f_\pm = \gamma_\pm(1 + \nu M_0 m\cdot 10^{-3}) = y_\pm[\rho + c(\nu M_0 - M)\cdot 10^{-3}]/\rho_0$, где ρ_0 и ρ — плотность растворителя и раствора, г/см³; M_0 и M — мольная масса растворителя и раствора, г/моль; X — мольная доля растворенного вещества; c — молярность, моль/л раствора; m — моляльность, моль/кг растворителя.

Тип валентности электролита	Пример	$\gamma_\pm$	$m_\pm$	a
Неэлектролит	Сахароза	—	—	$m\gamma$
1-1, 2-2; 3-3	KCl, $ZnSO_4$, $LaFe(CN)_6$	$(\gamma_+\gamma_-)^{\frac{1}{2}}$	m	$m^2\gamma_\pm^2$
2-1	$CaCl_2$	$(\gamma_+\gamma_-^2)^{\frac{1}{3}}$	$4^{\frac{1}{3}}m$	$4m^3\gamma_\pm^3$
1-2	Na_2SO_4	$(\gamma_+^2\gamma_-)^{\frac{1}{3}}$	$4^{\frac{1}{3}}m$	$4m^3\gamma_\pm^3$
3-1	$LaCl_3$	$(\gamma_+\gamma_-^3)^{\frac{1}{4}}$	$27^{\frac{1}{4}}m$	$27m^4\gamma_\pm^4$
1-3	$K_3Fe(CN)_6$	$(\gamma_+^3\gamma_-)^{\frac{1}{4}}$	$27^{\frac{1}{4}}m$	$27m^4\gamma_\pm^4$
4-1	$Th(NO_3)$	$(\gamma_+\gamma_-^4)^{\frac{1}{5}}$	$256^{\frac{1}{5}}m$	$256m^5\gamma_\pm^5$
1-4	$K_4Fe(CN)_6$	$(\gamma_+^4\gamma_-)^{\frac{1}{5}}$	$256^{\frac{1}{5}}m$	$256m^5\gamma_\pm^5$
3-2	$Al_2(SO_4)_2$	$(\gamma_+^2\gamma_-^3)^{\frac{1}{5}}$	$108^{\frac{1}{5}}m$	$108m^5\gamma_\pm^5$

75. Константы диссоциации слабых кислот и оснований в водных растворах при 25 °С

Звездочкой отмечены выраженные через активности термодинамические константы диссоциации. Остальные константы выражены через концентрации.

Кислота	K	pK
Адипиновая $C_6H_{10}O_4$	(I) $3{,}71\cdot10^{-5}$*	4,430
	(II) $3{,}87\cdot10^{-6}$	5,412
Акриловая $C_3H_4O_2$	$5{,}56\cdot10^{-5}$*	4,255
Аспарагиновая $C_4H_7O_4N$	(I) $1{,}29\cdot10^{-2}$	1,990
	(II) $1{,}26\cdot10^{-4}$	3,900
Бензойная $C_7H_6O_2$	$6{,}3\cdot10^{-5}$*	4,201
Борная H_3BO_3	(I) $5{,}83\cdot10^{-10}$*	9,234
	(II) $1{,}8\cdot10^{-13}$	12,745
	(III) $1{,}6\cdot10^{-14}$	13,80
м-Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1{,}54\cdot10^{-4}$	3,812
о-Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1{,}4\cdot10^{-3}$	2,854
п-Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1{,}07\cdot10^{-4}$	3,971
Валериановая $C_5H_{10}O_2$	$1{,}44\cdot10^{-5}$	4,842
Германиевая H_2GeO_3	(I) $2{,}6\cdot10^{-9}$	8,585
	(II) $1{,}9\cdot10^{-13}$	12,721
м-Гидроксибензойная $C_7H_6O_3$	$8{,}33\cdot10^{-5}$	4,079
о-Гидроксибензойная $C_7H_6O_3$	$1{,}06\cdot10^{-3}$	2,975
п-Гидроксибензойная $C_7H_6O_3$	$2{,}85\cdot10^{-5}$	4,545
Гидрохинон $C_6H_6O_2$	(I) $4{,}5\cdot10^{-11}$	10,347
Гликолевая $C_2H_4O_3$	$1{,}48\cdot10^{-4}$	3,831
Глицин $C_2H_5O_2N$	(I) $4{,}47\cdot10^{-3}$	2,350
Глутаровая $C_5H_8C_4$	(I) $4{,}54\cdot10^{-5}$*	4,343
	(II) $3{,}8\cdot10^{-6}$	5,420
Дихлоруксусная $C_2H_2O_2Cl_2$	$3{,}32\cdot10^{-2}$	1,479
Изовалериановая $C_5H_{10}O_2$	$1{,}73\cdot10^{-5}$	4,762
Изомасляная $C_4H_8O_2$	$1{,}42\cdot10^{-5}$	4,848
Каприловая $C_8H_{16}O_2$	$1{,}28\cdot10^{-5}$	4,894
цис-Коричная $C_9H_8O_2$	$1{,}32\cdot10^{-4}$*	3,879
транс-Коричная $C_9H_8O_2$	$3{,}65\cdot10^{-5}$	4,438
Лимонная $C_6H_8O_7$	(I) $7{,}45\cdot10^{-4}$*	3,128
	(II) $1{,}73\cdot10^{-5}$*	4,761
	(III) $4{,}02\cdot10^{-7}$	5,396
Малеиновая $C_2H_4O_4$	(I) $1{,}42\cdot10^{-2}$*	1,848
	(II) $8{,}57\cdot10^{-7}$*	6,067
Малоновая $C_3H_4O_4$	(I) $1{,}40\cdot10^{-3}$*	2,855
	(II) $2{,}01\cdot10^{-6}$*	5,696
Масляная $C_4H_8O_2$	$1{,}51\cdot10^{-5}$*	4,820
Миндальная $C_8H_8O_3$	$3{,}88\cdot10^{-4}$	3,411
Молочная $C_3H_6O_3$	$1{,}37\cdot10^{-4}$*	3,863
Муравьиная CH_2O_2	$1{,}772\cdot10^{-4}$	3,752
м-Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$3{,}21\cdot10^{-4}$*	3,493
о-Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$6{,}71\cdot10^{-3}$*	2,173
п-Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$3{,}76\cdot10^{-4}$	3,425
Нитроуксусная $C_2H_3O_4N$	$5{,}5\cdot10^{-3}$	2,26
Пимелиновая $C_7H_{12}O_4$	(I) $3{,}1\cdot10^{-5}$*	4,509
	(II) $4{,}88\cdot10^{-6}$	5,312
Пропионовая $C_3H_6O_2$	$1{,}34\cdot10^{-5}$*	4,874
Сероводородная H_2S	(I) $1{,}1\cdot10^{-7}$	6,96
	(II) $3{,}63\cdot10^{-12}$ (20 °С)	11,44

Кислота	K	pK
Трихлоруксусная $C_2HO_2Cl_3$	0,2	0,7
Угольная H_2CO_3	(I) $4{,}45\cdot10^{-7}$	6,352
	(II) $4{,}69\cdot10^{-11}$	10,329
Уксусная $C_2H_4O_2$	$1{,}754\cdot10^{-5}$*	4,756
Фенилуксусная $C_8H_8O_2$	$4{,}87\cdot10^{-5}$*	4,312
Фенол C_6H_6O	$1{,}01\cdot10^{-10}$	9,998
Фосфорная H_3PO	(I) $7{,}11\cdot10^{-3}$*	2,148
	(II) $6{,}34\cdot10^{-8}$*	7,198
	(III) $1{,}26\cdot10^{-12}$	11,90
о-Фталевая $C_8H_6O_4$	(I) $1{,}12\cdot10^{-3}$*	2,950
	(II) $3{,}91\cdot10^{-6}$*	5,408
м-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$1{,}36\cdot10^{-4}$	3 865
о-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$5{,}41\cdot10^{-4}$	3,267
п-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$7{,}23\cdot10^{-5}$	4,141
Фторуксусная $C_2H_3O_2F$	$2{,}61\cdot10^{-3}$	2,584
Фумаровая $C_4H_4O_4$	(I) $9{,}50\cdot10^{-4}$*	3,022
	(II) $4{,}8\cdot10^{-5}$*	4,319
м-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1{,}50\cdot10^{-4}$*	3,824
о-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1{,}14\cdot10^{-3}$*	2,943
п-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1{,}06\cdot10^{-4}$*	3,975
Хлоруксусная $C_2H_3O_2Cl$	$1{,}36\cdot10^{-3}$*	2,865
Щавелевая $C_2H_2O_4$	(I) $6{,}5\cdot10^{-2}$*	1,187
	(II) $5{,}18\cdot10^{-5}$*	4,296
Янтарная $C_4H_6O_4$	(I) $6{,}21\cdot10^{-5}$	4,207
	(II) $2{,}31\cdot10^{-6}$	5,636
Основание		
Анилин $C_6H_7N\cdot H_2O$	$3{,}82\cdot10^{-10}$*	9,418
Бензиламин $C_7H_9N\cdot H_2O$	$2{,}35\cdot10^{-5}$	4,629
Бутиламин $C_4H_{11}N\cdot H_2O$	$4{,}57\cdot10^{-4}$*	3,340
Гидразин $N_2H_4\cdot H_2O$	$1{,}7\cdot10^{-6}$	5,77
Гидроксид аммония NH_4OH	$1{,}77\cdot10^{-5}$*	4,752
Диметиламин $C_2H_7N\cdot H_2O$	$6\cdot10^{-4}$*	3,222
Диэтиламин $C_4H_{11}N\cdot H_2O$	$9{,}6\cdot10^{-4}$*	3,018
Метиламин $CH_5N\cdot H_2O$	$4{,}24\cdot10^{-4}$*	3,373
Пиперидин $C_5H_{11}N\cdot H_2O$	$1{,}32\cdot10^{-3}$	2,879
Пиридин $C_5H_5N\cdot H_2O$	$1{,}71\cdot10^{-9}$	8,767
Пропиламин $C_3H_9N\cdot H_2O$	$5{,}62\cdot10^{-4}$*	3,256
Триметиламин $C_3H_9N\cdot H_2O$	$6{,}31\cdot10^{-5}$*	4,200
Хинолин $C_9H_7N\cdot H_2O$	$1\cdot10^{-9}$	9,000
Этаноламин $C_2H_7ON\cdot H_2O$	$3\cdot10^{-5}$*	4,523
Этиламин $C_2H_7N\cdot H_2O$	$3{,}18\cdot10^{-4}$*	3,498

76. Характеристики кислотно-основных индикаторов

Индикаторные константы, интервал pH изменения окраски и окраска приведены при комнатной температуре.

Индикатор	pK	Интервал pH изменения окраски	Окраска
Тимоловый голубой	1,51	1,2—2,8	Красная — желтая
β-Динитрофенол	3,69	2,2—4,0	Бесцветная — желтая
Метиловый оранжевый	3,7	3,1—4,4	Красная — желтая
Бромфеноловый голубой	3,98	3,0—4,6	Желтая — голубая
α-Динитрофенол	4,06	2,8—4,5	Бесцветная — желтая
Бромкрезоловый зеленый	4,67	3,8—5,4	Желтая — голубая
Метиловый красный	5,1	4,2—6,3	Красная — желтая
γ-Динитрофенол	5,2	4,0—5,5	Бесцветная — желтая
Бромкрезоловый пурпурный	6,3	5,2—6,8	Желтая — пурпурная
Бромтимоловый голубой	7,0	6,0—7,6	Желтая — голубая
п-Нитрофенол	7,1	5,6—7,6	Бесцветная — желтая
Феноловый красный	7,9	6,8—8,4	Желтая — красная
Крезоловый красный	8,3	7,2—8,8	Желтая — красная
м-Нитрофенол	8,35	6,7—8,4	Бесцветная — желтая
Тимоловый голубой	8,9	8,0—9,6	Желтая — голубая
Фенолфталеин	9,4	8,3—10,0	Бесцветная — красная

77. Константы нестойкости комплексных соединений

Комплексная частица вида MA_n (заряды опущены) диссоциирует последовательно по уравнениям:

$$MA_n \rightleftarrows MA_{n-1} + A$$
$$MA_{n-1} \rightleftarrows MA_{n-2} + A$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$MA \rightleftarrows M + A$$
$$MA_n \rightleftarrows M + nA$$

Константы равновесия ступеней диссоциации $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_{n-1}, \beta_n$ называют ступенчатыми константами нестойкости. Общая константа нестойкости $K = \beta_1\beta_2 \ldots \beta_{n-1}\beta_n$. Обратные величины констант — $\frac{1}{K}$ или $\frac{1}{\beta_i}$ — называют константами устойчивости.

Пользуются также общими константами нестойкости любой ступени диссоциации $K_{1,2} = \beta_1\beta_2$, $K_{1,3} = \beta_1\beta_2\beta_3$ и т. д. вплоть до $K_{1,n} = K$.

В таблице приведены значения $p\beta_i = -\lg \beta_i$ и соответствующие $pK = -\lg K$. Очевидно, $pK_{1,2} = p\beta_1 + p\beta_2$ и т. д.

Константы относятся к растворенным частицам в отсутствие твердых фаз.

Комплекс	Температура, °C	Ионная сила	pβ	pK
Аммиачные комплексы				
$[AgNH_3]^+$	25	0	3,37	3,37
$[Ag(NH_3)_2]^+$	25	0	3,84	7,21
$[Cd(NH_3)]^{2+}$	25	2,0	2,74	2,74
$[Cd(NH_3)_2]^{2+}$	25	2,0	2,18	4,92
$[Cd(NH_3)_3]^{2+}$	25	2,0	1,45	6,37
$[Cd(NH_3)_4]^{2+}$	25	2,0	1,00	7,37
$[Co(NH_3)]^{2+}$	30	0,5—5,0	2,11	2,11
$[Co(NH_3)_2]^{2+}$	30	0,5—5,0	1,63	3,74
$[Co(NH_3)_3]^{2+}$	30	0,5—5,0	1,05	4,79
$[Co(NH_3)_4]^{2+}$	30	0,5—5,0	0,76	5,55
$[Co(NH_3)_5]^{2+}$	30	0,5—5,0	0,18	5,73
$[Co(NH_3)_6]^{2+}$	30	0,5—5,0	—0,62	5,11
$[Cu(NH_3)]^{2+}$	25	1,0	4,27	4,27
$[Cu(NH_3)_2]^{2+}$	25	1,0	3,55	7,82
$[Cu(NH_3)_3]^{2+}$	25	1,0	2,90	10,72
$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$	25	1,0	2,18	12,90
$[Ni(NH_3)]^{2+}$	25	1,0	2,36	2,36
$[Ni(NH_3)_2]^{2+}$	25	1,0	1,90	4,26
$[Ni(NH_3)_3]^{2+}$	25	1,0	1,55	5,81
$[Ni(NH_3)_4]^{2+}$	25	1,0	1,23	7,04
$[Ni(NH_3)_5]^{2+}$	25	1,0	0,85	7,89
$[Ni(NH_3)_6]^{2+}$	25	1,0	0,42	8,31
$[Zn(NH_3)]^{2+}$	25	≈2,0	2,59	2,59
$[Zn(NH_3)_2]^{2+}$	25	≈2,0	2,32	4,91
$[Zn(NH_3)_3]^{2+}$	25	≈2,0	2,01	6,92
$[Zn(NH_3)_4]^{2+}$	25	≈2,0	1,70	8,62
Ацетатные комплексы ($Ac^- = CH_3COO^-$)				
$[Ni(Ac)]^+$	25	0	1,8	1,8
$Ni(Ac)_2$	20	1,0	0,59	1,26
$[Pb(Ac)]^+$	25	1,0	2,05	2,05
$Pb(Ac)_2$	20	2,0	0,24	2,04
$[Pb(Ac)_3]^-$	20	2,0	—0,13	1,91

Комплекс	Температура, °С	Ионная сила	pβ	pK
$[Pb(Ac)_4]^{2-}$	20	2,0	—0,50	1,41
$[Zn(Ac)]^{+}$	18	0,1	1,70	1,70
Бромидные комплексы				
$[Ag_2Br]^{+}$	Комн.	—	—	9,70
$AgBr$	25	0,2	4,15	4,15
$[AgBr_2]^{-}$	25	0,2	2,96	7,11
$[AgBr_3]^{2-}$	25	0,2	1,79	8,90
$[HgBr]^{+}$	25	0,5	9,05	9,05
$HgBr_2$	25	0,5	8,27	17,32
$[HgBr_3]^{-}$	25	0,5	2,42	19,74
$[HgBr_4]^{2-}$	25	0,5	1,26	21,00
$[PbBr]^{+}$	25	0	1,15	1,15
$PbBr_2$	25	0	—	1,92
$[PbBr_4]^{2-}$	25	0	—	3,0
Гидроксокомплексы				
$[CaOH]^{+}$	25	0	1,30	1,30
$[CdOH]^{+}$	30	0,1	2,30	2,30
$[CoOH]^{+}$	25	0	4,4	4,4
$[HgOH]^{+}$	25	0,5	10,30	10,30
$Hg(OH)_2$	25	0,5	11,40	21,70
$[NiOH]^{+}$	30	0,4	4,60	4,60
$[PbOH]^{+}$	18	0	6,22	6,22
$[ZnOH]^{+}$	25	0	4,4	4,4
$[Zn(OH)_3]^{-}$	Комн.	—	—	14,37
$[Zn(OH)_4]^{2-}$	25	Перем.	—	15,44
Иодидные комплексы				
$[Ag_3I]^{2+}$	Комн.	Перем.	—	14,15
$[AgI_3]^{2-}$	»	1,6	—	13,95
$[AgI_4]^{3-}$	20	1,6	—	13,74
$[Pb_2I]^{3+}$	25	0,3—3,6	—	1,66
$[PbI]^{+}$	25	0,3—3,6	2,30	2,30
$[PbI_3]^{-}$	25	0,3—3,6	—	4,65
$[PbI_4]^{2-}$	25	0,3—3,6	—0,80	3,85
Хлоридные комплексы				
$[Ag_2Cl]^{+}$	Комн.	—	—	6,70
$AgCl$	25	0	3,04	3,04
$[AgCl_2]^{-}$	25	0	2,0	5,04
$[AgCl_3]^{2-}$	25	0	0,0	5,04
$[AgCl_4]^{3-}$	25	0	0,26	5,30
$[HgCl]^{+}$	25	0,5	6,74	6,74
$HgCl_2$	25	0,5	6,48	13,22
$[PbCl]^{+}$	25	1,0	1,43	1,43
$PbCl_2$	25	1,0	0,83	2,26
$[PbCl_3]^{-}$	25	1,0	—0,18	2,08
$[PbCl_4]^{2-}$	25	1,0	0,07	2,15

Комплекс	Температура, °С	Ионная сила	pβ	pK
Цианидные комплексы				
$[Ag(CN)_2]^{-}$	18	0,3	—	21,1
$[Ag(CN)_3]^{2-}$	25	0,0	0,7	21,8
$[Ag(CN)_4]^{3-}$	25	0,0	—1,13	20,68
$[Cd(CN)]^{+}$	25	3,0	5,54	5,54
$Cd(CN)_2$	25	3,0	5,06	10,60
$[Cd(CN)_3]^{-}$	25	3,0	4,70	15,30
$[Cd(CN)_4]^{2-}$	25	3,0	3,55	18,85
$[Fe(CN)_6]^{4-}$	25	0	—	24
$[Fe(CN)_6]^{3-}$	25	0	—	31
$[Hg(CN)_4]^{2-}$	25	0,05—0,20	—	41,4
$[Ni(CN)_4]^{2-}$	25	—	—	13,75
$[Zn(CN)_4]^{2-}$	25	0	—	16,76
Комплексы с этилендиамином ($En = H_2NCH_2CH_2NH_2$)				
$[Ag(En)]^{+}$	20	0,1	4,70	4,70
$[Ag(En)_2]^{+}$	20	0,1	3,00	7,70
$[Cd(En)]^{2+}$	25	1,0	5,63	5,63
$[Cd(En)_2]^{2+}$	25	1,0	4,59	10,22
$[Cd(En)_3]^{2+}$	25	1,0	2,07	12,29
$[Co(En)]^{2+}$	25	1,0	5,93	5,93
$[Co(En)_2]^{2+}$	25	1,0	4,73	10,66
$[Co(En)_3]^{2+}$	25	1,0	3,30	13,96
$[Cu(En)]^{2+}$	25	0,5	10,76	10,76
$[Cu(En)_2]^{2+}$	25	0,5	9,37	20,13
$[Fe(En)]^{2+}$	25	1,0	4,34	4,34
$[Fe(En)_2]^{2+}$	25	1,0	3,31	7,65
$[Fe(En)_3]^{2+}$	25	1,0	2,05	9,70
$[Ni(En)]^{2+}$	25	0,5	7,60	7,60
$[Ni(En)_2]^{2+}$	25	0,5	6,48	14,08
$[Ni(En)_3]^{2+}$	25	0,5	5,03	19,11
$[Zn(En)]^{2+}$	25	1,0	5,92	5,92
$[Zn(En)_2]^{2+}$	25	1,0	5,15	11,07
$[Zn(En)_3]^{2+}$	25	1,0	1,86	12,93
Комплексы с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA)				
$[CdEDTA]^{2-}$	20	0,1	16,48	16,48
$[CoEDTA]^{2-}$	20	0,1	16,10	16,10
$[CoEDTA]^{-}$	20	0,1	36	36
$[CuEDTA]^{2-}$	20	0,1	18,8	18,8
$[FeEDTA]^{2-}$	20	0,1	14,45	14,45
$[FeEDTA]^{-}$	20	0,1	25,1	25,1
$[NiEDTA]^{2-}$	20	0,1	18,45	18,45
$[PbEDTA]^{2-}$	20	0,1	18,2	18,2
$[ZnEDTA]^{2-}$	20	0,1	16,5	16,5

78. Произведение растворимости при 25 °С

$$L = (\nu_+^{\nu_+}\nu_-^{\nu_-})\,\gamma_\pm^{\nu_++\nu_-}\,m^{\nu_++\nu_-}$$

где ν_+ и ν_- — число катионов и анионов; $\gamma_\pm$ — средний ионный коэффициент активности; m — концентрация насыщенного раствора, моль/л.

Значения L вычислены из данных по электродным потенциалам (см. табл. 79) и термодинамическим функциям (см. табл. 44).

Твердая фаза	L, (моль/л)$^\nu$	Твердая фаза	L, (моль/л)$^\nu$
$AgBr$	$4{,}8\cdot10^{-13}$	CuI	$1{,}1\cdot10^{-12}$
$AgBrO_3$	$6{,}1\cdot10^{-5}$	$Fe(OH)_2$	$1{,}6\cdot10^{-15}$
$AgCl$	$1{,}73\cdot10^{-10}$	Hg_2Br_2	$5{,}4\cdot10^{-23}$
$AgCN$	$1{,}6\cdot10^{-14}$	Hg_2Cl_2	$1{,}2\cdot10^{-18}$
AgI	$8{,}1\cdot10^{-17}$	Hg_2I_2	$4{,}4\cdot10^{-29}$
$AgIO_3$	$3{,}0\cdot10^{-8}$	Hg_2SO_4	$6{,}4\cdot10^{-7}$
Ag_2CrO_4	$4{,}7\cdot10^{-12}$	$Ni(OH)_2$	$1{,}2\cdot10^{-16}$
Ag_2SO_4	$1{,}24\cdot10^{-5}$	$PbBr_2$	$4{,}5\cdot10^{-5}$
Ag_2S	$4{,}23\cdot10^{-50}$	$PbCl_2$	$1{,}6\cdot10^{-5}$
$BaSO_4$	$1\cdot10^{-10}$	PbI_2	$8{,}2\cdot10^{-9}$
$CaCO_3$	$3{,}7\cdot10^{-9}$	$Pb(OH)_2$	$5{,}1\cdot10^{-16}$
$CaHPO_4$	$1{,}4\cdot10^{-6}$	$PbSO_4$	$1{,}3\cdot10^{-8}$
$Ca(OH)_2$	$6{,}1\cdot10^{-6}$	PbS	$6{,}2\cdot10^{-28}$
$CaSO_4$	$1{,}7\cdot10^{-5}$	$TlBr$	$3{,}6\cdot10^{-6}$
$CdCO_3$	$2{,}5\cdot10^{-14}$	$TlCl$	$1{,}8\cdot10^{-4}$
$Cd(OH)_2$	$1{,}8\cdot10^{-14}$	TlI	$8{,}8\cdot10^{-8}$
$Co(OH)_2$	$4{,}7\cdot10^{-16}$	$Zn(OH)_2$	$4{,}9\cdot10^{-17}$
$CuCl$	$3{,}2\cdot10^{-7}$	ZnS	$1{,}9\cdot10^{-22}$

79. Стандартные электродные потенциалы в водных растворах при 25 °С

УКАЗАТЕЛЬ

№ по пор.	Электрод	Реакция	$E°$, В
	Электроды, обратимые относительно катиона		
1	Li^+, Li	$Li^+ + e \longrightarrow Li$	−3,045
2	K^+, K	$K^+ + e \longrightarrow K$	−2,925
3	Rb^+, Rb	$Rb^+ + e \longrightarrow Rb$	−2,925
4	Cs^+, Cs	$Cs^+ + e \longrightarrow Cs$	−2,923
5	Ra^{2+}, Ra	$Ra^{2+} + 2e \longrightarrow Ra$	−2,916
6	Ba^{2+}, Ba	$Ba^{2+} + 2e \longrightarrow Ba$	−2,906
7	Sr^{2+}, Sr	$Sr^{2+} + 2e \longrightarrow Sr$	−2,888
8	Ca^{2+}, Ca	$Ca^{2+} + 2e \longrightarrow Ca$	−2,866
9	Na^+, Na	$Na^+ + e \longrightarrow N$	−2,714
10	La^{3+}, La	$La^{3+} + 3e \longrightarrow La$	−2,522
11	Mg^{2+}, Mg	$Mg^{2+} + 2e \longrightarrow Mg$	−2,363
12	H^+, H	$H^+ + e \longrightarrow H$	−2,106
13	Th^{4+}, Th	$Th^{4+} + 4e \longrightarrow Th$	−1,899
14	Be^{2+}, Be	$Be^{2+} + 2e \longrightarrow Be$	−1,847
15	U^{3+}, U	$U^{3+} + 3e \longrightarrow U$	−1,789
16	Al^{3+}, Al	$Al^{3+} + 3e \longrightarrow Al$	−1,662
17	Mn^{2+}, Mn	$Mn^{2+} + 2e \longrightarrow Mn$	−1,180
18	Cr^{2+}, Cr	$Cr^{2+} + 2e \longrightarrow Cr$	−0,913
19	Zn^{2+}, Zn	$Zn^{2+} + 2e \longrightarrow Zn$	−0,763
20	Cr^{3+}, Cr	$Cr^{3+} + 3e \longrightarrow Cr$	−0,744
21	Fe^{2+}, Fe	$Fe^{2+} + 2e \longrightarrow Fe$	−0,440
22	Cd^{2+}, Cd	$Cd^{2+} + 2e \longrightarrow Cd$	−0,403
23	In^{3+}, In	$In^{3+} + 3e \longrightarrow In$	−0,343
24	Tl^+, Tl	$Tl^+ + e \longrightarrow Tl$	−0,336
25	Co^{2+}, Co	$Co^{2+} + 2e \longrightarrow Co$	−0,277

№ по пор	Электрод	Реакция	E^0, В
26	Ni^{2+}, Ni	$Ni^{2+} + 2e \longrightarrow Ni$	−0,250
27	Sn^{2+}, Sn	$Sn^{2+} + 2e \longrightarrow Sn$	−0,136
28	Pb^{2+}, Pb	$Pb^{2+} + 2e \longrightarrow Pb$	−0,126
29	Fe^{3+}, Fe	$Fe^{3+} + 3e \longrightarrow Fe$	−0,036
30	Cu^{2+}, Cu	$Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu$	+0,337
31	Cu^{+}, Cu	$Cu^{+} + e \longrightarrow Cu$	+0,521
32	Hg_2^{2+}, Hg	$\frac{1}{2} Hg_2^{2+} + e \longrightarrow Hg$	+0,798
33	Ag^{+}, Ag	$Ag^{+} + e \longrightarrow Ag$	+0,799
34	Hg^{2+}, Hg	$Hg^{2+} + 2e \longrightarrow Hg$	+0,854
35	Au^{3+}, Au	$Au^{3+} + 3e \longrightarrow Au$	+1,498
36	Pu^{3+}, Pu	$Pu^{3+} + 3e \longrightarrow Pu$	+2,03
	Электроды, обратимые относительно аниона		
37	Se, Se^{2-}	$Se + 2e \longrightarrow Se^{2-}$	−0,92
38	S, S^{2-}	$S + 2e \longrightarrow S^{2-}$	−0,447
39	I_2 (кр.), I^-	$\frac{1}{2} I_2 + e \longrightarrow I^-$	+0,536
40	Br_2 (ж.), Br^-	$\frac{1}{2} Br_2 + e \longrightarrow Br^-$	+1,065
	Газовые электроды		
41	H_2, OH^-	$2H_2O + 2e \longrightarrow H_2 + 2OH^-$	−0,828
42	H^+, HCOOH, CO_2(Pt)	$CO_2 + 2H^+ + 2e \longrightarrow HCOOH$	−0,199
43	H^+, H_2	$H^+ + e \longrightarrow \frac{1}{2} H_2$	0,000
44	O_2, OH^-	$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^-$	+0,401
45	H^+, H_2O_2, O_2(Pt)	$O_2 + 2H^+ + 2e \longrightarrow H_2O_2$	+0,682
46	H^+, NO_3^-, NO(Pt)	$NO_3^- + 4H^+ + 4e \longrightarrow NO + 2H_2O$	+0,96
47	H^+, HNO_2, NO(Pt)	$HNO_2 + H^+ + e \longrightarrow NO + H_2O$	+1,00
48	ClO_2, ClO_2^- (Pt)	$ClO_2 + e \longrightarrow ClO_2^-$	+1,16
49	H^+, O_2(Pt)	$O_2 + 4H^+ + 4e \longrightarrow 2H_2O$	+1,229
50	O_3, O_2, OH^-(Pt)	$O_3 + H_2O + 2e \longrightarrow O_2 + 2OH^-$	+1,24
51	H^+, ClO_2, $HClO_2$(Pt)	$ClO_2 + H^+ + e \longrightarrow HClO_2$	+1,275
52	Cl_2, Cl^-	$\frac{1}{2} Cl_2 + e \longrightarrow Cl^-$	+1,360
53	H^+, HClO, Cl_2(Pt)	$HClO + H^+ + e \longrightarrow \frac{1}{2} Cl_2 + H_2O$	+1,63
54	H^+, O_3, O_2(Pt)	$O_3 + 2H^+ + 2e \longrightarrow O_2 + H_2O$	+2,07
55	H^+, O(Pt)	$O + 2H^+ + 2e \longrightarrow H_2O$	+2,422
56	F_2, F^-	$\frac{1}{2} F_2 + e \longrightarrow F^-$	+2,87
	Электроды второго рода		
57	Ca, $Ca(OH)_2$, OH^-	$Ca(OH)_2 + 2e \longrightarrow Ca + 2OH^-$	−3,02
58	Sr, $Sr(OH)_2$, OH^-	$Sr(OH)_2 + 2e \longrightarrow Sr + 2OH^-$	−2,88
59	Ba, $Ba(OH)_2$, OH^-	$Ba(OH)_2 + 2e \longrightarrow Ba + 2OH^-$	−2,81
60	Mg, $Mg(OH)_2$, OH^-	$Mg(OH)_2 + 2e \longrightarrow Mg + 2OH^-$	−2,69
61	U, UO_2, OH^-	$UO_2 + 2H_2O + 4e \longrightarrow U + 4OH^-$	−2,39
62	Al, $Al(OH)_3$, OH^-	$Al(OH)_3 + 3e \longrightarrow Al + 3OH^-$	−2,30

№ по пор.	Электрод	Реакция	E^0, В
63	Mn, $Mn(OH)_2$, OH^-	$Mn(OH)_2 + 2e \longrightarrow Mn + 2OH^-$	−1,55
64	Mn, $MnCO_3$, CO_3^{2-}	$MnCO_3 + 2e \longrightarrow Mn + CO_3^{2-}$	−1,50
65	Cr, $Cr(OH)_3$, OH^-	$Cr(OH)_3 + 3e \longrightarrow Cr + 3OH^-$	−1,48
66	Zn, ZnS, S^{2-}	$ZnS + 2e \longrightarrow Zn + S^{2-}$	−1,405
67	Zn, $Zn(OH)_2$, OH^-	$Zn(OH)_2 + 2e \longrightarrow Zn + 2OH^-$	−1,245
68	Cd, CdS, S^{2-}	$CdS + 2e \longrightarrow Cd + S^{2-}$	−1,175
69	Zn, $ZnCO_3$, CO_3^{2-}	$ZnCO_3 + 2e \longrightarrow Zn + CO_3^{2-}$	−1,06
70	Fe, FeS, S^{2-}	$FeS + 2e \longrightarrow Fe + S^{2-}$	−0,95
71	Pb, PbS, S^{2-}	$PbS + 2e \longrightarrow Pb + S^{2-}$	−0,93
72	Cu, Cu_2S, S^{2-}	$Cu_2S + 2e \longrightarrow 2Cu + S^{2-}$	−0,89
73	Fe, $Fe(OH)_2$, OH^-	$Fe(OH)_2 + 2e \longrightarrow Fe + 2OH^-$	−0,877
74	Si, SiO_2, H^+	$SiO_2 + 4H^+ + 4e \longrightarrow Si + 2H_2O$	−0,857
75	Cd, $Cd(OH)_2$, OH^-	$Cd(OH)_2 + 2e \longrightarrow Cd + 2OH^-$	−0,809
76	Fe, $FeCO_3$, CO_3^{2-}	$FeCO_3 + 2e \longrightarrow Fe + CO_3^{2-}$	−0,756
77	Tl, TlI, I^-	$TlI + e \longrightarrow Tl + I^-$	−0,753
78	Cd, $CdCO_3$, CO_3^{2-}	$CdCO_3 + 2e \longrightarrow Cd + CO_3^{2-}$	(−0,74)
79	Co, $Co(OH)_2$, OH^-	$Co(OH)_2 + 2e \longrightarrow Co + 2OH^-$	−0,73
80	Ni, $Ni(OH)_2$, OH^-	$Ni(OH)_2 + 2e \longrightarrow Ni + 2OH^-$	−0,72
81	Hg, HgS, S^{2-}	$HgS + 2e \longrightarrow Hg + S^{2-}$	−0,69
82	Ag, Ag_2S (α), S^{2-}	Ag_2S (α) $+ 2e \longrightarrow 2Ag + S^{2-}$	−0,66
83	Pb, PbO, OH^-	$PbO + H_2O + 2e \longrightarrow Pb + 2OH^-$	−0,578
84	Tl, TlCl, Cl^-	$TlCl + e \longrightarrow Tl + Cl^-$	−0,557
85	Pb, $PbCO_3$, CO_3^{2-}	$PbCO_3 + 2e \longrightarrow Pb + CO_3^{2-}$	−0,506
86	Bi, Bi_2O_3, OH^-	$Bi_2O_3 + 3H_2O + 3e \longrightarrow 2Bi + 6OH^-$	−0,46
87	Pb, PbI_2, I^-	$PbI_2 + 2e \longrightarrow Pb + 2I^-$	−0,365
88	Pb, $PbSO_4$, SO_4^{2-}	$PbSO_4 + 2e \longrightarrow Pb + SO_4^{2-}$	−0,359
89	Cu, Cu_2O, OH^-	$Cu_2O + H_2O + 2e \longrightarrow 2Cu + 2OH^-$	−0,358
90	Tl, TlOH, OH^-	$TlOH + e \longrightarrow Tl + OH^-$	−0,345
91	Pb, $PbBr_2$, Br^-	$PbBr_2 + 2e \longrightarrow Pb + 2Br^-$	−0,284
92	Pb, $PbCl_2$, Cl^-	$PbCl_2 + 2e \longrightarrow Pb + 2Cl^-$	−0,268
93	Cu, CuI, I^-	$CuI + e \longrightarrow Cu + I^-$	−0,185
94	Ag, AgI, I^-	$AgI + e \longrightarrow Ag + I^-$	−0,152
95	Ge, GeO_2, H^+	$GeO_2 + 4H^+ + 4e \longrightarrow Ge + 2H_2O$	−0,15
96	Hg, Hg_2I_2, I^-	$\frac{1}{2} Hg_2I_2 + e \longrightarrow Hg + I^-$	−0,040
97	Ag, AgCN, CN^-	$AgCN + e \longrightarrow Ag + CN^-$	−0,017
98	Ag, AgBr, Br^-	$AgBr + e \longrightarrow Ag + Br^-$	+0,071
99	Hg, HgO, OH^-	$HgO + H_2O + 2e \longrightarrow Hg + 2OH^-$	+0,098
100	Cu, CuCl, Cl^-	$CuCl + e \longrightarrow Cu + Cl^-$	+0,137
101	Hg, Hg_2Br_2, Br^-	$\frac{1}{2} Hg_2Br_2 + e \longrightarrow Hg + Br^-$	+0,140
102	Sb, Sb_2O_3, H^+	$Sb_2O_3 + 6H^+ + 6e \longrightarrow 2Sb + 3H_2O$	+0,152
103	Ag, AgCl, Cl^-	$AgCl + e \longrightarrow Ag + Cl^-$	+0,222
104	Hg, Hg_2Cl_2, Cl^- *	$\frac{1}{2} Hg_2Cl_2 + e \longrightarrow Hg + Cl^-$	+0,268*
105	Ag, Ag_2O, OH^-	$Ag_2O + H_2O + 2e \longrightarrow 2Ag + 2OH^-$	+0,345
106	Ag, $AgIO_3$, IO_3^-	$AgIO_3 + e \longrightarrow Ag + IO_3^-$	+0,354
107	Bi, Bi_2O_3, H^+	$Bi_2O_3 + 6H^+ + 6e \longrightarrow 2Bi + 3H_2O$	+0,371
108	Ag, Ag_2CrO_4, CrO_4^{2-}	$Ag_2CrO_4 + 2e \longrightarrow 2Ag + CrO_4^{2-}$	+0,464

Потенциалы каломельных электродов E, В:

Hg, Hg_2Cl_2, KCl, насыщ. +0,2415
Hg, Hg_2Cl_2, KCl, 1,0 *M* +0,2812
Hg, Hg_2Cl_2, KCl, 0,1 *M* +0,3341

№ по пор.	Электрод	Реакция	E°, В
109	Hg, Hg_2SO_4, SO_4^{2-}	$Hg_2SO_4 + 2e \longrightarrow 2Hg + SO_4^{2-}$	+0,615
110	Ag, $AgC_2H_3O_2$, $C_2H_3O_2^-$	$AgC_2H_3O_2 + e \longrightarrow Ag + C_2H_3O_2^-$	+0,643
111	Ag, Ag_2SO_4, SO_4^{2-}	$Ag_2SO_4 + 2e \longrightarrow 2Ag + SO_4^{2-}$	+0,654
	Окислительно-восстановительные электроды		
112	SO_3^{2-}, $S_2O_4^{2-}$, OH^-(Pt)	$2SO_3^{2-} + 2H_2O + 2e \longrightarrow S_2O_4^{2-} + 4OH^-$	−1,12
113	SO_4^{2-}, SO_3^{2-}, OH^-(Pt)	$SO_4^{2-} + H_2O + 2e \longrightarrow SO_3^{2-} + 2OH^-$	−0,93
114	U^{4+}, U^{3+}(Pt)	$U^{4+} + e \longrightarrow U^{3+}$	−0,607
115	SO_3^{2-}, $S_2O_3^{2-}$, OH^-(Pt)	$2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e \longrightarrow S_2O_3^{2-} + 6OH^-$	−0,58
116	Cr^{3+}, Cr^{2+}(Pt)	$Cr^{3+} + e \longrightarrow Cr^{2+}$	−0,408
117	H^+, H_3PO_4, H_3PO_3(Pt)	$H_3PO_4 + 2H^+ + 2e \longrightarrow H_3PO_3 + H_2O$	−0,276
118	V^{3+}, V^{2+}(Pt)	$V^{3+} + e \longrightarrow V^{2+}$	−0,255
119	H^+, SO_4^{2-}, $S_2O_8^{2-}$(Pt)	$2SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e \longrightarrow S_2O_8^{2-} + 2H_2O$	−0,22
120	NO_3^-, NO_2^-, OH^-(Pt)	$NO_3^- + H_2O + 2e \longrightarrow NO_2^- + 2OH^-$	+0,01
121	UO_2^{2+}, UO_2^+(Pt)	$UO_2^{2+} + e \longrightarrow UO_2^+$	+0,05
122	H^+, HCOOH, HCOH(Pt)	$HCOOH + 2H^+ + 2e \longrightarrow HCOH + H_2O$	+0,056
123	$S_4O_6^{2-}$, $S_2O_3^{2-}$(Pt)	$S_4O_6^{2-} + 2e \longrightarrow 2S_2O_3^{2-}$	+0,08
124	Sn^{4+}, Sn^{2+}(Pt)	$Sn^{4+} + 2e \longrightarrow Sn^{2+}$	+0,15
125	Cu^{2+}, Cu^+(Pt)	$Cu^{2+} + e \longrightarrow Cu^+$	+0,153
126	H^+, H_2SO_3, SO_4^{2-}(Pt)	$4H^+ + SO_4^{2-} + 2e \longrightarrow H_2SO_3 + H_2O$	+0,172
127	ClO_3^-, ClO_2^-, OH^-(Pt)	$ClO_3^- + H_2O + e \longrightarrow ClO_2^- + 2OH^-$	+0,33
128	H^+, UO_2^{2+}, U^{4+}(Pt)	$UO_2^{2+} + 4H^+ + 2e \longrightarrow U^{4+} + 2H_2O$	+0,33
129	$Fe(CN)_6^{3-}$, $Fe(CN)_6^{4-}$(Pt)	$Fe(CN)_6^{3-} + e \longrightarrow Fe(CN)_6^{4-}$	+0,36
130	ClO_4^-, ClO_3^-, OH^-(Pt)	$ClO_4^- + H_2O + 2e \longrightarrow ClO_3^- + 2OH^-$	+0,36
131	H^+, $S_2O_3^{2-}$, H_2SO_3(Pt)	$2H_2SO_3 + 2H^+ + 4e \longrightarrow S_2O_3^{2-} + 3H_2O$	+0,400
132	H^+, $S_4O_6^{2-}$, H_2SO_3(Pt)	$4H_2SO_3 + 4H^+ + 6e \longrightarrow S_4O_6^{2-} + 6H_2O$	+0,51
133	I_3^-, I^-(Pt)	$I_3^- + 2e \longrightarrow 3I^-$	+0,536
134	H^+, H_3AsO_4, $HAsO_2$(Pt)	$H_3AsO_4 + 2H^+ + 2e \longrightarrow HAsO_2 + 2H_2O$	+0,560
135	H^+, $S_2O_8^{2-}$, H_2SO_3(Pt)	$S_2O_8^{2-} + 4H^+ + 2e \longrightarrow 2H_2SO_3$	+0,57
136	MnO_4^-, OH^-, MnO_2(Pt)	$MnO_4^- + 2H_2O + 3e \longrightarrow MnO_2 + 4OH^-$	+0,588
137	H^+, UO_2^+, U^{4+}(Pt)	$UO_2^+ + 4H^+ + e \longrightarrow U^{4+} + 2H_2O$	+0,62
138	ClO_2^-, ClO^-, OH^-(Pt)	$ClO_2^- + H_2O + 2e \longrightarrow ClO^- + 2OH^-$	+0,66
139	$PtCl_6^{2-}$, $PtCl_4^{2-}$, Cl^-(Pt)	$PtCl_6^{2-} + 2e \longrightarrow PtCl_4^{2-} + 2Cl^-$	+0,68
140	H^+, $C_6H_4O_2$, $C_6H_4(OH)_2$(Pt)	$C_6H_4O_2 + 2H^+ + 2e \longrightarrow C_6H_4(OH)_2$	+0,699
141	Fe^{3+}, Fe^{2+}(Pt)	$Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$	+0,771
142	ClO^-, Cl^-, OH^-(Pt)	$ClO^- + H_2O + 2e \longrightarrow Cl^- + 2OH^-$	+0,89
143	H^+, NO_3^-, HNO_2(Pt)	$NO_3^- + 3H^+ + 2e \longrightarrow HNO_2 + H_2O$	+0,94
144	Pu^{4+}, Pu^{3+}(Pt)	$Pu^{4+} + e \longrightarrow Pu^{3+}$	+0,97
145	H^+, N_2O_4, HNO_2(Pt)	$N_2O_4 + 2H^+ + 2e \longrightarrow 2HNO_2$	+1,07
146	H^+, ClO_4^-, ClO_3^-(Pt)	$ClO_4^- + 2H^+ + 2e \longrightarrow ClO_3^- + H_2O$	+1,19
147	H^+, IO_3^-, I_2(Pt)	$IO_3^- + 6H^+ + 5e \longrightarrow \frac{1}{2} I_2 + 3H_2O$	+1,195
148	H^+, ClO_3^-, $HClO_2$(Pt)	$ClO_3^- + 3H^+ + 2e \longrightarrow HClO_2 + H_2O$	+1,21
149	H^+, Mn^{2+}, MnO_2(Pt)	$MnO_2 + 4H^+ + 2e \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1,23

№ по пор.	Электрод	Реакция	E°, В
150	Tl^{3+}, Tl^+(Pt)	$Tl^{3+} + 2e \longrightarrow Tl^+$	+1,25
151	H^+, $Cr_2O_7^{2-}$, Cr^{3+}(Pt)	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1,33
152	H^+, PbO_2, Pb^{2+}(Pt)	$PbO_2 + 4H^+ + 2e \longrightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$	+1,455
153	H^+, MnO_4^-, Mn^{2+}(Pt)	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1,51
154	Ce^{4+}, Ce^{3+}(Pt)	$Ce^{4+} + e \longrightarrow Ce^{3+}$	+1,61
155	H^+, $HClO_2$, HClO(Pt)	$HClO_2 + H^+ + 2e \longrightarrow HClO + H_2O$	+1,64
156	PbO_2, H^+, SO_4^{2-}, $PbSO_4$(Pt)	$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$	+1,685
157	H^+, MnO_4^-, MnO_2(Pt)	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$	+1,695
158	H^+, H_2O_2(Pt)	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \longrightarrow 2H_2O$	+1,776
159	Co^{3+}, Co^{2+}(Pt)	$Co^{3+} + e \longrightarrow Co^{2+}$	+1,81
160	$S_2O_8^{2-}$, SO_4^{2-}(Pt)	$S_2O_8^{2-} + 2e \longrightarrow 2SO_4^{2-}$	+2,010
161	OH, OH^-(Pt)	$OH + e \longrightarrow OH^-$	+2,02

80. Потенциалы металлов в жидком аммиаке

Реакция	E°, В	Реакция	E°, В	Реакция	E°, В
$Li^+ + e \longrightarrow Li$	−2,34	$Ca^{2+} + 2e \longrightarrow Ca$	−2,11	$K^+ + e \longrightarrow K$	−2,04
$Sr^{2+} + 2e \longrightarrow Sr$	−2,3	$Cs^+ + e \longrightarrow Cs$	−2,08	$Na^+ + e \longrightarrow Na$	−1,85
$Ba^{2+} + 2e \longrightarrow Ba$	−2,2	$Rb^+ + e \longrightarrow Rb$	−2,06	$Mg^{2+} + 2e \longrightarrow Mg$	−1,74

81. Температурные коэффициенты электродвижущей силы

Гальванический элемент	t, °C	E, В	$(dE/dT)\cdot 10^4$, В/К
Zn |$ZnCl_2$ (0,555*m*) |AgCl| Ag	0	1,015	−4,02
Pb |PbI_2| KI (*a* = 1,0) |AgI| Ag	25	0,21069	−1,38
Cd |$CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$ | $CdCl_2$ насыщ. | $PbCl_2$ |Pb	25	0,18801	−4,8
Pb |$Pb(C_2H_3O_2)_2$ (0,555*m*) |$Cu(C_2H_3O_2)_2$ насыщ.| Cu	25	0,4764	+3,85
Ag | AgCl | KCl (*a* = 1,0) | Hg_2Cl_2 | Hg	5—38 38—70	0,2680—0,2647 0,2647—0,2477	−2,39 −2,37

82. Диффузионные потенциалы в водных растворах при 25 °С

Диффузионные потенциалы E_D измерены в гальванических элементах типа:

$$Ag\,|AgCl|\,HCl\ (m)|\,KCl\ (m)|\,AgCl|\,Ag$$

где E_D — единственная разность потенциалов; $E_D = \frac{RT}{F}\ln\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$, где λ_i — молярная электрическая проводимость соответствующего раствора.

Диффузионные потенциалы на поверхности раздела равных электролитов при одинаковой концентрации

Граница	$c_1 = c_2$	$E_{D\text{набл}}$, мВ	$E_{D\text{выч}}$, мВ
HCl/KCl	0,1	26,8	28,5
	0,01	25,7	27,5
HCl/NaCl	0,1	33,1	33,4
	0,01	33,1	32,0
HCl/LiCl	0,1	34,9	36,1
	0,01	33,8	34,6
KCl/LiCl	0,1	8,8	7,6
	0,01	8,2	7,1
NaCl/LiCl	0,1	2,6	2,8
	0,01	2,6	2,5

Диффузионные потенциалы на поверхности раздела одного и того же электролита различной концентрации

Электролит	c_1	c_2	E_D, мВ
HCl	0,005	0,01	+11,1
	0,005	0,04	+33,3
NaCl	0,005	0,01	−3,7
	0,005	0,04	−11,1
KCl	0,005	0,01	−0,3
	0,005	0,04	−1,0

83. Влияние поверхностно-активного вещества на межфазный скачок потенциала

Представлены значения скачка потенциала на поверхности раздела раствор 0,01 *M* HCl, покрытый пленкой миристиновой кислоты, — воздух (по Фрумкину).

Адсорбция $\Gamma_2 \cdot 10^{14}$, число молекул на 1 см²	0	2,14	2,57	2,99	3,42	3,85	4,28	4,71	5,13	5,56
E, мВ	0	163	201	242	282	316	354	382	381	382

84. Значения множителя 2,303 RT/F в интервале 0—100 °С

t, °С	2,303 RT/F, В	t, °С	2,303 RT/F, В	t, °С	2,303 RT/F, В
0	0,0542	22	0,0586	45	0,0631
5	0,0552	23	0,0588	50	0,0641
10	0,0562	24	0,0590	60	0,0661
15	0,0572	25	0,0592	70	0,0681
18	0,0578	30	0,0601	80	0,0701
19	0,0580	35	0,0611	90	0,0721
20	0,0582	40	0,0621	100	0,0740
21	0,0584				

85. Работа выхода электронов

Вещество	$W \cdot 10^{-5}$, Дж/моль	W, эВ	Вещество	$W \cdot 10^{-5}$, Дж/моль	W, эВ
Ag	4,15	4,3	Mo	4,15	4,3
Al	4,15	4,3	Na	2,22	2,3
Bi	4,34	4,5	Ni	4,34	4,5
C (графит)	4,53	4,7	Pb	3,86	4,0
Cd	3,86	4,0	Pt	4,73	4,9
Co	4,25	4,4	Sb	4,44	4,6
Cr	4,44	4,6	Sn	4,15	4,3
Cu	4,34	4,5	Ti	3,86	4,0
Fe	4,53 (4,20)	4,7 (4,35)	Tl	3,76	3,9
Ga	3,96	4,1	V	3,96	4,1
Hg	4,34	4,5	W	4,34	4,5
K	2,12	2,2	Zn	4,05	4,2
Mg	3,47	3,6	Zr	3,76	3,9
Mn	3,67	3,8			

86. Потенциалы нулевого заряда

Потенциалы нулевого заряда измерены по минимуму дифференциальной емкости диффузного слоя. [110] и т. д. — грань монокристалла

Металл	Среда (c, моль/л)	$E_{н.з}$, В	Металл	Среда (c, моль/л)	$E_{н.з}$, В
Ag [110]	NaF (0,01)	—0,77±0,02	Co	—	—0,40
Ag [100]	Na_2SO_4 (0,0025)	—0,65±0,02	Bi	KF (0,002)	—0,39±0,02
Ag [111]	KF (0,001)	—0,46±0,02	Fe	—	—0,35
Ag поликристалл	Na_2SO_4 (0,0025)	—0,67±0,03	Mo	—	—0,30
Cd	NaF (0,001)	—0,75±0,02	Ni	—	—0,25
Tl	NaF (0,001)	—0,71±0,04	W	—	—0,25
Ta	—	—0,70	Re	—	—0,20
Ti	—	—0,70	Hg	NaF (0,001)	—0,19±0,01
Ga (ж.)	—	—0,65	Sb	$KClO_4$ (0,002)	—0,15±0,02
In	NaF (0,003)	—0,65±0,02	Rh	—	0,00
Nb	—	—0,60	Ir	—	0,05
Zn	—	—0,60	Cu	NaF (0,01)	0,09±0,02
Pb	NaF (0,001)	—0,56	Pd	—	0,10
Cr	—	—0,45	Pt	—	0,15
Sn	Na_2SO_4 (0,00125)	—0,43±0,02	Au	—	0,20

87. Токи обмена

i_0 — ток обмена при равновесном потенциале; i_0° — при стандартном потенциале; z — число электронов.

Система	Электрод	Среда	t, °C	i_0, А/см²	i_0°, А/см²	Коэффициент обмена β
Ag^+, Ag	Ag	10 г $AgNO_3$ в 100 мл H_2O	Комн.	$1{,}1\cdot10^{-2}$	—	—
		$Ag(CN)_2^-$	25	—	$2{,}8\cdot10^{-3}$	0,5
Cd^{2+}, Cd	Cd	15 г $CdSO_4$ в 100 мл H_2O	Комн.	$1{,}4\cdot10^{-2}$	—	0,5
		$CdSO_4$	25	—	$2\cdot10^{-2}$	0,5
Co^{2+}, Co	Co	0,1—2,0 н. $CoCl_2$	Комн.	$8\cdot10^{-7}$	—	0,5
		$CoSO_4$	25	—	$1{,}3\cdot10^{-5}$	0,3
Cu^{2+}, Cu	Cu	2,0 н. $CuSO_4$	Комн.	$2\cdot10^{-5}$	—	—
		1 *m* $CuSO_4$	»	$2\cdot10^{-5}$	—	0,5
		0,001 *m* $Cu(NO_3)_2$	20	10^{-9}	—	$\beta z = 0{,}22$
		0,01 *m* $Cu(NO_3)_2$	20	10^{-11}	—	$\beta z = 0{,}55$
		0,1 *m* $Cu(NO_3)_2$	20	10^{-10}	—	$\beta z = 0{,}76$
		$CuSO_4$	25	—	$5\cdot10^{-2}$	0,25
Fe^{2+}, Fe	Fe	2,0 н. $FeSO_4$	Комн.	10^{-8}	—	—
		1,0 *m* $FeSO_4$	»	10^{-8}	—	0,5
		$FeSO_4$	25	—	$5\cdot10^{-5}$	0,5
Hg_2^{2+}, Hg	Hg	$2\cdot10^{-3}$ н. $Hg_2(NO_3)_2$ в 2,0 н. $HClO_4$	Комн.	$5\cdot10^{-1}$	—	—
		2,0 н. $Hg_2(ClO_4)_2$	25	—	15	0,3

Продолжение

Система	Электрод	Среда	t, °C	i_0, А/см²	i_0°, А/см²	Коэффициент обмена β
Ni^{2+}, Ni	Ni	0,1 н. $NiSO_4$ в 2,0 н. H_2SO_4 (pH = 0,0)	Комн.	$8,3\cdot10^{-10}$	—	0,35—0,40
		0,5 *m* $NiSO_4$ в ацетатном буферном растворе (pH = 6,7)	20	10^{-5}	—	$\beta z = 0,56$
		1,0 *m* $NiSO_4$	Комн.	$2\cdot10^{-9}$	—	—
Pb^{2+}, Pb	Pb	$2\cdot10^{-3}$ н. $Pb(NO_3)_2$ в 1,0 н. KNO_3	Комн.	10^{-1}	—	—
Zn^{2+}, Zn	Zn	$2\cdot10^{-3}$ н. $Zn(NO_3)_2$ в 1,0 н. KNO_3	Комн.	$7\cdot10^{-4}$	—	—
		1 *m* $ZnSO_4$	»	$2\cdot10^{-5}$	—	0,5
		2 н. $ZnSO_4$	»	$2\cdot10^{-5}$	—	—
		$ZnSO_4$	25	—	$7\cdot10^{-1}$	0,35
Ce^{4+} Ce^{3+}	Pt	H_2SO_4	25	—	$4\cdot10^{-5}$	—
Cr^{3+}, Cr^{2+}	Hg	KCl	25	—	$1\cdot10^{-6}$	—
Fe^{3+}, Fe^{2+}	Ir	H_2SO_4	25	—	$1,58\cdot10^{-3}$	—
	Pd	H_2SO_4	25	—	$6,3\cdot10^{-3}$	—
	Pt	H_2SO_4	25	—	$2,5\cdot10^{-3}$	—
	Rh	H_2SO_4	25	—	$1,74\cdot10^{-3}$	—
$Fe(CN)_6^{3-}$, $Fe(CN)_6^{4-}$	C (графит)	H_2SO_4	20	$5,8\cdot10^{-1}$	—	0,5
H^+, H_2	Au	H_2SO_4	25	—	$2,5\cdot10^{-4}$	—
	Cu	0,1 н. H_2SO_4	25	—	$8\cdot10^{-2}$	0,5
	Cu	0,1 н. H_2SO_4	20		$2,4\cdot10^{-2}$	0,5
	Hg	0,1 н. H_2SO_4	25	—	$7,95\cdot10^{-13}$	—
	Hg	1,0 н. H_2SO_4	Комн.	$5\cdot10^{-13}$	—	—
	Ni	H_2SO_4	25	—	$6,3\cdot10^{-6}$	—
	Pb	H_2SO_4	25	—	$5\cdot10^{-12}$	—
	Pt	H_2SO_4	25	—	$7,95\cdot10^{-4}$	—
	Pt	0,2 н. H_2SO_4	Комн.	$5\cdot10^{-3}$	—	—
	W	H_2SO_4	25	—	$1,26\cdot10^{-6}$	—

88. Перенапряжение при выделении водорода

Приведены константы *a* и *b* уравнения Тафеля $\eta = a + b \lg j$ в области плотностей тока $j = 10^{-2} \div 10^{-4}$ А/см² при 20 °C.

Металл	Электролит	Опытные данные[1]		Принятое значение *a*	
		a, В	*b*, В	Кислые среды	Щелочные среды
Ag	1 н. HCl	0,81—0,95	0,11—0,12	0,95	—
	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,60—0,95	0,11—0,12	0,65	—
Al	—	—	—	—	0,73
	—	—	—	1,00 (*b* = 0,10)	0,64 (*b* = 0,14)
Au	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,62	0,11—0,12	0,62	—
	1 н. HCl	0,61	0,11		
Bi	0,9 н.—1 н. HCl	1,0—1,11	0,11—0,12	1,05	—
	0,9 н. H_2SO_4	1,05	0,10		
	0,9 н. $HClO_4$	1,04	0,10		
Cd	0,5 н.—1,3 н. H_2SO_4	1,45	0,12—0,13	1,45	—
	—	—	—	—	1,05 (*b* = 0,16)
Cr	1,3 н. HCl; 2 н. H_2SO_4	0,80	0,13—0,11	0,80	—
Cu	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,77—0,87	0,10—0,13	0,80	—
	1 н. HCl	0,78	0,12		
	0,005 н.—0,15 н. NaOH	0,69—0,89	0,14—0,12	—	0,73
Fe	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,60—0,80	0,12	0,70	—
	0,5 н.—1 н. HCl	0,66—0,70	0,13—0,12		
	0,01 н.—0,1 н. NaOH	0,73—0,78	0,12	—	0,76
	4,8 н.—10,5 н. KOH	0,35—0,34	0,07	—	0,35
Hg	1 н.—2 н. H_2SO_4	1,35—1,41	0,11—0,12	1,40	—
	1 н. HCl	1,36—1,40	0,11—0,12		
	0,1 н.—0,2 н. LiOH	1,60—1,54	0,10	—	1,50
	0,1 н.—0,2 н. NaOH	1,46—1,40	0,10		
	0,002 н.—0,1 н. KOH	1,68—1,43	0,09		
	0,01 н.—0,02 н. $Ba(OH)_2$	1,17—1,22	0,04—0,06	—	1,20

Продолжение

Металл	Электролит	Опытные данные		Принятое значение a	
		a, В	b, В	Кислые среды	Щелочные среды
Ni	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,49—0,65	0,09—0,12	0,62	—
	1 н. HCl	0,71	0,12		
	1 н. $HClO_4$	0,71	0,12		
	0,001 н.—0,1 н. NaOH	0,72—0,65	0,10	—	0,65
Pb	0,1 н.—20 н. H_2SO_4	1,53—1,41	0,12—0,14	1.50	1,36 (b = 0,25)
	0,1 н.—10 н. HCl	1,57—1,19	0,12		
	1 н.—8,5 н. HBr	1,47—1,28	0,12—0,14		
	1 н.—11,6 н. $HClO_4$	1,54—1,45	0,12—0,13	—	1,36 (b = 0,25)
Pd	—	—	—		
	1 н. HCl; 2 н. H_2SO_4	0,38	0,11—0,12	0,38	—
Pt	—	—	—	—	0,53
	1 н.—2 н. H_2SO_4	0,1—0,46	0,10—0,13	0,23	—
	0.5 н. HCl	0,07	0,03	0,10	—
Sn	—	—	—	—	0,31
	2 н. H_2SO_4	0,93—1,24	0,10—0,13	1,22	—
	—	—	—	—	1,28 (b = 0,23)
Sb	2 н. H_2SO_4	0,90—0,93	0,10	0,93	—
Ta	1 н. H_2SO_4	0,84—1,17	0,12—0,13	1,00	—
	1 н. HCl	0,98	0,14		—
Ti	2 н. H_2SO_4	0,91—0,97	0.12—0,13	0,97	—
	—	—	—	—	0,83
Tl	—	1,55	0,14	1,45	—
	1,6 н. H_2SO_4	1,28	0,13		
	1 н. HCl				
W	0,5 н.—2 н. H_2SO_4	0,68—0,46	0,10—0,12	0,60	—
	0,5 н.—1 н. HCl	0,68—0,54	0,10—0,09		
Zn	2 н. H_2SO_4	1,24—1,37	0,12	1,28	—
	1 н. HCl	1,20	0,12		1,20
	—	—	—	—	

89. Свойства гидратированного электрона

Реакция гидратации электрона $e + aq \longrightarrow e \cdot aq$.

$$\Delta H^\circ_{гидр} = -163{,}59 \text{ кДж/моль}; \quad \Delta S^\circ_{гидр} = -7{,}95 \text{ Дж/(моль·К)}$$

$$\Delta G^\circ_{гидр} = -156{,}9 \text{ кДж/моль}$$

Термодинамические функции гидратированного электрона:

$\Delta H^\circ_f = -153{,}13$ кДж/моль; $S^\circ = 12{,}97$ Дж/(моль·К); $\Delta G^\circ_f = -156{,}9$ кДж/моль

Максимум оптического поглощения $\lambda = 720$ нм. Коэффициент молярного поглощения $\varepsilon = 15\,800$ л/(моль·см) при $\lambda = 720$ нм.

Продолжительность жизни:

$\geqslant 800$ мкс в реакции $e \cdot aq + H_2O \longrightarrow H + OH^-$

$\geqslant 300$ мкс в воде при pH = 7

Коэффициент диффузии $D = 4{,}5 \cdot 10^{-9}$ м²/с (±15 %). Молярная электрическая проводимость 177 См·см²/моль.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩЕСТВА

90. Парахоры атомов и связей (по Квейлу)

$$P = M\sigma^{1/4}/(\rho_ж - \rho_п)$$

где M — мольная масса, кг/моль; σ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м; $\rho_ж$ и $\rho_п$ — плотности жидкости и пара, кг/м³. Кроме системы составляющих P Квейла существует система Сегдена.

Атом, группа	$P \cdot 10^7$, Дж$^{1/4}$·м$^{5/2}$/моль	Атом, группа	$P \cdot 10^7$, Дж$^{1/4}$·м$^{5/2}$/моль
Азот	31,11	Мышьяк	96,01
Бор	38,23	Олово	114,68
Бром	120,90	Ртуть	122,68
Водород		Селен	112,00
при атоме N	22,22	Сера	87,30
» » O	17,78	Сурьма	120,90
» » C	27,56	Углерод	16,00
Иод	160,55	группа CH_2	71,12
Кислород	35,20	Фосфор	72,01
в перекисях	37,87	Фтор	46,40
Кремний	55,11	Хлор	98,15

Инкременты связей и циклов

Связь	$P \cdot 10^7$, Дж$^{1/4}$·м$^{5/2}$/моль	Цикл	$P \cdot 10^7$, Дж$^{1/4}$·м$^{5/2}$/моль	Цикл	$P \cdot 10^7$, Дж$^{1/4}$·м$^{5/2}$/моль
Двойная	33,78	Трехчленный	22,22	Шестичленный	1,42
Тройная	67,56	Четырехчленный	10,67	Семичленный	—7,11
Ионная	—2,84	Пятичленный	5,33		

91. Атомные рефракции (по Эйзенлору)

Атом, группа	$R_D \cdot 10^6$, м³/моль	Атом, группа	$R_D \cdot 10^6$, м³/моль
Азот		Кислород	
в алифатических аминах		в гидроксиле	1,525
первичных	2,322	в карбониле	2,211
вторичных	2,502	в эфире	1,643
третичных	2,840	в перекисях **	2,19
в ароматических аминах		Металлы	
первичных	3,213	в алкильных производных	
в аммиаке	2,48	олово	13,84
в имидах — третичных и $\begin{matrix} & C \\ N & \\ & \| \\ & C \end{matrix}$	3,776 *	ртуть	12,84
		свинец	18,33
		Мышьяк	
		в триалкиларсинах	11,55
		Сера	
		в тиоспиртах	7,81
в нитрилах ($N \equiv C$)	3,118 *	в группе SO_3 сульфитов	11,13
в уретанах (NCOOR)	2,32	в группе SO_4 сульфатов	11,18
в нитрогруппах алифатических соединений		в группе SO_3Cl хлорсульфонатов	16,37
первичных нитроалканах	6,718	Фосфор	
вторичных нитроалканах	6,618	в диалкиларилфосфатах	9,8—10,4
в нитрогруппах ароматических соединений	7,30	в триалкилфосфатах	9,14
Бром	8,865	Хлор	5,967
Водород	1,100		
Иод	13,900		

* С включением инкрементов двойной или тройной связи.

** Только для одного атома кислорода пероксида; второму приписывают значение R_D гидроксильного кислорода в гидропероксидах или эфирного в диалкилпероксидах.

Инкременты связей и циклов

Связь	$R_D \cdot 10^6$, м³/моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$, м³/моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$, м³/моль
Двойная	1,733	Трехчленный	0,71	C_6—C_{15}	—0,55
Тройная	2,398	Четырехчленный	0,48		

92. Поляризуемость молекул

Данные (в расчете на 1 молекулу) приведены для света с бесконечной длиной волны.

Вещество	$\alpha \cdot 10^{30}$, м³	Вещество	$\alpha \cdot 10^{30}$, м³	Вещество	$\alpha \cdot 10^{30}$, м³
Ar	1,626	HCl	2,561	N_2O	2,921
Br_2	6,430	HI	5,199	O_2	1,561
CCl_4	10,14—10,04	H_2O	1,444	O_3	2,845
CO	1,926	H_2S	3,642	SO_2	3,774
CO_2	2,594	He	0,203	$SiCl_4$	10,47
Cl_2	4,500	N_2	1,734	$SnCl_4$	13,04
H_2	0,802	NH_3	2,145	Xe	3,999
HBr	3,492	NO	1,695		

93. Парциальные мольные рефракции водных растворов солей

Приведены значения $R_0 \cdot 10^6$ (в м³/моль) по Гейдвеллеру для света с бесконечной длиной волны. В скобках даны значения R_D (в м³/моль) кристаллов.

Ионы	F^-	Cl^-	Br^-	I^-	OH^-	NO_3^-
H^+	—	8,22	11,56	17,61	—	—
Li^+	—	8,42	11,73	17,66	4,60	10,27
	(2,34)	(7,59)	(10,56)	(15,98)	—	—
Na^+	—	8,88	12,33	18,24	5,23	10,84
	(3,02)	(8,52)	(11,56)	(17,07)	—	—
K^+	4,88	10,93	14,40	20,32	7,25	12,84
	(5,16)	(10,85)	(13,98)	(19,75)	—	—
Rb^+	6,33	12,40	15,71	21,58	8,49	14,40
	(6,74)	(12,55)	(15,78)	(21,71)	—	—
Cs^+	—	14,92	18,35	—	—	16,91
	(9,51)	(15,25)	(18,46)	(24,27)	—	—

94. Ионные рефракции

Приведены значения $R_0 \cdot 10^6$ (в м³/моль) по Гейдвеллеру (Г), Полингу (П), Фаянсу (Ф) и Ергенсену (Е) для света с бесконечной длиной волны.

Ион	Г	П	Ф	Е
H^+	—0,09	0	—0,61	—
Li^+	+0,12	0,074	—0,32	0,1
Na^+	0,65	0 457	+0,20	1,1
K^+	2,71	2,12	2,25	3,0
Rb^+	4,10	3,57	3,79	4,8
Cs^+	6,71	6,15	6,53	7,3
NH_4^+	4,65	—	4,31	—
Ag^+	4,87	4,33	—	—
Be^{2+}	—0,62	0,20	—	0
Mg^{2+}	—0,60	0,238	—	0,5
Ca^{2+}	+1,60	1,19	0,71	2,3
Ba^{2+}	5,00	3,94	4,37	6,0
Zn^{2+}	1,24	0,72	0,61	2,3
Cd^{2+}	3,26	2,74	8,32	—
Hg^{2+}	3,66	3,14	5,60	—
F^-	2,17	2,65	2,60	1,8
Cl^-	8,22	9,30	9,05	8,1
Br^-	11,60	12,12	12,66	11,6
I^-	17,53	18,07	19,22	17,9
OH^-	4,42	—	5,15	—
ClO_3^-	12,16	—	—	—
NO_3^-	10,10	—	11,01	—

95. Дипольный момент молекул, диэлектрическая проницаемость и поляризация жидкостей

ε — относительная диэлектрическая проницаемость (безразмерная величина); ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума ($8{,}854 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²); P_∞ — экстраполированная к бесконечному разбавлению поляризация растворенного вещества.

Вещество	Вода			Трихлорметан (хлороформ)			Тетрахлорметан			Этанол			Ацетон		
$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	6,138 (1,84 Д)			3,936 (1,18 Д			0			5,571 (1,67 Д)			9,040 (2,71 Д)		
t, °C	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль
0	777,5	87,83	—	45,95	5,19	51,1	—	—	—	246,8	27,88	74,3	206,3	23,3	184
10	742,3	83,86	—	44,27	5,00	50,0	—	—	—	233,7	26,41	72,2	199,2	22,5	178
20	708,9	80,08	—	42,58	4,81	49,7	19,83	2,24	—	221,3	25,00	70,2	189,5	21,4	173
25	692,8	78,25	—	41,78	4,72	47,5	19,74	2,23	28,2	214,7	24,25	69,2	185,0	20,9	170
30	677,0	76,47	—	41,08	4,64	48,8	—	—	—	208,3	23,52	68,3	181,5	20,5	167
40	646,5	73,02	—	39,58	4,47	48,3	—	—	—	196,2	22,16	66,5	172,6	19,5	162
50	617,3	69,73	—	38,16	4,31	47,5	19,31	2,18	—	184,8	20,87	64,8	165,5	18,7	158

Вещество	Диэтиловый эфир			Бензол			Бромбензол			Хлорбензол			Нитробензол		
$\mu \cdot 10^{30}$, Кл·м	4,070 (1,22 Д)			0			5,104 (1,53 Д)			5,238 (1,57 Д)			13,110 (3,93 Д)		
t, °C	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м		$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ε	$P_\infty \cdot 10^6$, м³/моль
0	42,49	4,80	57,4	—	—	—	50,47	5,7	107,9	53,90	6,09	85,5	—	—	—
10	40,55	4,58	56,2	20,36	2,30	—	48,70	5,5	105,5	—	—	—	335,2	37,85	365
20	38,78	4,38	55,0	20,27	2,29	—	47,80	5,4	103,3	50,01	5,65	81,5	318,5	35,97	354
25	37,80	4,27	54,5	20,09	2,27	26,6	—	—	—	49,84	5,63	(80,4)	—	—	348
30	36,74	4,15	54,0	20,01	2,26	—	46,92	5,3	100,2	—	—	—	293,9	33,97	339
40	—	—	—	19,92	2,25	—	45,15	5,1	97,6	47,54	5,37	77,8	285,6	32,26	320
50	—	—	—	19,65	2,22	—	44,27	5,0	95,4	46,30	5,23	76,8	270,1	30,5	316

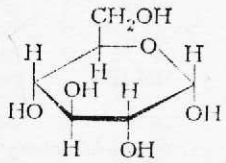
96. Удельное вращение оптически активных веществ

Оптическую активность вещества в индивидуальном виде или в растворе характеризуют величиной удельного вращения плоскости поляризации проходящего сквозь вещество поляризованного монохроматического света.

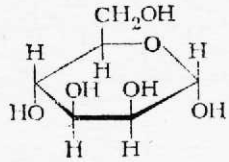
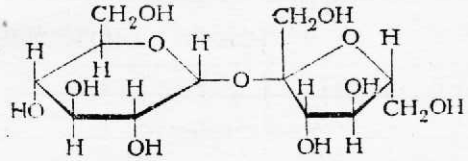
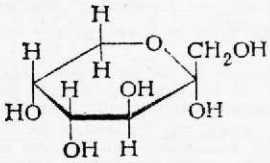
Оптически активными являются молекулы с элементом симметрии C_n (см. табл. 103). В отличие от асимметричных, такие молекулы называют диссимметричными или хиральными (от греч. χειρ — рука). Хиральность означает невозможность при помощи операций симметрии совместить полиэдр с его зеркальным изображением (отражение руки в зеркале).

Вращение по часовой стрелке считают правым (d), против нее — левым (l); звездочка указывает на равновесный угол мутаротации; D и L — стерические ряды.

Угол вращения при содержании растворенного вещества P г/100 мл $\alpha = [\alpha]_D^t\, Pl/100$, где $[\alpha]_D^t$ — удельное вращение при 20 °С, длине волны света $\lambda_D = 583{,}9$ нм (желтая линия натрия), толщине слоя раствора $l = 1$ дм и содержании вещества 1 г/1 мл.

Вещество	Эмпирическая формула	Структурная формула	Растворитель	t, °C	$[\alpha]_D^t$
d-Адреналин	$C_9H_{13}O_3N$	$(HO)_2C_6H_3CHOHCH_2NHCH_3$	0,3 M HCl	19,8	51,9
l-Адреналин			0,4 M HCl		—51,4
L-Аскорбиновая кислота	$C_6H_8O_6$	$OCOC(OH){=}C(OH)CHCHOHCH_2OH$	Метанол	23	48
D-Аскорбиновая кислота					—48,3
d-*втор*-Бутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	$C_2H_5CHOHCH_3$	Индивидуальн.	20	13,87
D-Винная кислота	$C_4H_6O_6$	$(CHOHCOOH)_2$	Вода	20	11,98
L-Винная кислота					—11,98
D-Глицериновый альдегид	$C_3H_6O_3$	$HOCH_2CHOHCHO$	Вода	15	21,2
L-Глицериновый альдегид				26	—20,9
α-D-Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$		Вода	20	52,7 *

Продолжение

Вещество	Эмпирическая формула	Структурная формула	Растворитель	t, °C	$[\alpha]_D^t$
α-*D*-Манноза	$C_6H_{12}O_6$		Вода	20	14,2 *
d-Никотин	$C_{10}H_{14}N_2$	$CH_3N(CH_2)_3CHC_5H_4N$	Вода	20	77
l-Никотин					—79,4
d-Никотин			Индивидуальн.	20	163,17
l-Никотин					—169,3
Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$		Вода	20	66,5
β-*D*-Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$		Вода	20	—92 *

97. Энергия (потенциал) ионизации и сродство атомов к электрону. Электроотрицательность атомов по Полингу

Z — номер элемента в Периодической таблице; I, II, ... — ступень ионизации; I — энергия (потенциал) ионизации; E — сродство к электрону; I, E представляют собой теплоту процесса ΔH; X — электроотрицательность, мера электроноакцепторной способности атома по отношению к принятой за единицу акцепторной способности Li.

Z	Элемент	I		II		III		$-E\cdot10^{-2}$, кДж/моль	X
		$I\cdot10^{-2}$, кДж/моль	I, эВ на 1 атом	$I\cdot10^{-2}$, кДж/моль	I, эВ на 1 атом	$I\cdot10^{-2}$, кДж/моль	I, эВ на 1 атом		
1	H	13,12	13,60	—	—	—	—	0,73	2,15
2	He	23,73	24,59	52,51	54,42	—	—	—0,21	—
3	Li	5,20	5,39	72,99	75,64	117,7	122	0,57	1
5	B	8,01	8,30	24,27	25,16	36,7	38	0,29	2,0
6	C	10,86	11,26	23,53	24,38	46,3	48	1,23	2,6
7	N	14,02	14,53	28,57	29,60	45,3	47	—0,20	3,0
8	O	13,14	13,62	33,89	35,12	53,1	55	1,42	3,5
9	F	16,81	17,42	33,76	34,98	60,8	63	3,33	3,9
11	Na	4,95	5,14	45,65	47,30	69,5	72	0,33	0,9
12	Mg	7,38	7,65	14,51	15,04	101,3	105	—0,21	1,2
13	Al	5,78	5,99	18,17	18,83	27,0	28	0,48	1,5
14	Si	7,87	8,15	15,77	16,34	31,8	33	1,78	1,9
15	P	10,12	10,49	19,04	19,73	28,9	30	0,77	2,1
16	S	10,00	10,36	22,53	23,35	33,8	35	2,00	2,6
17	Cl	12,51	12,97	22,97	23,80	38,6	40	3,49	3,0
20	Ca	5,90	6,11	11,45	11,87	49,2	51	—1,86	1,0
32	Ge	7,62	7,90	15,38	15,94	32,8	34	1,68	2,0
33	As	9,47	9,82	17,97	18,62	27,0	28	1,03	2,0
34	Se	9,41	9,75	20,45	21,19	32,8	34	1,95	2,4
35	Br	11,42	11,84	21,04	21,80	34,7	36	3,25	2,9
37	Rb	4,03	4,18	23,52	24,37	38,6	40	0,61	0,8
38	Sr	5,49	5,69	10,64	11,03	(41,5)	(43)	—1,46	1,0
50	Sn	7,09	7,34	14,12	14,63	28,9	30	0,99	1,8
52	Te	8,69	9,01	17,95	18,6	28,9	30	≈1,93	2,1
53	I	10,08	10,45	18,43	19,10	(29,9)	(31)	2,97	2,6
56	Ba	5,03	5,21	96,54	10,00	(35,7)	(37)	—0,46	0,9

98. Энергия (потенциал) ионизации и сродство к электрону молекул и радикалов

I — энергия (потенциал) ионизации; E — сродство к электрону; I, E тождественны теплоте процесса ΔH.

Молекула или радикал	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	$-E$, кДж/моль	Молекула или радикал	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	$-E$, кДж/моль	Молекула или радикал	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	$-E$, кДж/моль
CH	≈10,1	2,51	Адамантан (трициклодекан)	8,93		NO	8,94	0,02
CH_2	10,03	—0,92				NO_2	9,44	2,99
CH_3	9,50	1,01	H_2	14,89	—3,45	O_2	11,65	0,42
CH_4	12,27	—	H_2O	12,17	—4,82	OH	12,72	1,77
CD_4	12,42	—	HF	15,22	—	Si_2	7,14	—
$CH_2{=}CH_2$	10,14	—1,75	HCl	12,30	—	SiO	10,14	—
C_2H_5	8,09	0,87	HBr	11,21	—	SiO_2	11,29	—
$CH_2{=}C{=}CH_2$	9,7	≈2,1	HI	10,02	—	SiH_4	11,00	—
$CH_3CH{=}CH_2$	9,39	—	BO	13,03	2,99	P_2	≈10	—
			B_2H_6	11,01	—	PH	10,23	0,90
$CH_3CH_2CH_2$	7,82	0,67	C_2	11,48	3,18	PH_3	9,77	—
$CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_3$	9,26	—	CO	13,52	—	S_2	9,03	≥1,93
C_5H_{11}	8,20	—	CO_2	13,31	<0	SH	10,13	2,24
C_5H_{12}	10,13	1,33	CF	8,60	≥3,18	SO	11,68	1,05
C_6H_5	7,82	2,12	CF_2	11,29	2,56	SO_2	11,91	1,16
C_6H_5O	8,49	1,16	CCl	12,45	—	Br_2	10,16	2,42
C_6H_5OH	8,20	—1,17	N_2	15,03	—2,70	F_2	15,15	2,97
$C_6H_5CH_3$	8,51	≥—1,25	NH	12,64	0,21	Cl_2	11,08	2,30
C_6H_6	8,92	—1,06	NH_2	11,00	≈0,9	ClO_3	11,29	2,73
C_6H_5CHO	9.18	0,41	NH_3	9,79	—	As_2	10,62	—
$C_{10}H_8$	7,84	0,14	ND_3	≈10	—	AsH_3	9,71	—

99. Нормированные волновые функции водородоподобных атомов

ψ — волновая функция; Z — атомный номер; $\rho = \frac{Zr}{a_0}$, где r — расстояние от ядра; $a_0 = \frac{\hbar^2 \cdot 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} = 0{,}053$ нм — первый радиус Бора (см табл. 2)

n	l	m	ψ
1	0	0	$\psi_{1s} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} e^{-\rho}$
2	0	0	$\psi_{2s} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} (2-\rho)\, e^{-\rho/2}$
2	1	0	$\psi_{2p_z} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \rho e^{-\rho/2} \cos\vartheta$
2	1	±1	$\psi_{2p_x} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \rho e^{-\rho/2} \sin\vartheta \cos\varphi$
			$\psi_{2p_y} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \rho e^{-\rho/2} \sin\vartheta \sin\varphi$
3	0	0	$\psi_{3s} = \frac{2}{81\sqrt{3\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} (27 - 18\rho + 2\rho^2)\, e^{-\rho/3}$

100. Квантовые числа и термы атомов

Спектральное (и, соответственно, энергетическое) состояние атомов описывают термами. l_i и s_i — орбитальное и спиновое квантовые числа, УМ — угловой момент или механический момент количества движения. Взаимодействие УМ незаполненных орбиталей создает спектральные мультиплеты M (дублеты, триплеты и т. д. и — для общности — синглеты). Проекции всех УМ на ось магнитного поля принимают квантованные значения. Посредством векторного сложения находят $L = \sum l_i$, $S = \sum s_i$ и набор полных (внутренних) квантовых чисел $J = L + S, L + S - 1, \ldots, L - S$ $(L > S)$, что определяет возможные энергии атома. Из полных значений механических УМ получают магнитный момент атома. Мультиплетность спектрального состояния $M = 2S + 1$.

В атоме водорода или водородоподобном атоме с одним электроном каждому значению $l = 0, 1, 2, 3 \ldots$ сопоставляют буквенное обозначение $s, p, d, f \ldots$ В много-

электронных атомах каждому $L = 0, 1, 2, 3 \ldots$ сопоставляют обозначения S, P, D, $F \ldots$

Терм записывают в виде $^{M}\square_{J}$ или (что то же) $^{2S+1}\square_{J}$. Рамкой обозначен буквенный символ для L. У многоэлектронных атомов в случае единственного электрона вне заполненных оболочек термы получают вид термов атома водорода. Конфигурация электронов натрия приводит к терму S, а хлора — к терму P.

Существуют единственное основное (стабильное) состояние и множество возбужденных (нестабильных) состояний электронной оболочки атома.

Терм основного состояния определяют на основании правил Хунда: а) электроны заполняют наибольшее число имеющихся уровней, б) из всех возможных термов терм основного состояния обладает максимальной мультиплетностью; в) при одинаковой мультиплетности основным является терм с наибольшим L.

В конфигурациях с менее чем наполовину заполненными оболочками стабилен атом с наименьшим J и с более чем наполовину — с наибольшим J.

Различают эквивалентные и неэквивалентные электроны. У первых n и l равны ($2s^2$ и $2p^2$), у вторых различны ($2s$ и $2p^3$), как это может быть в атоме углерода.

Возможные мультиплетные термы атомов с 1, 2, 3, 4 и 5 электронами на незаполненной оболочке p

m_l — магнитное квантовое число.

Число электронов	Варианты	m_l			L	S	M	T	Терм основного состояния
		+1	0	−1					
1	а	|	—	—	1	$^1/_2$	2	^2P	^2P
	б	—	|	—	0	$^1/_2$	2	^2S	
2	а	⇅	—	—	2	0	1	^1D	
	б	↑	↑	—	1	1	3	^3P	^3P
	в	—	⇅	—	0	0	1	^1S	
3	а	⇅	|	—	2	$^1/_2$	2	^2D	
	б	↑	↑	↑	0	$^3/_2$	4	^4S	^4S
	в	|	⇅	—	1	$^1/_2$	2	^2P	
4	а	⇅	⇅	—	2	0	1	^1D	
	б	⇅	↑	↑	1	1	3	^3P	^3P
	в	↑	⇅	↑	0	1	3	^3S	
5	а	⇅	⇅	|	1	$^1/_2$	2	^2P	^2P
	б	⇅	|	⇅	0	$^1/_2$	2	^2S	

101. Термы двухатомных молекул

При объединении атомов в молекулу возникают взаимодействия электронов с ядрами, вследствие чего образуются связывающие, разрыхляющие (обозначаются звездочкой) и несвязывающие уровни энергии. Заселение энергетических уровней, образованных атомами первых рядов Периодической системы, зависит от взаимодействия орбиталей σ_s—σ_z. При отсутствии взаимодействия заселение происходит в следующем порядке:

$$\sigma(1s)^2 < \sigma^*(1s)^2 < \sigma(2s)^2 < \sigma^*(2s)^2 < \sigma(2p_z)^2 < \pi(2p_x)^2 = \pi(2p_y)^2 < \pi^*(2p_x)^2 =$$

$$= \pi^*(2p_y)^2 < \sigma^*(2p_z)^2 \ldots$$

При заметном взаимодействии $\sigma(2p_z)^2$ занимает более высокий уровень, чем $\pi(2p_x)^2 = \pi(2p_y)^2$.

Обозначения квантовых чисел МО линейных молекул:

АО	МО	АО	МО	АО	МО
s, p_z, d_{z^2}	σ	$p_x p_y, d_{xz}, d_{yz}$	π	$d_{xy}, d_{x^2-y^2}$	δ

Обычно, но не всегда связь осуществляется парой электронов с антипараллельными спинами. Но, например, в молекуле H_2^+ — только один связывающий электрон, в молекуле O_2 кроме электронов с антипараллельными спинами существует и пара с параллельными на МО $\pi^*(2p_x) = \pi^*(2p_y)$, создающими парамагнетизм молекулы.

Сложение орбитальных квантовых чисел электронов дает проекцию Λ на межъядерную ось. Состояния $\Lambda = 0, 1, 2, 3, \ldots$ обозначают буквами Σ, Π, Δ, Φ.

Полное квантовое число молекулы $\Omega = |\Lambda + \Sigma|$ (сложение алгебраическое, тогда как Λ и Σ по отдельности получены векторным сложением). Мультиплетность терма молекулы $M = 2S + 1$.

Вращение молекулы создает ядерный УМ, который сочетается с орбитальным и спиновым УМ (см. табл. 100). Ядерный УМ зависит от симметрии молекулы. Поэтому в терм молекулы вводят дополнительные индексы. Если сумма всех l_i — четная, то справа приписывают индекс g (немецк. gerade—четный), при нечетной сумме l_i — индекс u (ungerade — нечетный). Кроме того, волновая функция при отражении в плоскости, перпендикулярной оси молекулы, может не менять или менять свой знак. Первое обозначают справа надстрочным знаком $^+$, второе — знаком $^-$. Каждая пара атомных термов дает группу молекулярных термов, например в случае гетероядерных или состоящих из разных изотопов молекул.

Если молекулы состоят из одинаковых атомов и ионов этих молекул, то в тех случаях, когда исходные атомные состояния были различными, число термов удваивается.

Связывающие орбитали σ являются g-орбиталями, несвязывающие — u-орбиталями. Несвязывающие π-орбитали, обладающие симметрией инверсии, являются g-орбиталями, а связывающие — u-орбиталями.

Возбуждение электрона в молекуле приводит к изменению его квантового числа. Связывающий электрон может стать несвязывающим или разрыхляющим, несвязывающий — разрыхляющим (возможно и превращение несвязывающего и разрыхляющего электрона в связывающий). Переходы состояний молекул разрешены правилами отбора: $+ \to +$, $- \to -$, $\Delta\Lambda = \pm 1$ или 0, $\Delta\Sigma = 0$, $\Delta\Omega = \pm 1$ или 0, $g \to u$ и $u \to g$. У гомоядерных молекул переход без изменения квантового вращательного числа молекулы запрещен. Если электрон, не участвующий в химической связи, переходит на более высокий уровень ($p\sigma$ становится $p\pi$ электроном), то такой переход обозначают $\rho\pi$; если электрон участвует в связи, то такой переход обозначают $\pi\pi^*$.

Вид терма например молекулы водорода $^1\Sigma_g^+$ дает следующую информацию: полный орбитальный момент относительно оси молекулы равен нулю; спины электронов антипараллельны; сумма всех l_i равна нулю.

Термы газообразных двухатомных молекул в основном электронном состоянии

См. также табл. 107.

Молекула	Терм	Молекула	Терм	Молекула	Терм
$^{107}Ag^{35}Cl$	$^1\Sigma^+$	CoCl	$^3\Sigma$	MgCl	$^2\Sigma$
$^{107}Ag^{127}I$	$^1\Sigma^+$	CrH	$^6\Sigma^+$	MgO	$^1\Sigma^+$
AgO	$^2\Pi$	CrO	$^5\Pi$	NF	$^3\Sigma^-$
$Al^{35}Cl$	$^1\Sigma^+$	Cu_2	$^1\Sigma_g^+$	NH	$^3\Sigma^-$
AsO	$^2\Pi_{1/2}$	$^{63}Cu^{35}Cl$	$^1\Sigma^+$	NaO	$^2\Pi$
$^{11}B_2$	$^3\Sigma_g^-$	$^{63}Cu^{127}I$	$^1\Sigma^+$	NiH	$^2\Delta_{5/2}$
$^{11}B^{79}Br$	$^1\Sigma^+$	$Cu^{16}O$	$^2\Pi_{3/2}$	PdH	$^2\Sigma^+$
^{11}BH	$^1\Sigma$	F_2^+	$^2\Pi_g$	PtO	$^1\Sigma$
BS	$^2\Sigma^+$	$F^{35}Cl$	$^1\Sigma^+$	$^{32}S_2$	$^3\Sigma_g^-$
$^9Be^{35}Cl$	$^2\Sigma$	$F^{16}O$	$^2\Pi$	S_2^+	$^2\Pi_g$
$^9BeH^+$	$^1\Sigma^+$	FeCl	$^6\Sigma$	SeO	$^3\Sigma^-$
^9BeO	$^1\Sigma^+$	He_2^+	$^2\Sigma_u^+$	Si_2	$^3\Sigma_g^-$
BrO	$^2\Pi_{3/2}$	Hg_2	$^1\Sigma_g^+$	SiCl	$^2\Pi_{1/2}$
CCl	$^2\Pi_{1/2}$	^{39}KBr	$^1\Sigma^+$	SiH	$^2\Pi$
CH	$^2\Pi$	$K^{35}Cl$	$^1\Sigma^+$	SiO	$^1\Sigma^+$
CS	$^1\Sigma^+$	KF	$^1\Sigma^+$	SiS	$^1\Sigma^+$
$^{40}Ca_2$	$^1\Sigma_g^+$	Li_2	$^1\Sigma_g^+$	TiN	$^2\Sigma$
^{40}CaH	$^2\Sigma$	$^6Li^{35}Cl$	$^1\Sigma$	TiO	$^3\Delta$
CaO	$^1\Sigma^+$	^7LiH	$^1\Sigma^+$	ZnF	$^2\Sigma$
^{35}ClO	$^2\Pi$	Mg_2	$^2\Sigma^+$	ZnH	$^2\Sigma^+$

102. Молекулярные диаграммы по Хюккелю (ЛКАО—МОХ)

Электроны в состоянии p_z образуют в молекулах органических веществ с сопряженными связями π-систему с общей узловой плоскостью. ЛКАО (линейная комбинация атомных орбиталей) описывает систему набором атомных волновых функций $\Psi_{мол} \equiv \Sigma c_i \psi_{ат}$, где c_i определяют вклады атомных орбиталей в молекулярную. Прочность каждой связи определяет сумма энергий: 1) кулоновской — α (взаимодействие электронов с ядерным остовом, или энергия локализации), 2) обменной — β (взаимодействие электронных облаков, или энергия делокализации), 3) перекрывание электронных облаков — s.

Постулаты теории МОХ (молекулярные орбитали по Хюккелю); между собой порознь равны все α и все β, все s равны нулю, энергия связи $\varepsilon_i = \alpha - x\beta$.

Обозначения на молекулярных диаграммах: 1) полный порядок связи (указывается на связях между соседними атомами углерода) $P_{ij} = n_{C-H} + \Sigma \nu p_{ij}$, где n — число σ-связей; ν = 0, 1, 2 — число образующих π-связи электронов на данной МО (Ψ_i); $p_{ij} = c_i c_j$ — парциальный порядок связи — мера взаимодействия электронных облаков соседних атомов i и j, причем меньшие порядки связи соответствуют большим межатомным расстояниям; 2) индекс свободной валентности $F = 4{,}732 - P_{ij}$ (изображен стрелкой с числом над символом углерода); 3) электронная плотность на атоме углерода $\Sigma \nu c_i^2$ (число около символа углерода).

В качестве примера на рис. 102.1 показаны уровни энергии, отвечающие связывающим и разрыхляющим МО бутадиена по Хюккелю; на рис. 102.2 схематически изображена симметрия электронных облаков и узлы возможных МО бутадиена.

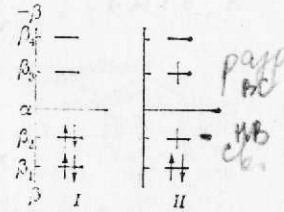


Рис. 102.1. Уровни π-орбиталей бутадиена и их заселение: I — основное, II — возбужденное состояние.

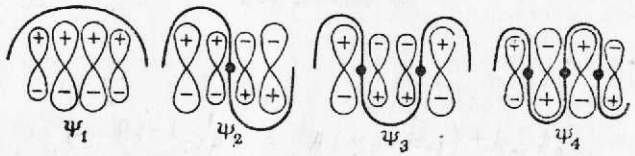


Рис. 102.2. Распределение электронной плотности и узловые линии орбиталей бутадиена. Узлы отмечены точками, знаки + и — обозначают фазовые состояния электронной плотности. Рост энергии системы соответствует увеличению числа узлов.

Молекулярная диаграмма бутадиена:

в основном состоянии

$$\overset{0{,}842}{\uparrow}CH_2 \overset{0{,}890}{=\!=} \overset{0{,}395}{\uparrow}CH \overset{0{,}447}{-\!-} \overset{0{,}395}{\uparrow}CH \overset{0{,}890}{=\!=} \overset{0{,}842}{\uparrow}CH_2$$

в возбужденном состоянии

$$\overset{1{,}285}{\uparrow}CH_2 \overset{0{,}445}{=\!=} \overset{0{,}618}{\uparrow}CH \overset{0{,}667}{-\!-} \overset{0{,}618}{\uparrow}CH \overset{0{,}445}{=\!=} \overset{1{,}285}{\uparrow}CH_2$$

В возбужденном состоянии концевые атомы углерода более активны, чем в основном. Электронная плотность на атомах углерода равна 1 (здесь не указана).

Молекулярные диаграммы различных соединений изображены на рис. 102.3—102.15.

102.3. Бензол.

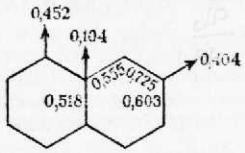


Рис. 102.4. Нафталин.

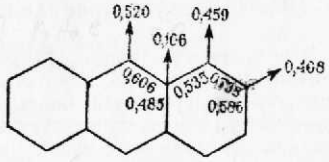


Рис. 102.5. Антрацен.

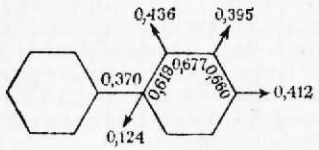


Рис. 102.6. Дифенил.

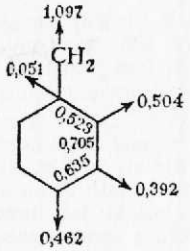


Рис. 102.7. Бензил.

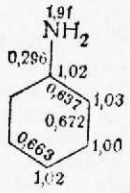


Рис. 102.8. Анилин.

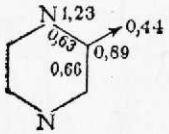


Рис. 102.9. Пиразин.

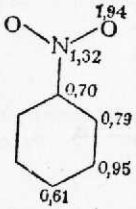


Рис. 102.10. Нитробензол.

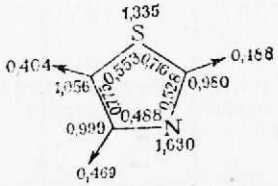


Рис. 102.11. Тиазол.

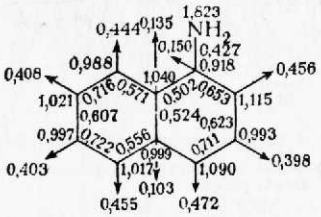


Рис. 102.12. α-Нафтиламин.

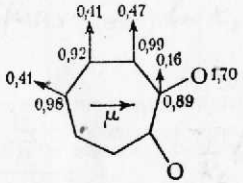


Рис. 102.13. Трополон. $\mu = 14{,}7 \cdot 10^{-30}$ Кл·м(4,4 Д).

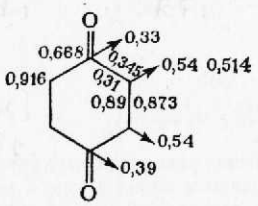


Рис. 102.14. *n*-Бензохинон.

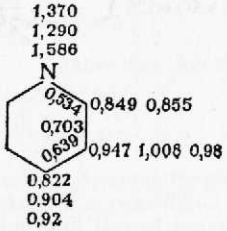
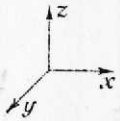


Рис. 102.15. Пиридин.

103. Симметрия молекул

В предположении, что все атомы в молекуле занимают неизменные положения, молекулу можно изобразить в виде полиэдра (многогранника) с атомами в вершине.

В системе декартовых координат центр масс помещают в начале координат, координаты z и x находятся в плоскости чертежа, координата y направлена из плоскости чертежа. Главную ось вращения (ось высшего порядка n, проходящую через наибольшее число атомов, совмещают с осью z:



Симметрию полиэдра характеризует совокупность его поворотов вокруг воображаемых осей, проходящих через центр масс полиэдра, и отражений атомов в воображаемых плоскостях, проходящих через оси вращения или перпендикулярных к ним. При вращениях центр масс (точка) не меняет положения, поэтому симметрию называют точечной. Повороты и отражения, приводящие к неотличимым от начальных ориентаций атомов в выбранной системе координат, называют преобразованиями или операциями симметрии, а ось и плоскости — элементами симметрии. Существование элементов симметрии обнаруживается лишь посредством операций симметрии.

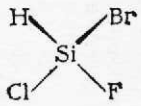
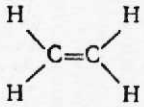
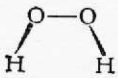
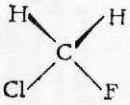
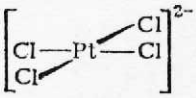
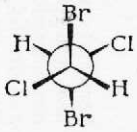
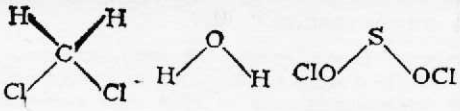
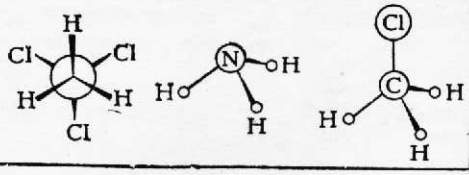
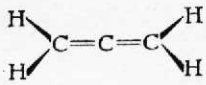
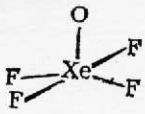
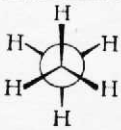
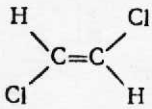
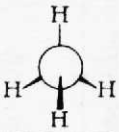
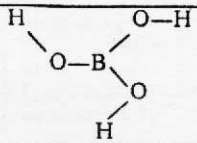
Совокупность всех элементов симметрии, или набор всех операций симметрии, которые можно провести над молекулой, образует точечную группу.

Элементы и операции симметрии

Элемент симметрии	Обозначение элемента симметрии	Операция симметрии
Центр симметрии или центр инверсии	C_i или i	Прямолинейный переход от любого атома через центр симметрии на равное расстояние по другую сторону от центра к такому же атому. Иначе, инверсия, при которой половина молекулы получается из другой половины
Ось собственного вращения	C_n	Поворот полиэдра по часовой стрелке вокруг оси C_n на угол $2\pi/n$ (или $360°/n$)
Горизонтальная плоскость зеркального отражения (зеркальная плоскость), перпендикулярная оси C_n (с наибольшим n)	σ_h	Отражение в плоскости симметрии
Вертикальная зеркальная плоскость, содержащая ось C_n	σ_v	То же
Диагональная зеркальная плоскость, содержащая ось C_n; плоскость делит пополам угол между двумя горизонтальными осями C_2, перпендикулярными оси C_n	σ_d	»
Ось несобственного вращения или зеркально-поворотная ось	S_n	Поворот по часовой стрелке вокруг оси S_n на угол $2\pi/n$ и последующее отражение в плоскости, перпендикулярной этой оси. Иначе, вращение C_n с отражением в плоскости σ_h (несобственное вращение, а также альтернантность)
Тождественность	$E \equiv C_1$	Операция C_1, т. е. вращение на угол $2\pi/1$

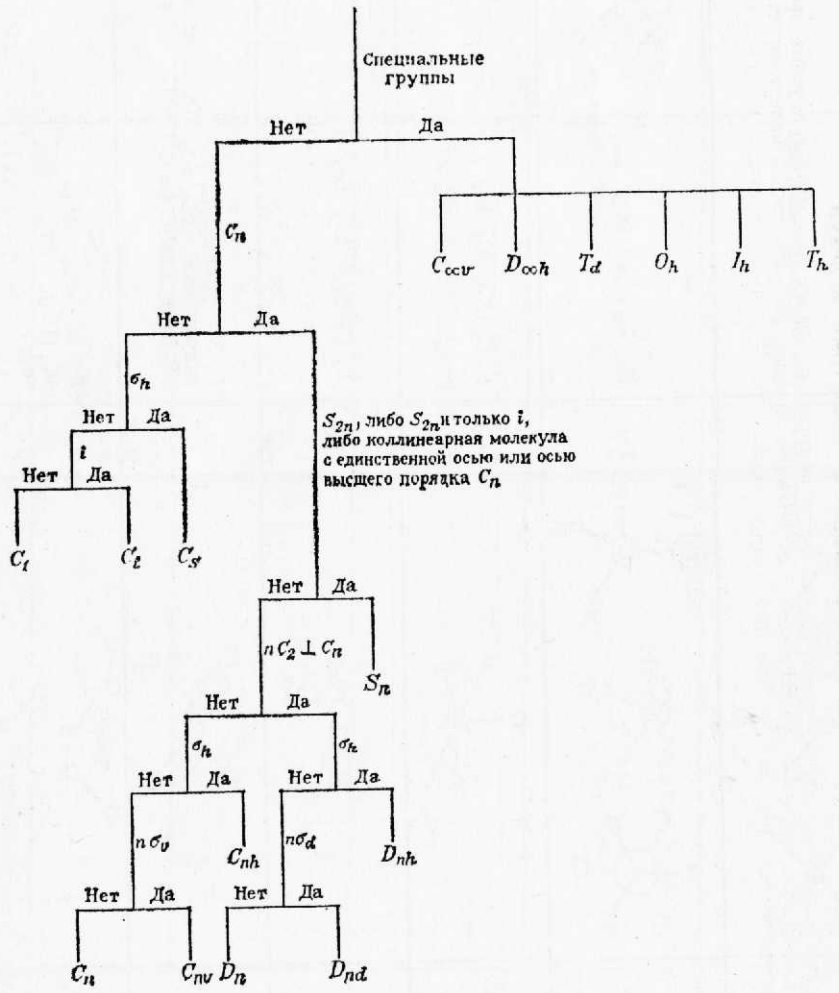
Некоторые часто встречающиеся группы симметрии

Молекулы изображены схематически.

Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры	Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры
C_1	E		D_{2h}	E, C_2, $2C_2$, σ_h, $2\sigma_v$, i	 
C_2	E, C_2		D_{3h}	E, C_3 (S_3), $3C_2$, σ_h, $3\sigma_v$	
C_s	E, σ		D_{4h}	E, C_4 (C_2, S_4), $4C_2$, σ_h, $2\sigma_v$, $2\sigma_d$, i	
C_i	E, i		D_{5h}	E, C_5 (S_5), $5C_2$, σ_h, $5\sigma_v$	
C_{2v}	E, C_2, $2\sigma_v$		$D_{\infty h}$	E, C_∞ (S_∞), ∞C_3, σ_h, $\infty\sigma_v$, i	H—C≡C—H
C_{3v}	E, C_3, $3\sigma_v$		D_{2d}	E, C_2 (S_4), $2C_2$, $2\sigma_d$	
C_{4v}	E, C_4 (C_2), $4\sigma_v$		D_{3d}	E, C_3 (S_6), $3C_2$, $3\sigma_d$, i	
$C_{\infty v}$	E, C_∞, $\infty\sigma_v$	H—Cl C⋯O	D_{5d}	E, C_5 (S_{10}), $5S_3$, $5\sigma_d$, i	
C_{2h}	E, C_2, σ_h, i		T_d	E, $3C_2$ (взаимноперпендикулярные), $4C_3$, $6\sigma_d$, $3S_2$ (содержащие ось C_2)	
C_{3h}	E, C_3 (S_3), σ_h		O_h	E, $3C_4$ ($3C_2$, $3S_4$), $4C_2$ ($4S_6$), $3\sigma_h$, $6C_2$, $6\sigma_d$, i	

Отнесение молекул к точечной группе (по Шенфлису)

Отнесение производят по схеме:



Специальные группы: точечные группы $C_{\infty v}$, $D_{\infty h}$, T_d и T_h (тетраэдрические), O_h (октаэдрические), I_h (правильные додекаэдрические, т. е. двенадцатигранные, и икосаэдрические, т. е. двадцатигранные).

104. Гибридизация и симметрия молекул

AX_mE_n — символ молекулы, где A — центральный (координирующий) атом; X — координируемые частицы: E — неподеленные электронные пары (по Гиллеспи), участвующие в образовании пространственной формы молекулы; индексы m и n — числа связывающих и неподеленных пар. К. ч. — координационное число; АО — атомные орбитали, участвующие в гибридизации; Et — этил.

У молекулы воды два облака двух электронов E и два облака O—H образуют гибридизированный тетраэдр. У линейных несимметричных молекул точечная группа $C_{\infty v}$, у симметричных — $D_{\infty h}$.

Распространенные углы между связями:

К. ч.	2	3	4	4
Форма молекулы	Линейная	Изогнутая	Плоская треугольная	Плоская квадратная	Тетраэдр
Угол, градусы	180	60—180	120	90	109° 28′

К. ч.	АО	Число электронных пар m	Число электронных пар n	Форма молекулы	Примеры	Точечная группа симметрии
2	sp, dp	2	0	Линейная AX_2	$CdBr_2$, $[Ag(NH_3)_2]^+$, $[Ag(CN)_2]^-$	$D_{\infty h}$
					OH^-, CN^-	$C_{\infty v}$
2	p^2, dp	2	2	Изогнутая AX_2E_2	H_2S (92°), H_2O (104° 31′), NO_2^-, $TlCl_2$	C_{2v}
3	sp^2, dp^2, p^3	3	0	Треугольная плоская AX_3	NO_3^- (120°), BF_3, $GaCl_3$, $In(CH_3)_3$	D_{3h}
3	p^3, d^2p	3	1	Тригональная пирамида AX_3E	H_3O^+, NH_3, ClO_3^-, SO_3^{2-}, AsH_3, Sb_2O_3	C_{3v}
4	sp^3, d^3s	4	0	Тетраэдр	CH_4, SiF_4, NH_4^+, ClO_4^-, $[Ni(Et_3P)_2(NO_2)_2]$, $MnCl_4^{2-}$	T_d
4	dsp^2, d^2p^2	4	2	Плоская квадратная AX_4E_2	$[Ni(CN)_4]^{2-}$, $[PtCl_4]^{2-}$, $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ (90°)	D_{4h}
5	dsp^3	5	0	Тригональная бипирамида AX_5	$[Ni(Et_3P)_2]Br_3$	C_{3v}
5	dsp^3	5	0	Тригональная бипирамида	PCl_5, $NbBr_5$	D_{3h}
6	d^4sp	6	0	Тригональная призма	$[AlF_6]^{3-}$, $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$	D_{3v}
6	d^2sp^3	6	0	Октаэдр AX_6	$[Sn(OH)_6]^{2-}$, $[Mn(CN)_6]^{4-}$, $[SiF_6]^-$ (90 и 180°)	O_h

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

105. Чисто вращательные спектры

Молекула, являющаяся постоянным диполем (группы симметрии C_n, C_s и C_{2v}), дает чисто вращательный спектр. У таких молекул разрешены переходы $\Delta j = \pm 1$ ($\Delta j = +1$ при поглощении и $\Delta j = -1$ при испускании света).

Волновое число уровня, на который переходит молекула, $\omega = 2B_e j$, где B_e — вращательная постоянная (см. табл. 107). В длинноволновой, инфракрасной и микроволновой областях спектра появляются группы равноотстоящих друг от друга линий. Вследствие заметного различия моментов инерции изотопных молекул в спектре обнаруживаются группы линий, отвечающих разным изотопам.

Волновые числа вращательных спектров некоторых молекул $\omega \cdot 10^{-2}$ в м$^{-1}$

j — вращательное квантовое число нижнего энергетического уровня.

j	CO	HCl	HF	$H^{12}C^{14}N$	$^{14}N^{16}_{2}O$
0	3,845	20,8	41,08	2,956	0,838
1	7,690	41,6	82,19	5,913	1,676
2	11,534	62,5	123,15	8,869	2,514
3	15,379	83,1	164,00	11,825	3,352
4	19,222	103,7	204,62	14,781	4,190
5	23,065	124,30	244,93	17,736	5,028
6	26,907	145,03	285,01	20,691	5,866
7	30,748	165,51	324,65	23,646	6,704
8	34,588	185,86	363,93	26,599	7,542
9	38,426	206,38	402,82	29,533	8,380
10	42,263	226,50	441,13	32,505	9,217
11	46,098	—	—	35,457	10,055
12	49,932	—	—	38,408	10,893
13	53,763	—	—	41,358	11 730
14	57,593	—	—	44,307	12,568
15	61,420	—	—	47,255	13,405

Частоты микроволнового спектра карбонилсульфида $\nu \cdot 10^9$, в Гц

Переход $j \to j+1$	$^{16}O^{12}C^{32}S$	$^{16}O^{12}C^{34}S$
$1 \longrightarrow 2$	24,3259	23,7323
$2 \longrightarrow 3$	36,4888	—
$3 \longrightarrow 4$	48,6516	47,4624
$4 \longrightarrow 5$	60,8141	—

106. Колебательно-вращательные спектры некоторых молекул

Колебательно-вращательные полосы HCl

$v \to v'$	λ, мкм	$\omega \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$
0—1	3,46	2 885,9
0—2	1,76	5 668,0
0—3	1,190	8 347
0—4	0,916	10 922

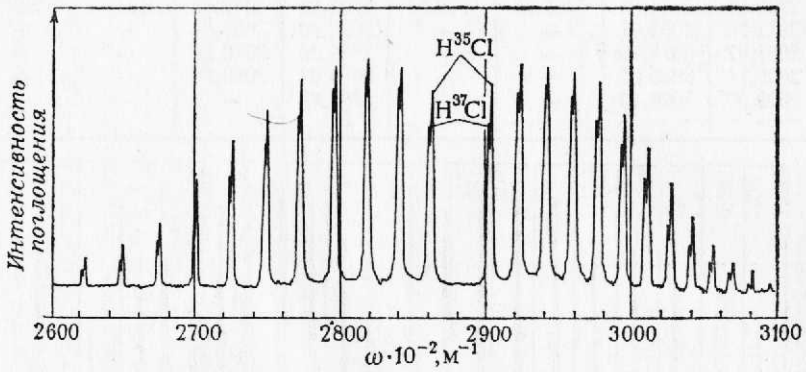


Рис. 106.1. Основная полоса колебательно-вращательного спектра HCl (природная смесь изотопов хлора).

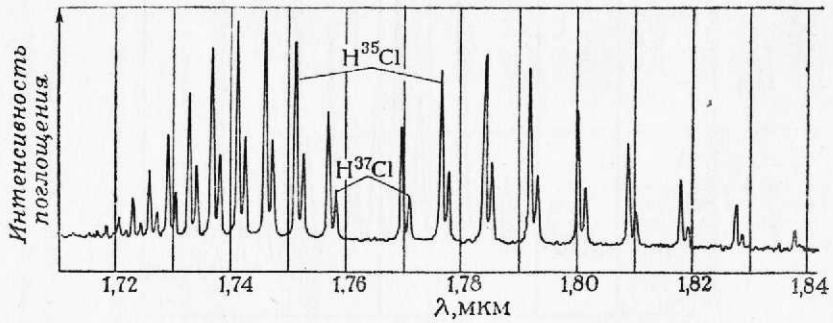


Рис. 106.2. Первый обертон колебательно-вращательного спектра HCl (природная смесь изотопов хлора).

Волновые числа тонкой структуры колебательно-вращательных полос HCl

См. рис. 106.1 и 106.2.

J	$\omega\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$, $H^{35}Cl$				$\omega\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$, $H^{37}Cl$			
	λ = 3,46 мкм		λ = 1,76 мкм		λ = 3,46 мкм		λ = 1,76 мкм	
	$P(J)$	$R(J)$	$P(J)$	$R(J)$	$P(J)$	$R(J)$	$P(J)$	$R(J)$
0	—	2906,25	—	**5687,81**	—	2904,16	—	5683,91
1	2865,09	2925,78	5647,03	**5706,21**	2862,99	2923,69	5643,10	5702,01
2	2843,56	2944,81	5624,81	**5723,29**	2841,59	2942,71	5620,92	5719,42
3	2821,49	2963,24	5602,05	5739,29	2819,51	2961,08	5597,98	5735,26
4	2798,78	2980,90	5577,25	5753,88	2796,88	2978,68	5573,40	5749,69
5	2775,79	2997,78	5551,68	5767,50	2773,77	2995,66	5547,74	5763,28
6	2752,03	3014,29	5525,04	5779,54	2750,31	3012,16	5521,23	5775,40
7	2727,75	3039,96	5496,97	5790,54	2726,01	3027,69	5493,12	5786,28
8	2703,06	3044,88	5468,55	5799,94	2701,29	3042,62	5464,67	5796,04
9	2677,73	3059,07	—	—	2675,90	3056,84	—	—
10	2651,97	3072,76	—	—	2650,36	3070,51	—	—
11	2625,74	3085,62	—	—	2624,03	3083,28	—	—
12	2599,00	3098,40	—	—	2597,43	—	—	—

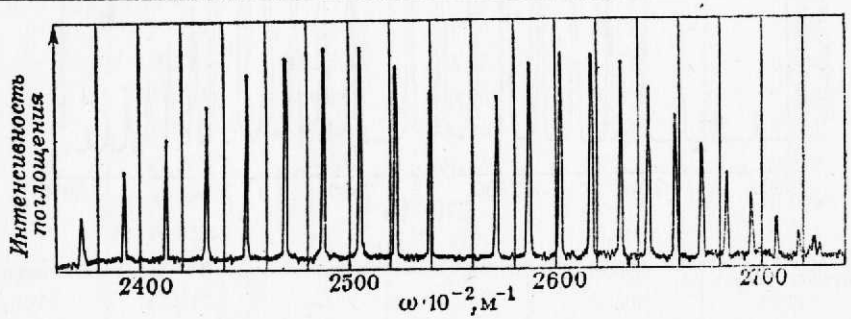


Рис. 106.3. Основная полоса колебательно-вращательного спектра HBr.

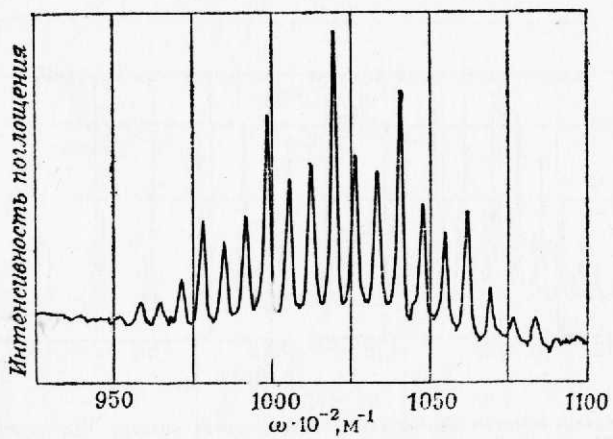


Рис. 106.4. Перпендикулярная полоса колебательно-вращательного спектра CH_3Cl.

107. Константы двухатомных молекул

Внутренняя энергия молекул состоит из ядерной ε_n (nuclon), электронной ε_e, колебательной ε_v (vibration) и вращательной ε_r (rotation) составляющих. Энергия 1 моля молекул — E с теми же индексами.

$$E_v = [(v + 1/2) - x_e (v + 1/2)^2 + y_e (v + 1/2)^3]\, N_A hc\omega e$$

где v — колебательное квантовое число; x_e и y_e — коэффициенты ангармоничности; ω_e — волновое число собственных колебаний.

$$E_r = j\,(j + 1)\, B_e N_A hc$$

где j — вращательное квантовое число $B_e = h/8\pi^2 cI$ — вращательная постоянная; $I = m^* r_e^2$ — момент инерции; $m^* = M_1 M_2 / N_A (M_1 + M_2)$ — приведенная масса молекулы; r_e — равновесное межъядерное расстояние.

$$B_v = B_e - \alpha\,(v + 1/2)$$

где B_v — вращательная постоянная при учете взаимодействия колебательного и вращательного движений; α — коэффициент взаимодействия.

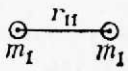
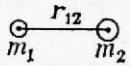
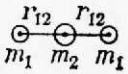
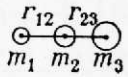
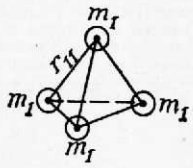
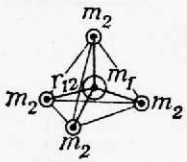
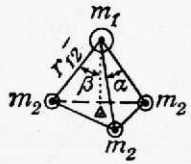
Молекула	Терм основного состояния	$\omega_e\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$	$\omega_e x_e\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$	$\omega_e y_e\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$	$r_e\cdot10^{10}$ м	$I\cdot10^{47}$, кг·м^2	$B_e\cdot10^{-2}$, м$^{-1}$	α	D°_0, кДж/моль
BCl	$^1\Sigma$	839,12	5,11	—	1,716	40,5	0,691	—	544±20
BN	$^3\Pi$	—	—	—	1,281	16,63	1,684	—	384,9
BO	$^2\Sigma^+$	1885,44	11,769	—	1,204	15,53	1,803	—	799,8
Br_2	$^1\Sigma_g^+$	325,321	1,077	—2,298	2,281	346,1	0,081	0,000275	190,1
C_2	$^1\Sigma_g^+$	1854,73	13,389	—	1,243	15,41	1,817	—	594,0
CN	$^2\Sigma_g^+$	2028,616	13,111	—	1,172	14,75	1,898	—	757,5
CO	$^1\Sigma^+$	2169,812	13,289	—	1,128	14,5	1,93	0,01752	1072
CaF	$^2\Sigma^+$	587,8	2,77	—	1,927	79,4	0,353	—	531,1
Cl_2	$^1\Sigma_g^+$	559,7	2,67	—0,007	1,988	116,3	0,241	0,0017	239,2
D_2	—	3118,46	64,10	1,2514	0,7416	0,92	30,43	—	439,7
F_2	$^1\Sigma_g^+$	919	13,6	—	1,416	31,63	0,885	0,014	154,8
H_2	$^1\Sigma_g^+$	4396,554	117,973	0,0434	0,741	0,46	60,87	3,066	432,2
H_2^+	$^2\Sigma_g^+$	2320	66,7	0,7	1,08	0,98	28,57	—	255,7
$H^{79}Br$	$^1\Sigma$	2649,683	45,52	0,104	1,414	3,30	8,485	0,2313	362,5
$H^{35}Cl$	$^1\Sigma$	2990,95	52,819	0,2242	1,275	2,64	10,606	0,3019	427,8

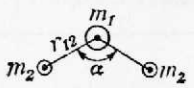
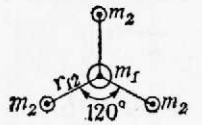
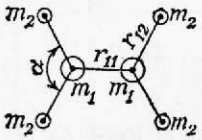
Продолжение

Молекула	Терм основного состояния	$\omega_e \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$	$\omega_e x_e \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$	$\omega_e y_e \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$	$r_e \cdot 10^{10}$, м	$I \cdot 10^{47}$, кг·м^2	$B_e \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$	α	D_0°, кДж/моль
HD	—	3817,09	94,958	1,4569	0,7413	0,61	45,68	—	435,5
HF	$^1\Sigma$	4141,03	90,439	1,178	0,917	1,34	20,896	0,7971	566,3
HI	$^1\Sigma$	2309,03	39,65	—0,025	1,609	4,30	6,512	0,172	294,6
HS	$^2\Pi_i$	2711,6	59,9	—	1,34	2,91	9,622	—	340±11
I_2	$^1\Sigma_g^+$	214,543	0,607	—0,0016	2,666	749,0	0,037	0,000121	148,8
$I^{79}Br$	$^1\Sigma^+$	268,71	0,83	—	2,469	492,9	0,057	—	175,3
K_2	$^1\Sigma_g^+$	92,64	0,354	—	3,923	499,6	0,056	0,000219	53,6
N_2	$^1\Sigma_g^+$	2358,027	14,1351	—	1,098	14,02	2,000	1,097632	941,6
NBr	$^3\Sigma^-$	691,75	4,720	—	1,79	63,41	0,442	—	272±20
NO	$^2\Pi$	1904,40	14,187	—	1,151	16,42	1,705	—	626,8
NS	$^2\Pi_r$	1220,0	7,75	—	1,495	36,18	0,774	—	481±10
Na_2	$^1\Sigma$	159,13	0,726	—	3,077	180,7	0,155	0,00079	71,1
Na_2^+	—	(113)	—	—	(3,43)	(224,6)	(0,125)	—	94±2
O_2	$^3\Sigma_g^-$	1579,78	11,699	—	1,207	19,35	1,447	0,01579	493,6
O_2^+	$^2\Pi_g$	1903,85	16,18	—	1,116	16,53	1,694	—	642,8
O_2^-	$^2\Pi_g$,	≈1107	≈8—9	—	1,341	23,89	1,172	—	393,7
OH	$^2\Pi_i$	3737,90	84,965	—	0,971	1,48	18,92	0,708	423,7
OS	$^3\Sigma^-$	1148,19	6,116	—	1,481	38,87	0,720	—	517,0
$^{32}P_2$	$^1\Sigma_g^+$	780,428	2,804	—	1,894	9,233	0,303	0,000167	485,6
S_2	$^3\Sigma_g^-$	725,668	2,844	—	1,889	94,80	0,295	0,0016	422,6
Se_2	O_g^+	—	—	—	2,166	307,6	0,091	—	305,2
SiF	$^2\Pi_r$	857,2	4,74	—	1,601	48,23	0,581	—	535±12
SiN	$^2\Sigma$	1151,36	6,47	—	1,571	38,30	0,731	—	500±40

108. Главные моменты инерции молекул

m_i — масса ядра; r_i — межъядерное расстояние; $m = \Sigma m_i$; $r = \Sigma r_i$; α — угол между связями; σ — коэффициент симметрии.

Расположение ядер	Тип молекулы	σ	Момент инерции I
Линейные молекулы			
	Симметричная	2	$\frac{1}{2} m_1 r_{11}^2$
	Асимметричная	1	$(m_1 m_2/m)\, r_{12}^2$
	Симметричная	2	$2 m_1 r_{12}^2$
	Асимметричная $r_{12} \neq r_{23}$	1	$(m_1 m_3/m)\,(r_{12} + r_{23})^2 + (m_2/m)\,(m_1 r_{12}^2 + m_3 r_{23}^2)$
Сферический волчок			
	Тетраэдр	12	$I_1 = I_2 = I_3 = m_1 r_{11}^2$
	Тетраэдр	12	$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{8}{3} m_2 r_{12}^2$
Симметричный волчок			
	Тригональная пирамида; β — угол между связью r_{12} и осью симметрии, проходящей через m_1 и центр плоскости m_2—m_2—m_2	3	$I_1 = 3 m_2 r_{12}^2 \sin^2\beta$ $I_2 = I_3 = \frac{3 m_2 r_{12}^2}{2\,(1 + 2m_2/m_1)} \times [2 - (1 - 3m_2/m_1)\sin^2\beta]$ $I_1 \cdot I_2 \cdot I_3 = 2 m_2^3\,(1 - \cos\alpha)^3 \times \left[1 + \mu\,\frac{1 + 2\cos\alpha}{1 - \cos\alpha}\right]^2 r_{12}^6$, где $\mu = \frac{m_1}{m_1 + 3m_2}$

Расположение ядер	Тип молекулы	σ	Момент инерции I
Асимметричный волчок			
	Изогнутая симметричная	2	$I_1 = \frac{2m_1m_2}{2m_2+m_1} r_{12}^2 \cos^2(\alpha/2)$ $I_2 = 2m_2 r_{12}^2 \sin^2(\alpha/2)$ $I_3 = I_1 + I_2$
Плоские молекулы			
	Симметричная	6	$I_1 = I_2 = I_3 = \left(\frac{27}{4}\right)^{1/3} m_2 r_{12}^2$
	Симметричная	4	$I_1 = 4m_2 r_{12}^2 \sin^2(\alpha/2)$ $I_2 = 4m_2\left[\frac{1}{2} r_{11} + r_{12} \times \cos(\alpha/2)\right]^2 + \frac{1}{2} m_1 r_{11}^2$ $I_3 = I_1 + I_2$

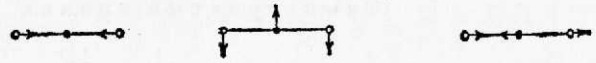
109. Активность колебаний в инфракрасных спектрах и спектрах комбинационного рассеяния

A — невырожденные симметричные колебания (знак A не изменяется при повороте на угол $2\pi/n$ вокруг оси порядка n); B — невырожденные антисимметричные колебания (знак B изменяется); численный индекс — это число n; E и F — дважды и трижды вырожденные колебания; g и u — симметричные и антисимметричные колебания по отношению к инверсии в центре симметрии; знак $'$ указывает на симметрию, а знак $''$ — на антисимметрию по отношению к отражению в плоскости h, перпендикулярной к главной оси; π и σ — колебания, параллельные и перпендикулярные оси молекулы; p и d — поляризованный и неполяризованный свет.

Линейные молекулы XYZ

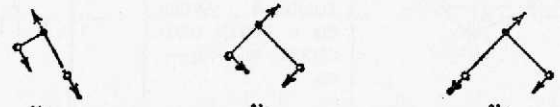
Обозначение колебания	ν_1	ν_2 (2)	ν_3
Класс	A_1	E_1	A_1
ИКС	акт. (π)	акт. (σ)	акт. (π)
СКР	акт. (p)	акт. (d)	акт. (p)

Линейные молекулы YX_2



Обозначение колебания	ν_1	ν_2 (2)	ν_3
Класс	A_g	E_u	A_u
ИКС	неакт.	акт. (σ)	акт (π)
СКР	акт. (p)	неакт.	неакт.

Нелинейные молекулы XYZ



Обозначение колебания	ν_1	ν_2	ν_3

Класс	A'	A'	A'
ИКС	акт. (π)	акт. (π)	акт. (σ)
СКР	акт. (p)	акт. (p)	акт. (p)

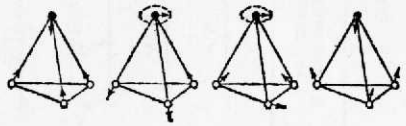
Нелинейные молекулы YX_2

Обозначение колебания	ν_1	ν_2	ν_3
Класс	A_1	A_1	B_1
ИКС	акт. (π)	акт. (π)	акт. (σ)
СКР	акт. (p)	акт. (p)	акт. (d)

Линейные молекулы X_2Y_2

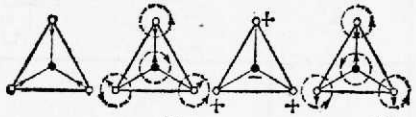
Обозначение колебания	ν_1	ν_2	ν_3 (2)	ν_4	ν_5 (2)
Класс	A_{1g}	A_{1g}	E_{1u}	A_{1u}	E_{1g}
ИКС	неакт.	неакт.	акт. (σ)	акт. (π)	неакт.
СКР	акт. (p)	акт. (p)	неакт.	неакт.	акт. (d)

Пирамидальные молекулы YX_3



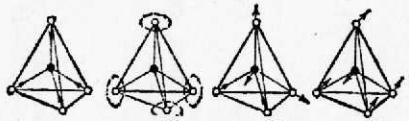
Обозначение колебания	ν_1	$\nu_{2,4}$	$\nu_{3,5}$	ν_6
Класс	A_1	E	E	A_1
ИКС	акт. (π)	акт. (σ)	акт. (σ)	акт. (π)
СКР	акт. (p)	акт. (d)	акт. (d)	акт. (p)

Плоские молекулы YX_3



Обозначение колебания	ν_1	ν_2 (2)	ν_3	ν_4 (2)
Класс	A_1'	E'	A_2''	E'
ИКС	неакт.	акт. (σ)	акт. (π)	акт. (σ)
СКР	акт. (p)	акт. (d)	неакт.	акт. (d)

Тетраэдрические молекулы YX_4



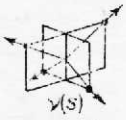
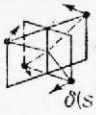
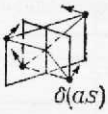
Обозначение колебания	ν_1	ν_2 (2)	ν_3 (3)	ν_4 (3)
Класс	A_1	E	F_1	F_2
ИКС	неакт.	неакт.	акт.	акт.
СКР	акт. (p)	акт. (d)	акт. (d)	акт. (d)

110. Строение и константы многоатомных молекул газообразных веществ

Число атомов в молекуле $n \geqslant 3$. Число характеристических колебаний $3n - 5$ у линейных и $3n - 6$ у нелинейных молекул. Число частот валентных колебаний $n - 1$; число частот деформационных колебаний $2n - 4$ у линейных и $2n - 5$ у нелинейных молекул. Колебания: ν — валентные, δ — деформационные, s — симметричные, as — асимметричные, γ — крутильные, σ — колебания перпендикулярные оси молекулы; π — колебания, параллельные оси молекулы. Характеристическая температура $\theta = 1{,}439\omega$ К.

Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10$, нм	Характеристика колебаний			Волновое число $\omega \cdot 10^{-2}$, м$^{-1}$	Характеристическая температура θ, К
			направление колебаний	степень вырождения	обозначение		
CO_2	Линейная, симметричная O=C=O $D_{\infty h}$	1,162	$\nu(s)$		ν (s)	1388,17	1997,6
					ν (as)	2349,16	3380,4
				2	δ (as)	667,4	960,4
CS_2	Линейная, симметричная S=C=S $D_{\infty h}$	1,5529	$\nu(as)$		ν (s)	657,98	946,8
					ν (as)	1532,5	2205,3
			$\delta(as)$	2	δ (as)	396,7	570,8
C_2H_2	Линейная, симметричная H—C≡C—H $D_{\infty h}$	C—H 1,06 C≡C 1,20	$\nu_1(s)$		ν_1 (s)	3372,5	4853,0
			$\nu_2(s)$		ν_2 (s)	1973,5	2839,9
			$\nu(as)$		ν (as)	3294,8	4741,2
			$\delta_1(as)$	2	δ_1 (as)	611,7	880,2
			$\delta_2(as)$	2	δ_2 (as)	729,1	1049,2
N_2O	Линейная, несимметричная $\overset{-}{N}=\overset{+}{N}=O$ $C_{\infty v}$	$\overset{+}{N}=O$ 1,184 $\overset{-}{N}=\overset{+}{N}$ 1,128	$\nu(s)$		ν (s)	2223,76	3200,0
					ν (as)	1284,9	1849,0
			$\nu(as)$	2	δ (as)	588,78	847,2
			$\delta(as)$				
C_2H_4	Плоская H H C=C H H ∢ HCH ≈ 117° 22′ ∢ CCH ≈ 121° 19′ D_{2h}	C—H 1,086 C=C 1,337	$\nu_1(\pi,s)$		ν_1 (π, s)	3026,4	4352
			$\nu_2(\pi,s)$		ν_2 (π, s)	1622,6	2335
			$\nu(\pi,as)$		ν (π, as)	2988,7	4301
			$\nu(\sigma,s)$		ν (σ, s)	3102,5	4463
			$\nu(\sigma,as)$		ν (σ, as)	3105,5	4470
			$\delta(\pi,s)$		δ (π, s)	1342,2	1934
			$\delta(\pi,as)$		δ (π, as)	1443,5	2062
			$\delta(\sigma,s)$		δ (σ, s)	1222	1758
			$\delta(\sigma,as)$		δ (σ, as)	1027	1479
			$\delta'(\sigma,as)$		δ' (σ, as)	949,3	1366
			$\delta'(\sigma,s)$		δ' (σ, s)	943	1357
					γ (r)	826,3	1166
NO_2	Изогнутая $\overset{+}{N}$ O O ∢ ONO 134° 15′ C_{2v}	1,197	$\nu(s)$		ν (s)	(1319,7)	(1899)
			$\nu(as)$		ν (as)	1617,75	2327,9
			$\delta(s)$		δ (s)	749,8	1079

Продолжение

Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10$, нм	Характеристика колебаний: направление колебаний	степень вырождения	обозначение	Волновое число $\omega \cdot 10^{-5}$, $м^{-1}$	Характеристическая температура θ, К
H_2O	Изогнутая O H H ∢ HOH 104° 31′±3′ C_{2v}	O—H 0,9572			ν (s) ν (as) δ (s)	3657,0 3755,8 1594,8	5262,4 5404,6 2294,9
H_2S	Изогнутая S H H ∢ HSH 92,06° C_{2v}	S—H 1,336			ν (s) ν (as) δ (s)	2614,6 2627,5 1182,7	3762,4 3780,9 1701,9
SO_2	Изогнутая S O O ∢ OSO 118,5°±1° C_{2v}	S=O 1,431			ν (s) ν (as) δ (s)	1151,4 1361,8 517,6	1656,9 1959,6 744,8
NH_3	Тригональная симметричная пирамида N H H H ∢ HNH 107° 17′ C_{3v}	H—N 1,0156 H—H 1,61	 ν(s)	2 2	ν (s) ν (as) δ (s) δ (as)	3337,2 3443,6 932,5 1626,1	4802,2 4955,3 1341,9 2340
PCl_5	Тригональная симметричная пирамида P Cl Cl ∢ ClPCl 100°±1° C_{3v}	P—Cl 2,043	 ν(as)  δ(s)  δ(as)	2 2	ν (s) ν (as) δ (s) δ (as)	515,0 504,0 258,3 186,0	741 725 371,7 267,6
CCl_4	Правильный тетраэдр Cl Cl—C—Cl Cl ∢ при C 109° 28′ T_d	C—Cl 1,767	 ν(s)  δ(s)	3 2 3	ν (s) ν (as) δ (s) δ (as)	458 775 218 310	659 1150 314 446
CH_4	Правильный тетраэдр H H—C—H H ∢ при C 109° 28′ T_d	C—H 1,0934	 ν(as)  δ(as)	3 2 3	ν (s, C—H) ν (as, C—H) δ (s, H—C—H) δ (as, H—C—H)	2916,5 3019,5 1533,6 1306,2	4196,8 4345,1 2206,8 1879,6

Продолжение

Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10$, нм	Характеристика колебаний: направление колебаний	степень вырождения	обозначение	Волновое число $\omega \cdot 10^{-2}$, $м^{-1}$	Характеристическая температура θ, К
CH_3Cl	Тетраэдр H—C—Cl (H, H) ∢ HCH 108° ∢ HCCl 110° 55′ C_{3v}	C—H 1,096 C—Cl 1,781				732,8	1054,5
					ν (s, C—Cl)	2967,8	4270,7
					ν (s, C—H)	1488,2	2141,5
				2	ν (as, C—H)	1355,1	1950
					δ (s, H—C—H)	1017,5	1464,2
				2	δ (as, H—C—Cl)	3043,6	4379,7
				2	δ (as, H—C—H)		
$CHCl_3$	Тетраэдр Cl, Cl, Cl, H—C ∢ ClCCl 112° C_{3v}	C—H 1,10 C—Cl 1,80 Cl—Cl 2,93				671,1	966
					ν (s, C—Cl)	3032	4365
					ν (s, C—H)	767,7	1105
				2	ν (as, C—Cl)	364,8	525
					δ (s, Cl—C—Cl)	1218	1755
				2	δ (as, H—C—Cl)	255,5	368
				2	δ (as, Cl—C—Cl)		

111. Силовые постоянные связей в двухатомных и многоатомных молекулах

Силовая постоянная $k = 4\pi^2\nu_e^2 m^* = 4\pi^2 c^2 \omega_e^2 M_1 M_2 / N_A (M_1 + M_2)$, где ν_e и ω_e — частота и волновое число собственных колебаний; c — скорость света в вакууме; M_1 и M_2 — атомные массы; m^* — приведенная масса молекулы.

Молекула	$\omega_e \cdot 10^{-2}$, $м^{-1}$	$k \cdot 10^{-2}$, Н/м	Молекула	$\omega_e \cdot 10^{-2}$, $м^{-1}$	$k \cdot 10^{-2}$, Н/м
$^{79}Br_2$	325,3	2,40	$^{1}H^{79}Br$	2649,7	4,08
$^{12}C_2$	1854,8	12,16	$^{1}H^{35}Cl$	2990,9	5,12
$^{35}Cl_2$	559,7	3,26	$^{1}H^{19}F$	4141,0	9,60
$^{12}C^{16}O$	2169,8	19,03	$^{1}H^{127}I$	2309,6	3,14
$^{19}F_2$	919,0	4,72	$^{127}I_2$	214,5	1,72
$^{1}H_2$	4396,5	5,69	$^{14}N_2$	2358,0	22,9
$^{2}D_2$	3118,4	5,73	$^{16}O_2$	1579,8	11,7

Связь	Вид связи *	$k \cdot 10^{-2}$, Н/м	Связь	Вид связи	$k \cdot 10^{-2}$, Н/м
C—C	sp^3—sp^3	4,5	C—F		5,96
	sp^2=sp^2	9,7	C—Cl **		3,64
	$sp \equiv sp$	15,6	C—Br		3,12
	sp^3—sp^2	4,8	C—I		2,65
	sp^3—sp	4,5	C=O	sp^2—C	12,1
	sp^3 — (карбонильная группа)	4,8	C=O	sp—C	15,5
			C—NH_2		4,9
	sp^2 в бензоле	5,2—5,6	C—NO_2		4,7
	В ионе циклопентадиенила	5,39	C≡N	sp—C	17,7
C—H	sp^3	4,8	C=N	sp^2—C	10,5
	sp^2	5,3	>N—H		6,35
	sp	5,9			
	В ароматических соединениях	5,0	>S → O		5,0
	В карбонильных соединениях (с гибридизацией sp^2)	5,3			

* Там, где нет специальных указаний, атомы C предполагаются sp^3-гибридизованными.

** Силовая постоянная связи C—Cl в молекулах CCl_4, CH_2Cl_2, CH_3Cl, C_2H_5Cl и ClCN k = 500 Н/м.

112. Характеристические частоты поглощения групп атомов в молекулах

Интенсивность: пер. — переменная; с. — сильная; сл. — слабая; ср. — средняя.

Группа атомов	Область поглощения, см⁻¹	Область поглощения, мкм	Интенсивность полосы	Примечания
Алканы				
Валентные колебания C—H				
$-CH_3$	2975—2950	3,36—3,39	ср.	Присутствие нескольких таких групп дает сильное поглощение
	2885—2860	3,47—3,50	»	
$-CH_2-$	2940—2915	3,40—3,45	»	
	2870—2845	3,49—3,52	»	
$-CH_2-$ (циклопропан)	3080—3040	3,25—3,29	пер.	Ограниченное число данных
—CH—	2900—2880	3,45—3,47	сл.	То же
Деформационные колебания C—H				
$C-CH_3$	1470—1435	6,80—6,97	ср.	Асимметричные деформационные
	1385—1370	7,22—7,30	с.	Симметричные деформационные
$C(CH_3)_2$	1385—1380	7,22—7,25	»	Дублет приблизительно одинаковой интенсивности
	1370—1365	7,30—7,33	»	
$C(CH_3)_3$	1395—1385	7,17—7,22	ср.	Дублет; примерное отношение интенсивностей 1 : 2
	1365	7,33	с.	
$-CH_2-$	1480—1440	6,76—6,94	ср.	
—CH—	1340	7,46	сл.	Ограниченное число данных
Колебания скелета				
$C(CH_3)_2$	1175—1165	8,51—8,58	с.	
	1170—1140	8,55—8,77	»	
	840—790	11,90—12,66	ср.	Ограниченное число данных
$C(CH_3)_3$	1255—1245	7,97—8,03	с.	
	1250—1200	8,00—8,33	»	
$-(CH_2)_4-$	750—720	13,33—13,89	»	
$-CH_2-$ (циклопропан)	1020—1000	9,80—10,00	ср.	То же
Алкены				
Валентные колебания C=C				
Несопр. C=C	1680—1620	5,95—6,17	пер.	
$CHR=CH_2$	1645—1640	6,08—6,10	»	
$CHR_1=CHR_2$ (*цис*)	1665—1635	6,01—6,12	»	
$CHR_1=CHR_2$ (*транс*)	1675—1665	5,97—6,00	»	
$CR_1R_2=CH_2$	1660—1640	6,02—6,10	»	
$CR_1R_2=CHR_3$	1675—1665	5,97—6,00	»	
$CR_1R_2=CR_3R_4$	1690—1670	5,92—5,99	сл.	Ограниченное число данных
Фенил, сопр. C=C	≈1625	≈6,16	с.	Повышенная интенсивность

Группа атомов	Область поглощения, см⁻¹	Область поглощения, мкм	Интенсивность полосы	Примечания
C=O или C=C сопр. с C=C	1660—1580	6,02—6,33	»	Интенсивность *цис*-форм часто выше, чем *транс*-форм
Валентные и деформационные колебания C—H				
$CHR_1=CH_2$	3040—3010	3,29—3,32	ср.	CH валентные (CHR_1)
	3095—3075	3,23—3,25	»	CH валентные (CH_2)
	995—985	10,05—10,15	»	CH внеплоскостные деформационные
	915—905	10,93—11,05	ср.	CH_2 внеплоскостные деформационные
	1850—1800	5,41—5,56	ср.	Обертон
	1420—1410	7,04—7,09	сл.	CH_2 плоскостные деформационные
	1300—1290	7,69—7,75	пер.	CH плоскостные деформационные
$CHR_1=CHR_2$ (*цис*)	3040—3010	3,29—3,32	ср	CH валентные
	1420—1400	7,04—7,14	сл.	CH плоскостные деформационные
	730—665	13,70—15,04	с.	CH внеплоскостные деформационные
$CHR_1=CHR_2$ (*транс*)	3040—3010	3,29—3,32	ср.	CH валентные
	1310—1290	7,63—7,75	сл.	CH плоскостные деформационные
	980—960	10,20—10,42	с.	CH внеплоскостные деформационные
$CR_1R_2=CH_2$	3095—3075	3,23—3,25	ср.	CH валентные
	895—885	11,17—11,30	с.	Внеплоскостные деформационные
	1800—1780	5,56—5,62	ср.	Обертон
	1420—1410	7,04—7,09	сл.	CH_2 плоскостные деформационные
$CR_1R_2=CHR_3$	3040—3010	3,29—3,32	ср.	CH валентные
	850—790	11,76—12,66	»	CH внеплоскостные деформационные
Алкины				
$RC\equiv CH$	3310—3300	3,02—3,03	ср.	C—H валентные
	2140—2100	4,67—4,76	сл.	C≡C »
$R_1C\equiv CR_2$	2260—2190	4,43—4,57	пер.	C≡C »
Аллены				
C=C=C	1970—1950	5,08—5,13	ср.	Валентные типа C≡C
	≈1060	≈9,43	»	Валентные типа C—C
Ароматические карбоциклические соединения				
Валентные колебания				
=C—H валентные	3080—3030	3,25—3,30	сл. ср.	Может быть несколько пиков
C=C плоскостные	1625—1575	6,16—6,35	пер.	Обычно ближе к 1600 см⁻¹
	1525—1475	6,56—6,78	пер.	Обычно ближе к 1500 см⁻¹
	1590—1575	6,29—6,36	»	Для сопряженных систем сильная полоса
	1465—1440	6,38—6,94	»	

Группа атомов	Область поглощения, см⁻¹	Область поглощения, мкм	Интенсивность полосы	Примечания
Плоскостные деформационные колебания С—Н для различных типов замещения бензольного кольца				
Монозамещенные	1175—1125	8,51—8,89	сл.	
	1110—1070	9,01—9,35	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	
1,2-Дизамещенные	1225—1175	8,17—8,51	»	
	1125—1090	8,89—9,17	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	В этом интервале две полосы
	1000—960	10,00—10,42	»	
1,3-Дизамещенные	1175—1125	8,51—8,89	»	
	1110—1070	9,01—9,35	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	
1,4-Дизамещенные	1225—1175	8,17—8,52	»	
	1125—1090	8,89—9,17	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	В этом интервале две полосы
1,2,3-Тризамещенные	1175—1125	8,51—8,89	сл.	
	1110—1070	9,01—9,35	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	
	1000—960	10,00—10,42	»	
1,2,4-Тризамещенные	1225—1175	8,17—8,51	»	
	1175—1125	8,51—8,89	»	
	1125—1090	8,89—9,17	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	В этом интервале две полосы
	1000—960	10,00—10,42	»	
1,3,5-Тризамещенные	1175—1125	8,51—8,89	»	
	1070—1000	9,35—10,00	»	
Внеплоскостные деформационные колебания С—Н для различных типов замещения бензольного кольца *				
Монозамещенные	770—730	12,99—13,70	с.	5 рядом стоящих атомов Н
	710—690	14,08—14,49	»	То же
1,2-Дизамещенные	770—735	12,99—13,61	»	4 рядом стоящих атома Н
1,3-Дизамещенные	900—860	11,11—11,63	ср.	1 изолированный атом Н
	810—750	12,35—13,33	с.	3 рядом стоящих атома Н
	725—680	13,74—14,71	ср.	3 рядом стоящих атома Н, ограниченное число данных
1,4- и 1,2,3,4-замещенные	860—800	11,63—12,50	с.	2 рядом стоящих атома Н
1,2,3-Тризамещенные	800—770	12,50—12,99	»	3 рядом стоящих атома Н

* Слабые полосы поглощения, являющиеся обертонами и составными частотами внеплоскостных деформационных колебаний С—Н, образуют в области 2000—1650 см⁻¹ (5,00—6,06 мкм) сложную и весьма характерную для каждого типа замещения бензольного кольца общую картину. Для изучения этой картины требуются очень концентрированные растворы (в 20 раз более, чем обычные). Полосы ароматического соединения могут маскироваться другими появляющимися в этой области полосами, например сильными основными полосами валентных колебаний C=C и C=O. Число полос, их форма и относительная интенсивность более характерны, чем абсолютные значения частот.

Группа атомов	Область поглощения, см⁻¹	Область поглощения, мкм	Интенсивность полосы	Примечания
1,2,3-Тризамещенные	720—685	13,89—14,60	ср.	3 рядом стоящих атома Н, ограниченное число данных
1,2,4-Тризамещенные	860—800	11,63—12,50	с.	2 рядом стоящих атома Н
	900—860	11,11—11,63	ср.	1 изолированный атом Н
1,3,5-Тризамещенные	900—860	11,11—11,63	»	То же
	865—810	11,56—12,35	с.	»
	730—675	13,70—14,81	»	»
1,2,3,5-, 1,2,4,5- и 1,2,3,4,5-замещенные	900—860	11,11—11,63	ср.	»
Связи углерода с различными атомами				
C—Br	600—500	16,67—20,00		Валентные
C—Cl	800—600	12,50—16,67		»
C—F	1400—1000	7,14—10,00		»
C—I	500	20,00		»
C≡N	2275—2215	4,40—4,51		»
C=O	1780—1640	5,62—6,10		»
Неорганические соединения				
CO_3^{2-}	1450—1410	6,90—7,09		
N—H	3500—3200	2,86—3,12		Валентные
NO_2^-	1250—1230	8,00—8,13		
NO_3^-	1420—1350	7,04—7,41		
O—H	3650—3590	2,74—2,79		Валентные
SO_4^{2-}	1130—1080	8,85—9,26		
Силикаты	1100—900	9,09—11,11		
Водородная связь O···H	3570—3200	2,80—3,12		

113. Длина межатомных связей в молекулах

Значения r получены усреднением по подобным молекулам.

Тип связи	Соединения	$r \cdot 10$, нм	Тип связи	Соединения	$r \cdot 10$, нм
B—H	Бороводороды	1,32	C—H	RCH_3	1,096
N—H	NH_3	1,012		R_2CH_2	1,073
N—H	RNH_2	1,01		R_3CH	1,070
NO	$RONO_2$	1,36		Алкены	1,083
NO	RNO_2	1,22		Аллены	1,07
O—O	H_2O_2	1,48		Ароматические соединения	1,084
P—H	PH_3	1,437			
S—H	H_2S	1,335		Алкины	1,055
Si—H	R_3SiH	1,476	C—F	Алканы	1,379

Тип связи	Соединения	$r \cdot 10$, нм	Тип связи	Соединения	$r \cdot 10$, нм
	Алкены	1,333	C=C	Изолированная связь	1,335
	Ароматические соединения	1,328	C≡C	То же	1,202
C—Cl	Алканы	1,767	C···N	Пиридин	1,339
	Алкены	1,719	C≡N	C_2H_5CN	1,157
	Ароматические соединения	1,70	C—O	Алифатические спирты, простые эфиры	1,426
C—C	Алмаз	1,5445			
	Алканы	1,537	C=O	Альдегиды, кетоны	1,215
	C—C≡C	1,459	C≡O	CO	1,128
	C=C—C≡C	1,45	C=S	Тиофен	1,718
C—C	Бензол	1,397	C—Si	Алкилсиланы	1,870
	Графит	1,421		Арилсиланы	1,843

114. Углы между связями в молекулах

R — радикал, X — галоген.

Структура	Угол, градусы		Структура	Угол, градусы	
Алканы	CCC	112,6	NH_3	HNH	107,3
	HCH	104±2	RNH_2	HNH	106
C—C—H	CCH	107—108		CNH	112
C—C—C (sp^2 и sp)	CCC	110—111	H_2S	HSH	92,3
C—C=C	CCC	122—125	SO_2	OSO	119,5
C=C—H	CCH	119	PX_3	XPX	100—101
H_2O	HOH	104,45	PR_3	RPR	100
ROH	COH	108—109			
R_2O	COC	110±3			
	CCO	111			
	HCO	107			
RCl	CCCl	107			
	HCCl	108			

115. Степень ионности связи в комплексных ионах и в двухатомных молекулах

Ион	Степень ионности связи, %	Ион	Степень ионности связи, %	Молекула	Степень ионности связи, %	Молекула	Степень ионности связи, %
$[NiF_6]^{4-}$	96	$[SnBr_6]^{2-}$	60	CsF	98	LiBr	57
$[CoF_6]^{4-}$	96	$[PtBr_4]^{2-}$	57	RbF	97	KI	52
$[CoBr_6]^{4-}$	95	$[PtCl_6]^{2-}$	44	CaO	81	LiI	46
$[CoI_6]^{4-}$	92	$[PdCl_6]^{2-}$	43	BaS	76	MgS	35
$[CuCl_4]^{2-}$	92	$[PtBr_6]^{2-}$	38	CsCl	74	CaTe	25
$[CoEn_2Cl_2]^+$(*транс*)	75	$[PdBr_6]^{2-}$	37	RbCl	72		
$[PdBr_4]^{2-}$	60	$[PtI_6]^{2-}$	30	KBr	64		

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

116. Магнитные моменты молекул и ионов

Магнитные моменты выражают в магнетонах Бора μ_B, они пропорциональны механическим угловым моментам УМ: $\mu_B = e\hbar/2m_ec$. Различают два случая: чисто-спиновый и спин-орбитальный моменты. Чисто-спиновым моментом обладает подавляющее число молекул: терм их основного состояния Σ отвечает условию $\Lambda = 0$ (см. табл. 101).

У ионов в комплексных соединениях под действием поля лигандов происходит погашение орбитального момента. Анализ показывает, что поле в большей или меньшей степени снижает вращательное вырождение.

Чисто-спиновое взаимодействие дает эффективный магнитный момент $\mu_S = \sqrt{4S(S+1)}$. Так как $S = n/2$ (n — число неспаренных электронов), то $\mu_S = \sqrt{n(n+2)}$.

Если разность энергий соседних вращательных уровней значительно меньше тепловой энергии (kT), то $\mu_{L+S} = \sqrt{4S(S+1) + L(L+1)}$. Это уравнение достаточно точно, если L и S взаимодействуют с внешним полем независимо друг от друга. Комплексы в этом случае называют спин-свободными. При сильном погашении орбитальных моментов образуются спин-спаренные чисто-спиновые комплексы. Экспериментальные значения магнитных моментов спин-свободных комплексов обычно ниже вычисленных (по причине погашения L).

Спин-спаренные комплексы характерны для второго и третьего ряда переходных элементов. При нечетном числе электронов их магнитные моменты приближенно отвечают наличию одного неспаренного электрона, а при четном проявляется диамагнетизм.

Магнитные моменты молекул

Молекула	Терм	μ_M	Молекула	Терм	μ_M
O_2	$^3\Sigma_1$	$\sqrt{8}$	NO_2	$^2\Sigma_{1/2}$	$\sqrt{3}$
S_2	$^3\Sigma_1$	$\sqrt{8}$	NO	$^2\Pi_{1/2}$, $^2\Pi_{3/2}$	1,837

Магнитные моменты ионов первого переходного ряда элементов

Ион	Конфигурация	Терм основного состояния	μ спин-свободных комплексов			μ спин-спаренных комплексов	
			μ_S (расч.)	μ_{S+L} (расч.)	μ (эксп.)	μ_S	μ (эксп.)
Ti^{3+} V^{4+}	d^1	^2D	1,73	3,00	1.7—1,85 1,7—1,8	—	—
V^{3+}	d^2	^3F	2,83	4,47	2,6—2,9	—	—
V^{2+} Cr^{3+} Mn^{4+}	d^3	^4F	3,88	5,20	3,8—3,9 3,7—3,9 3,8—4,0	—	—

Ион	Конфигурация	Терм основного состояния	μ спин-свободных комплексов			μ спин-спаренных комплексов	
			μ_S (расч.)	μ_{S+L} (расч.)	μ (эксп.)	μ_S	μ (эксп.)
Cr^{2+} Mn^{3+}	d^4	^5D	4,90	5,48	4,7—4,9 4,9—5,0	2,83	3,2—3,3 3,2
Mn^{2+} Fe^{3+}	d^5	^6S	5,92	5,92	5,6—6,1 5,7—6,0	1,73	1,8—2,1 2,0—2,5
Fe^{2+} Co^{3+}	d^6	^5D	4,90	5,48	5,1—5,7 ≈5,4	0	≈0
Co^{2+} Ni^{3+}	d^7	^4F	3,88	5,20	4,3—5,2 —	1,73	1,7—2,0 1,8—2,0
Ni^{2+}	d^8	^3F	2,83	4,47	2,8—4,0	—	—
Cu^{2+}	d^9	^2D	1,73	3,00	1,7—2,2	—	—

117. Диамагнитная восприимчивость атомов и связей (по Паскалю)

Молярная магнитная восприимчивость $\chi = \chi_D + \chi_P = N_A(\alpha + \mu_M^2/3kT)$, где α — наведенная внешним полем магнитная восприимчивость и μ_M — магнитный момент на одну молекулу. Если $\mu_M = 0$, то при наложении неоднородного поля молекула передвигается в область более слабого поля. Произведение $N_A\alpha = \chi_D$ называют диамагнитной восприимчивостью, знак ее отрицателен. Если $\mu_M > 0$, то $\chi_P = N_A\mu_M^2/3kT$ — парамагнитная восприимчивость с положительным знаком.

У многоэлектронного атома $\chi_D = -N_A e^2 \Sigma \overline{r_i^2}/6m_e c^2$, где $\overline{r_i^2}$ — средний квадратичный радиус орбиталей. Диамагнитный вклад зависит от силы приложенного поля. Так как этот вклад составляет приближенно одну сотую полной восприимчивости, полагают $\chi = \chi_P$. Диамагнитную восприимчивость молекулы принимают равной сумме атомных восприимчивостей, так что $\chi_D = \Sigma n_i\chi_i + \lambda$, где n_i — число атомов; χ_i — атомная восприимчивость и λ — инкремент группы.

Магнитная восприимчивость выражается в м³/моль.

Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м³/моль	Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м³/моль	Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м³/моль
Ag	—31	I	—44,6	Na	—9,2
Al	—13	K	—18,5	O в спиртах и эфирах	—4,61
As	—43	Li	—4,2	в C=O	+1,73
Br	—30,6	Mg	—10	карбоксильный	—3,36
C	—6,00	N в открытых цепях	—5,57	P	—26,3
Ca	—15,9	в циклах	—4,61	Pb	—46
Cl	—20,1	в моноамидах	—1,54	S	—15
F	—11,5	в диамидах и имидах	—2,11	Sb^{3+}	—74
H	—2,93			Si	—20
Hg_2^{2+}	—33			Zn	—13,5

Группа	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м³/моль	Группа	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м³/моль
—C=C—	+5,5	—C—Cl	+3,1
—C=C—C=C—	+10,6	—C—Br	+4,1
—C≡C—	+0,8	Cl—C—C—Cl	+4,3
CH_2=CH—CH_2—	+4,5	Br—C—C—Br	+6,2
Циклогексан	+3,0	—C—Cl Cl	+1,4
—N=N—	+1,8	Добавочные поправки в группах C—C(3)—X, C—C(4)=C, где C(3) и C(4) являются третичными или четвертичными атомами. Кислородсодержащая группа может находиться по отношению к C(3) в положении α, а к C(4) — в положении β или α и β. Тогда требуется введение инкрементов:	
—C=NR	+8,2		
—N=0	+1,7		
C для каждого C атома в одном цикле	—0,24		
C для каждого атома C, принадлежащего двум циклам	—3,1		
для атома C, принадлежащего трем циклам	—4,0		
		в случае C(3)	—1,29
		» » C(4)	—1,54
		» » C(3) и C(4)	—0,48

118. Химические сдвиги протонов относительно тетраметилсилана

Смесь исследуемого и стандартного (тетраметилсилан, ТМС) веществ помещают в ампуле внутрь катушки. На нее налагают переменное поле с частотой ν. Катушка, в свою очередь, находится в магнитном поле, напряженность H_0 которого можно изменять. Если напряженность H_0 достаточно велика, то у протонов исследуемого вещества возникает поле $H_{эфф}$ и появляется сигнал. У протонов ТМС сигнал возникает той же эффективной напряженности, но с отличающейся H_0, что зависит от различного экранирующего действия электронов. Расстояние между двумя сигналами выражают в единицах частоты (герцы) и называют химическим сдвигом. Описанный способ определения химического сдвига называют разверткой по полю. Возможна и развертка по частоте (изменение ν при H_0 = const). Химический сдвиг зависит от частотных условий определения. Чтобы получить данные, не зависящие от условий опыта, введена шкала δ, в которой значение сдвига делят на рабочую частоту и выражают полученную безразмерную величину в миллионных долях. За стандарт принято

значение $\delta_{ТМС}$ = 10 млн. долей. Величина δ положительна, когда сигнал находится в области поля с меньшей напряженностью (бо́льшей частотой), чем сигнал ТМС, и отрицательна, когда сигнал находится в поле с большей напряженностью (меньшей частотой), чем сигнал ТМС.

Звездочкой ниже отмечены протоны, определяющие сдвиг. Все вещества, кроме указанных, — жидкие.

Водород и вода

Протон	H (атом)	H_2O	H_2	H_2O (г.)
—20,94	—3,16	4,68	5,66	9,26

Углеводороды

C_6H_6	C_2H_4	C_2H_2	C_6H_{12}	C_2H_6	CH_4
2,73	4,68	8,51	8,57	9,11	9,86

Галогенводороды

HF	HF (г.)	HCl	HBr	HI
0,70	7,35	10,31	14,21	23,11

Галогензамещенные углеводороды

$CHCl_3$	CH_3F	CH_3Cl	CH_3Br	CH_3I
2,73	5,70	7,00	7,30	7,83

Органические вещества, содержащие кислород и азот

CH_3COOH*	CH_3*CHO	CH_3NO_2	Диоксан	CH_3CH*O	$(CH_3)_2CO$	CH_3CN	CH_3OH*
—1,37	0,20	5,67	6,30	7,80	7,83	8,00	8,57

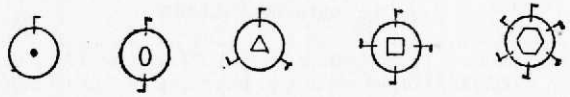
Неорганические вещества

SiH_4	PH_3	H_2S	NH_3
6,86	8,38	9,78	9,91

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

119. Симметрия кристаллов и кристаллические решетки

Разрешенные оси симметрии в кристалле



Порядок оси n	⊙ 1	O 2	△ 3	□ 4	⬡ 6
Угол поворота φ°	360	180	120	90	60
Обозначения	E	C_2	C_3	C_4	C_6

Продолжение

Обозначения классов кристаллов

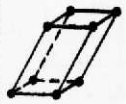
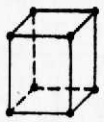
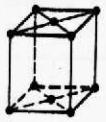
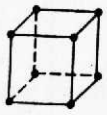
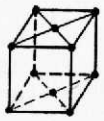
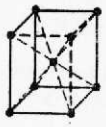
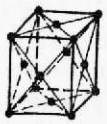
Приведена классификация по Шенфлису. В кристаллографии пользуются также системой Германа—Могена.

Системы (7)	Триклинная	Моноклинная	Ромбическая	Ромбоэдрическая
Классы (32)	C_1, C_i	C_s, C_2, C_{2h}	C_{2v}, D_2 D_{2h}	C_3, C_{3v}, D_3 D_{3h}, S_6

Системы	Тетрагональная	Гексагональная	Кубическая
Классы	C_4, C_{4v}, C_{4h}, D_{2d}, D_4, D_{4h}, S_4	C_6, C_{6v}, C_{6h}, C_{3h}, D_{3d}, D_6, D_{6h}	T, T_d, T_h, O, O_h

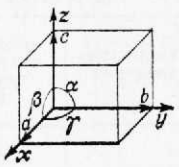
Решетки Бравэ

В кристаллах 230 пространственных групп, оси симметрии 2, 3, 4 и 6 порядков.

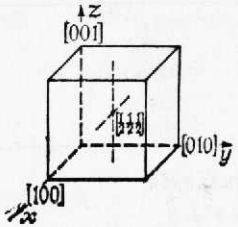
Сингония	Тип решетки: примитивная (P)	базоцентрированная (C)	объемноцентрированная (I)	гранецентрированная (F)
Триклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$				
Моноклинная $a \neq b = c$ $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$				
Ромбическая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$				

Сингония	Тип решетки: примитивная (*P*)	базоцентрированная (*C*)	объемно-центрированная (*I*)	гранецентрированная (*F*)
Тригональная (ромбоэдрическая) $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$				
Тетрагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$				
Гексагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°;\ \gamma = 120°$				
Кубическая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$				

Координаты и углы между осями



Символы вершин и центра куба



120. Параметры кубической решетки

См. рисунки к табл. 122; a_0 — период решетки

Тип решетки	Атомный радиус	Координационное число	Плотность упаковки	Число атомов в элементарной ячейке
Примитивная	$a_0/2$	6	$\pi/6 = 0{,}52$	1
Объемно-центрированная	$a_0\sqrt{3}/4$	8	$\pi\sqrt{3}/8 = 0{,}68$	2
Гранецентрированная	$a_0\sqrt{2}/2$	12	$\pi\sqrt{2}/6 = 0{,}74$	4

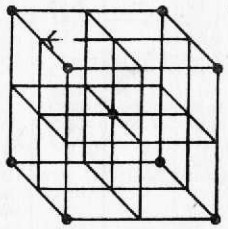
121. Корреляция между координационным числом и отношением ионных радиусов

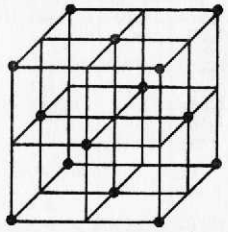
Тип решетки	Координационное число	Пример	r_+/r_-
Гексаэдр	8	CsCl	>0,732
Октаэдр	6	NaCl	0,414—0,732
Тетраэдр	4	ZnS	0,225—0,414

122. Постоянные кристаллических решеток

Вещество	Тип решетки	*d*, нм	Вещество	Тип решетки	*d*, нм
Li	Объемно-центрированный куб	0,350	C	Алмаз	0,35597
			Si	»	0,542
Na	То же	0,430	BaO	NaCl	0,550
K	»	0,520	CaO	NaCl	0,4797
Cu	Гранецентрированный куб	0,3597	KCl	NaCl	0,6277
Ag	То же	0,4078	MgO	NaCl	0,4203
Be	Гексагональная плотная упаковка	0,2283	NaCl	NaCl	0,5628
			CsCl	CsCl	(0,411)
Mg	То же	0,3220	CaF_2	CaF_2	0,546
Zn	»	0,2657	Cu_2S	CaF_2	0,559
Cd	»	0,298	ZnS	ZnS	0,543
			BeS	ZnS	0,485

Примеры элементарных ячеек





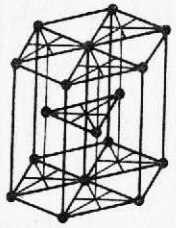
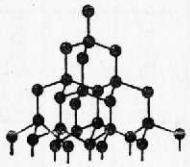
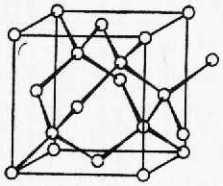


Рис. 122.1. Элементарная ячейка кубической объемно-центрированной решетки.

Рис. 122.2. Элементарная ячейка кубической гранецентрированной решетки.

Рис. 122.3. Элементарная ячейка гексагональной плотной упаковки.





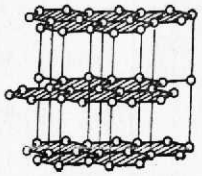


Рис. 122.4. Строение алмаза по Брэггу.

Рис. 122.5. Элементарная ячейка решетки алмаза.

Рис. 122.6. Элементарная ячейка графита.

123. Радиусы атомов и ионов в кристаллах

Значения радиусов вычислены по Мелвин-Хьюзу (МХ), Гольдшмидту (Г), Полингу—Хаггинсу (П), Ингольду (Ин) в кристаллах у ионов с оболочкой благородных газов, по Бокию (Б). Радиусы по Полингу — ковалентные, относятся к координационному числу к. ч. = 6. При к. ч. = 4 поправка составляет −6 %, при к. ч. = 8 поправка +3 %, при к. ч. = 12 поправка +12 %. За радиусы ковалентной связи принимают расстояния от центра ядра до среднего положения связывающих электронных оболочек. Остальные радиусы относятся к к. ч. = 12.

Элемент	Радиус атома $r_a \cdot 10$, нм				Заряд иона	Радиус иона $r_i \cdot 10$, нм				
	МХ	Г	П	Б		МХ	Г	П	Ин	Б
Ag	1,445	1,44	1,53	1,44	+1	1,011	1,13	1,26	1,26	1,13
Al	1,432	1,43	1,26	1,43	+3	0,55	0,57	0,50	0,72	0,57
As	1,248	1,22	1,18	1,48	+5	—	0,46	—	0,71	(0,47)
					+3	—	0,58	—	—	0,69
Au	1,442	1,44	1,50	1,44	+1	—	1,37	—	1,37	(1,37)
B	(0,795)	0,91	0,89	0,91	+3	(0,20)	0,23	0,20	0,35	(0,20)
Ba	2,174	2,17	—	2,21	+2	1,395	1,34	1,35	1,53	1,38
Be	1,113	1,11	1,07	1,13	+2	0,314	0,35	0,31	0,44	0,34
Bi	1,548	1,55	1,46	1,82	+5	—	0,74	—	0,98	(0,74)
					+3	1,20	0,96	—	—	1,20
Br	1,1415	1,14	1,14	—	+7	—	—	—	0,62	(0,39)
					−1	1,973	1,96	1,95	1,95	1,96
C	0,771	0,77	0,77	0,77	+4	0,195	0,16	0,15	0,29	0,2
Ca	1,974	1,37	—	1,97	+2	1,051	0,99	0,99	1,18	1,04
Cd	1,490	1,48	1,48	1,56	+2	0,99	0,97	—	1,14	0,99
Cl	0,994	0,99	0,99	—	+7	—	—	—	0,49	(0,26)
					−1	1,811	1,81	—	1,81	1,81
Co	1,253	1,25	1,25	1,25	+3	0,65	0,63	—	—	0,64
					+2	0,78	0,72	—	—	0,78
Cr	1,249	1,25	1,25	1,27	+6	—	0,52	—	0,81	0,35
					+3	0,65	0,63	—	—	0,64
					+2	—	—	—	—	0,83
Cs	2,655	2,62	—	2,68	+1	1,678	1,67	1,69	1,69	1,65
Cu	1,278	1,27	1,35	1,28	+2	0,47	0,72	—	0,96	0,80
					+1	—	0,96	—	—	0,98
F	0,709	0,64	0,64	—	+7	—	—	—	0,19	—
					−1	1,294	1,36	1,36	1,36	1,33
Fe	1,241	1,26	—	1,26	+3	0,67	0,64	—	—	0,67
					+2	0,80	0,71	—	—	0,80
H	0,3707	0,36	0,30 *	0,46	−1	—	1,53	—	2,08	1,36
Hg	1,503	1,50	1,48	1,60	+2	0,66	1,10	—	1,25	1,12
I	1,333	2,20	1,28	—	+7	—	0,50	—	0,77	(0,50)
					−1	2,228	2,20	2,16	2,16	2,20
K	2,272	2,36	—	2,36	+1	1,341	1,33	1,33	1,33	1,33
La	1,870	1,86	—	1,87	+3	1,14	1,14	1,15	1,39	1,04
Li	1,520	1,55	1,34	1,55	+1	0,758	0,68	0,60	0,60	0,68
Mg	1,599	1,60	1,40	1,60	+2	0,780	0,66	0,65	0,82	0,74
Mn	1,366	1,30	—	1,30	+7	—	0,46	—	0,75	(0,46)
					+4	0,52	0,60	—	—	0,52
					+2	0,83	0,80	—	—	0,91
Mo	1,363	1,36	1,40	1,39	+6	—	0,62	—	0,93	0,65
					+4	0,68	0,70	—	—	0,68
N	0,547	0,71	0,70	0,71	−3	—	1,48	—	—	1,48
Na	1,858	1,88	1,54	1,89	+1	1,012	0,97	0,97	0,95	—
NH_4	—	—	—	—	+1	—	—	—	1,42	—
Ni	1,246	1,24	1,24	1,24	+2	0,74	0,69	—	—	0,74
O	0,6037	0,66	0,66	—	+6	—	0,1	—	0,22	—
					−2	—	1,40	—	1,76	1,36
P	0,947	1,08	1,10	1,3	+5	0,66	0,3	—	0,59	0,35
Pb	1,750	1,75	1,46	1,75	+4	0,70	0,84	—	0,84	0,86
					+2	1,28	1,20	—	—	1,25
Pd	—	1,31	1,37	1,37	+4	—	0,65	—	—	0,64
					+2	—			—	0,88
Pt	1,388	1,38	1,38	1,38	+4	0,55	0,65	—	—	0,64
					+2	—	0,80	—	—	—
Rb	2,475	2,43	—	2,48	+1	1,488	1,47	1,48	1,48	1,49
S	1,02	1,04	1,04	—	−2	1,786	1,81	1,84	2,19	1,82
Sb	1,45	1,44	1,36	1,61	+5	—	0,62	—	0,89	0,62
					+3	—	0,76	—	—	0,90
Si	1,176	1,17	1,17	1,34	+4	(0,40)	0,42	—	0,65	0,39
Sn	1,405	1,40	1,40	1,58	+4	0,65	0,71	0,71	0,96	0,67
Sr	2,151	2,14	—	2,15	+2	1,175	1,12	1,13	1,32	1,20
Ti	1,44	1,46	—	1,46	+4	0,60	0,68	—	0,96	0,64
Zn	1,333	1,34	1,31	1,39	+2	0,566	0,74	—	0,88	0,83

* В H—H; в остальных связях 0,37.

124. Вандерваальсовы радиусы атомов

Вандерваальсовы радиусы (в отличие от кристаллических и ковалентных) — это радиусы несвязанных атомов и должны быть близки к кинетическим радиусам (см. табл. 129).

Атом	H	N	P	As	Sb	O	S	Se	Te	F	Cl	Br	I
$r \cdot 10$, нм	1,1	1,5	1,9	2,0	2,2	1,40	1,85	2,00	2,2	1,35	1,80	1,95	2,15

125. Радиусы ионов в бесконечно разбавленных водных растворах (по Робинсону и Стоксу)

Ион	Na^+	Li^+	Be^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}
$r_s \cdot 10$, нм	1,83	2,37	4,08	3,46	3,09	3,09
$r_{эфф} \cdot 10$, нм	3,3	3,7	4,6	4,4	4,2	4,2
$r_{крист} \cdot 10$, нм	0,97	0,60	—	0,65	0,99	1,13
h — число гидратации	5	7	13—14	12	10	10

Ион	Ba^{2+}	Zn^{2+}	La^{3+}	$N(CH_3)_4^+$	$N(C_4H_9)^+$	$N(C_5H_{11})^+$
$r_s \cdot 10$, нм	2,88	3,46	3,95	2,04	4,71	5,25
$r_{эфф} \cdot 10$, нм	4,1	4,4	4,6	3,47	4,94	5,29
$r_{крист} \cdot 10$, нм	1,35	0,74	1,15	—	—	—
h — число гидратации	9—10	12	13—14	—	—	—

126. «Термохимические» радиусы ионов

Данные в пределах 20 % согласуются с расчетом r_s.

Ион	H_3O^+	NH_4^+	OH^-	CN^-	ClO_4^-	$HCOO^-$	MnO_4^-	NCS^-	SH^-	SO_4^{2-}
$r \cdot 10$, нм	1,35	1,43	1,53	1,92	2,36	1,58	2,40	1,95	2,00	2,30

127. Значения постоянной Маделунга

Тип структуры	Пример соединения	Координационное число	A_M
Хлорид натрия	NaCl, AgCl, CdO, PbS	6	1,748
Хлорид цезия	CsCl, TlCl, RbF	8	1,763
Вюрцит	ZnS, BeO, ZnO, CdS	4	1,641
Сфалерит (цинковая обманка)	ZnS, CuCl, AgI, HgS	4	1,638
Флюорит	CaF_2, PbF_2, UO_2, Na_2S	8 (4)	5,039
Рутил	TiO_2, MgF_2, MnO_2, NiF_2	6 (3)	4,816
Куприт	Cu_2O	4 (2)	4,322

128. Энергия кристаллических решеток

Приведены значения энергии (теплоты) разрушения решетки (ΔH_{298} в кДж/моль).

Катионы	Анионы								
	F	Cl	Br	I	H	O	OH	S
Li	1044,3	862,3	819,6	764,6	923,0	—	—	—
Na	925,9	788,3	753,1	705,8	810,0	—	—	—
K	823,0	717,5	609,5	649,3	692,5	—	—	—
Rb	789,9	692,1	666,9	629,7	680,3	—	—	—
Cs	755,2	669,0	646,8	613,4	655,2	—	—	—
NH_4	818,4	642,6	617,5	579,9	—	—	—	—
Ag	872,8	784,9	759,8	738,9	—	2457,5	—	—
Cu (I)	—	856,0	830,9	789,1	—	2709,5	—	2579,8
Cu (II)	—	2763,9	—	—	—	4144,7	—	3726,3
Mg	2914,6	2500,3	2412,5	2303,7	—	3952,2	—	3324,3
Ca	2613,3	2240,9	2157,3	2065,2	—	3533,8	2584,0	3107,0
Sr	2462,7	2123,8	2048,5	1948,1	—	3320,4	2416,7	2902,0
Ba	2316,2	2023,4	1952,5	1847,6	—	3140,5	2299,5	2738,8
Zn	—	2688,6	2051,0	2596,6	—	4061,0	—	3441,7
Cd	2638,4	2504,5	2050,6	2358,1	—	3655,1	—	3228,4

КИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

129. Кинетические диаметры атомов и молекул

Кинетический диаметр σ — расстояние между центрами незаряженных частиц в состоянии соударения. Диаметр межмолекулярного взаимодействия при температуре T К вычисляют по формуле:

$$\sigma_T^2 = \sigma_\infty^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)$$

где σ_∞ — диаметр при весьма высокой температуре; C — постоянная Сезерленда.

Диаметр при критической температуре $\sigma_к$ вычисляется по формуле:

$$\sigma_к = \left(\frac{3b}{2\pi N_0}\right)^{1/3} = 2{,}61 \cdot 10^{-7}\ b^{1/3}$$

где N_0 — число молекул на 1 см³ при 273 К и 101,325 кПа, b — постоянная отталкивания Ван-дер-Ваальса, σ_0 — расстояние между частицами, на котором потенциальная энергия их взаимодействия равна нулю.

Атом или молекула	$\sigma_\infty \cdot 10$, нм	$\sigma_к \cdot 10$, нм	$\sigma_0 \cdot 10$, нм	C	Атом или молекула	$\sigma_\infty \cdot 10$, нм	$\sigma_к \cdot 10$, нм	$\sigma_0 \cdot 10$, нм	C
Ar	2,99	2,95	3,42	142	Ne	2,25	2,38	2,80	128
Br_2	3,80	—	(4,47)	533	NH_3	2,47	3,09	—	626
Cl_2	3,68	3,54	(4,12)	351	NO	3,09	2,81	3,47	128
CO	3,23	3,16	3,59	101	O_2	3,02	2,93	3,43	125
CO_2	3,45	3,23	4,00	213	SO_2	3,71	3,55	4,29	306
F_2	3,18	2,88	(3,63)	129	CH_4	3,33	3,24	3,82	162
H_2	2,22	2,59	2,97	234	CH_3OH	3,25	3,59	3,76	487
HBr	3,16	3,27	—	375	C_2H_2	3,72	3,44	4,22	198
HCl	2,96	3,19	3,31	362	C_2H_4	3,72	3,57	4,23	225
HI	3,55	—	—	390	C_2H_6	3,88	3,70	4,42	252
H_2O	2,27	2,89	—	961	C_2H_5OH	3,95	4,06	4,46	407
H_2S	3,18	3,24	—	331	CH_3Cl	3,57	3,38	3,72	441
He	1,82	2,66	2,70	173	CH_2Cl_2	4,23	—	4,76	425
Hg	2,51	2,38	2,83	942	$CHCl_3$	4,73	4,32	5,43	373
I_2	4,45	—	(4,98)	568	CCl_4	5,15	4,65	5,88	365
N_2	3,22	3,13	3,68	105	C_6H_6	4,71	4,51	5,27	448

130. Общая систематизация гомогенных реакций

Классификация реакций (по Ингольду)

Нуклеофильное замещение S_N:

$$Z^- + R - X \longrightarrow R - Z + X^-$$

$$Y - Z + R - X \longrightarrow R - Z + Y - X$$

Нуклеофильное мономолекулярное замещение S_{N_1}:

$$R - X \xrightarrow{\text{медленно}} R^+ + X^-$$

$$R^+ + Z^- \xrightarrow{\text{быстро}} R - Z$$

Нуклеофильное бимолекулярное замещение S_{N_2}:

$$Z + R - X \longrightarrow R - Z + X$$

Радикальное замещение S_R:

$$Z\cdot + R\cdot\!\!-\!\!\cdot X \longrightarrow R - Z + X$$

$$Y\cdot\!\!-\!\!\cdot Z + R\cdot\!\!-\!\!\cdot X \longrightarrow Y - X + R - Z$$

Электрофильное замещение S_E:

$$Z^+ + R - {:}X \longrightarrow R - Z + X^+$$

$$Y - {:}Z + R - {:}X \longrightarrow R - Z + Y - X$$

Мономолекулярное отщепление E_1:

$$H{-}CR_2{-}CR_2{-}X \xrightarrow{\text{медленно}} H{-}CR_2{-}CR_2^+ + X^-$$

$$H{-}CR_2{-}CR_2^+ \xrightarrow{\text{быстро}} H^+ + CR_2 = CR_2$$

Бимолекулярное отщепление E_2:

$$Z^-{:} + H{-}CR_2{-}CR_2{-}X \rightarrow Z{-}H + CR_2{=}CR_2 + {:}X^-$$

Нуклеофильные реагенты (доноры электронов в присутствии акцепторов):
анионы: H^-, OH^-, RO^- (R — радикал насыщенных углеводородов), $RCOO^-$ HOO^-, HS^-, S^{2-}, ArO^- (Ar — радикал ароматических углеводородов) ArS^-, NH_2^-, RHN^-, R_2N^-, X^- (галогены), карбанионы, например $(N{\equiv}C)_2\bar{C}R$;
молекулы: H_2O, ROH, ArOH, NRH_2, PH_3, $P(OH)_3$
Электрофильные реагенты (акцепторы электронов в присутствии доноров):
катионы: H^+, X^+ (галогены), NO^+, NO_2^+, HSO_3^+, $ArSO_2^+$, Me^+ (металлы), $ArN{=}N^+$, карбкатионы, например R_3C^+, Ar^+;
кислоты Льюиса: BF_3, $AlCl_3$, $ZnCl_2$;
молекулы: Br_2, ICl, $R_2C{=}O$, RCOCl, CO_2

Состояние симметрии реагентов и продуктов реакции (по Вудворду—Хоффману)

Если на реакционную систему не действуют излучения, то реакция может происходить в одну элементарную стадию лишь при сохранении молекулярной симметрии реагентов и продуктов реакции. Если на реакционную систему действуют излучения (например, видимого света или инфракрасное), то реакция может идти без сохранения симметрии, но в несколько стадий, с образованием промежуточных соединений.

131. Кинетические параметры гомогенных реакций

Кинетическими параметрами в выражениях скоростей гомогенных реакций вида $v = kc_1^{n_1}c_2^{n_2}\ldots$ являются константа скорости k и порядки реакции n_i по реагентам. Зависимость константы скорости реакции от температуры в области не слишком низких и не слишком высоких температур подчиняется уравнению Аррениуса $k = A \exp[-E/RT]$, где E — энергия (теплота) активации; A — предэкспоненциальный множитель, определяемый природой реагентов и среды (E и A слабо зависят от температуры).

Скорость реакции может быть выражена в различных единицах: $с^{-1}$, моль/(л·с), моль/(см³·с), в физических процессах — числом молекул в 1 см³ в 1 с, в реакциях между газами, — в Па/с или мм рт. ст./с.

Реакции в газах

Первый порядок

Реакция	A, $с^{-1}$	E, кДж/моль
Реакции между молекулами		
А. Разложение		
$C_2H_5Br \longrightarrow C_2H_4 + HBr$	$7{,}2\cdot10^{12}$	218,0
$C_2H_5Cl \longrightarrow C_2H_4 + HCl$	$4\cdot10^{4}$	247,5
$CH_3CHCl_2 \longrightarrow CH_2{=}CHCl + HCl$	$1{,}3\cdot10^{12}$	207,8
$CCl_3CH_3 \longrightarrow CCl_2{=}CH_2 + HCl$	$3{,}2\cdot10^{12}$	201,0
$CH_3COOC_2H_5 \longrightarrow CH_3COOH + C_2H_4$	$3{,}2\cdot10^{12}$	200,5
цикло-$(CH_3CHO)_3 \longrightarrow 3CH_3CHO$	$1{,}3\cdot10^{15}$	185,5
$N_2O_5 \longrightarrow N_2O_4 + \frac{1}{2}O_2$	$4{,}6\cdot10^{13}$	103,5
$N_2O_4 \longrightarrow 2NO_2$	10^{16}	54,4
Б. Изомеризация		
транс-Дихлорэтилен $\longrightarrow$ *цис*	$4{,}9\cdot10^{12}$	175,8
Циклопропан $\longrightarrow$ пропилен	$1{,}5\cdot10^{15}$	272,8
Винилаллиловый эфир $\longrightarrow$ аллилацетальдегид	$5\cdot10^{11}$	128,3
Реакции с участием атомов и радикалов		
$CCl_4 \longrightarrow CCl_3 + Cl$		356,2
$CH_3Cl \longrightarrow CH_3 + Cl$	$2\cdot10^{13}$	356,2
$C_2H_6 \longrightarrow 2CH_3$		354,0
$C_2H_5Br \longrightarrow C_2H_5 + Br$		225,2
$C_2H_5I \longrightarrow C_2H_5 + I$		216,0
$C_6H_5Br \longrightarrow C_6H_5 + Br$		297,2
$C_6H_5CH_2Br \longrightarrow C_6H_5CH_2 + Br$		211,8
$C_6H_5C_2H_5 \longrightarrow C_6H_5CH_2 + CH_3$		264,2

Второй порядок

Реакция	A, см³/(моль·с)	E, кДж/моль
Реакции между молекулами		
$CH_3CH{=}CHCH_3 + HBr \longrightarrow CH_3CH_2CHBrCH_3$	$1{,}6\cdot10^{10}$	94,2
$H_2 + C_2H_4 \longrightarrow C_2H_6$	$4\cdot10^{13}$	180,5
$H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI$	$1{,}6\cdot10^{14}$	165,5
$HI + CH_3I \longrightarrow CH_4 + I_2$	$2\cdot10^{14}$	140,0
$2HI \longrightarrow H_2 + I_2$	$9{,}2\cdot10^{13}$	186,4
$2NO_2 \longrightarrow 2NO + O_2$	$9{,}4\cdot10^{12}$	112,6
Реакции с участием атомов и радикалов		
$CH_3 + CH_3 \longrightarrow C_2H_6$	$1{,}03\cdot10^{4}$	0
$CH_3 + C_2H_4 \longrightarrow C_3H_7$	$2{,}5\cdot10^{11}$	29,3
$CH_3 + C_2H_6 \longrightarrow CH_4 + C_2H_5$	—	43,5
$CH_3 + C_6H_6 \longrightarrow CH_4 + C_6H_5$	$1{,}4\cdot10^{10}$	38,5
$CH_3 + CHCl_3 \longrightarrow CH_4 + CCl_3$	—	24,3
$CH_3NH_2 + BF_3 \longrightarrow CH_3NH_2BF_3$	$7{,}9\cdot10^{11}$	0
$C_2H_5 + C_2H_5 \longrightarrow C_4H_{10}$	$1{,}12\cdot10^{4}$	8,4
$Br + CH_4 \longrightarrow HBr + CH_3$	$5\cdot10^{13}$	76,6

Реакция	A, см³/(моль·с)	E, кДж/моль
$Br + C_2H_6 \longrightarrow HBr + C_2H_5$	—	58,2
$Br + H_2 \longrightarrow HBr + H$	$6{,}9\cdot10^{13}$	74,2
$Cl + CH_4 \longrightarrow HCl + CH_3$	$2{,}5\cdot10^{13}$	16,3
$Cl + C_2H_6 \longrightarrow HCl + C_2H_5$	$1{,}3\cdot10^{14}$	4,2
$Cl + H_2 \longrightarrow HCl + H$	$9{,}5\cdot10^{13}$	23,0
$H + CH_4 \longrightarrow H_2 + CH_3$	$3{,}2\cdot10^{10}$	27,6
$H + C_2H_2 \longrightarrow C_2H_3$	$2\cdot10^{11}$	75,4
$H + C_2H_4 \longrightarrow C_2H_5$	$3{,}2\cdot10^{13}$	17,2
$H + C_2H_6 \longrightarrow H_2 + C_2H_5$	$3{,}2\cdot10^{12}$	28,5
$H + CCl_4 \longrightarrow HCl + CCl_3$	—	14,6
$H + C_2H_5Cl \longrightarrow HCl + C_2H_5$	—	33,5
$H + HBr \longrightarrow H_2 + Br$	$1{,}3\cdot10^{15}$	4,6
$Na + CH_3Cl \longrightarrow NaCl + CH_3$	—	42,7
$NO + Cl_2 \longrightarrow NOCl + Cl$	$4\cdot10^{12}$	85,0
$OH + H_2 \longrightarrow H_2O + H$	$1{,}4\cdot10^{14}$	41,8
$OH + CO \longrightarrow CO_2 + H$	$1{,}3\cdot10^{13}$	29,3
$OH + CH_4 \longrightarrow H_2O + CH_3$	—	36,2
$OH + C_2H_6 \longrightarrow H_2O + C_2H_5$	—	23,0

Третий порядок

Реакция	A, см³/(моль·с)	E, кДж/моль
$2NO + Br_2 \longrightarrow 2NOBr$	$2{,}7\cdot10^{10}$	5,44
$2NO + Cl_2 \longrightarrow 2NOCl$	$4{,}6\cdot10^{9}$	15,5
$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$	$1{,}0\cdot10^{9}$	−4,7

Второй порядок

Реакция	Растворитель	A, см³/(моль·с)	E, кДж/моль
$CH_3COOC_2H_5 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_2H_5OH$	H_2O	$1{,}4\cdot10^{10}$	46,9
$CH_3COOC_3H_7 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_3H_7OH$	То же	$1{,}9\cdot10^{10}$	47,3
$CH_3COOC_4H_9 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_4H_9OH$	»	$2{,}1\cdot10^{10}$	47,7
$CH_2ICOOH + OH^- \longrightarrow CH_2OHCOOH + I^-$	»	$6{,}3\cdot10^{14}$	98,0
$C_2H_5Br + OH^- \longrightarrow C_2H_5OH + Br^-$	C_2H_5OH	$4{,}3\cdot10^{14}$	89,6
$CH_2ICOOH + Cl^- \longrightarrow CH_2ClCOOH + I^-$	H_2O	$7{,}9\cdot10^{14}$	95,8
$CH_2ClCOOH + I^- \longrightarrow CH_2ICOOH + Cl^-$	То же	$1{,}3\cdot10^{13}$	82,9
$CH_3Br + I^- \longrightarrow CH_3I + Br^-$	»	$1{,}7\cdot10^{13}$	76,6
$CH_3Br + I^- \longrightarrow CH_3I + Br^-$	CH_3OH	$2{,}3\cdot10^{13}$	76,2
$C_6H_5COCH_2Cl + I^- \longrightarrow C_6H_5COCH_2I + Cl^-$	CH_3COCH_3	$1{,}0\cdot10^{15}$	93,0
$CH_3I + C_2H_5O^- \longrightarrow CH_3OC_2H_5 + I^-$	C_2H_5OH	$2{,}4\cdot10^{14}$	81,6
$C_2H_5I + C_2H_5O^- \longrightarrow C_2H_5OC_2H_5 + I^-$	То же	$1{,}5\cdot10^{14}$	86,6
$C_6H_5CH_2I + C_2H_5O^- \longrightarrow C_6H_5CH_2OC_2H_5 + I^-$	»	$1{,}5\cdot10^{13}$	83,3
$C_3H_7I + C_2H_5O^- \longrightarrow C_3H_7OC_2H_5 + I^-$	»	$3{,}5\cdot10^{14}$	94,2
$C_2H_5ONa + C_2H_5I \longrightarrow C_2H_5OC_2H_5 + NaI$	»	$1{,}5\cdot10^{14}$	86,2
$C_6H_5N(CH_3)_2 + CH_3I \longrightarrow C_6H_5(CH_3)_3N^+ + I^-$	$C_2H_2Cl_4$	$2{,}2\cdot10^{4}$	49,0
$(C_2H_5)_3N + C_2H_5Br \longrightarrow (C_2H_5)_4N^+ + Br^-$	C_6H_6	$2{,}8\cdot10^{2}$	46,9
$(C_2H_5)_3N + C_2H_5Br \longrightarrow (C_2H_5)_4N^+ + Br^-$	CH_3COCH_3	$8{,}5\cdot10^{3}$	49,0
$C_6H_5(CH_3)_2N + C_2H_5I \longrightarrow C_6H_5(CH_3)_2C_2H_5N^+ + I^-$	То же	$2{,}7\cdot10^{4}$	57,4
$C_6H_5(CH_3)_2N + CH_3I \longrightarrow C_6H_5(CH_3)_3N^+ + I^-$	$C_6H_5NO_2$	$2{,}6\cdot10^{4}$	54,4
$C_6H_5(CH_3)_2N + CH_3I \longrightarrow C_6H_5(CH_3)_3N^+ + I^-$	$C_2H_2Cl_2$	$2{,}1\cdot10^{4}$	49,0
$C_6H_5(CH_3)_2N + CH_3I \longrightarrow C_6H_5(CH_3)_3N^+ + I^-$	$C_6H_5CH_2OH$	$7{,}0\cdot10^{6}$	60,2
$CO_2 + OH^- \longrightarrow HCO_3^-$	H_2O	$1{,}5\cdot10^{13}$	38,2

132. Применимость уравнения Аррениуса к гомогенным реакциям между газами

$k = A \exp(-E/RT)$ [(см³/моль)$^{n-1}$/с]

$N_2O_5 \longrightarrow N_2O_4 + {}^1/_2O_2$				$2HI \longrightarrow H_2 + I_2$				$2NO + Br_2 \longrightarrow 2NOBr$				$CH_3CHO \longrightarrow CH_4 + CO$			
	$n = 1$; $A = 4{,}95 \cdot 10^{11}$; $E = 103{,}39$ кДж/моль			$n = 2$; $A = 9{,}17 \cdot 10^{10}$; $E = 185{,}98$ кДж/моль				$n = 3$; $A = 2{,}7 \cdot 10^{4}$; $E = 5{,}44$ кДж/моль				$n = 2$; $A = 4{,}03 \cdot 10^{12}$; $E = 138{,}91$ кДж/моль			
T, К	$k_{эксп}$	$k_{расч}$	T, К	$k_{эксп}$	$k_{расч}$	T, К	$k_{эксп}$	$k_{расч}$	T, К	$k_{эксп}$	$k_{расч}$	T, К	$k_{эксп}$	$k_{расч}$
273	$7{,}87 \cdot 10^{-7}$	$7{,}67 \cdot 10^{-7}$	556	$3{,}52 \cdot 10^{-7}$	$3{,}11 \cdot 10^{-7}$	265	$2{,}12 \cdot 10^{3}$	$2{,}16 \cdot 10^{3}$	631	$1{,}23 \cdot 10$	$1{,}22 \cdot 10$
288	$1{,}04 \cdot 10^{-5}$	$0{,}82 \cdot 10^{-5}$	575	$1{,}22 \cdot 10^{-6}$	$1{,}18 \cdot 10^{-6}$	273	$2{,}35 \cdot 10^{3}$	$2{,}34 \cdot 10^{3}$	647	$2{,}30 \cdot 10$	$2{,}37 \cdot 10$
293	$1{,}76 \cdot 10^{-5}$	$1{,}72 \cdot 10^{-5}$	629	$3{,}02 \cdot 10^{-5}$	$3{,}33 \cdot 10^{-5}$	288	$2{,}68 \cdot 10^{3}$	$2{,}70 \cdot 10^{3}$	663	$4{,}48 \cdot 10$	$4{,}42 \cdot 10$
298	$3{,}38 \cdot 10^{-5}$	$3{,}43 \cdot 10^{-5}$	647	$8{,}59 \cdot 10^{-5}$	$8{,}96 \cdot 10^{-5}$				676	$7{,}71 \cdot 10$	$7{,}17 \cdot 10$
308	$1{,}35 \cdot 10^{-4}$	$1{,}36 \cdot 10^{-4}$	666	$2{,}19 \cdot 10^{-4}$	$1{,}92 \cdot 10^{-4}$				696	$1{,}44 \cdot 10^{2}$	$1{,}43 \cdot 10^{2}$
313	$2{,}47 \cdot 10^{-4}$	$2{,}54 \cdot 10^{-4}$	683	$5{,}12 \cdot 10^{-4}$	$5{,}53 \cdot 10^{-4}$						
318	$4{,}98 \cdot 10^{-4}$	$4{,}73 \cdot 10^{-4}$	700	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	$1{,}21 \cdot 10^{-3}$						
323	$7{,}59 \cdot 10^{-4}$	$8{,}80 \cdot 10^{-4}$	716	$2{,}50 \cdot 10^{-3}$	$2{,}53 \cdot 10^{-3}$						
328	$1{,}50 \cdot 10^{-3}$	$1{,}60 \cdot 10^{-3}$	781	$3{,}95 \cdot 10^{-2}$	$3{,}33 \cdot 10^{-2}$						
338	$4{,}87 \cdot 10^{-3}$	$4{,}84 \cdot 10^{-3}$									

133. Отношения параметров уравнения Аррениуса при реакциях Меншуткина в бензоле и в различных растворителях

$k = A \exp(-E/RT)$; $\Delta \lg k = \lg(k_б/k_р)$; $\Delta \lg A = \lg(A_б/A_р)$; $\Delta E = E_б - E_р$; ε — диэлектрическая проницаемость растворителя.

Растворитель	ε	$(C_2H_5)_3N + C_2H_5I \longrightarrow (C_2H_5)_4I$			$C_5H_5N + CH_3I \longrightarrow C_5H_5 \cdot CH_3NI$		
		$\Delta \lg k$	$\Delta \lg A$	$\Delta E/2{,}3RT$	$\Delta \lg k$	$\Delta \lg A$	$\Delta E/2{,}3RT$
Гексан	1,89	—2,6	0,7	3,3	—	—	—
Циклогексан	2,02	—2,3	1,7	4,0	—	—	—
Тетрахлорметан	2,24	—	—	—	—1,2	2,1	3,3
Изопропиловый эфир	3,88	—	—	—	—1,0	—1,0	0,0
Хлороформ	4,64	—	—	—	0,5	—0,2	—0,7
Толуол	2,38	—0,4	0,7	1,1	—0,1	0,1	0,2
Дифенилметан	2,57	0,1	0,3	0,2	—	—	—
Дифениловый эфир	3,70	0,4	0,6	0,2	—	—	—
Анизол	4,33	—	—	—	0,8	0,1	—0,7
Йодбензол	4,62	0,8	1,1	0,3	1,0	0,7	—0,3
Бромбензол	5,40	0,5	1,3	0,8	0,7	0,3	—0,4
Фторбензол	5,42	0,6	0,8	0,2	—	—	—
Хлорбензол	5,62	0,5	0,8	0,3	0,5	0,3	—0,2

134. Константы скорости реакций Меншуткина в растворах галогенпроизводных бензола

Реакции при 373 К: I. $C_2H_5I + (C_2H_5)_3N$; II. $C_2H_5I + C_5H_5N$; III. $C_2H_5Br + C_5H_5N$. R — константы атомных рефракций заместителей при фенильной группе по Ингольду; ε — диэлектрическая проницаемость растворителя при 25 °С.

Растворитель	ε	R, см³/моль	$k \cdot 10^4$		
			I	II	III
Бензол	2,27	1,10	4,0	0,4	0,3
Хлорбензол	5,62	6,03	13,8	1,2	1,0
Бромбензол	5,40	8,80	16,0	1,7	1,2
Иодбензол	4,62	13,94	26,5	2,7	1,9

135. Корреляционные соотношения в ряду ароматических соединений

Обобщенное корреляционное уравнение для описания влияния заместителя Y, находящегося в мета- или пара-положении фенильного кольца субстрата, на реакционную способность последнего имеет вид:

$$\lg k/k_0 = \rho\,(\sigma + R\Delta\sigma_R^{\pm})$$

где k и k_0 — константы скорости (или равновесия) для замещенного и незамещенного (Y = H) субстратов соответственно; σ — константа заместителя, характеризующая полярное влияние заместителя Y на реакционный центр; величина σ положительна для электроноакцепторных заместителей, отрицательна для электронодонорных заместителей и равна нулю для Y = H; $\Delta\sigma_R^{\pm} = \sigma^{\pm} - \sigma$ — мера способности заместителя к прямому полярному сопряжению с электроноакцепторным (σ^+) или электронодонорным (σ^-) реакционным центром; для мета-заместителей $\Delta\sigma_R^{\pm} \approx 0$; ρ — реакционная константа, величина которой характеризует чувствительность реакционной серии к полярному влиянию заместителей, а знак зависит от характера реакции: $\rho > 0$ для нуклеофильных и $\rho < 0$ для электрофильных реакций; R — параметр чувствительности реакционной серии к эффекту прямого полярного сопряжения. При $R \approx 0$ корреляционное соотношение принимает вид уравнения Гаммета:

$$\lg k/k_0 = \rho\sigma \qquad (1)$$

При $R \approx 1$ получается уравнение Брауна

$$\lg k/k_0 = \rho^+\sigma^+ \qquad (2)$$

или его аналог для нуклеофильных реакций:

$$\lg k/k_0 = \rho^-\sigma^- \qquad (3)$$

Наряду с константами σ, σ^+, σ^- в корреляционном анализе применяют индукционные константы σ_I и так называемые нормальные константы заместителей σ^0, в которых полностью исключен вклад эффекта прямого полярного сопряжения заместителей с реакционным центром.

Погрешность констант скорости, рассчитанных по уравнению Гаммета и другим корреляционным соотношениям, обычно не превышают ±15 %.

Константы заместителей, применяемых в корреляционном анализе

Заместитель	σ_I	Мета		Пара			
		σ^0	σ	σ^0	σ	σ^+	σ^-
—H	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
—CH_3	—0,08	—0,07	—0,069	—0,15	—0,170	—0,301	—0,170
—C_2H_5	—0,05	—0,07	—0,07	—	—0,151	—0,295	—0 151
—C_6H_5	0,08	—	0,06	0,00	—0,01	—0,194	0,30
—F	0,52	0,35	0,337	0,17	0,062	—0,073	0,062
—Cl	0,47	0,37	0,373	0,27	0,227	0,114	0,227
—Br	0,44	0,38	0,391	0,26	0,232	0,150	0,232
—I	0,39	0,35	0,352	0,27	0,18	0,135	0,18
—CHO	0,31	—	0,355	—	0,45	0,465	1,126
—OH	0,35	0,13 *	0,127	—0,12 *	—0,37	—0,92	—0,37
		0,04 **		—0,13 **			
—OCH_3	0,29	0,06 **	0,115	—0,16 **	—0,268	—0,764	—0,268
—OC_2H_5	0,27	—	0,1	—0,123	—0,24	—0,744	—0,24
—$COOCH_3$	0,30	0,36	0,315	0,46 3*	0,436	0,489	0,636
—$COOC_2H_5$	0,21	—	0,37	—	0,45	0,482	0,678
—NH_2	0,05	—0,14	—0,16	—0,38	—0,66	—1,40	—0,66
—$NHCH_3$	—	—0,22	—0,302	—0,42	—0,84	—	—0,84
—$N(CH_3)_2$	0,10	—0,15	—0,211	—0,44	—0,83	—1,7	—0,83
—$N(C_2H_5)_2$	—	—	—0,231	—	—0,98	—1,93	—0,902
—$N(CH_3)_3^+$	0,93	—	0,88	—	0,82	0,408	0,77
—NO_2	0,60	0,70	0,710	0,82 3*	0,778	0,790	1,270
—CN	0,58	0,62	0,56	0,69 3*	0,66	0,659	1,000
				0,63 **			

* Данные только для водных растворов.

** Данные для растворителей, не имеющих гидроксильных групп, и для большинства смесей воды с органическими растворителями.

3* Данные для водных растворов и большинства смесей воды с органическими растворителями.

Параметры корреляционных уравнений для некоторых реакционных серий

Через X обозначен замещенный фенил YC_6H_4—. Константа k выражена в л/(моль·с).

Реакция	Растворитель	t, °C	$-\lg k_0$	ρ	Корреляционное уравнение	Примечания
$X{-}COOH \overset{k}{\rightleftharpoons} X{-}COO^- + H^+$	H_2O	25	4,203	1,000	1	Стандартная реакционная серия
$X{-}OH \overset{k}{\rightleftharpoons} X{-}O^- + H^+$	CH_3OH	25	6,514	1,537	1	
	C_2H_5OH	25	7,206	1,957	1	
	H_2O	25	9,847	2,113	3	
	C_2H_5OH (95 %)	20	12,572	2,364	3	
$X{-}COOCH_3 + OH^- \xrightarrow{k} X{-}COO^- + CH_3OH$	Ацетон (60 %)	25	2,075	2,229	1	
$X{-}COOC_2H_5 + OH^- \xrightarrow{k} X{-}COO^- + C_2H_5OH$	Ацетон (60 %)	50	1,247	1,920	1	
$X{-}COCl + H_2O \xrightarrow{k} X{-}COOH + HCl$	Ацетон (95 %)	25	2,557	2,265	1	
$X{-}H + Br_2 \xrightarrow{k} X{-}Br + HBr$	CH_3COOH (лед.)	25	4,200	1,782	1	
$X{-}H + HNO_3 \xrightarrow{k} X{-}NO_2 + H_2O$	CH_3COOH (лед.)	25	—	—12,4	2	
$[(CH_3)_2N{-}C_6H_4{-}\overset{+}{C}{-}X]_2 + CH_3OH \xrightarrow{k}$		25	—	—6,377	2	$R = 0{,}9$
$\rightarrow [(CH_3)_2N{-}C_6H_4{-}C(OCH_3){-}X]_2 + H^+$	CH_3OH	25	2,93	0,94	2	
$[(CH_3)_2N{-}C_6H_4{-}\overset{+}{C}{-}X]_2 + OH^- \xrightarrow{k}$						
$\rightarrow [(CH_3)_2N{-}C_6H_4{-}C(OH){-}X]_2$	H_2O	25	—0,337	0,46	2	$R = 0{,}72$
$X{-}O^- + C_2H_5I \xrightarrow{k} X{-}OC_2H_5 + I^-$	C_2H_5OH	42,5	3,955	—0,994	3	
$X{-}NH_2 + C_6H_5COCl \xrightarrow{k} X{-}NHCOC_6H_5 + HCl$	C_6H_6	25	1,03	—2,07	3	
$(X{-}NCH_3)_2 + CH_3I \xrightarrow{k} X{-}N(CH_3)_3^+ I^-$	CH_3OH	62	1,940	—2,142	3	

136. Константы скорости инверсии сахарозы в 0,05 *M* серной кислоте в зависимости от состава раствора и температуры

Состав раствора		$k \cdot 10^5$, c^{-1}		
$C_{12}H_{22}O_{11}$, г/л	H_2O, моль/л	20 °C	30 °C	50 °C
100	51,95	4,43	18,3	229
200	48,45	4,79	19,77	255
500	38,09	5,95	24,5	—

137. Константы скорости щелочного омыления сложных эфиров

t, °C	k, см³/(моль·с)	k, л/(моль·мин)	t, °C	k, см³/(моль·с)	k, л/(моль·мин)
Этилацетат $CH_3COOC_2H_5$			Бутилацетат $CH_3COOC_4H_9$		
0	19,5	1,17	10	35,3	1,94
20	84,7	5,08	20	65,5	3,93
25	109,3	6,56			
Этилпропионат $CH_3CH_2COOC_2H_5$			*втор*-Бутилацетат $CH_3COOC_4H_9$		
0	19	1,14	10	29,3	1,76
25	95,7	5,94	20	59	3,54
Пропилацетат $CH_3COOC_3H_7$			*трет*-Бутилацетат $CH_3COOC_4H_9$		
10	35,8	2,15	10	0,615	0,0369
20	70,5	4,23	20	1,35	0,0810

138. Константы скорости реакций нуклеофильного замещения

$$RX + Y^- \longrightarrow RY + X^-$$

Весьма малая зависимость константы скорости от температуры объясняется малостью энергии активации. Константа k выражается в л/(моль·с).

Реакция	lg k	
	298 K	323 K
Растворитель—вода		
$C_2H_5COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_2H_5OH$	7,21	7,21
$C_3H_7COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_3H_7OH$	7,31	7,31
изо-$C_3H_7COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- +$ *изо*-C_3H_7OH	6,80	6,80
$C_4H_9COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + C_4H_9OH$	7,32	7,32
изо-$C_4H_9COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- +$ *изо*-C_4H_9OH	7,47	7,47
втор-$C_4H_9COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- +$ *втор*-C_4H_9OH	6,37	6,37
трет-$C_4H_9COOCH_3 + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- +$ *трет*-C_4H_9OH	6,88	6,88
$CH_3Br + S_2O_3^{2-} \longrightarrow CH_3S_2O_3^- + Br^-$	12,81	12,81
$CH_3I + S_2O_3^{2-} \longrightarrow CH_3S_2O_3^- + I^-$	12,33	12,33
п-$NO_2C_6H_4CH_2Br + Cl^- \longrightarrow$ *п*-$NO_2C_6H_4CH_2Cl + Br^-$	9,28	9,28
Растворитель—ацетон		
$C_3H_7Cl + I^- \longrightarrow C_3H_7I + Cl^-$	8,07	8,07
$C_4H_9Cl + I^- \longrightarrow C_4H_9I + Cl^-$	11,33	11,33

139. Константы скорости быстрых реакций между молекулами или между ионами

$$HA + H_2O \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} H_3O^+ + A^-; \quad K_{равн} = k_1/k_2$$

Кислота	k_1, c^{-1}	k_2, л/(моль·с)	$K_{равн}$, моль/л
Растворитель — вода при 25 °C			
H_2O	$2{,}6 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{-16}$
NH_4^+	—	$3 \cdot 10^{10}$	—
CH_3COOH	$8 \cdot 10^5$	$4{,}5 \cdot 10^{10}$	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
HSO_4^-	$1{,}5 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{11}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$
$C(CH_3)_3COOH$	$1{,}4 \cdot 10^5$	$1{,}5 \cdot 10^{10}$	$9{,}3 \cdot 10^{-6}$
Раствор LiCl (*1M*) *при 20 °C**			
HCOOH	$1{,}88 \cdot 10^7$	$5{,}0 \cdot 10^{10}$	$3{,}78 \cdot 10^{-4}$
CH_3COOH	$1{,}39 \cdot 10^6$	$3{,}8 \cdot 10^{10}$	$3{,}67 \cdot 10^{-5}$
C_6H_5COOH	$4{,}0 \cdot 10^6$	$2{,}84 \cdot 10^{10}$	$1{,}41 \cdot 10^{-4}$
м-$C_6H_4(OH)COOH$	$8{,}1 \cdot 10^6$	$4{,}44 \cdot 10^{10}$	$1{,}83 \cdot 10^{-4}$
п-$C_6H_4(OH)COOH$	$1{,}78 \cdot 10^6$	$3{,}10 \cdot 10^{10}$	$5{,}75 \cdot 10^{-5}$

* Погрешность констант скорости, измеренных в растворах LiCl, составляет ±30 %.

140. Константы скорости реакций в газовой и в жидкой фазах

Растворитель — вода при 25 °C

Реакция	lg $k_{газ}$	lg k_{H_2O}	$k_{H_2O}/k_{газ}$
$H\cdot + CH_3OH$	4,9	6,2	20
$H\cdot + C_2H_5OH$	6,3	7,2	8
$H\cdot + (CH_3)_2CHOH$	5,3	7,7	80
$H\cdot + CH_3COOCH_3$	4,85	5,8	9
$\cdot OH + H_2$	6,6	7,6	10
$\cdot OH + D_2$	6,05	7,2	14
$\cdot OH + CH_2O$	7,7	9,0	20
$\cdot OH + CH_3CHO$	7,6	8,85	18
$\cdot CH_3 + CH_3OH$	1,7	2,34	4,4
$\cdot CH_3 + C_2H_5OH$	2,14	2,77	4,3
$H\cdot + O_2 + M \longrightarrow HO_2\cdot + M$	10,71 (300 °C)	10,3	0,39
$H\cdot + CH_2{=}CH_2 \longrightarrow C_2H_5\cdot$	10,43	9,50	0,12
$\cdot CH_3 + C_2H_4 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2\cdot$	8,70	3,69 (85 °C)	$9{,}8 \cdot 10^{-6}$

Другие растворители

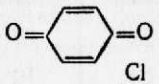
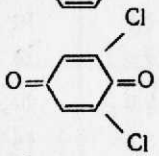
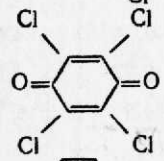
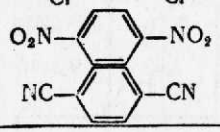
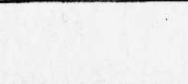
Реакция	Среда	$k \cdot 10^5$, c^{-1}	Реакция	Среда	$k \cdot 10^5$, л/(моль·с)
Распад N_2O_5, 20 °C	Газ	1,65	Димеризация циклопентадиена, 50 °C	Газ	0,62
	CCl_4	2,0		C_2H_5OH	2.0
	$CHCl_3$	2,8		CH_3COOH	1,0
	CH_3NO_2	1,55		CCl_4	1,6
				CS_2	0,7
				C_6H_6	1,0
				$C_6H_5NO_2$	2,2
				Циклопентадиен	0.7

141. Константы скорости продолжения и обрыва цепей в реакциях полимеризации при 25 °C

$k = A \exp(-E/RT)$

Мономер	Продолжение цепей		Обрыв цепей	
	A, л/(моль·с)	E, Дж/моль	A, л/(моль·с)	E, Дж/моль
Винилацетат	$3{,}98 \cdot 10^7$	26 400	$3{,}98 \cdot 10^9$	13 400
Метаметилакрилат	10^6	19 680	$1{,}26 \cdot 10^8$	5 033
Метилакрилат	$1{,}26 \cdot 10^8$	29 300	10^{10}	20 920
Стирол	10^7	30 580	$6{,}31 \cdot 10^7$	7 965

142. Константы скорости реакций мономеров с ингибиторами полимеризации

Ингибитор	Мономер	k, л/(моль·с)
	$CH_2{=}C(CH_3)COOCH_3$	$2{,}1 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}CHCOOCH_3$	$1{,}15 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}C(CH_3)COOCH_3$	$1{,}2 \cdot 10^4$
	$CH_2{=}CHCOOH$	$1{,}6 \cdot 10^4$
	$CH_2{=}C(CH_3)COOCH_3$	$1{,}05 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}CHCOOCH_3$	$2{,}0 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}(CH_3)COOCH_3$	$6{,}9 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}CHCOOCH_3$	$9{,}8 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}(CH_3)COOCH_3$	$4{,}1 \cdot 10^3$
	$CH_2{=}CHCOOCH_3$	$9{,}2 \cdot 10^1$

143. Колебательное возбуждение в реакциях обмена

Условия проведения реакции: импульсный фотолиз, смешение реагентов в потоке, давление от 0,05 до 240 Па. ΔH — излучаемая при релаксации теплота. Время релаксации $<10^{-8}$ с. v — колебательное квантовое число возбужденного уровня. Звездочкой обозначено рассчитанное значение v для CO.

Реакция	Высший колебательный уровень		$-\Delta H$, кДж
	возможный	наблюденный	
$H + Cl{-}Cl \longrightarrow HCl^v + Cl$	6	6	196
$Cl + H{-}I \longrightarrow HCl^v + I$	4	4	142
$Cl + H{-}Br \longrightarrow HCl^v + Br$	2	2	67
$H + Cl{-}NO \longrightarrow HCl^v + NO$	9	9 (10)	272
$Br + H{-}I \longrightarrow HBr^v + I$	2	2	67
$H + Br{-}Br \longrightarrow HBr^v + Br$	6	6	180
$H + F{-}F \longrightarrow HF^v + F$	9	9	377
$O + H{-}H \longrightarrow OH^v + H$	2	2 (3)	184
$O + H{-}OH \longrightarrow OH^v + OH$	2	2	121
$O + H{-}NH_2 \longrightarrow OH^v + NH_2$	4	2	188
$O + H{-}CH_3 \longrightarrow OH^v + CH_3$	5	2	201
$O + O{-}ClO \longrightarrow O_2^v + ClO$	15	8	255
$N + N{-}O \longrightarrow N_2^v + O$	12	1	314
$CS + SO \longrightarrow CO^v + S_2$	10 *	14	222

144. Критическая фотохимическая энергия разложения молекул

D — энергия (теплота) диссоциации.

Вещество	λ, нм	$E_{фх} = N_A h\nu$, кДж/моль	D, кДж/моль
HCl	215	556,8	431,4
HBr	326	367,2	366,5
HI	404	296,3	298,4
CsI	280	427,5	334,7
CH	275	435,3	333,0

145. Квантовый выход фотохимических реакций

Исходные вещества	Продукты реакции	Активируемая молекула	Реакционная среда	Длина волны λ·10, нм	Температура, °С	Выход
Br_2, H_2	HBr	Br_2	В газообразном состоянии	5000—5780		0—2
Br_2, C_6H_{12}	$C_6H_{11}Br$	Br_2	То же	4700		≈1
H_2, Cl_2	HCl	Cl_2	»	3030—5000	17—30	10^4—10^6
Cl_2, CO	$COCl_2$	Cl_2	»	4000—4360		10^3
C_2H_2	$(C_2H_2)_n$, полимер	C_2H_2	»	2150		9,2
CH_3CHO	H_2, CO	CH_3CHO	»	3130		2
CH_3COCH_3	C_2H_6, CO, CH_4	CH_3COCH_3	»	3130	60	0,2
HCHO	H_2, CO	HCHO	»	2500—3660		≤1
HI	H_2, I_2	HI	»	2070—2820	27	1,98—2,08
H_2S	H_2, S	H_2S	»	2080		1,0
NO_2	NO, O_2	NO_2	»	<4000		2
N_2O	N_2, O_2, NO	N_2O	»	Al-искровой спектр		≈1
I_2, Fe^{2+}	I_3^-, Fe^{3+}	I_2	H_2O	3600—5790		≈1
I_2, $HCOO^-$	I^-, CO	I_2	То же	3450—3500		15—25
CH_3COOH	CH_4, CO_2	CH_3COOH	»	1850—2300		0,5
HClO	HCl, $HClO_3$, O_2	HClO	»	3660—4360		≈2
H_2O_2	H_2O, O_2	H_2O_2	»	2750—3660		20—500
$K_2S_2O_8$	H_2SO_4, O_2	$K_2S_2O_8$	»	2537	10—21	0,58
Cl_2, $C_6H_5CH_3$	HCl, $C_6H_5CH_2Cl$	Cl_2	$C_6H_5CH_3$	4050	17—50	27
$C_2H_4I_2$	C_2H_4, I_2	$C_2H_4I_2$	CCl_4	4360		25
Cl_2O	Cl_2, O_2	Cl_2O	CCl_4	4450		≈1
Br_2, C_6H_6	C_6H_5Br, HBr	Br_2	C_6H_6	3000—5500		0,4—0,9

146. Среднее время жизни электроновозбужденных атомов

Атом	Переход	$\lambda_{возб}\cdot 10$, нм	t, с
He	$1^1S_0 \longrightarrow 2^1P_1$	584	$4{,}4\cdot 10^{-10}$
H	$1^2S_{1/2} \longrightarrow 2^2P_{3/2}$ (1/2)	1216	$1{,}2\cdot 10^{-8}$
Li	$2^2S_{1/2} \longrightarrow 2^2P_{3/2}$ (1/2)	6708	$2{,}7\cdot 10^{-8}$
Na	$3^2S_{1/2} \longrightarrow 3^2P_{3/2}$ (1/2)	5896	$1{,}6\cdot 10^{-8}$
K	$4^2S_{1/2} \longrightarrow 4^2P_{3/2}$ (1/2)	7699	$2{,}7\cdot 10^{-8}$
Cs	$6^2S_{1/2} \longrightarrow 6^2P_{3/2}$	8521	$3{,}3\cdot 10^{-8}$
Mg	$3^1S_0 \longrightarrow 3^3P_1$	4571	$4{,}0\cdot 10^{-3}$
Zn	$4^1S_0 \longrightarrow 4^3P_1$	3261	$2{,}4\cdot 10^{-6}$
Cd	$5^1S_0 \longrightarrow 5^3P_1$	3261	$2{,}4\cdot 10^{-6}$
	$5^1S_0 \longrightarrow 5^1P_1$	2288	$2{,}0\cdot 10^{-9}$
Hg	$6^1S_0 \longrightarrow 6^3P_1$	2537	$1{,}1\cdot 10^{-7}$
	$6^1S_0 \longrightarrow 6^1P_1$	1849	$1{,}3\cdot 10^{-9}$

147. Энтальпия образования радикалов

Радикал	ΔH_f°, 298, кДж/моль	Радикал	ΔH_f°, 298, кДж/моль	Радикал	ΔH_f°, 298, кДж/моль
C	716,7	CH_3CO	—18,0	Cl	121,3
CH	594,1	CBr_3	179,9	F	79,5
CH_2	382,0	CCl_3	82,4	I	106,8
CH_3	142,3	CF_3	—472,8	H	218,0
C_2H_5	107,5	CN	428,0	N	472,7
C_6H_5	322,2	Br	111,9	NH	377,4
CH_2OH	—36,4			NH_2	174,0
				OH	39,3
				O	249,2

148. Энергия активации реакций разложения в отсутствие или в присутствии катализатора

Реакция разложения	Катализатор	E, кДж/моль
Пероксида водорода	Без катализатора	75,4
	Иодид-ион	56,5
	Коллоидная платина	49,0
Трихлоруксусной кислоты	Вода (растворитель)	155,0
	Анилин (растворитель)	118,5
Диэтилового эфира в газовой фазе	Без катализатора	224,0
	Молекулярный иод	143,6
Уксусного альдегида	» »	136,1
Тринитробензойной кислоты в нитробензоле	Без катализатора	146,4
	Примесь воды	90,8
Иодистого этила в газовой фазе	Без катализатора	154,8
	Иод атомарный	52,3
Ацетондикарбоновой кислоты в водном растворе	Без катализатора	97,07
	Анилин	58,16
Гидролиз сахарозы в водном растворе	Без катализатора	Не идет
	Ионы водорода	106,94
	Сахараза (энзим)	36,40

149. Энергия активации каталитических реакций

Спирт	Дегидрирование		Дегидратация	
	катализатор	E, кДж/моль	катализатор	E, кДж/моль
C_2H_5OH	Медь	62,8	—	—
C_3H_7OH	»	50,6	Оксид алюминия	119,5
изо-C_3H_7OH	»	25,1	То же	109,0
	Никель	73,2	—	—
C_4H_9OH	Медь	51,9	—	—

150. Энергия разрыва связей (энергия диссоциации) в молекулах и радикалах газообразных веществ при 298 К в основном состоянии

Энергию разрыва связей в некоторых двухатомных молекулах см. в табл. 107.

Вещество	Продукты диссоциации	Энергия диссоциации, кДж/моль	Вещество	Продукты диссоциации	Энергия диссоциации, кДж/моль
CH	C, H	338,9	CH_3Cl	CH_3, Cl	349,8
CH_2	CH, H	430,1	CH_3F	CH_3, F	468,6
CH_3	CH_2, H	457,7	CH_3I	CH_3, I	234,3
CH_4	CH_3, H	435,1	C_6H_5Br	C_6H_5, Br	297,1
C_2H_2	C_2H, H	502,1	C_6H_5I	C_6H_5, I	265,3
	CH, CH	962,3	C_2H_5OH	C_2H_5, OH	381,2
C_2H_4	C_2H_3, H	443,5	CH_3NH_2	CH_3, NH_2	337,6
	CH_2, CH_2	711,7	CH_3NO_2	CH_3, NO_2	256,5
C_2H_6	C_2H_5, H	410,5	CH_3COOH	CH_3COO, H	461,5
C_6H_6	C_6H_5, H	457,3	H_2O	OH, H	498,7
CH_3Cl	CH_2Cl, H	425,5	H_2O_2	OH, OH	213,8
$CHCl_3$	CCl_3, H	401,7	NH	N, H	351,0
CH_3Br	CH_2Br, H	410,0	NH_2	NH, H	383,7
HCHO	CHO, H	364,0	NH_3	NH_2, H	438,1
CH_3OH	CH_2OH, H	399,2	N_2O_3	NO, NO_2	40,6
	CH_3, OH	383,3	N_2O_4	NO_2, NO_2	57,4
CH_3CH_2OH	CH_3CHOH, H	377,4	N_2O	N_2, O	167,4
CH_3CHO	CH_3, CHO	338,9	O_3	O_2, O	107,1
CH_3Br	CH_3, Br	291,6	SiO_2	SiO, O	472,8

АДСОРБЦИЯ И ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ

151. Адсорбция криптона на древесном угле при 193,5 К

Удельная поверхность сорбента 700 м²/г.

Количество адсорбированного (при нормальных условиях) на 1 г угля, см³	Равновесное давление		Заполнение поверхности, $n \cdot 10^{-13}$ молекул на 1 см²
	мм рт. ст.	кПа	
5,98	2,45	0,326	2,30
7,76	3,5	0,465	3,00
10,10	5,2	0,692	3,90
12,35	7,2	0,958	4,77
16,45	11,2	1,490	6,35
18,05	12,8	1,702	6,97
19,72	14,6	1,915	7,62
21,10	16,7	2,141	8,15

152. Теплота адсорбции газов при низких давлениях

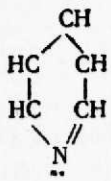
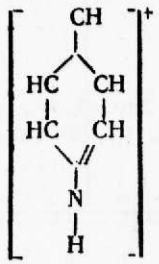
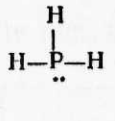
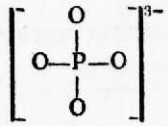
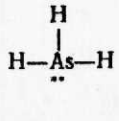
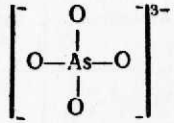
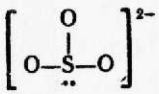
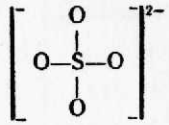
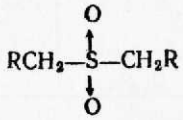
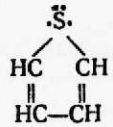
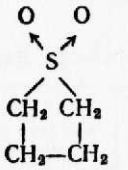
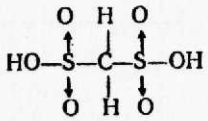
Давление примерно 100 Па.

Газ	Адсорбент	Теплота адсорбции, кДж/моль	Газ	Адсорбент	Теплота адсорбции, кДж/моль
Ar	LiF	6,65	Hg	Уголь	37,24
	KCl	7,95	N_2	»	19,04
	KI	9,79	CO_2	KCl	24,81
	CsCl	14,14		KI	29,29
	CaF_2	12,13		Уголь	29,66
Kr	KCl	10,04	NH_3	»	33,18
	Уголь	9,33			

153. Скорость адсорбции водорода пленками железа

Температура спекания, К	Быстрая сорбция, моль/мг Fe	Медленная сорбция, моль/мг Fe	Отношение скорости медленной к скорости быстрой сорбции
78	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	0,16
306	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$0,25 \cdot 10^{-7}$	0,18
431	$0,87 \cdot 10^{-7}$	$0,18 \cdot 10^{-7}$	0,20
638	$0,43 \cdot 10^{-7}$	$0,11 \cdot 10^{-7}$	0,26

154. Отравление катализаторов и структура адсорбирующихся веществ

Элемент	Соединения: токсичные	Соединения: нетоксичные
N	NH_3 	NH_4^+ 
P		
As		
S		
	$RCH_2—S—CH_2R$	
		
	$:\dot{S}=C=\dot{S}:$	

Литература

Общие справочники

1. *Landolt H., Börnstein R.* Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik. Neue Serie. Berlin.
2. *Landolt. H., Börnstein R.* Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. 6 Aufl. Berlin. 1950—1980.
3. Справочник химика/Под ред. Никольского Б. П. Изд. 2-е. Т. I—VI и дополнит., 1961—1968. Изд. 3-е. Т. I, II, 1971. Л.: Химия.
4. Техническая энциклопедия. Справочник физических, химических и технологических величин/Под ред. Мартенса Л. К. Т. I—X и XI (указатель). М.: Советская энциклопедия, 1927—1933.
5. Handbook of Chemistry and Physics/Ed. Hodgman Ch. O. V. 1—2. C. R. C. Cleveland (переиздания ежегодно).
6. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика. М.: Мир, 1976.
7. *Рабинович В. А., Хавин З. Я.* Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1978.

Тематические справочники и монографии

Свойства растворителей и растворов

8. *Ахадов Я. Ю.* Диэлектрические свойства бинарных растворов. М.: Наука, 1977.
9. *Вайсбергер А., Проскауэр Э., Риддик Д., Тунс Э.* Органические растворители. М.: ИЛ, 1958.
10. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972.
11. *Осипов О. А., Минкин В. И., Гарновский А. Д.* Справочник по дипольным моментам. М.: Высшая школа, 1971.
12. *Рид Р., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. 2-е изд. Л.: Химия, 1977.

Термохимия, фазовые и химические равновесия

13. *Белоусов В. П., Морачевский А. Г., Панов А. Г.* Тепловые свойства растворов. Справочник. Л.: Химия, 1981.
14. *Вол А. Е.* Строение и свойства двойных металлических систем. Т. 1—4. М.: Физматгиз, 1959—1979.
15. *Гурвич Л. В., Карачевцев Г. В., Кондратьев В. И. и др.* Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. М.: Наука, 1974.
16. *Гурвич Л. В., Хачкурузов Г. А., Медведев Н. А. и др.* Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Т. 1, 2. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
17. *Здановский А. Б., Ляховская Е. И., Шлеймович Р. И.* Растворимость многокомпонентных водно-солевых систем. Т. I—III. Л.: Госхимиздат, 1953—1961.
18. *Карапетьянц М. Х.* Химическая термодинамика. М.: Химия, 1975.
19. *Карапетьянц М. Х., Карапетьянц М. Л.* Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. М.: Химия, 1968.
20. *Карапетьянц М. Х., Чэн Гуанг-Юе.* Температура кипения и давление насыщенного пара углеводородов. М.: Гостоптехиздат, 1961.
21. *Киргинцев А. Н., Трушникова Л. Н., Лаврентьева В. Г.* Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. Л.: Химия, 1972.
22. *Коган В. Б., Огородников С. К., Кафаров В. В.* Справочник по растворимости. Т. 1—3. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962—1969.
23. *Коган В. Б., Фридман В. М., Кафаров В. В.* Равновесие между жидкостью и паром. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960.
24. *Мищенко К. П., Полторацкий Г. М.* Вопросы термодинамики и строения водных и неводных растворов электролитов. Л.: Химия, 1968; id. Термодинамика и строение водных и неводных растворов электролитов. Изд. 2-е. Л.: Химия, 1976.
25. *Наумов Г. Б., Рыженко Б. Н., Ходаковский Н. Л.* Справочник термодинамических величин (для геологов). М.: Атомиздат, 1971.
26. *Несмеянов А. Н.* Давление пара химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1961.

27. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей/Под ред. Воскресенской Н. К. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961.
28. *Сталл Д., Вестрам Э., Зинке Г.* Химическая термодинамика органических соединений. М.: Мир, 1971.
29. *Стэлл Д. Р.* Таблицы давления паров индивидуальных веществ. М.: ИЛ, 1949.
30. Термические константы веществ. Справочник в 10 выпусках/Отв. ред. Глушко В. П. М.: Изд-во ВИНИТИ АН СССР, 1965—1982.
31. Термодинамические свойства индивидуальных веществ.Справочное издание. Отв. ред. Глушко В. П. М.: Наука. Т. 1, 1978; т. 2, 1979; т. 3, 1981; т. 4, 1983.
32. *Хансен М., Андерко К.* Структуры двойных сплавов. М.: Металлургиздат, 1962.
33. *Barin J., Knacke O.* Thermochemical Properties of Inorganic Substances. Berlin, 1973, 1977.
34. Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties. NBS, Circ. 500. Washington, 1952.
35. *Timmermans J.* The Physico-chemical Constants of Binary Systems in Concentrated Solutions. N. Y., 1960.

Явления переноса

36. *Герцрикен С. Д., Дехтяр И. Я.* Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. М.: Физматгиз, 1960.
37. *Голубев И. Ф., Гнездилов Н. Е.* Вязкость газовых смесей. М.: Изд-во стандартов, 1971.
38. *Равдель А. А.* Уточненный способ вычисления коэффициентов диффузии газа в газ. — Труды ЛТИ им. Ленсовета, 1960, вып. 60.
39. *Равдель А. А., Шмуйлович Г. А., Самсонова А. С. и др.* Измерение коэффициентов диффузии электролитов различного валентного типа и определение кинетических параметров диффузионного переноса. — Термодинамика и строение растворов/Межвузовский сборник. Ивановский химико-технологический институт. Иваново, 1978.
40. *Франк-Каменецкий Д. А.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967.

Электрохимические равновесия и кинетика

41. *Альберт А., Сержент Е.* Константы ионизации кислот и оснований. Л.: Химия, 1964.
42. *Белл Р.* Протон в химии. М.: Мир, 1977.
43. *Глесстон С.* Введение в электрохимию. М.: ИЛ, 1951.
44. *Дамаскин Б. Б., Петрий О. А.* Основы теоретической электрохимии. М.: Высшая школа, 1978.
45. *Добош Д.* Электрохимические константы. М.: Мир, 1980.
46. *Латимер В.* Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. М.: ИЛ, 1954.
47. *Ротинян А. Л., Тихонов К. И., Шошина И. А.* Теоретическая электрохимия. Л.: Химия, 1981.
48. *Робинсон Р., Стокс Р.* Растворы электролитов. М.: ИЛ, 1963 (*Robinson R. A., Stokes R. H.* Electrolyte Solutions. 2ed. London, 1970).
49. Справочник по электрохимии/Под ред. Сухотина А. М. Л.: Химия, 1981.
50. Coefficients of Electrode Potentials. — J. Electrochem. Soc. 1959, v. 106, № 7, p. 623.
51. *Martell A., Sillen L.* Stability Constants of Metall-ion Complexes. London, 1964.
52. *Parsons R.* Handbook of Electrochemical Constants. London, 1959.

Строение молекул и спектры

53. *Волькенштейн М. В.* Строение и физические свойства молекул. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955.
54. *Герцберг Г.* Спектры двухатомных молекул. М.: ИЛ, 1954.
55. *Герцберг Г.* Электронные спектры и строение многоатомных молекул. М.: Мир, 1969.

56. *Глесстон С.* Теоретическая химия. М.: ИЛ, 1950.
57. *Грей Г.* Электроны и химическая связь. М.: Мир, 1976.
58. *Дей К., Селбин Д.* Теоретическая неорганическая химия. М.: Химия, 1976.
59. *Иоффе Б. В.* Рефрактометрические методы химии. 2-е изд. Л.: Химия, 1974.
60. *Краснов К. С., Филиппенко Н. В., Бобкова В. А. и др.* Молекулярные постоянные неорганических соединений. Л.: Химия, 1979.
61. *Селзуд П.* Магнетохимия. М.: ИЛ, 1949.
62. *Хигаси К., Баба Х., Рембаум А.* Квантовая органическая химия. М.: Мир, 1967.
63. *Эткинс П.* Кванты. Справочник концепций. М.: Мир, 1977.

Кристаллы

64. *Бокий Г. Б.* Кристаллохимия. М.: Наука, 1971.
65. *Ормонт Б. Ф.* Структуры неорганических веществ. М.: Гостехиздат, 1950.
66. *Шаскольская М. П.* Кристаллография. М.: Высшая школа, 1969.

Гомогенная и гетерогенная кинетика

67. *Вудворд Р., Хоффман Р.* Сохранение орбитальной симметрии. М.: Мир, 1971.
68. *Гаммет Л.* Основы физической органической химии. М.: Мир, 1972.
69. *Денисов Е. Т.* Кинетика гомогенных реакций. М.: Высшая школа, 1978.
70. *Денисов Е. Т.* Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций. М.: Наука, 1971.
71. *Жермен Ж.* Гетерогенный катализ. М.: ИЛ, 1961.
72. *Лейдлер К.* Кинетика органических реакций. М.: Мир, 1966.
73. *Пальм А.* Основы количественной теории органических реакций. Л.: Химия, 1977.
74. *Сайкс П.* Механизмы реакций в органической химии. М.: Химия, 1971.
75. *Тоуб М.* Механизмы неорганических реакций. М.: Мир, 1975.
76. *Трепнел Б.* Хемосорбция. М.: ИЛ, 1958.
77. *Энтелис С. Г., Тигер Р. П.* Кинетика реакций в жидкой фазе. М.: Химия, 1967.

Учебные пособия и руководства к расчетам

78. *Даниэльс Ф., Олберти Р.* Физическая химия. М.: Мир, 1978.
79. *Драго Р.* Физические методы в химии. М.: Мир, 1981.
80. *Карапетьянц М. Х.* Методы сравнительного расчета физикохимических свойств. М.: Наука, 1965.
81. *Кассандрова О. Н., Лебедев В. В.* Обработка результатов наблюдений. М.: Наука, 1970.
82. *Киреев В. А.* Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1975.
83. *Коттон Ф., Уилкинсон Дж.* Основы неорганической химии. М.: Мир, 1979. — *Коттон Ф., Уилкинсон Дж.* Современная неорганическая химия. Т. 1—3. М.: Мир, 1969.
84. *Мелвин-Хьюз Э. А.* Физическая химия. Кн. 1—2. М.: ИЛ, 1962.
85. *Несмеянов А. Н., Несмеянов Н. А.* Начала органической химии. Т. 1—2. М.: Химия, 1974.
86. *Полинг Л., Полинг П.* Химия. М.: Мир, 1978. — *Полинг Л.* Общая химия. М.: Мир, 1974.
87. *Столяров Е. А., Орлова Н. Г.* Расчет физико-химических свойств жидкостей. Л.: Химия, 1976.
88. *Фридрихсберг Д. А.* Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1974.
89. *Эйтель В.* Физическая химия силикатов. М.: Издатинлит, 1962.
90. *Эммануэль Н. М., Кнорре Д. Г.* Курс химической кинетики. М.: Высшая школа, 1974.
91. *Эткинс П.* Физическая химия. Т. 1—2. М.: Мир, 1980.

Информация в журналах

РЖХим — Реферативный журнал «Химия», ВИНИТИ АН СССР (с 1953 г.).
РЖБиохим — Реферативный журнал «Биологическая химия». ВИНИТИ АН СССР (с 1955 г.).

Журн. ВХО — Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, 1981, № 5.
Поиск химической информации; номенклатура химических соединений; оформление статей, диссертаций, авторских заявок, материалов для депонирования; подготовка научных докладов, рефератов, отчетов и т. п.

C. A. (A., Chem. Abs.) — Chemical Abstracts. США (с 1907 г.).

CAb — Current Abstracts of Chemistry, США (с 1960 г.).

Zbl. (Z.; Zb.; Chem. Zbl) — Chemisches Zentralblatt. Берлин (с 1907 г., под др. назв. — с 1830 г.).

Литература к таблицам

Номер в графе «Источники» соответствует номеру в списке литературы, приведенном выше. Треугольники служат знаками разделения между источниками

Номера таблиц	Источники
1—4	*Бурдун Г. Д.* Справочник по Международной системе единиц. М.: Изд-во стандартов, 1980 △ Фундаментальные физические константы. М.: Изд-во стандартов, 1979
5	3
6	6 △ 7 △ 9 △ 45 △ 59 △ *Гутман В.* Химия координационных соединений в неводных растворах. М.: Мир, 1971
7—8	3 △ 7 △ 59
9—13	3—7
14	12
15—17	6 △ 9 △ 11 △ 45
18	8
19	3
20	23
21—26	20 △ 26 △ 29
27	3
28	3 △ 21 △ 22 △ 23 △ 89 △ *Тонков Е. Ю.* Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. М.: Наука 1979
29 и 30	3
31—33	30 △ 34
34 и 35	24
36	13
37	*Воробьев А. Ф.* Некоторые вопросы термохимии водных и неводных разбавленных растворов электролитов. — В кн.: Материалы Всесоюзного симпозиума по термохимии растворов электролитов и неэлектролитов. Иваново, 1971
38 и 39	2 △ 3
40 и 41	Вычислено по данным табл. 44
42	3 △ 30
43, 45, 48	18
44	18 △ 25 △ 28 △ 30 △ 33 △ 82
46	*Karetnikov G. S.* Examples of physico-chemical calculations. Indian Inst. of technologie. Bombay, 1962
47	84
49	Вычислено по данным табл. 40 и 44
50	28 △ 30 △ 82 (интерполировано)
51	18 △ *Веннер Р.* Термохимические расчеты. М.: Издатинлит, 1950. △ *Kharasch M., Sher B.* — J. Phys. Chem., 1935, Bd. 29, S. 625. △ *Лебедева Н. Д.* К анализу формулы Д. П. Коновалова. — Труды ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, вып. 34 (94), 1958
52	37
53	*Keslin J., Sokolov M., Wakeham W.* — J. Phys. a. Chem., Ref. Data. 1978, v. 7. № 3, p. 941—944
54 и 55	12
56	*Пенкина Н. В.* — ЖФХ, 1977, т. 51, № 3, с. 657; ЖПХ, 1972, т. 45, № 4, с. 880
57	38
58	69 △ *Johnson P. A., Babb A. L.* Liquid diffusion of non-electrolytes. — Chem. Rev., 1956, v. 36, № 3, p. 387—454
59	39
60	36
61 и 62; 67	2
63 и 64	52
65	48 △ 49
66	Сборник физических констант/Под ред. Дорфман Я. Г. и Фриш С. Э. М.; Л.: ОНТИ, 1937
68 и 69	42 △ *Бродский А. И.* Физическая химия. М.; Л.: Госхимиздат, 1948
70	5
71 и 72, 74	48 △ 52
73	45 △ 49 (интерполировано)
75	2
76	43
77	51 △ *Яцимирский К. Б., Васильев В. П.* Константы нестойкости комплексных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1959. △ *Bjerrum J., Schwarzenbach G., Sillen L.* Stability Constants of Metall-ion Complexes. London, 1957, 1958
78	Вычислено по данным табл. 42 и 81
79	46 △ 49 △ 50
80	58
81	45 △ 47
82	См. литературу к табл. 70 и 71
83	84
84	Вычислено
85	*Антропов Л. И.* Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1969
86	49 △ *Фрумкин А. Н.* Потенциалы нулевого заряда. М.: Наука, 1979
87	47 △ *Tamatushi R.* Kinetic Parameters of Electrode Reactions. Inst. Phys. a. Chem. Res. Saitama, 1972
88	52
89	*Matheson M. S.* Advances in Chemistry. Series № 50. Am. Chem. Soc. Wash., 1965. △ *Jortner J., Noyes R.* — J. Phys. Chem., 1966, v. 70, p. 770. △ *Quayle O. R.* — Chem. Rev., 1953, v. 53, p. 439. △ *Sugden S.* — J. Chem. Soc., 1924, v. 125
90	59
91	84
92—94	9
95	3
96	15
97 и 98	78
99	56 △ 58
100	54 △ 60
101	62
102	79
103	58
104	54 △ *Уитли П.* Определение молекулярной структуры. М.: Мир, 1970. △ *Финч А., Гейтс П., Редклиф К.* Применение длинноволновой инфракрасной спектроскопии в химии. М.: Мир 1973
105	54 △ *Barrow G. M.* Introduction to Molecular Spectroscopy. N. Y.; L.: Internat. Student Edition.
106	54 △ 60
107	16 △ 91
108	56
109	60
110	Вычислены
111	

112	6 △ *К. Накаиси.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965
113 и 114	6
115	64 △ *Басоло Ф., Пирсон Р.* Механизмы неорганических реакций. М.: Мир, 1971
116	58
117	61
118	*Керрингтон А., Мак-Лечлан Э.* Магнитный резонанс и его применение в химии. М.: Мир, 1970
119	64 △ 66 △ 91
120—122	64 △ 65
123 и 124	86
125	48
126	*Мищенко К. П.* — ЖФХ, 1952, т. 26, с. 736
127	*Кемпбелл Дж.* Современная общая химия. М.: Мир, 1975. △ *Паулинг Л.* Природа химической связи. М.; Л.: Госхимиздат, 1947
128	См. литературу к табл. 40
129	2
130 и 131	67 △ *Ингольд К. К.* Механизм реакций и строение органических соединений. М.: ИЛ, 1959
132	84
133 и 134	77
135	68
136—138	69 △ 72 △ 90
139	*Колдин Е.* Быстрые реакции в растворах. М.: Мир, 1966
140	77
141 и 142	72
143	*Каррингтон Т., Гарвин Д.* Образование возбужденных частиц в химических реакциях. — В кн.: Возбуждение частиц в химической кинетике. М.: Мир, 1973
144	84
145	*Калверт Дж., Питтс Дж.* Фотохимия. М.: Мир, 1968
146	*Воюцкий В. В.* Физика и химия элементарных химических процессов. М.: Наука 1969
147, 150	15
148	75 △ 84
149 и 150, 152	84
153 и 154	76

Указатель

ISBN 5-86457-116-4

9 785864 571163

Справочное издание

Составители:

Наталья Михайловна Барон, Ариадна Михайловна Пономарева
Адольф Аркадьевич Равдель, Зинаида Никитична Тимофеева

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Ответственный редактор *В. Н. Шакиров*
Художественный редактор *В. А. Андреева*
Корректор *Н. Б. Петрова*

ЛР № 071099 от 09.11.94. Подписано в печать 10.12.98. Формат 60×90 1/16.
Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 14,5.
Тираж 4000. экз. Заказ 1

Издательство «Специальная Литература» при участии ТОО «Мифрил»
198052, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

Отпечатано в типографии ООО "ИПК "Бионт"
Санкт-Петербург, Средний пр. д. 86.