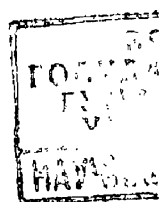


КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

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

*Издание десятое,
исправленное и дополненное*

Санкт-Петербург
«Иван Федоров»
2003



Составители:

Н. М. Барон, **А. М. Пономарева**,

А. А. Равдель, **З. Н. Тимофеева**

Рецензент

кандидат химических наук

В. А. Рабинович

К 78 Краткий справочник физико-химических величин. Издание десятое, испр. и дополн. / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой – СПб.: «Иван Федоров», 2003. – 240 с., ил. ISBN 5-8194-0071-2

Приведены таблицы важнейших физико-химических величин, используемых при изучении физической химии, в лабораторной практике и при различных физико-химических расчетах. В десятом издании материалы справочника уточнены и дополнены.

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

УДК 541(083)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	8
-----------------------	---

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Единицы измерения физических величин	9
2. Основные физические постоянные	10
3. Атомная единица массы и переход от массы к энергии	11
4. Соотношения между единицами измерения и значения часто встречающихся величин	11
5. Способы выражения концентраций и соотношения между ними	11

СВОЙСТВА РАСТВОРИТЕЛЕЙ И РАСТВОРОВ

6. Свойства органических растворителей	12
7. Показатели преломления жидкостей при 20 °С	14
8. Показатели преломления водных растворов при 20 °С	15
9. Плотность воды в интервале $-10 \div 100$ °С	15
10. Плотность жидкостей в интервале $0-60$ °С	16
11. Плотность растворов солей в воде	18
12. Плотность растворов неорганических кислот и оснований в воде при 20 °С	19
13. Плотность растворов органических соединений в воде при 20 °С	19
14. Поверхностное натяжение жидкостей в интервале $0-60$ °С	20
15. Дипольные моменты функциональных групп молекул	22
16. Дипольные моменты молекул газообразных веществ	24
17. Дипольные моменты молекул жидких веществ	24
18. Относительная диэлектрическая проницаемость систем вода — органическое вещество	24

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ

19. Растворимость газов в воде	25
20. Парциальные давления компонентов растворов	26
21. Давление насыщенного пара воды, льда и переохлажденной воды при различной температуре	28
22. Давление насыщенного пара ртути в интервале $-40 \div 358$ °С	29
23. Давление насыщенного пара металлов в интервале $400-2000$ К	29
24. Температура возгонки или кипения некоторых веществ при давлении ниже атмосферного или равном ему	30
25. Температура возгонки или кипения некоторых веществ при давлении выше атмосферного	36
26. Температура диссоциации твердых веществ при различном давлении	36
27. Давление пара над кристаллогидратами при различной температуре	37
28. Равновесия фаз в одно-, двух- и трехкомпонентных системах	38
29. Коэффициенты распределения некоторых веществ между жидкими фазами	44

ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

30. Теплота сгорания некоторых веществ в стандартных условиях	45
31. Интегральная теплота растворения солей в воде при 25 °С	46

32. Интегральная теплота растворения кислот и оснований в воде при 25 °С	48
33. Интегральная теплота растворения солей, образующих кристаллогидраты, при 25 °С	48
34. Интегральная теплота растворения солей в ацетоне, этиленгликоле, этаноле и метаноле	49
35. Интегральная теплота растворения иодида натрия в водно-диоксановых растворах при 25 °С	50
36. Теплота смешения жидкостей при 25 °С	51
37. Энтальпия сольватации галогенидов щелочных металлов в различных растворителях при 25 °С	53
38. Удельная теплоемкость водных растворов	53
39. Истинные атомные и молекулярные изобарные теплоемкости в интервале 10–298 К	54
40. Средняя теплоемкость простых веществ и соединений	56

ХИМИЧЕСКИЕ РАВНОВЕСИЯ

41. Термодинамические константы равновесия важнейших газовых реакций в зависимости от температуры	63
42. Критические параметры простых веществ и соединений	66
43. Коэффициенты активности реальных газов	69
44. Термодинамические свойства простых веществ, соединений и ионов в водных растворах и в жидком аммиаке	72
45. Величина $M_{\text{ж}}$ для вычисления стандартного изменения энергии Гиббса по методу Темкина и Шварцмана	92
46. Термодинамические функции линейного гармонического осциллятора (по Эйнштейну)	93
47. Характеристическая температура кристаллических веществ	95
48. Термодинамические колебательные функции кристаллических веществ (по Дебаю)	96
49. Логарифмы констант равновесия реакций образования некоторых веществ	97
50. Приведенная энергия Гиббса, приращение энтальпии и стандартная теплота образования (при $T = 0$ К) некоторых веществ в состоянии идеального газа	102
51. Эмпирические данные и зависимости для вычисления термодинамических величин	108

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

52. Вязкость газов при 25 °С и атмосферном давлении	111
53. Вязкость воды в интервале 5–100 °С	111
54. Вязкость жидкостей в интервале 0–60 °С	112
55. Вязкость водных растворов в зависимости от концентрации	114
56. Вязкость водных растворов электролитов	115
57. Коэффициенты диффузии газов в воздухе при нормальном атмосферном давлении	117
58. Коэффициенты самодиффузии неэлектролитов в жидкостях при нормальном атмосферном давлении	117
59. Коэффициенты диффузии электролитов в водных растворах в зависимости от температуры и состава	117
60. Коэффициенты диффузии в твердых телах	119

61. Удельная электрическая проводимость предельно чистой воды, перегнанной в вакууме	119
62. Удельная электрическая проводимость растворов KCl в интервале 0—30 °С	119
63. Молярная электрическая проводимость разбавленных водных растворов электролитов при 25 °С	120
64. Числа переноса катионов в водных растворах электролитов при 25 °С	122
65. Предельная молярная электрическая проводимость ионов в воде в интервале 0—100 °С	123
66. Электрическая проводимость растворов слабых кислот и основания при 25 °С	125

РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

67. Ионное произведение воды в интервале 0—100 °С	126
68. Значения функции кислотности при 25 °С	126
69. Константы кислотности в воде при 18 °С	127
70. рН стандартных растворов	128
71. Осмотические коэффициенты электролитов в водных растворах при 25 °С	129
72. Средние ионные коэффициенты активности сильных электролитов в водных растворах при 25 °С	130
73. Средние ионные коэффициенты активности электролитов в водных растворах в интервале 0—60 °С	133
74. Соотношения между концентрацией, активностью и средним ионным коэффициентом активности электролитов разного типа	135
75. Константы диссоциации слабых кислот и оснований в водных растворах при 25 °С	136
76. Характеристики кислотно-основных индикаторов	138
77. Константы нестойкости комплексных соединений	139
78. Произведение растворимости при 25 °С	142

ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

79. Стандартные электродные потенциалы в водных растворах при 25 °С	143
80. Потенциалы металлов в жидком аммиаке	147
81. Температурные коэффициенты электродвижущей силы	147
82. Диффузионные потенциалы в водных растворах при 25 °С	148
83. Влияние поверхностно-активного вещества на межфазный скачок потенциала	149
84. Значения множителя $2,303 RT/F$ в интервале 0—100 °С	149
85. Работа выхода электронов	149
86. Потенциалы нулевого заряда	150
87. Токи обмена	151
88. Перенапряжение при выделении водорода	153
89. Свойства гидратированного электрона	155

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩЕСТВА

90. Парахоры атомов и связей (по Квейлу)	155
91. Атомные рефракции (по Эйзенлору)	156

92. Поляризуемость молекул	156
93. Парциальные молярные рефракции водных растворов солей	157
94. Полярные рефракции	157
95. Дипольный момент молекул, диэлектрическая проницаемость и поляризация жидкостей	158
96. Удельное вращение оптически активных веществ	160
97. Энергия (потенциал) ионизации и сродство к электрону Электроотрицательность атомов по Полингу	162
98. Энергия (потенциал) ионизации и сродство к электрону молекул и радикалов	163
99. Нормированные волновые функции водородоподобных атомов	164
100. Квантовые числа и термы атомов	164
101. Термы двухатомных молекул	166
102. Молекулярные диаграммы по Хюккелю (ЛКАО—МОХ)	168
103. Симметрия молекул	170
104. Гибридизация и симметрия молекул	174

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

105. Чисто вращательные спектры	175
106. Колебательно-вращательные спектры некоторых молекул	176
107. Константы двухатомных молекул	178
108. Главные моменты инерции молекул	180
109. Активность колебаний в инфракрасных спектрах и спектрах комбинационного рассеяния	181
110. Строение и константы многоатомных молекул газообразных веществ	183
111. Силовые постоянные связей в двухатомных и многоатомных молекулах	189
112. Характеристические частоты поглощения групп атомов в молекулах	190
113. Длина межатомных связей в молекулах	193
114. Углы между связями в молекулах	194
115. Степень ионности связи в комплексных ионах и в двухатомных молекулах	194

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

116. Магнитные моменты молекул и ионов	195
117. Диамагнитная восприимчивость атомов и связей (по Паскалю)	196
118. Химические сдвиги протонов относительно тетраметилсилана	197

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

119. Симметрия кристаллов и кристаллические решетки	198
120. Параметры кубической решетки	200
121. Корреляция между координационным числом и отношением ионных радиусов	201
122. Постоянные кристаллических решеток	201
123. Радиусы атомов и ионов в кристаллах	202
124. Вандерваальсовы радиусы атомов	204
125. Радиусы ионов в бесконечно разбавленных растворах (по Робинсону и Стоксу)	204

126. «Термохимические» радиусы ионов · · · · ·	204
127. Значения постоянной Маделунга · · · · ·	204
128. Энергия кристаллических решеток · · · · ·	205

КИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

129. Кинетические диаметры атомов и молекул · · · · ·	206
130. Общая систематизация гомогенных реакций · · · · ·	206
131. Кинетические параметры гомогенных реакций · · · · ·	207
132. Применимость уравнения Аррениуса к гомогенным реакциям между газами · · · · ·	211
133. Отношения параметров уравнения Аррениуса при реакциях Меншуткина в бензоле и различных растворителях · · · · ·	212
134. Константы скорости реакций Меншуткина в растворах галогенпроизводных бензола · · · · ·	212
135. Корреляционные соотношения в ряду ароматических соединений · · · · ·	212
136. Константы скорости инверсии сахарозы в 0,05 М серной кислоте в зависимости от состава раствора и температуры · · · · ·	216
137. Константы скорости щелочного омыления сложных эфиров · · · · ·	216
138. Константы скорости реакций нуклеофильного замещения · · · · ·	216
139. Константы скорости быстрых реакций между молекулами или между ионами · · · · ·	217
140. Константы скорости реакций в газовой и в жидкой фазах · · · · ·	217
141. Константы скорости продолжения и обрыва цепей в реакциях полимеризации при 25 °С · · · · ·	218
142. Константы скорости реакций мономеров с ингибиторами полимеризации · · · · ·	218
143. Колебательное возбуждение в реакциях обмена · · · · ·	219
144. Критическая фотохимическая энергия разложения молекул · · · · ·	219
145. Квантовый выход фотохимических реакций · · · · ·	220
146. Среднее время жизни электроновозбужденных атомов · · · · ·	221
147. Энтальпия образования радикалов · · · · ·	221
148. Энергия активации реакций разложения в отсутствие или в присутствии катализатора · · · · ·	221
149. Энергия активации каталитических реакций · · · · ·	222
150. Энергия разрыва связей (энергия диссоциации) в молекулах и радикалах газообразных веществ при 298 К в основном состоянии · · · · ·	222

АДСОРБЦИЯ И ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ

151. Адсорбция криптона на древесном угле при 193,5 К · · · · ·	223
152. Теплота адсорбции газов при низких давлениях · · · · ·	223
153. Скорость адсорбции водорода пленками железа · · · · ·	223
154. Отравление катализаторов и структура адсорбирующихся веществ · · · · ·	224

Литература · · · · ·	225
Указатель · · · · ·	231

ПРЕДИСЛОВИЕ К ДЕСЯТОМУ ИЗДАНИЮ

При подготовке десятого издания «Краткого справочника физико-химических величин» практически сохранены объем и расположение материала восьмого издания 1983 года, когда были в добром здравии все его составители.

Девятое издание, выпущенное издательством «Специальная литература» в 1998 году, явилось, по сути дела, стереотипным.

В настоящем издании исправлены опечатки, случайные ошибки и неточности в таблицах 4, 44, 78, 82, 91, 95, 105–107, 110, 111, 117, 131, 135, 140. В таблице 47 приведена полезная формула Линдемана для расчета характеристической температуры кристаллических веществ. В таблице 110 «Строение и константы многоатомных молекул газообразных веществ» добавлены сведения о молекулах OCS и SO_3 . Уточнены ссылки на литературные источники.

Авторы стремились дать в справочнике, хотя и в сжатой форме, но систематический и по возможности широкий набор современных характеристик веществ.

Таблицы сгруппированы по разделам, что облегчает 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 общепотребительные 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.).

В большинстве таблиц неорганические вещества расположены по алфавиту формул, органические — в порядке возрастания числа атомов углерода, водорода, галогенов, кислорода, азота, серы (иногда по алфавиту русских названий вещества). 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 относятся к категории информационных.

Все замечания по новому изданию будут приняты с благодарностью.

А. М. Пономарева

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Единицы измерения физических величин

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

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

Обозначения единиц измерения

Название	Обозначение		Название	Обозначение	
	русское	международное		русское	международное
Ампер	А	A	Миллиметр		
Ангстрем	Å	Å	ртутного столба	мм рт. ст.	mm Hg
Атмосфера	атм	atm	Минута	мин	min
Бар	бар	bar	Моль	моль	mol
Ватт	Вт	W	Ньютон	Н	N
Вольт	В	V	Ом	Ом	Ω
Гаусс	Гс	Gs	Паскаль	Па	Pa
Генри	Гн (Г)	H	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	тор	torr
Калория	кал	cal	(мм рт. ст.)		
Кельвин	К	K	Фарада	Ф	F
Килограмм	кг	kg	Час	ч	h
Кулон	Кл	C	Электрон-вольт	эВ	eV
Литр	л	l	Эрг	эрг	erg
Метр	м	m			
Микрон	мк	μ			

Десятичные приставки к названиям единиц

Пристав- ки	Обозначение		Множи- тель	Пристав- ки	Обозначение		Множи- тель
	русское	международное			русское	международное	
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	СИ	Единицы измерения
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	$\epsilon = 1$
Магнитная проницаемость вакуума (магнитная постоянная)	μ_0	1,2566	1	10^{-6} Гн/м	$\mu = 1$
Элементарный заряд	e	1,6021892	46	10^{-19} Кл	10^{-20} см ^{1/2} · г ^{1/2} *
	e	4,80298	20	—	10^{-10} (см ^{3/2} · г ^{1/2})/с **
Масса покоя электрона	m_e	9,109534	47	10^{-31} кг	10^{-28} г
« « протона	m_p	1,6726485	86	10^{-27} кг	10^{-24} г
« « нейтрона	m_n	1,6749543	86	10^{-27} кг	10^{-24} г
Постоянная Фарадея	F	9,648456	27	10^4 Кл/моль	10^3 см ^{1/2} · г ^{1/2} з*
« Больцмана	k	1,380662	44	10^{-23} Дж/К	10^{-16} эрг/К
« Планка h	h	6,626176	36	10^{-34} Дж · с	10^{-27} эрг · с
« $\hbar = (2\pi)^{-1}h$	$\hbar$	1,054589	36	10^{-34} Дж · с	10^{-27} эрг · с
« Ридберга	R_∞	1,097373177	83	10^7 м ⁻¹	10^5 см ⁻¹
« газовая	R	8,31441	26	Дж/(К · моль)	10^7 эрг/(град · моль)
Радиус Бора (первый)	a_0	5,2917706	44	10^{-11} м	10^{-9} см
Магнетон Бора	μ_B	9,274078	36	10^{-24} Дж/Т	10^{-21} эрг/Гс
Ядерный магнетон	μ_N	5,050824	20	10^{-27} Дж/Т	10^{-24} эрг/Гс
Магнитный момент электрона	μ_e	9,284832	36	10^{-24} Дж/Т	10^{-21} эрг/Гс
« « протона	μ_p	1,410617	55	10^{-26} Дж/Т	10^{-23} эрг/Гс
Число Авогадро	N_A	6,022045	31	10^{23} моль ⁻¹	10^{23} моль ⁻¹

* В единицах СГСМ.
** В единицах СГСЭ
з* 1 моль однозарядных 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.
 $1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг.

Коэффициенты перехода от массы к энергии:

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

1 кг соответствует $8,98755 \cdot 10^{16}$ Дж (= 5,60954 · 10²⁹ МэВ)

4. Соотношения между единицами измерения и значения часто встречающихся величин

1 эрг = 10^{-7} Дж

1 термхим. кал (кал_{ТХ}) = 4,18400 Дж

1 мм рт. ст. = 133,3 Па

1 атм = $1,01325 \cdot 10^5$ Па (Н/м²)

1 Д = $3,33564 \cdot 10^{-30}$ 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) = $8,2057 \cdot 10^{-2}$ л · атм/(К · моль)

$2,303R = 19,148$ Дж/(К · моль)

$hc/k = 1,43878 \cdot 10^{-2}$ м · К

$k/h = 2,083 \cdot 10^{10}$ с⁻¹ · К⁻¹ (на 1 молекулу), $\lg(k/h) = 10,3187$

$ek/h = 5,662 \cdot 10^{10}$ с⁻¹ · 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
$(kT/h) \cdot 10^{-12}$, с ⁻¹	5,687	6,207	6,728	7,770
$\lg(kT/h)$	12,755	12,793	12,828	12,887
$(ekT/h) \cdot 10^{-13}$, 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.

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

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

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

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

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

где M_0 и M — молярная масса растворителя и растворенного вещества; ρ — плотность раствора, г/см³.

6. Свойства органи

Температуры плавления и кипения даны при нормальном атмосферном давлении. Растворимость при комнатной температуре: ∞ — вещества смешиваются во всех отношениях, н. р. — не растворяются, т. р. — трудно растворяются (менее 10–15 г в 100 г воды), л. р. — легко 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.

Растворитель	Мол масса	$t_{\text{плavl.}}$, °С	$t_{\text{кип.}}$, °С	Раство- римость в воде	ρ^{20} , г/см ³
Бензонитрил C_7H_5N	103,13	– 13	190,7	н. р.	1,0051
Гексаметилфосфортриамид $C_6H_{18}ON_3P$	179,20	—	66	н. р.	1,02
Диметилацетамид C_4H_9ON	87,12	– 20,0	165,0	∞	0,9366 (25°)
Диметиловый эфир этиленгликоля (целлозольв, глим) $C_4H_{10}O_2$	90,12	– 58	83	∞	0,863
Диметилсульфоксид C_2H_6OS	78,13	18,4	189 (разл.)	∞	1,1014 (25°)
Диметилформамид C_3H_7ON	73,09	– 61,0	153,0	∞	0,9445 (25°)
1,3-Диоксан $C_4H_8O_2$	88,10	– 42	107	∞	1,034
1,1-Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$	98,97	– 96,98	57,28	н. р.	1,1757
1,2-Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$	98,97	– 35,87	83,47	н. р.	1,257
Монометиловый эфир диэтиленгликоля $C_5H_{12}O_3$	120,15	—	193	∞	1,027
Пропиленкарбонат $C_4H_6O_3$	102,09	– 70	240	т. р.	1,204
Пропионитрил C_3H_5N	55,08	– 91,9	97,4	т. р.	0,782
Тетрагидрофуран C_4H_8O	72,10	– 65	65,7	∞	0,8892
Тетраметилсульфон (сульфолан) $C_4H_8O_2S$	120,16	28,9	283	л. р.	1,262 (30°)
Трибутилфосфат $C_{12}H_{27}O_4P$	266,33	– 80	289	т. р.	0,9727 (25°)
Фуран C_4H_4O	68,07	– 85,65	32	н. р.	0,9366
Этилендиамин $C_2H_8N_2$	60,10	8,5	116,5	∞	0,8977

РИТЕЛЕЙ И РАСТВОРОВ

ческих растворителей

Дипольный момент μ выражен в Кл · м ($1 \text{ Кл} \cdot \text{м} = 3 \cdot 10^{29} \text{ Д}$). Динамическая вязкость η приведена в Па · с при 20 °С или t , °С. Удельная электрическая проводимость κ указана в См/м при t , °С. Поверхностное натяжение σ выражено в Н/м при 20 °С или t , °С. Донорное число $DN_{\text{SbCl}_5} = -\Delta H_{D \cdot \text{SbCl}_5}$, 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.

n_D^{20}	ε	$\mu \cdot 10^{30}$ Кл · м	$\eta^{20} \cdot 10^3$, Па · с	κ , См/м	$\sigma^{20} \cdot 10^3$, Н/м	DN_{SbCl_5}
1,5289	25,2 (25°)	13,14	1,24 (25°)	$5 \cdot 10^{-6}$ (20°)	39,05	11,9
1,4579	30,0 (20°)	5,54	3,5	—	—	38,8
1,4384	38,9 (20°)	12,64	0,919 (25°)	—	—	27,8
1,3796	—	—	1,1	—	—	—
1,4770	45,0 (25°)	13,21	2,473	—	42,98 (25°)	29,8
1,4303	36,8 (25°)	12,74	0,796 (25°)	—	—	26,6
1,4165	—	7,10	—	—	—	—
1,4164	10,5 (25°)	6,87	0,505 (25°)	$<1,7 \cdot 10^{-6}$ (25°)	24,19 (25°)	—
1,4448	10,4 (25°)	5,84	0,80	—	32,23	0
1,4264	—	—	—	—	—	—
1,4189	65,1 (25°)	16,6	2,53	—	—	15,1
1,3655	27,0 (20°)	11,34	0,454 (15°)	—	—	16,1
1,4050	7,6 (25°)	5,44	—	—	—	20,0
—	44 (30°)	15,7	9,87 (30°)	—	—	14,8
1,4220	6,8 (25°)	—	3,89	—	27,2 (25°)	23,7
1,4214	2,95 (20°)	2,20	—	—	—	—
1,4568	14,2 (20°)	6,64	1,54 (25°)	—	—	—

7. Показатели преломления жидкостей при 20 °С

Спектральная линия D натрия $\lambda = 589 \text{ нм}$; $\frac{dn_D}{dt}$ — температурный коэффициент показателя преломления, справедливый в интервале $20 \pm 10^\circ \text{C}$

Вещество	n_D^{20}	$-\frac{dn_D}{dt} \cdot 10^4$	Вещество	n_D^{20}	$-\frac{dn_D}{dt} \cdot 10^4$
Аллиловый спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$	1.4125 *	4.1	Нитрометан $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$	1.3819	4.2
Анилин $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	1.5861	5.2	Октан C_8H_{18}	1.3977 *	4.8
Ацетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	1.3591	4.9	Пентан C_5H_{12}	1.3577 *	5.78
Ацетонитрил $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	1.3442	4.6	Пиридин $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	1.5095	5.5
Ацетофенон $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	1.5340	4.6	1-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	1.3854	3.8
Бензиловый спирт $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	1.5405	4.0	2-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	1.3776	3.9
Бензол C_6H_6	1.5011	6.35	Пропионовая кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	1.3869 *	3.8
Бромбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	1.5601	4.9	Сероуглерод CS_2	1.6277	7.8
1-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1.3993	3.9	Тетрахлорметан CCl_4	1.4603	5.5
2-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1.3958	3.9	Тиофен $\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$	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) CHCl_3	1.4456	5.9
Гептан C_7H_{16}	1.3876	5.06	Уксусная кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1.3718	3.9
Глицерин $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	1.4744	2.2	Уксусный альдегид $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	1.3311	5.6
1,4-Диоксан $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	1.4224	4.3	Уксусный ангидрид $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	1.3902 *	4.0
Диэтиловый эфир $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1.3526	5.6	Фенилгидразин $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2$	1.6105	2.4
n-Ксилол C_8H_{10}	1.4972	5.24	Фенилэтилен (стирол) C_8H_8	1.5468	—
o-Ксилол C_8H_{10}	1.5054	5.13	Фенол $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	1.54 (45 °C)	—
m-Ксилол C_8H_{10}	1.4958	5.28	Формамид CH_3ON	1.4472	—
Метанол CH_4O	1.3288	3.9	Фтортрихлорметан (фреон-11)	1.5246	—
			CFCl_3	(18 °C)	—
Метилацетат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	1.3593	—	Хлорбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	1.5248	5.4
Метилформиат $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1.3420	4.3	Циклогексан C_6H_{12}	1.4263 *	5.44
Муравьиная кислота CH_2O_2	1.3714	3.8	Этиленгликоль $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	1.4318	2.6
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$	1.5524	4.6	Этанол $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	1.3611	4.0
			Этилацетат $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	1.3726	4.9
			Этилформиат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	1.3603 *	4.4

* Линия D гелия.

10. Плотность жидкостей в интервале 0 — 60 °С

Вещество	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$, при температур., °С					
	0	10	20	30	40	50 60
Аллиловый спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$	0,8681	—	0,8508	0,8421	—	—
Анилин $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	1,0390	1,0303	1,0218	1,0131	1,0045	0,9872
Ацетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	0,8125	0,8014	0,7905	0,7793	0,7682	0,7496
Ацетонитрил $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	0,8035	0,7926	0,7822	0,7713	—	—
Ацетофенон $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	—	1,0364	1,0278	1,0194	1,0106	0,9757
Бензиловый спирт $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	1,0608	1,0532	1,0454	1,0376	1,0297	—
Бензол C_6H_6	0,9001	0,8895	0,8790	0,8685	0,8576	0,8357
Бромбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	1,5218	1,5083	1,4948	1,4815	1,4682	1,4411
1-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	0,8246	0,8171	0,8086	0,8020	—	—
2-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	—	—	0,8027	—	—	—
Вода H_2O	0,9999	0,9997	0,9982	0,9956	0,9922	0,9832
Гексан C_6H_{14}	0,6769	0,6684	0,6595	0,6505	0,6412	0,6221
Гептан C_7H_{16}	0,7005	0,6920	0,6836	0,6751	0,6665	0,6491
Глицерин $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	1,2674	1,2642	1,2594	1,2547	1,2500	1,2376
1,4-Диоксан $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	—	—	1,0338	—	—	—
Диэтиловый эфир $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	0,7362	0,7248	0,7135	0,7019	0,6894	0,6658
o-Ксилол C_8H_{10}	0,8969	0,8886	0,8802	0,8719	0,8634	0,8464
m-Ксилол C_8H_{10}	0,8811	0,8726	0,8642	0,8556	0,8470	0,8297
p-Ксилол C_8H_{10}	—	—	0,8610	0,8525	0,8437	0,8262
Метанол CH_4O	0,8100	0,8008	0,7915	0,7825	0,7740	0,7555
Метилацетат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	0,9593	(0,946)	0,9338	(0,920)	0,9075	0,8800
Метилформиат $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1,0032	0,9886	0,9742	0,9598	(0,945)	(0,913)
Муравьиная кислота CH_2O_2	—	—	1,2196	—	—	—
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$	1,2231	1,2131	1,2033	1,1936	1,1837	1,1638
Нитрометан $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$	—	—	1,1382	—	—	—
Октан C_8H_{18}	0,7185	0,7102	0,7022	0,6942	0,6860	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	1,0392	1,0282	1,0175	1,0060
Укусный альдегид C_2H_4O	—	—	0,783	—	—	—	—
Укусный 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

Мас- совое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$								
	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	—	—	—	—

Мас- совое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$									
	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 °С

Массовое содержание, %	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$						
	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	KOH	NH ₄ OH	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	2,218	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 °С

Массовое содержа- ние, %	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$						
	CH ₂ O ₂ (муравьиная кислота)	CH ₄ O (метанол)	C ₂ H ₄ O ₂ (уксусная кислота)	C ₂ H ₆ O (этанол)	C ₃ H ₆ O ₃ (глице- рин)	C ₆ H ₁₂ O ₆ (глю- коза)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (сахар- роза)
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 $C_4H_8O_2$	—	—	—	32,96	—	—	—	—
Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	19,4	18,2	17,0	—	15,8	14,6	13,5	12,4
o-Ксилол C_8H_{10}	32,28	31,16	30,03	29,48	28,93	27,84	26,76	25,70
m-Ксилол C_8H_{10}	30,92	29,78	28,63	28,08	27,54	26,44	25,36	24,26
n-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 °C)	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	—	—	—	—	—
Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	—	27,21 (15 °C)	26,70	—	25,71	—	—	—
Сероуглерод CS_2	35,45	33,90	32,25	—	30,85	—	27,8	—
Тетрахлорметан CCl_4	29,38	28,05	25,68	—	25,54	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	27,32	26,15	25,04	23,94
Трихлорметан (хлороформ) $CHCl_3$	—	28,50	27,14	—	25,89	—	—	21,73
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	—	28,8	27,8	—	26,8	25,8	24,8	23,8
Укусный альдегид C_2H_4O	—	—	21,2	—	—	—	—	—
Укусный ангидрид $C_4H_6O_3$	—	33,37 (15 °C)	32,65	—	31,22	30,05	29,00	—
Фенилгидразин $C_6H_8N_2$	—	—	45,55	—	44,31	—	—	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	—	32,3	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 °C)	23,75	—	22,25	—	20,2	—
Этилформиат $C_3H_6O_2$	—	—	23,84	—	22,38	—	—	—

* Переохлажденная жидкость.

15. Дипольные моменты функциональных групп молекул

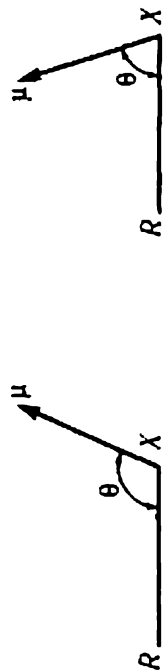
Дипольным моментом обладают молекулы, принадлежащие к группам симметрии C_n , C_{nv} , C_i , C_s (см. табл. 103). В случае принадлежности молекул к группам C_n и C_{nv} дипольный момент направлен вдоль оси вращения.

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) $\mu = (\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos \theta)^{1/2}$. В тех случаях, когда заместитель лежит в плоскости бензольного кольца, дипольные моменты орто-, мета- и пара-соединений (μ_o , μ_m и μ_p) можно приближенно определить из моментов групп (μ_1 и μ_2) с помощью выражений:

$$\mu_o^2 = \mu_1^2 + \mu_1\mu_2 + \mu_2^2; \quad \mu_m^2 = \mu_1^2 - \mu_1\mu_2 + \mu_2^2; \quad \mu_p = \mu_1 - \mu_2 \quad \text{и} \quad \mu_o = \sqrt{3}\mu_m.$$

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; γ — газ, p — раствор в бензоле.



Группа X	$C_6H_5 - X$			$CH_3 - X$			$C_2H_5 - X$		
	γ	p	θ°	γ	p	θ°	γ	p	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 ₂ CH ₃	—	15,779	117	—	—	—	—	—	—
SO ₂ CF ₃	—	14,412	167	—	—	—	—	—	—
SOCF ₃	—	12,944	143	—	—	—	—	—	—
SeH	—	3,603	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 ₂ O	6,10	CH ₃ Cl	6,57
HBr	2,67	H ₂ S	3,40	CH ₂ Cl ₂	5,30
HCl	3,47	NO ₂	0,97	CHCl ₃	3,17
HF	6,40	SO ₂	5,34	C ₂ H ₅ OH	5,67
HI	1,27	NH ₃	4,94	(C ₂ H ₅) ₂ O	3,30
NO	0,23	PH ₃	1,83	C ₆ H ₅ CH 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 ₃ H ₇ O	5,34	Метилформиат C ₂ H ₄ O ₂	6,00
Анилин C ₆ H ₇ N	5,00	Пиридин C ₅ H ₅ N	7,34
Ацетальдегид C ₂ H ₄ O	8,97	2-Пропанол C ₃ H ₈ O	5,54
Ацетон C ₃ H ₆ O	9,1 — 9,7	Пропионовая кислота C ₃ H ₆ O ₂	5,84
Ацетофенон C ₈ H ₈ O	10,07	Тиофен C ₄ H ₄ S	1,83
Бензиловый спирт C ₇ H ₈ O	5,70	Уксусный ангидрид C ₄ H ₆ O ₃	9,41
Бензойная кислота C ₇ H ₆ O ₂	5,8	Фенилгидразин C ₆ H ₈ N ₂	5,50
Бромбензол C ₆ H ₅ Br	5,67	Фенилэтилен (стирол) C ₈ H ₈	1,87
Бутанол C ₄ H ₁₀ O	5,54	Фенол C ₆ H ₆ O	4,84
Глицерин C ₃ H ₈ O ₃	0,93	Фтортрихлорметан (фреон-11) CFCl ₃	1,70
<i>м</i> -Дихлорбензол C ₆ H ₄ Cl ₂	4,94	Хлорбензол C ₆ H ₅ Cl	5,64
<i>о</i> -Дихлорбензол C ₆ H ₄ Cl ₂	7,51	Этиламин C ₂ H ₇ N	4,34
<i>м</i> -Ксилол C ₈ H ₁₀	1,20	Этилацетат C ₄ H ₈ O ₂	5,94
<i>о</i> -Ксилол C ₈ H ₁₀	1,73	Этилформиат C ₃ H ₆ O ₂	6,44
<i>п</i> -Ксилол C ₈ H ₁₀	0,20		
Метилацетат C ₃ H ₆ O 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 — этилен- диамин (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	—	—	—	—

* Диэлектрическую проницаемость жидкостей см. также в табл. 95 и 133.

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 (м³), поглощенному 1 м³ 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 ₂ H ₂	α	1,73	1,31	1,03	0,84	—	—	—
C ₂ H ₄	α	0,226	0,162	0,122	0,098	—	—	—
C ₂ H 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 ₂ S	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 ₂	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 °C		Вода — ацетон; 25 °C		Вода — 1,4-диоксан; 25 °C		Тетрагидроме- тан — трихлорметан; 25 °C		Этанол — бензол; 20 °C		Ацетон — диэтило- вый эфир; 30 °C	
	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

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

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{Па}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кПа}$	$P, \text{атм}$
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

$t, ^\circ\text{C}$	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

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^3, \text{Па}$	$P \cdot 10^5, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кПа}$	$P, \text{мм рт. ст.}$
– 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 К

Металл	Давление, Па, при температуре, К					
	400	500	600	800	1000	1200
Li	—	$7,85 \cdot 10^{-7}$	$4,19 \cdot 10^{-4}$	0,9856	95,59	1 955
Na	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$8,74 \cdot 10^{-2}$	4,524	880,7	17 730	—
K	$1,56 \cdot 10^{-2}$	2,74	82,5	5465	64 900	—
Mg	—	$4,23 \cdot 10^{-5}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$	21,06	1 427	19 730
Ca	—	$3,04 \cdot 10^{-8}$	$3,32 \cdot 10^{-5}$	0,185	18,4	771,9
Zn	$1,46 \cdot 10^{-6}$	$3,48 \cdot 10^{-3}$	0,623	320	11 410	—
Cd	$2,48 \cdot 10^{-4}$	0,2013	16,53	2933	62 130	—
	800	1000	1200	1500	1800	2000
Ag	$1,31 \cdot 10^{-7}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	0,164	34,5	1140	6506
Si	—	$5,63 \cdot 10^{-8}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	0,227	27,73	249,3
Ge	—	$2,72 \cdot 10^{-8}$	$5,61 \cdot 10^{-5}$	$6,17 \cdot 10^{-2}$	6,39	63,2
Sn	—	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$2,60 \cdot 10^{-3}$	0,952	48,66	345,3
Pb	$5,43 \cdot 10^{-3}$	1,48	59,6	2347	26 130	86 390
Mn	$4,79 \cdot 10^{-7}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$	0,481	100,7	2 453	11 810
Fe	—	—	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$	6,13	70,4
Ni	—	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-2}$	7,43	585,3	4 520

24. Температура возгонки или кипения некоторых веществ

Вещество	Температура, °С, при				
	0,133 (1)	0,667 (5)	1,333 (10)	2,666 (20)	5,333 (40)
Неорганические					
AlCl ₃	100,0 (кр.)	116,4 (кр.)	123,8 (кр.)	131,8 (кр.)	139,9 (кр.)
AsCl ₃	- 11,4	11,4	23,5	36,0	50,0
BCl ₃	- 91,5	- 75,2	- 66,9	- 57,9	- 47,8
BeB ₂ H ₈	1,0	19,8	28,1	36,8	46,2
Боргидрид бериллия	(кр.)	(кр.)	(кр.)	(кр.)	(кр.)
BeCl ₂	291 (кр.)	328 (кр.)	346 (кр.)	365 (кр.)	384 (кр.)
Br ₂	- 48,7 (кр.)	- 32,8 (кр.)	- 25,0 (кр.)	- 16,8 (кр.)	- 8,0 (кр.)
Cl ₂	- 118,0 (кр.)	- 106,7 (кр.)	- 101,6 (кр.)	- 93,3	- 84,5
HgCl ₂	136,2	166,0	180,2	195,8	212,5
Хлорная ртуть	(кр.)	(кр.)	(кр.)	(кр.)	(кр.)
HNO ₃	-	-	- 5,4	-	-
H ₂ O	- 17,3 (кр.)	+ 1,2	11,3	22,2	34,1
H ₂ O ₂	15,3	38,8	50,4	63,3	77,0
H ₂ SO ₄	145,8	178,0	194,2	211,5	229,7
I ₂	38,7 (кр.)	62,2 (кр.)	73,2 (кр.)	84,7 (кр.)	97,5 (кр.)
NH ₂ OH	-	39,0	47,2	55,8	64,6
Гидроксилламин					
NH ₃	- 109,1 (кр.)	- 97,5 (кр.)	- 91,9 (кр.)	- 85,8 (кр.)	- 79,2 (кр.)
N ₂ H ₄	-	-	18,9	30,3	43,2
Na	439	511	549	589	633
P	76,6	111,2	128	146,2	166,7
PCl ₃	- 51,6	- 31,5	- 21,3	- 10,2	+ 2,3
PCl ₅	55,5 (кр.)	74,0 (кр.)	83,2 (кр.)	92,5 (кр.)	102,5 (кр.)
SO ₂	- 95,5 (кр.)	- 83,0 (кр.)	- 76,8 (кр.)	- 69,7	- 60,5
SO ₂ Cl ₂	-	- 35,1	- 24,8	- 13,4	- 1,0
Хлористый сульфурил					
SO ₃ -γ	- 15,3 (кр.)	- 2,0 (кр.)	+ 4,3 (кр.)	11,1 (кр.)	17,9 (кр.)
SiCl ₄	- 63,4	- 44,1	- 34,4	- 24,0	- 12,1
TiCl ₄	- 13,9	+ 9,4	21,3	34,2	48,4

при давлении ниже атмосферного или равном ему

давления, кПа (мм рт. ст.)					Т _{плавл.} °C	Вещество
7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)		

соединения

145,4 (кр.)	152,0 (кр.)	161,8 (кр.)	171,6 (кр.)	180,2 (кр.)	192,4	AlCl ₃
58,7	70,9	89,2	109,7	130,4	- 18	AsCl ₃
- 41,2	- 32,4	- 18,9	- 3,6	+ 12,7	- 107	BCl ₃
51,7 (кр.)	58,6 (кр.)	69,0 (кр.)	79,7 (кр.)	90 (кр.)	123	BeB ₂ H ₈
395 (кр.)	411	435	461	487	405	BeCl ₂
- 0,6	+ 9,3	24,3	41,0	58,2	- 7,3	Br ₂
- 79,0	- 71,7	- 60,2	- 47,3	- 33,8	- 100,7	Cl ₂
222,2 (кр.)	237,0 (кр.)	256,5 (кр.)	275,5 (кр.)	304,0	277,0	HgCl ₂
-	34,2	-	-	83,8	- 41,7	HNO ₃
41,6	51,6	66,5	83,0	100,0	0,0	H ₂ O
85,8	97,9	116,5	137,4 (разл.)	158,0 (разл.)	- 0,9	H ₂ O ₂
241,5	257,0	279,8	305,0	330,0	10,5	H ₂ SO ₄
105,4 (кр.)	116,5	137,3	159,8	183,0	112,9	I ₂
70,0	77,5	87,9	99,2	110,0	34,0	NH ₂ OH
- 74,3	- 68,4	- 57,0	- 45,4	- 33,6	- 77,7	NH ₃
51,5	61,8	77,8	95,5	113,6	0,7	N ₂ H ₄
662	701	758	823	892	97,5	Na
179,8	197,3	222,7	251,0	280,0	44,1	P
10,2	21,0	37,6	56,9	74,2	- 111,8	PCl ₃
108,3 (кр.)	117,0 (кр.)	131,3 (кр.)	147,2 (кр.)	162,0 (кр.)	167,0	PCl ₅
- 54,6	- 46,9	- 35,4	- 23,0	- 10,0	- 73,2	SO ₂
+ 7,2	17,8	33,7	51,3	69,2	- 54,1	SO ₂ Cl ₂
21,4 (кр.)	28,0 (кр.)	35,8 (кр.)	44,0 (кр.)	51,6 (кр.)	62,1	SO ₃ -γ
- 4,8	+ 5,4	21,0	38,4	56,8	- 68,8	SiCl ₄
58,0	71,0	90,5	112,7	136,0	- 30	TiCl ₄

Вещество	Температура, °С. при				
	0,133 (1)	0,667 (5)	1,333 (10)	2,666 (20)	5,333 (40)

Органические

CCl_2F_2	Дихлордифторметан	- 118,5	- 104,6	- 97,8	- 90,1	- 81,6
CCl_2O	Фосген	- 92,9	- 77,0	- 69,3	- 60,3	- 50,3
CCl_3F	Трихлорфторметан	- 84,3	- 67,6	- 59,0	- 49,7	- 39,0
CCl_4	Тетрахлорметан	- 50,0 (кр.)	- 30,0 (кр.)	- 19,6	- 8,2	+ 4,3
CHClF_2	Хлордифторметан	- 122,8	- 110,2	- 103,7	- 96,5	- 88,6
CHCl_2F	Дихлорфторметан	- 91,3	- 75,5	- 67,5	- 58,6	- 48,8
CHCl_3	Трихлорметан (хлороформ)	- 58,0	- 39,1	- 29,7	- 19,0	- 7,1
CHN	Цианистый водород	- 70,8 (кр.)	- 55,6 (кр.)	- 48,2 (кр.)	- 40,3 (кр.)	- 31,3 (кр.)
CH_2Cl_2	Дихлорметан	- 70,0	- 52,1	- 43,3	- 33,4	- 22,3
CH_2O_2	Муравьиная кислота	- 20,0 (кр.)	- 5,0 (кр.)	+ 2,1 (кр.)	10,3	24,0
CH_4O	Метанол	- 44,0	- 25,3	- 16,2	- 6,0	+ 5,0
CO_2	Диоксид углерода	- 134,3 (кр.)	- 124,4 (кр.)	- 119,5 (кр.)	- 114,4 (кр.)	- 108,6 (кр.)
CS_2	Сероуглерод	- 73,8	- 54,3	- 44,7	- 34,3	- 22,5
C_2Cl_4	Тетрахлорэтилен	- 20,6 (кр.)	+ 2,4	13,8	26,3	40,1
$\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2$	Трихлоруксусная кислота	51,0 (кр.)	76,0	88,2	101,8	116,3
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2\text{O}_2$	Дихлоруксусная кислота	44,0	69,8	82,6	96,3	111,8
$\text{C}_2\text{H}_3\text{ClO}_2$	Хлоруксусная кислота	43,0 (кр.)	68,3	81,0	94,2	109,2
$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	Ацетонитрил	- 47,0 (кр.)	- 26,6	- 16,3	- 5,0	+ 7,7
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	Уксусная кислота	- 17,2 (кр.)	+ 6,3 (кр.)	17,5	29,9	43,0
$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	1,2-Дихлорэтан	-	- 24,0	- 13,6	- 2,4	+ 10,0
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	Этанол	- 31,3	- 12,0	- 2,3	+ 8,0	19,0
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	Этиленгликоль	53,0	79,7	92,1	105,8	120,0
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	Ацетон	- 59,4	- 40,5	- 31,1	- 20,8	- 9,4
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	Метилацетат	- 57,2	- 38,6	- 29,3	- 19,1	- 7,9
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	Пропионовая кислота	4,6	28,0	39,7	52,0	65,8
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	Пропанол	- 15,0	+ 5,0	14,7	25,3	36,4
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Глицерин	125,5	153,8	167,2	182,2	198,0

давления, кПа (мм рт. ст.)					$T_{\text{плavl}}, ^\circ\text{C}$	Вещество
7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)		

соединения

- 76,1	- 68,6	- 57,0	- 43,9	- 29,8	- 160	CCl_2F_2
- 44,0	- 35,6	- 22,3	- 7,6	+ 8,3	- 104	CCl_2O
- 32,3	- 23,0	- 9,1	+ 6,8	23,7	- 111	CCl_3F
12,3	23,0	38,3	57,8	76,8	- 22,9	CCl_4
- 83,4	- 76,4	- 65,8	- 53,6	- 40,8	- 160	CHClF_2
- 42,6	- 33,9	- 20,9	- 6,2	+ 8,9	- 135	CHCl_2F
+ 0,5	10,4	25,9	42,7	61,3	- 63,5	CHCl_3
- 25,8 (кр.)	- 18,8 (кр.)	- 5,9	+ 9,8	25,8	- 14	CHN
- 15,7	- 6,3	+ 8,0	24,1	40,7	- 96,7	CH_2Cl_2
32,4	43,8	61,4	80,3	100,7	8,2	CH_2O_2
12,1	21,2	34,8	49,9	64,5	- 97,9	CH_4O
- 104,8 (кр.)	- 100,2 (кр.)	- 98,0 (кр.)	- 85,7 (кр.)	- 78,2 (кр.)	- 57,5	CO_2
- 15,3	- 5,1	+ 10,4	28,0	46,2	- 111,9	CS_2
49,2	61,3	79,8	100,0	120,8	- 19,0	C_2Cl_4
125,9	137,8	155,4	175,2	195,6	57	$\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2$
121,5	134,0	152,3	173,7	194,4	9,7	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2\text{O}_2$
118,3	130,7	149,0	169,0	189,5	61,2	$\text{C}_2\text{H}_3\text{ClO}_2$
15,9	27,0	43,7	62,5	81,6	- 44,9	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$
51,7	63,0	80,0	99,0	118,1	16,8	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
18,1	29,4	45,7	64,0	83,5	- 35,9	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$
26,0	34,9	48,4	63,5	78,4	- 114,5	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
129,5	141,8	158,5	178,5	197,3	- 15,6	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$
- 2,0	+ 7,7	22,7	39,5	56,2	- 95,4	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$
- 0,5	+ 9,4	24,0	40,0	57,8	- 98,7	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$
74,1	85,8	102,5	122,0	141,1	- 22	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$
43,5	52,8	66,8	82,0	97,2	- 126,2	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$
208,0	220,1	240,0	263,0	290,0	17,9	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$

Вещество		Температура. °С, при				
		0.133 (1)	0.667 (5)	1.333 (10)	2.666 (20)	5.333 (40)
$C_4H_8O_2$	Масляная кислота	25.5	49.8	61.5	74.0	88.0
$C_4H_8O_2$	1,4-Диоксан	- 35.8 (кр.)	- 12.8 (кр.)	- 1.2 (кр.)	+ 12.0	25.2
$C_4H_8O_2$	Этилацетат	- 43.4	- 23.5	- 13.5	- 3.0	+ 9.1
$C_4H_{10}O$	Диэтиловый эфир	- 74.3	- 56.9	- 48.1	- 38.5	- 27.7
$C_4H_{10}O$	Бутанол	- 1.2	+ 20.0	30.2	41.5	53.4
$C_4H_{12}Pb$	Тетраметилсвинец	- 29.0 (кр.)	- 6.8	+ 4.4	16.6	30.3
C_5H_5N	Пиридин	- 18.9	+ 2.5	13.2	24.8	38.0
$C_5H_{12}O$	Амиловый спирт	13.6	34.7	44.9	55.8	68.0
C_6H_5Br	Бромбензол	2.9	27.8	40.0	53.8	68.6
C_6H_5Cl	Хлорбензол	- 13.0	+ 10.6	22.2	35.3	49.7
C_6H_5I	Иодбензол	24.1	50.6	64.0	78.3	94.4
$C_6H_5NO_2$	Нитробензол	44.4	71.6	84.9	99.3	115.4
C_6H_6	Бензол	- 36.7 (кр.)	- 19.6 (кр.)	- 11.5 (кр.)	- 2.6 (кр.)	+ 7.6
C_6H_6O	Фенол	40.1 (кр.)	62.5	73.8	86.0	100.1
C_6H_7N	Анилин	34.8	57.9	69.4	82.0	96.7
C_6H_{12}	Циклогексан	- 45.3 (кр.)	- 25.4 (кр.)	- 15.9 (кр.)	- 5.0 (кр.)	+ 6.7
C_6H_{14}	Гексан	- 53.9	- 34.5	- 25.0	- 14.1	- 2.3
$C_7H_6O_2$	Бензойная кислота	96.0 (кр.)	119.5 (кр.)	132.1	146.7	162.6
C_7H_8	Толуол	- 26.7	- 4.4	+ 6.4	18.4	31.8
C_7H_8O	Бензиловый спирт	58.0	80.8	92.6	105.8	119.8
C_7H_{16}	Гептан	- 34.0	- 12.7	- 2.1	+ 9.5	22.3
C_8H_8O	Ацетофенон	37.1	64.0	78.0	92.4	109.4
C_8H_{10}	Этилбензол	- 9.8	+ 13.9	25.9	38.6	52.8
C_8H_{18}	Октан	- 14.0	+ 8.3	19.2	31.5	45.1
$C_8H_{20}Pb$	Тетраэтилсвинец	38.4	63.6	74.8	88.0	102.4
$C_{10}H_8$	Нафталин	52.6 (кр.)	74.2 (кр.)	85.8	101.7	119.3
$C_{10}H_{16}O$	d-Камфора	41.5 (кр.)	68.6 (кр.)	82.3 (кр.)	97.5 (кр.)	114.0 (кр.)
$C_{12}H_{10}$	Дифенил	70.6	101.8	117.0	134.2	152.5
$C_{14}H_{10}$	Антрацен	145.0 (кр.)	173.5 (кр.)	187.2 (кр.)	201.9 (кр.)	217.5 (кр.)

давлении, кПа (мм рт. ст.)					$T_{\text{плavl}}, ^\circ\text{C}$	Вещество
7,999 (60)	13,33 (100)	26,66 (200)	53,33 (400)	101,32 (760)		
96,5	108,0	125,5	144,5	163,5	- 4,7	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
33,8	45,1	62,3	81,8	101,3	11,8	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
16,6	27,0	42,0	59,3	77,2	- 83,6	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
- 21,8	- 11,5	+ 2,2	17,9	34,6	- 116,3	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$
60,3	70,1	84,3	100,8	117,5	- 79,9	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$
39,2	50,8	68,8	89,0	110,0	- 27,5	$\text{C}_4\text{H}_{12}\text{Pb}$
46,8	57,8	75,0	95,6	115,3	- 41,8	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$
75,5	85,8	102,0	119,8	137,8	- 78,8	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$
78,1	90,8	110,1	132,3	156,2	- 30,7	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$
58,3	70,7	89,4	110,0	132,2	- 45,2	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$
105,0	118,3	139,8	163,9	188,6	- 28,5	$\text{C}_6\text{H}_5\text{I}$
125,8	139,9	161,2	185,8	210,9	5,8	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$
15,4	26,1	42,2	60,6	80,1	5,5	C_6H_6
108,4	121,4	139,0	160,0	181,9	40,6	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$
106,0	119,9	140,1	161,9	184,4	- 6,2	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$
14,7	25,5	42,0	60,8	80,7	6,6	C_6H_{12}
+ 5,4	15,8	31,6	49,6	68,7	- 95,3	C_6H_{14}
172,8	186,2	205,8	227,0	249,2	121,7	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$
40,3	51,9	69,5	89,5	110,6	- 95,0	C_7H_8
129,3	141,7	160,0	183,0	204,7	- 15,3	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$
30,6	41,8	58,7	78,0	98,4	- 90,6	C_7H_{16}
119,8	133,6	154,2	178,0	202,4	20,5	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$
61,8	74,1	92,7	113,8	136,2	- 94,9	C_8H_{10}
53,8	65,7	83,6	104,0	125,6	- 56,8	C_8H_{18}
111,7	123,8	142,0	161,8	183,0	- 136,0	$\text{C}_8\text{H}_{20}\text{Pb}$
130,2	145,5	167,7	193,2	217,9	80,2	C_{10}H_8
124,0 (кр.)	138,0 (кр.)	157,9 (кр.)	182,0	209,2	178,5	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$
165,2	180,7	204,2	229,4	254,9	69,5	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$
231,8	250,0	279,0	310,2	342,0	217,5	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$

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 ₂	-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)
$\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HCl}$	260	292	306	317	324	332	337	340	341
$\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$	762	808	837	854	870	884	894	898	904
$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	450	479	499	513	524	534	543	547	550
$\text{Mg}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{MgO} + \text{H}_2\text{O}$	76	95	111	127	140	153	—	—	—
$2\text{BaO}_2 \rightleftharpoons 2\text{BaO} + \text{O}_2$	680	717	743	760	773	783	792	—	—
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_3$	628	666	681	690	697	702	706	709	—

27. Давление пара над кристаллогидратами при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кПа}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кПа}$	$P, \text{мм рт. ст.}$
$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} (\text{г.})$			$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} (\text{г.})$		
20	0,447	3,35	100	0,827	6,2
25	0,680	5,10	110	1,507	11,3
30	1,007	7,55	120	2,906	21,8
35	1,487	11,15	130	4,986	37,4
			140	8,079	60,6
$\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} (\text{г.})$			$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} (\text{г.})$		
65	0,613	4,6	15	0,653	4,90
70	0,987	7,4	20	1,003	7,52
75	1,373	10,3	25	1,533	11,50
			30	2,256	16,92
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} (\text{г.})$			$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SO}_3 + 7\text{H}_2\text{O} (\text{г.})$		
15	0,425	3,19	15	1,168	8,76
20	0,647	4,85	20	1,732	12,99
25	0,980	7,35	25	2,478	18,59
30	1,437	10,78	30	3,577	26,83
35	2,077	15,58			
$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} (\text{г.})$			$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O} (\text{г.})$		
25	0,747	5,6	15	1,200	9,00
30	1,093	8,2	20	1,724	12,93
35	1,560	11,7	25	2,560	19,20
40	2,120	15,9	30	3,606	27,05
50	4,053	30,4			
60	7,666	57,5	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} (\text{г.})$		
70	14,00	105	20	1,296	9,72
80	24,00	183	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.

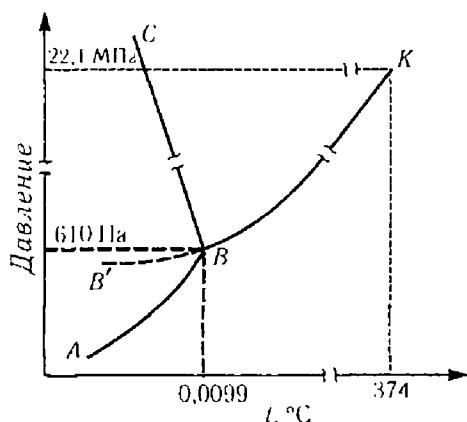


Рис. 28.1. Вода (схема).

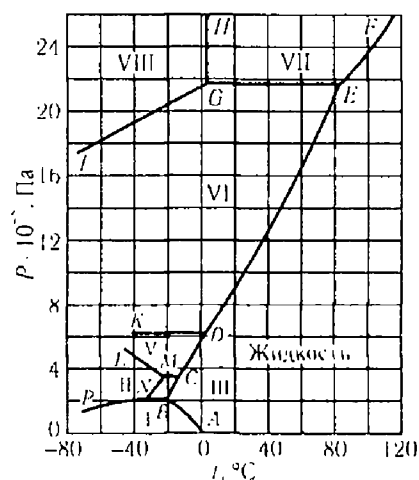


Рис. 28.2. Вода (схема).

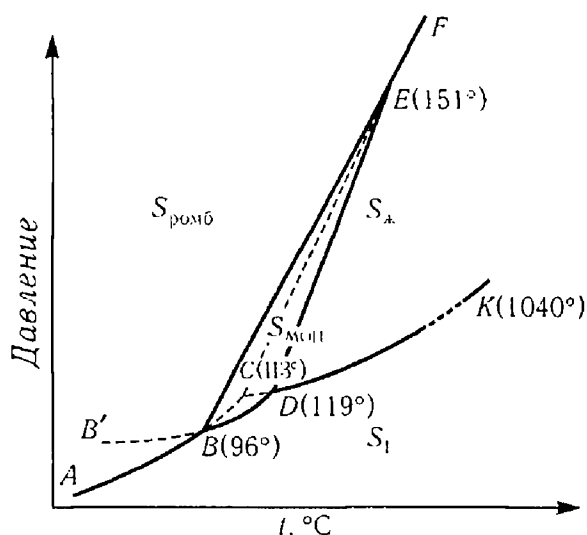


Рис. 28.3. Сера (схема).

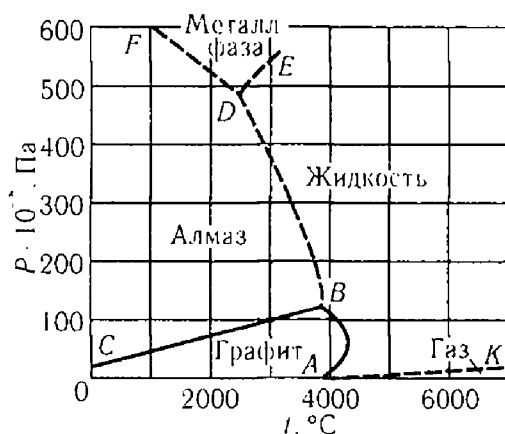


Рис. 28.4. Углерод (схема).



Рис. 28.5. SiO₂ (схема).

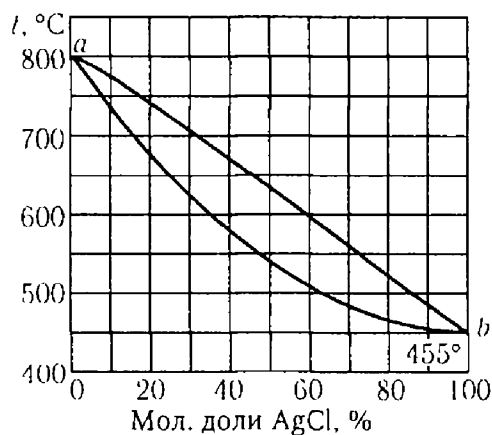


Рис. 28.6. NaCl–AgCl.

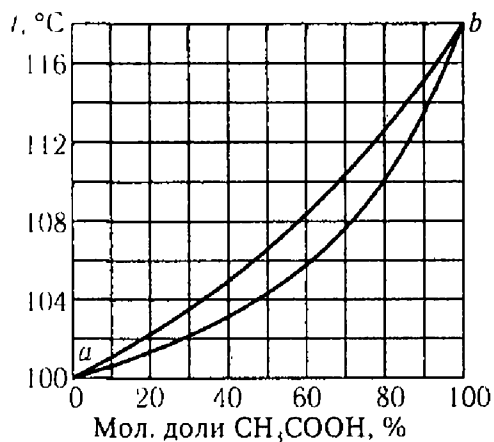


Рис. 28.7. $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_3\text{COOH}$.

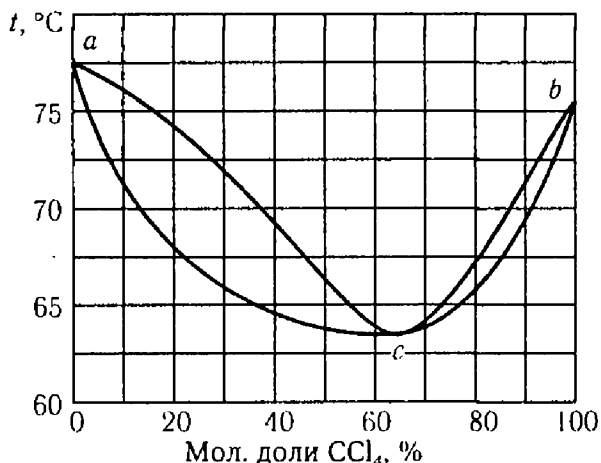


Рис. 28.8. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}-\text{AgCl}$.

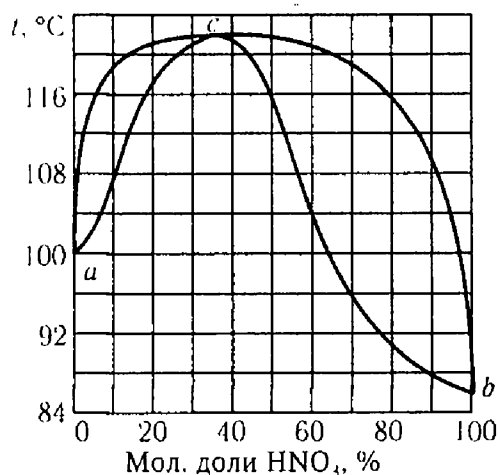


Рис. 28.9. $\text{H}_2\text{O}-\text{HNO}_3$.

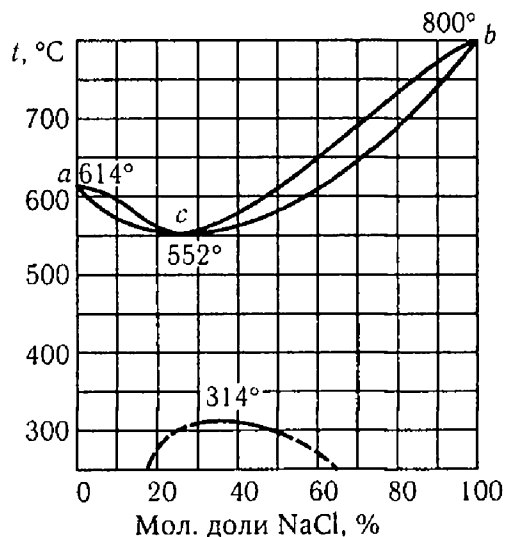


Рис. 28.10. $\text{LiCl}-\text{NaCl}$.

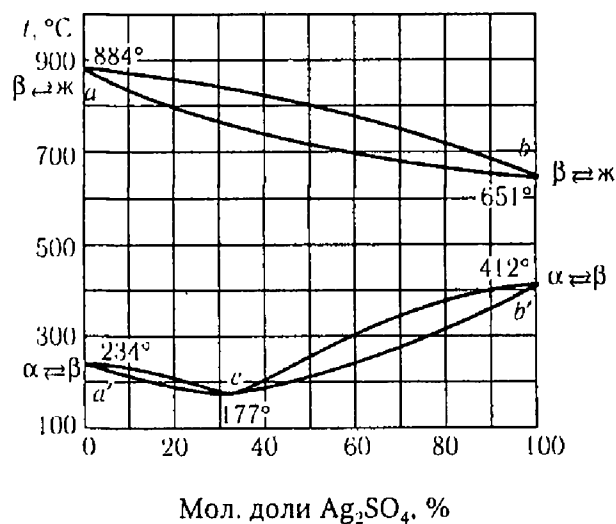


Рис. 28.11. $\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{Ag}_2\text{SO}_4$.

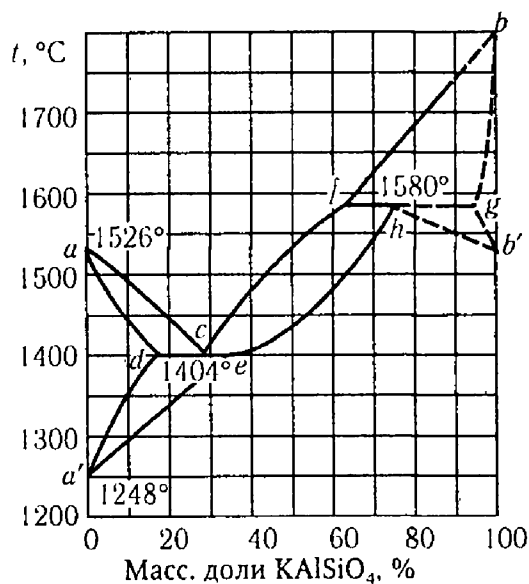


Рис. 28.12. $\text{NaAlSiO}_4-\text{KAlSiO}_4$.

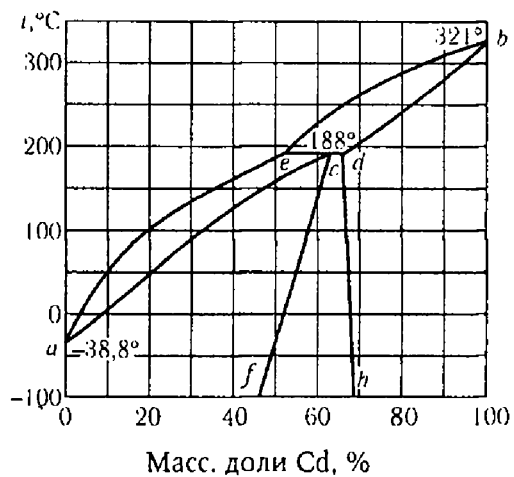


Рис. 28.13. Hg—Cd.

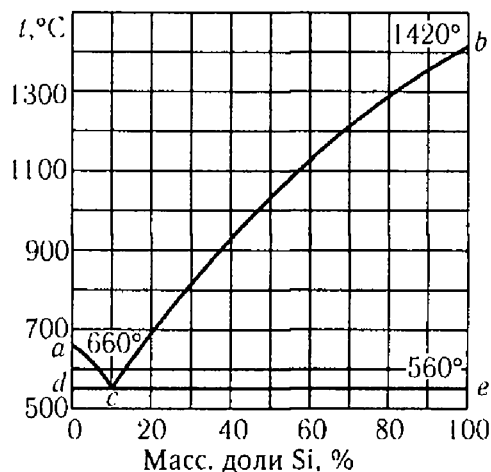


Рис. 28.14. Al—Si.

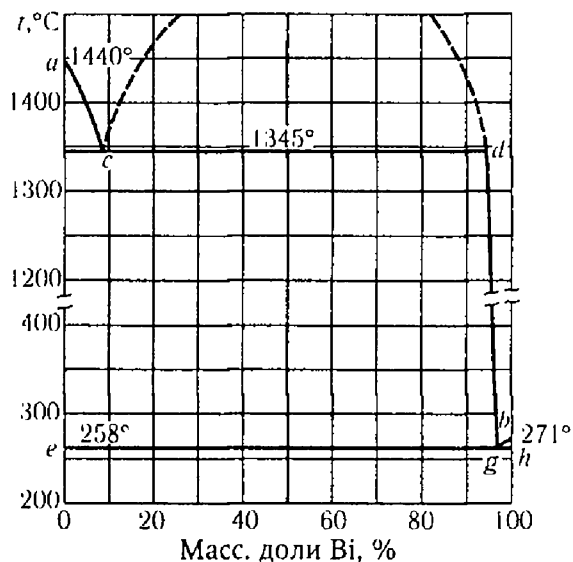


Рис. 28.15. Co—Bi.

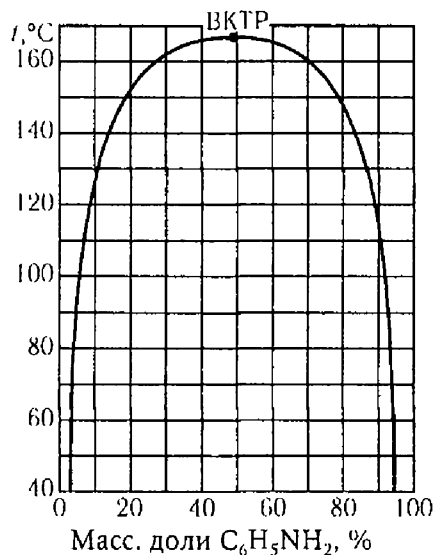


Рис. 28.16. H_2O — $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$.

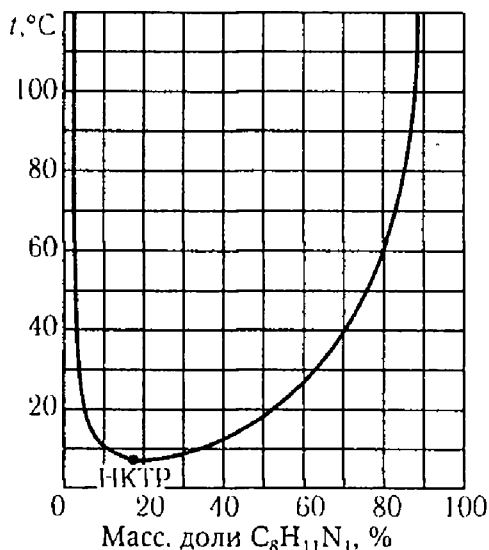


Рис. 28.17. H_2O — $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$
(вода—2,3,4-триметилпиридин).

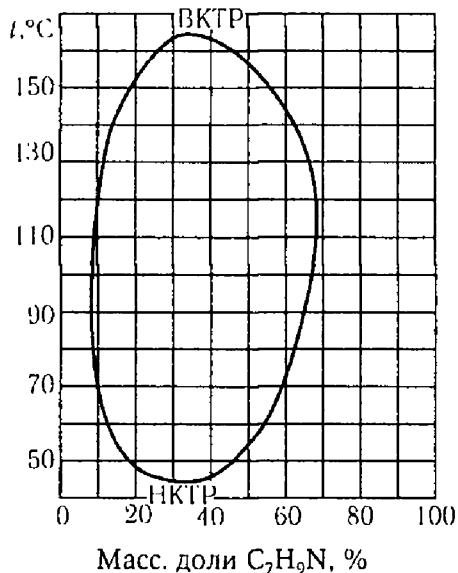


Рис. 28.18. H_2O — $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$
(вода—2,6-диметилпиридин).

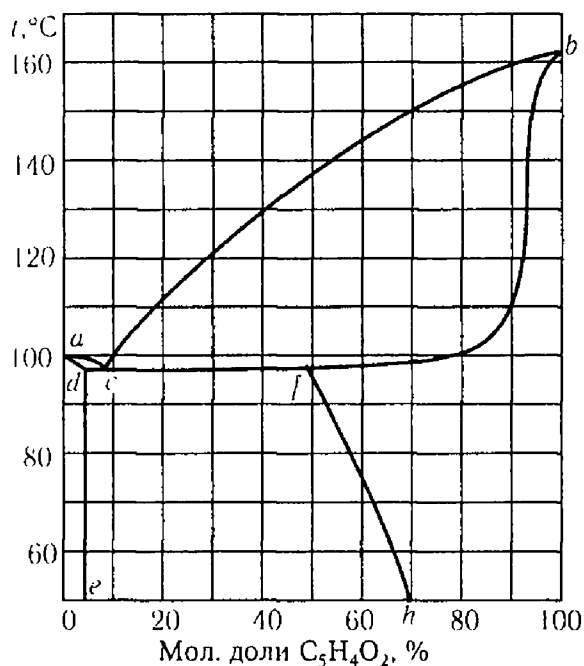


Рис. 28.19. $\text{H}_2\text{O}-\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$ (вода-фурфурол).

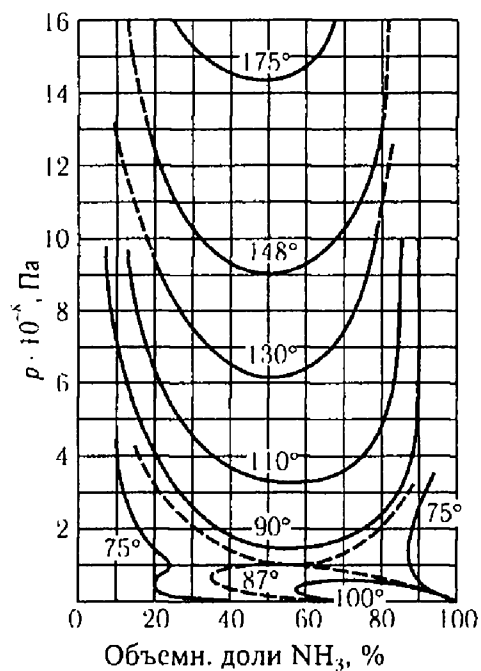


Рис. 28.20. N_2-NH_3 .

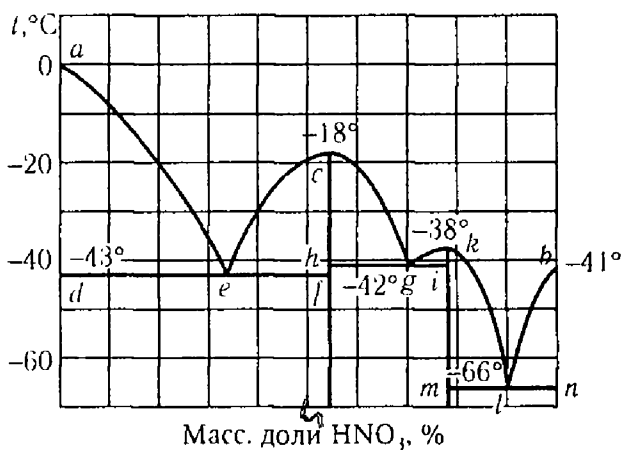


Рис. 28.21. $\text{H}_2\text{O}-\text{HNO}_3$.

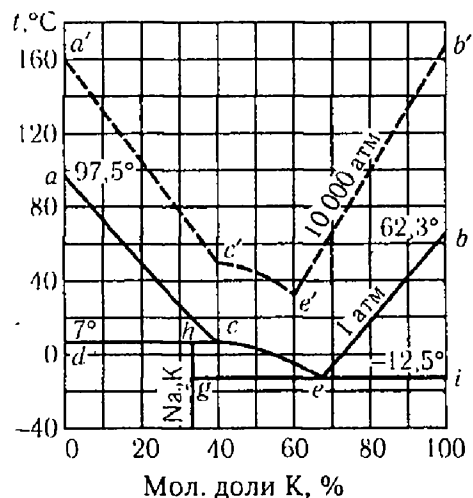


Рис. 28.22. $\text{Na}-\text{K}$.

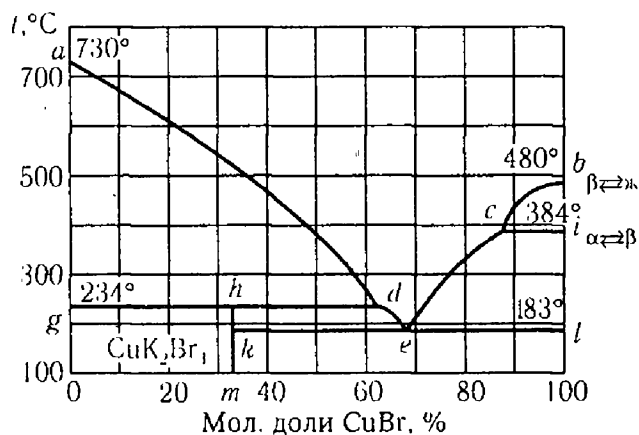
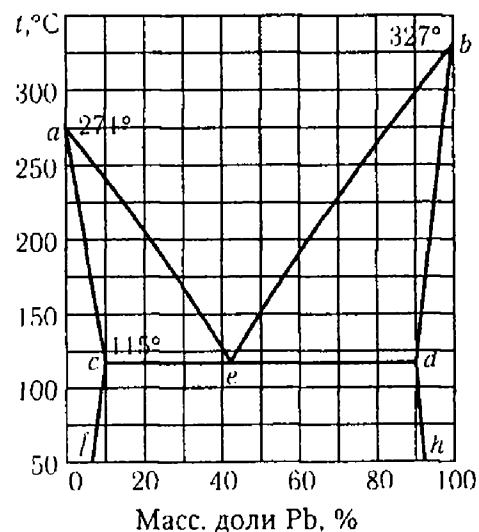
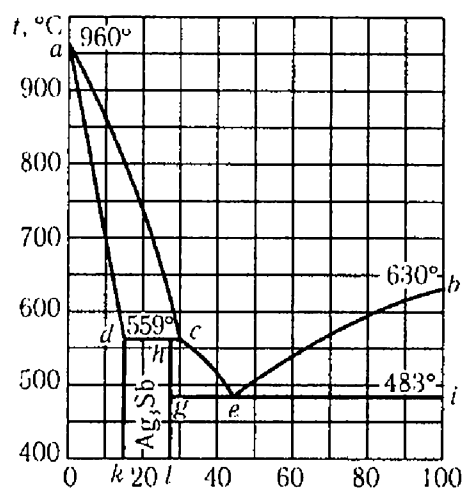


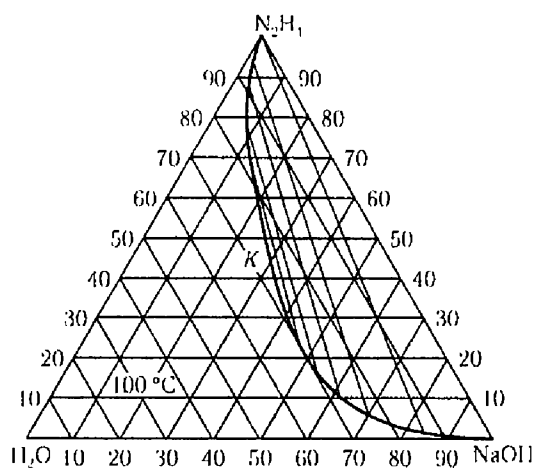
Рис. 28.23. $\text{KBr}-\text{CuBr}$.

Рис. 28.24. $\text{Bi}-\text{Pb}$. →





Масс. доли Sb, %
Рис. 28.25. Ag—Sb.



Масс. доли, %
Рис. 28.26. H₂O—NaOH—N₂H₄.

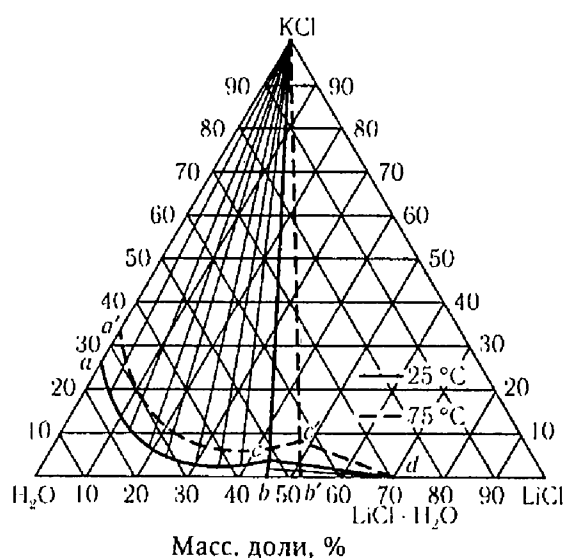


Рис. 28.27. H₂O—LiCl—KCl.

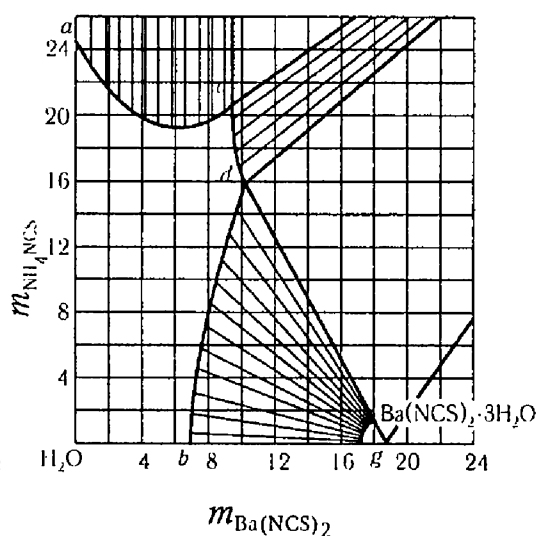
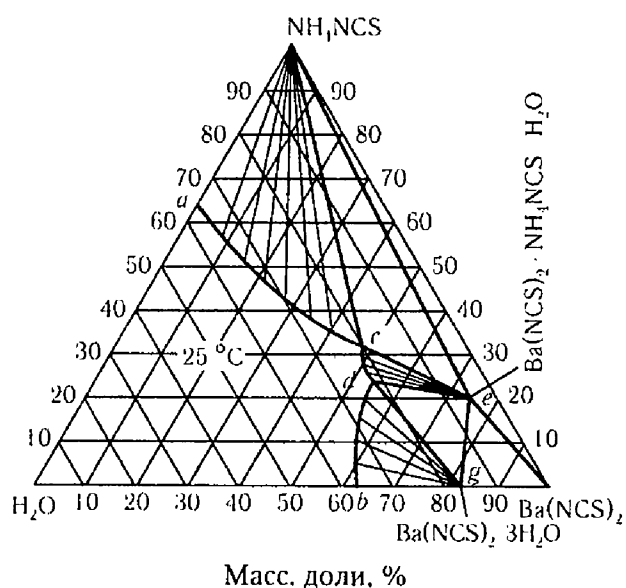


Рис. 28.28 и 28.29. H₂O—NH₄NCS—Ba(NCS).

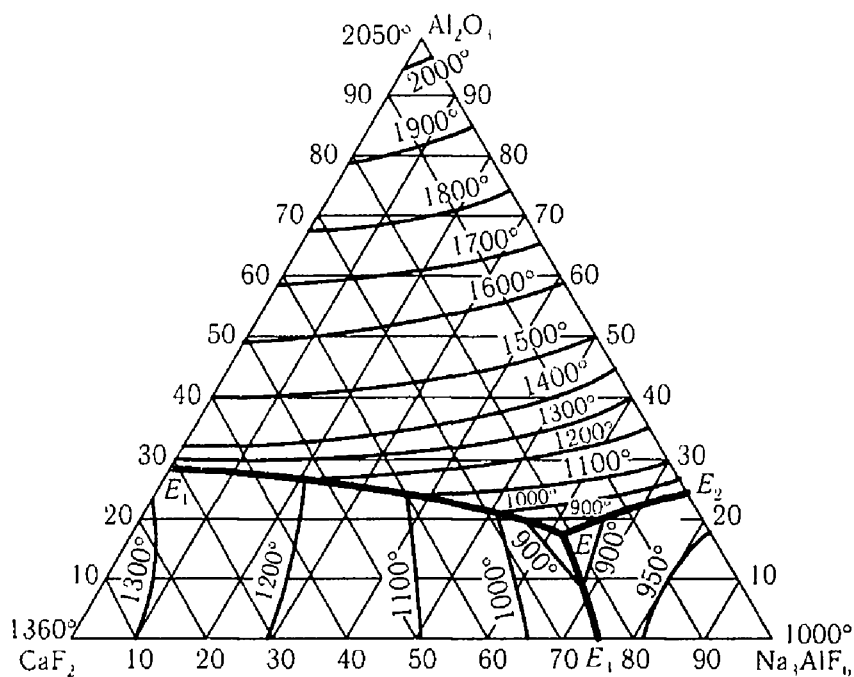


Рис. 28.30. CaF_2 — Na_3AlF_6 — Al_2O_3 .

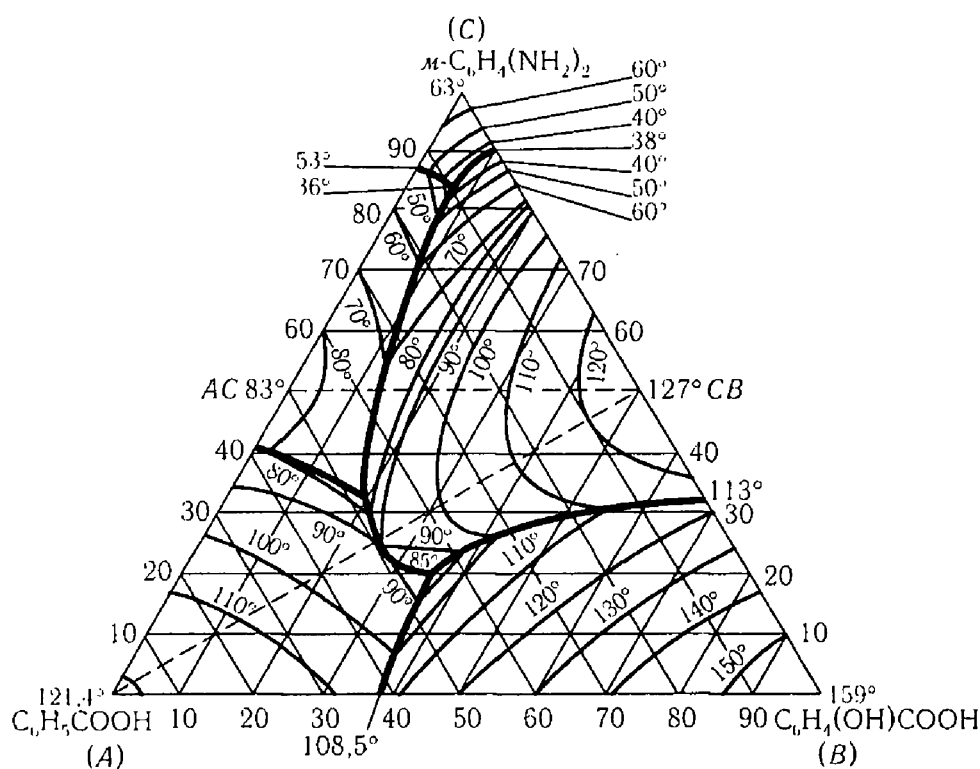


Рис. 28.31. $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ — $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$ — $\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$.

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	c_1	c_2	c_1/c_2
Вода — бензол			Вода — диэтиловый эфир		
Ацетон (25 °С)			Бензойная кислота (10 °С)		
0,01583	0,01437	1,102	0,00090	0,0639	0,0141
0,2200	0,2065	1,065	0,00249	0,226	0,0110
2,2167	2,3947	0,926	Вода — сероуглерод		
Муравьиная кислота (25 °С)			Иод (25 °С)		
2,5739	0,00568	453	$5,18 \cdot 10^{-5}$	0,03036	0,0017
9,0466	0,0378	240	$25,71 \cdot 10^{-5}$	0,1676	0,0015
Уксусная кислота (25 °С)			Вода — хлороформ		
0,7760	0,0199	39,0	Иод (25 °С)		
7,7407	0,8233	9,4	0,00025	0,0338	0,0074
12,2073	4,8640	2,51	0,00120	0,1546	0,0078
Фенол (25 °С)			0,00184	0,2318	0,0079
0,00202	0,00466	0,433	0,00242	0,3207	0,0075
0,1013	0,279	0,36	Уксусная кислота (25 °С)		
0,5299	6,487	0,08	0,405	0,0231	17,5
Соляная кислота (20 °С)			1,188	0,1351	8,8
0,946	$4,94 \cdot 10^{-5}$	20 000	2,056	0,3493	5,9
2,599	$76,8 \cdot 10^{-5}$	3 400	Фенол (25 °С)		
8,555	0,025	342	0,0737	0,254	0,290
19,709	0,507	38,9	0,163	0,761	0,214
			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	$-\Delta H_{298}^\circ$ кДж/моль	Вещество	$-\Delta H_{298}^\circ$ 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.) <i>m</i> -ксилол	4551,81
C_5H_{10} (ж.) циклопентан	3290,73	C_8H_{10} (ж.) <i>o</i> -ксилол	4552,80
C_5H_{10} (г.) циклопентан	3319,54	C_8H_{10} (ж.) <i>p</i> -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	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$ (кр.) дифенил	6249,22
C_6H_6 (г.) бензол	3301,51	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ (кр.) антрацен	7067,45
C_6H_{12} (ж.) циклогексан	3919,91	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ (кр.) фенантрен	7049,87
Кислородсодержащие соединения			
CO (г.) оксид углерода	282,92	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (ж.) 1,4-диоксан	2316,56
CH_2O (г.) формальдегид	561,07	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (ж.) этилацетат	2246,39
CH_2O_2 (ж.) муравьиная кислота	254,58	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ (ж.) бутанол	2671,90
CH_4O (ж.) метанол	726,60	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ (ж.) диэтиловый эфир	2726,71
$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ (кр.) щавелевая кислота	251,88	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ (ж.) амиловый спирт	3320,84
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ (г.) ацетальдегид	1193,07	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ (кр.) фенол	3063,52
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ (г.) этиленоксид	1306,05	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$ (кр.) гидрохинон	2860,60
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ (ж.) уксусная кислота	874,58	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (кр.) α -глюкоза	2802,04
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ (ж.) этанол	1370,68	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (кр.) β -глюкоза	2808,04
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ж.) диметилкетон (ацетон)	1785,73	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ (кр.) бензойная кислота	3226,70
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ (ж.) 1-пропанол	2010,41	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ (кр.) камфора	5924,84
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ (ж.) 2-пропанол	1986,56	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (кр.) сахароза	5646,73
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ (ж.) глицерин	1661,05	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ (кр.) стеариновая кислота	11274,6
Галогенсодержащие соединения			
CCl_4 (ж.) тетрахлорметан	260,65*	CH_2Cl (ж.) хлорметан	759,94 ^{3*}
CHCl_3 (ж.) трихлорметан (хлороформ)	428,06**	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ (ж.) хлорбензол	3110,30 ^{3*}
Серусодержащие соединения			
COS (г.) сероокись углерода	553,12	H_2S (г.) сероводород	578,98
CS_2 (ж.) сероуглерод	1075,29		
Азотсодержащие соединения			
$\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$ (ж.) нитрометан	708,77	$\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ (г.) триметиламин	2442,92
CH_4ON_2 (кр.) карбамид (мочевина)	632,20	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ (ж.) пиридин	2755,16
CH_5N (г.) метиламин	1085,08	$\text{C}_6\text{H}_3\text{O}_7\text{N}_3$ (кр.) пикриновая кислота	2560,2
$\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$ (г.) диметиламин	1768,59	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$ (ж.) нитробензол	3091,2
C_2N_2 (г.) дициан	1087,8	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_3\text{N}$ (кр.) <i>p</i> -нитрофенол	2884,0
$\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_9\text{N}_3$ (ж.) нитроглицерин	1541,4	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$ (ж.) анилин	3396,2

* Продукты сгорания: CO_2 и Cl_2 (г.). ** Продукты сгорания: CO_2 , Cl_2 (г.), HCl (раствор). 3* Продукты сгорания: CO_2 , H_2O (ж.), HCl (раствор).

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

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

m , моли соли на 1 кг H ₂ O	ΔH_m , кДж/моль								
	LiCl	LiBr	NaCl	NaBr	NaI	KCl	KBr	KI	KClO ₄
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	-44,22	-	-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	-
$m_{\text{насыщ}}$	19,9	18,6	6,15	9,15	12,33	4,82	5,70	8,98	-

m, моли соли на 1 кг H ₂ O	ΔH_m , кДж/моль									
	KNO ₃	NH ₄ Cl	NH ₄ NO ₃	CaCl ₂	K ₂ SO 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 °C

Число молей H ₂ O на 1 моль кис- лоты или щелочи	m, моли кислоты или щело- чи на 1 кг H ₂ O	-ΔH _m , кДж/моль							
		HCOOH	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	H ₃ PO 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 °C

Вещество	Число мо- лей H ₂ O на 1 моль соли	-ΔH _m , кДж/моль	Вещество	Число мо- лей H ₂ O на 1 моль соли	-ΔH _m , кДж/моль
BaCl ₂	400	11,18	MgSO ₄ · 6H ₂ O	400	1,00
BaCl ₂ · H ₂ O	400	-7,74	MgSO ₄ · 7H ₂ O	400	-15,86
BaCl ₂ · 2H ₂ O	400	-18,74	Na ₂ CO ₃	400	23,43
CuSO ₄	500	68,37	Na ₂ CO ₃ · 7H ₂ O	400	-45,86
CuSO ₄ · H ₂ O	500	40,42	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	400	-69,04
CuSO ₄ · 3H ₂ O	500	12,68	Na ₂ HPO ₄	500	25,94
CuSO ₄ · 5H ₂ O	500	-10,50	Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O	500	0,17
LiCl	800	36,53	Na ₂ HPO ₄ · 7H ₂ O	500	-47,95
LiCl · H ₂ O	800	18,58	Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	500	-96,06
LiCl · 2H ₂ O	800	4,06	ZnSO ₄	500	77,28
LiCl · 3H ₂ O	800	-8,83	ZnSO ₄ · H ₂ O	500	42,13
MgSO ₄	400	87,61	ZnSO ₄ · 6H ₂ O	500	-4,31
MgSO ₄ · 2H ₂ O	400	46,36	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	500	-18,87
MgSO ₄ · 4H ₂ O	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.

-ΔH _и , кДж/моль											
m, моли соли на 1 кг раствори- теля	NaI в ацетоне		NaI в этиленгликоле		NaI в этаноле		NaI в метаноле		KI в метаноле		KI в этилен- гликоле
	25 °С	40 °С	25 °С	25 °С	45 °С	25 °С	50 °С	25 °С	50 °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	≈ 2,90	—	—	2,84	2,89	5,34	5,34	1,01	1,08	—

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

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	—	—
$m_{\text{насыщ}}$	4,953	2,995	2,653	1,570

36. Теплота смещения жидкостей при 25 °С

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

$$\Delta H^M = \frac{H_{(1+2)} - n_1 H_1 - n_2 H_2}{n_1 + n_2} \quad \text{и} \quad \Delta H^M = \frac{H_{(1+2)} - n_1 H_1 - n_2 H_2}{n_2}$$

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	— 664,3	— 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	—

$X_2 \cdot 10^2$	CH_3OH (метанол) — C_6H_6 (бензол)	CHCl_3 (хлороформ) — $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (этанол)	CH_3COOH (уксусная кислота) — $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ (пиридин)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (этанол) — $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (диоксан)	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ацетон) — $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ (диэтиловый эфир)	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (этилацетат) — $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ (диэтиловый эфир)	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ (диэтиловый эфир) — C_6H_6 (бензол)	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ (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	1439,3	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	1284,5	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	836,8	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 °С

Энтальпия сольватации электролита $\Delta H_{\text{сольв}}$, кДж/моль, равна разности между первой теплотой растворения $\Delta H_{\text{м}} - 0 = \Delta H_0$ и энергией кристаллической решетки (см. табл. 128).

ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость растворителя.

Электролит MX		Метанол ($\epsilon = 32,6$)	Вода ($\epsilon = 78,5$)	Формамид ($\epsilon = 110$)	Метилформамид ($\epsilon = 182$)
катион M	анион X				
Li ⁺	F ⁻	—	1039,7	—	—
	Cl ⁻	914,2	899,3	901,7	917,1
	Br ⁻	769,8	868,4	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	753,7	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, °С	c_p , Дж/(г · К), при концентрации m , моль/кг H ₂ O			
		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 ₂ SO 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 ₄ CH ₃ COO	17,5	3,81	3,98	4,08	—
NH ₄ Cl	18	3,67	3,92	4,04	4,11
NH ₄ NO ₃	18	3,68	3,89	4,03	—
NaCH ₃ COO	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 приведены в Дж/(моль · К), теплота

T, К	Ag	C (графит)	Cu	H ₂ O	NH ₃	O ₂	C ₂ H ₆ этан
10	0,21	—	—	0,27	—	—	—
15	0,63	0,04	0,17	1,00	0,96	7,11	2,76
20	1,72	0,08	0,50	2,00	1,97	15,06	6,65
						$\Delta H_{20,6}^{\text{пер. I}} = 0,09$	
25	2,93	0,13	1,05	3,10	3,35	22,18	10,54
30	4,81	0,21	1,67	4,10	4,60	27,61	15,02
40	8,16	0,38	3,35	6,13	7,95	41,00	24,85
						$\Delta H_{43,8}^{\text{пер. II}} = 0,74$	
50	11,25	0,59	5,86	7,90	11,30	46,02	32,68
						$\Delta H_{54,4}^{\text{плавл}} = 0,44$	
60	13,8	0,75	8,16	9,60	14,31	55,28	39,54
80	17,49	1,17	12,55	12,82	20,29	56,07	53,22
						$\Delta H_{90,1}^{\text{исп}} = 6,81$	$\Delta H_{90}^{\text{плавл}} = 2,87$
100	20,0	1,67	16,3	15,82	25,94	29,12	68,53
120	21,63	2,26	18,83	18,50	31,13	29,13	69,24
140	22,8	2,93	20,3	20,82	36,19	29,14	69,83
160	23,64	3,60	21,34	23,15	41,21	29,15	70,84
180	24,35	4,31	22,09	25,60	45,81	29,16	72,22
					$\Delta H_{195,4}^{\text{плавл}} = 5,66$		$\Delta H_{181,1}^{\text{исп}} = 14,70$
200	24,89	5,02	22,59	28,12	52,30	29,17	44,14
					$\Delta H_{239,7}^{\text{исп}} = 23,35$		
235	—	—	—	—	54,81	—	—
250	25,31	6,86	23,85	34,70	34,52	29,29	48,00
280	—	—	—	—	—	—	—
298	25,31	8,62	24,69	37,78 (273,16 K)	35,73	29,37	52,72

теплоемкости в интервале 10–298 К

фазовых превращений — в кДж/моль.

C_6H_6 бензол	C_8H_{12} метил- циклопентан	C_7H_8 толуол	C_8H_{10} м-ксилол	C_8H_{18} 2,2,4-три- метилпентан
—	—	—	—	—
3,89	5,23	—	7,28	8,37
7,70	10,38	13,18	13,72	16,74
12,97	16,32	19,66	21,76	25,10
17,99	22,18	25,52	29,29	32,22
27,07	32,59	34,89	41,25	43,51
33,68	40,92	43,10	49,37	52,72
39,00	47,78	48,79	55,44	61,50
45,40	58,74	56,69	65,02	79,50
51,04	68,20	61,88	72,84	97,07
55,56	77,15	68,45	80,12	115,06
	$\Delta H_{195,4}^{\text{плавл}} = 6,93$			
61,30	125,06	74,22	87,99	132,21
68,20	126,11	79,87	96,06	149,79
		$\Delta H_{178,2}^{\text{плавл}} = 6,53$		$\Delta H_{165,8}^{\text{плавл}} = 9,21$
75,73	128,07	132,84	104,85	189,12
84,35	131,00	136,06	113,60	195,81
			$\Delta H_{225,3}^{\text{плавл}} = 11,57$	
—	—	—	—	—
109,62	142,80	142,67	168,41	216,52
$\Delta H_{278,6}^{\text{плавл}} = 9,83$				
129,79	—	—	—	—
135,14	158,16	156,06	183,26	239,53

40. Средняя теплоемкость простых веществ и соединений

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

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
Простые вещества						
Ag (кр.)	25,90	26,20	26,48	26,76	27,03	27,31
Al (кр.)	25,61	26,23	26,85	27,47	28,09	—
As (кр.)	25,57	25,86	26,14	26,43	—	—
Au (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	—	—	—	—
		(594 К)				
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 К)
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.)			

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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
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	29,85	—	—
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	27,77	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 ₂ O 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	369,42
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 ₂ O 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 ₂ O 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	—	—

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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	56,42
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 ₂ O (г.)	49,30	50,34	51,13	51,76	52,28	52,75
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 ₂ O 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 ₂ O (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 ₂ O ₃ (кр.)	117,87	122,92	127,55	131,94	136,14	140,23
Fe ₃ O ₄ (кр.)	169,63	180,08	190,52	200,97	—	—
Ga ₂ O 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 ₂ O (г.)	34,49	34,99	35,50	36,02	36,54	37,06
H ₂ O ₂ (г.)	49,07	50,99	52,53	53,84	54,39	56,02
H ₂ S (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 ₂ Cl 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 ₂ CrO ₄ (кр.)	153,60	157,35	161,10	164,84	168,58	—
K ₂ Cr ₂ O ₇ (кр.)	244,87	256,34	—	—	—	—
K ₂ SO 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 ₂ SO 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

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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 ₂ O ₃ (кр.)	108,39	111,66	114,49	117,05	119,43	121,69
Mn ₃ O 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) ₂ SO 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 ₂ O (г.)	43,40	44,79	45,90	46,84	47,67	48,42
N ₂ O ₄ (г.)	89,75	93,40	96,58	99,46	102,14	104,69
N ₂ O 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 ₂ B ₄ O ₇ (кр.)	211,70	219,75	226,60	232,70	238,30	243,55
Na ₂ CO ₃ -α	124,73	131,51	138,29	—	—	—
Na ₂ O (кр.)	76,37	78,75	80,72	82,44	84,00	85,43
Na ₂ O ₂ -α	96,61	99,44	102,27	—	—	—
Na ₂ S (кр.)	85,63	85,97	86,31	86,66	87,00	87,34
Na ₂ SO ₃ (кр.)	124,47	126,65	128,82	131,00	133,17	135,35
Na ₂ SO ₄ (-α, -β, -γ)	143,91	189,17	187,02	186,82	187,59	189,63
	(α)	(β)	(β)	(β)	(β)	(γ)
Na ₂ SiO ₃ (кр.)	128,15	133,19	137,35	140,98	144,26	147,28
Na ₂ Si ₂ O ₅ (-α, -β)	183,88	192,39	199,49	205,69	211,30	220,10
	(α)	(α)	(α)	(α)	(α)	(β)
Na ₃ AlF ₆ (-α, -β)	235,49	243,41	251,34	259,26	278,99	280,35
	(α)	(α)	(α)	(α)	(β)	(β)
Na ₃ PO ₄ (кр.)	162,83	166,18	169,53	172,88	176,23	179,58
Na ₄ SiO 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 ₄ O 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	81,81	83,48	133,38	128,53	125,06
	(кр.)	(кр.)	(кр.)	(ж.)		
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

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
PbO ₂ (кр.)	66,16	67,80	69,43	71,06	72,69	74,32
Pb ₃ O 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 ₂ Cl ₂ (г.)	84,80	87,20	89,15	90,81	92,28	93,61
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 ₂ O ₃ (кр.)	118,43	121,73	125,04	128,34	131,65	—
Sb ₂ S 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	56,08	58,69	61,09	63,65	64,27
	(α)	(α)	(α)	(α)	(β)	
SiO ₂ (тридимит-β)	57,68	59,49	60,68	61,61	62,42	63,15
SiO ₂ (кристобалит-α, -β)	57,06	61,21	62,35	63,21	63,92	64,55
	(α)	(β)				
SnCl ₂ (кр., ж.)	84,02	135,95	126,07	120,12	116,15	—
	(кр.)	(ж.)				
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	51,85	53,12	54,45	56,58	56,47
	(α)	(α)	(α)	(α)	(β)	
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
TeF 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 ₂ O (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 ₂ F ₂ (кр.)	112,95	115,61	117,63	119,25	120,61	121,78
U ₃ O 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 K)				
ZnO (кр.)	44,90	46,18	47,16	47,96	48,64	49,24

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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 ₂ H ₂ (г.) ацетилен	48,72	50,83	52,75	54,49	56,06	57,46
C ₂ H ₄ (г.) этилен	53,84	58,17	62,25	66,08	69,66	72,98
C ₂ H ₆ (г.) этан	66,21	72,27	77,94	83,24	88,14	92,66
C ₃ H ₄ (г.) пропadiен (аллен)	71,43	76,87	81,85	86,35	90,37	93,93
C ₃ H ₆ (г.) пропен	79,86	87,06	93,94	100,52	106,76	112,69
C ₃ H ₆ (г.) циклопропан	75,14	83,65	91,45	98,55	104,94	110,62
C ₃ H ₈ (г.) пропан	94,39	103,52	112,02	119,90	127,15	133,76
C ₄ H ₆ (г.) 1,2-бутадиен	97,50	105,27	112,48	119,12	125,20	130,72
C ₄ H ₆ (г.) 1,3-бутадиен (дивинил)	98,92	107,38	115,09	122,05	128,27	133,74
C ₄ H ₈ (г.) 1-бутен	111,43	120,58	129,19	137,27	144,80	151,80
C ₄ H ₈ (г.) 2-бутен, <i>цис</i> -	101,72	111,89	121,32	130,00	137,95	145,14
C ₄ H ₈ (г.) 2-бутен, <i>транс</i> -	108,53	117,55	126,04	134,03	141,52	148,50
C ₄ H ₈ (г.) 2-метилпропен	110,54	119,60	128,16	136,22	143,76	150,80
C ₄ H ₈ (г.) циклобутан	98,68	110,42	121,21	131,07	139,99	147,95
C ₄ H ₁₀ (г.) бутан	124,29	135,15	145,39	155,01	164,02	172,41
C ₄ H ₁₀ (г.) 2-метилпропан (изобутан)	126,23	137,47	147,84	157,37	166,03	173,82
C ₅ H ₈ (г.) 2-метил-1,3-бутадиен (изопрен)	129,60	140,43	150,33	159,31	167,37	174,50
C ₅ H ₁₀ (г.) циклопентан	117,90	132,80	146,83	159,67	171,27	181,67
C ₅ H ₁₂ (г.) пентан	151,75	165,84	178,91	190,96	201,97	211,96
C ₅ H ₁₂ (г.) 2-метилбутан (изопентан)	151,24	165,72	179,13	191,48	202,75	212,95
C ₅ H ₁₂ (г.) 2,2-диметилпропан (неопентан)	155,09	169,92	183,55	196,00	207,25	217,29
C ₆ H ₆ (г.) бензол	110,94	123,02	133,98	143,81	152,50	160,06
C ₆ H ₁₂ (г.) циклогексан	149,80	169,02	186,70	202,86	217,48	230,56
C ₆ H ₁₄ (г.) гексан	180,50	197,21	212,67	226,91	239,92	251,70
C ₇ H ₈ (г.) толуол	137,72	152,70	166,40	178,84	190,00	199,90
C ₇ H ₁₆ (г.) гептан	209,28	228,53	246,40	262,84	277,85	291,40
C ₈ H ₆ (г.) этинилбензол (фенилацетилен)	146,23	159,77	172,04	183,03	192,74	201,18
C ₈ H ₈ (г.) фенилэтилен (стирол)	156,96	172,22	186,13	198,70	209,90	219,75
C ₈ H ₁₀ (г.) этилбензол (г.)	167,54	184,71	200,40	214,64	227,41	238,69
<i>o</i> -C ₈ H ₁₀ <i>o</i> -ксилол	169,90	186,11	201,02	214,66	227,00	238,04
<i>m</i> -C ₈ H ₁₀ (г.) <i>m</i> -ксилол	165,54	182,32	197,74	211,82	224,51	235,83
<i>p</i> -C ₈ H ₁₀ (г.) <i>p</i> -ксилол	164,59	181,29	196,66	210,69	223,37	234,71
C ₈ H 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 ₂ O (г.) формальдегид	39,57	41,77	43,86	45,84	47,72	49,50
CH ₂ O ₂ (г.) муравьиная кислота	56,66	60,12	63,24	66,03	68,49	70,66
CH ₄ O (г.) метанол	52,20	56,03	59,64	63,04	66,22	69,21
C ₂ H ₄ O (г.) ацетальдегид	65,49	70,70	75,53	79,98	84,06	87,81
C ₂ H ₄ O (г.) этиленоксид	62,03	68,17	73,80	78,90	83,50	87,64

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
$C_2H_4O_2$ (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
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 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_7N (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.) тиацклопропан	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.) тиацклобутан	90,35	99,65	108,18	115,95	122,94	129,17
C_4H_4S (г.) тиюфен	93,42	102,34	110,40	117,63	124,02	129,54
C_4H_8S (г.) тиацклопентан	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.) тиацклогексан	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):

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

Реакция	Выражение константы K_a	Уравнение $\lg K_a = f(T)$
$2\text{H} = \text{H}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{H}_2}}{a_{\text{H}}^2}$	$\lg K_a = \frac{22\,545}{T} - 1,720 \lg T + 0,085 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,013 \cdot 10^5}{T^2} - 0,185$
$2\text{Cl} = \text{Cl}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{Cl}_2}}{a_{\text{Cl}}^2}$	$\lg K_a = \frac{12\,552}{T} - 1,113 \lg T + 0,052 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,024 \cdot 10^5}{T^2} - 2,428$
$2\text{Br}(\text{r.}) = \text{Br}_2(\text{r.})$	$K_a = \frac{a_{\text{Br}_2(\text{r.})}}{a_{\text{Br}(\text{r.})}^2}$	$\lg K_a = \frac{10\,061}{T} - 0,318 \lg T - 0,057 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,052 \cdot 10^5}{T^2} - 4,553$
$2\text{I}(\text{r.}) = \text{I}_2(\text{r.})$	$K_a = \frac{a_{\text{I}_2(\text{r.})}}{a_{\text{I}(\text{r.})}^2}$	$\lg K_a = \frac{7\,875,2}{T} - 0,330 \lg T - 0,020 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,042 \cdot 10^5}{T^2} - 4,346$
$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$	$K_a = \frac{a_{\text{HCl}}^2}{a_{\text{H}_2} a_{\text{Cl}_2}}$	$\lg K_a = \frac{9\,400}{T} - 1,353 \lg T + 0,138 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,118 \cdot 10^5}{T^2} + 5,035$
$\text{H}_2 + \text{Br}_2(\text{r.}) = 2\text{HBr}$	$K_a = \frac{a_{\text{HBr}}^2}{a_{\text{H}_2} a_{\text{Br}_2(\text{r.})}}$	$\lg K_a = \frac{51\,89,9}{T} - 1,479 \lg T + 0,208 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,077 \cdot 10^5}{T^2} + 5,375$

Реакция	Выражение константы K_a	Уравнение $\lg K_a = f(T)$
$\text{H}_2 + \text{I}_2 (\text{r}) = 2\text{HI}$	$K_a = \frac{a_{\text{HI}}^2}{a_{\text{H}_2} a_{\text{I}_2} (\text{r})}$	$\lg K_a = \frac{302,4}{T} - 1,448 \lg T + 0,210 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,054 \cdot 10^5}{T^2} + 5,290$
$2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} (\text{r}) = 4\text{HCl} + \text{O}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{HCl}}^4 a_{\text{O}_2}}{a_{\text{Cl}_2}^2 a_{\text{H}_2\text{O}}^2 (\text{r})}$	$\lg K_a = -\frac{6019,9}{T} + 0,423 \lg T - 0,025 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,147 \cdot 10^5}{T^2} + 5,672$
$\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2 (\text{r})$	$K_a = \frac{a_{\text{COCl}_2} (\text{r})}{a_{\text{CO}} a_{\text{Cl}_2}}$	$\lg K_a = \frac{5835,1}{T} + 0,206 \lg T + 0,190 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,150 \cdot 10^5}{T^2} - 8,032$
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} (\text{r})$	$K_a = \frac{a_{\text{H}_2\text{O}}^2 (\text{r})}{a_{\text{H}_2}^2 a_{\text{O}_2}}$	$\lg K_a = \frac{24820}{T} - 3,130 \lg T + 0,301 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,090 \cdot 10^5}{T^2} + 4,397$
$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{CO}_2}^2}{a_{\text{CO}}^2 a_{\text{O}_2}}$	$\lg K_a = \frac{29791}{T} + 0,169 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,324 \cdot 10^5}{T^2} - 9,495$
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} (\text{r}) = \text{H}_2 + \text{CO}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{H}_2} a_{\text{CO}_2}}{a_{\text{CO}} a_{\text{H}_2\text{O}} (\text{r})}$	$\lg K_a = \frac{2485,5}{T} + 1,565 \lg T - 0,066 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,207 \cdot 10^5}{T^2} - 6,946$
$2\text{H}_2 + \text{S}_2 (\text{r}) = 2\text{H}_2\text{S} (\text{r})$	$K_a = \frac{a_{\text{H}_2\text{S}}^2 (\text{r})}{a_{\text{H}_2}^2 a_{\text{S}_2} (\text{r})}$	$\lg K_a = \frac{8369}{T} - 3,840 \lg T + 0,606 \cdot 10^{-3} T + \frac{0,066 \cdot 10^5}{T^2} + 6,824$
$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$	$K_a = \frac{a_{\text{SO}_3}^2}{a_{\text{SO}_2}^2 a_{\text{O}_2} (\text{r})}$	$\lg K_a = \frac{10679}{T} + 0,736 \lg T + 0,114 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,354 \cdot 10^5}{T^2} - 12,419$
$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$	$K_a = \frac{a_{\text{NH}_3}^2}{a_{\text{N}_2} a_{\text{H}_2}^3}$	$\lg K_a = \frac{4189,0}{T} - 6,028 \lg T + 0,964 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,126 \cdot 10^5}{T^2} + 6,491$

$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{NO}_2}^2}{a_{\text{NO}}^2 a_{\text{O}_2}}$	$\lg K_a = \frac{6017,2}{T} - 0,998 \lg T + 0,302 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,237 \cdot 10^5}{T^2} - 5,175$
$\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$	$K_a = \frac{a_{\text{NO}}^2}{a_{\text{N}_2} a_{\text{O}_2}}$	$\lg K_a = -\frac{9581}{T} - 0,022 \lg T + \frac{0,068 \cdot 10^5}{T^2} + 1,380$
$2\text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4$	$K_a = \frac{a_{\text{N}_2\text{O}_4}}{a_{\text{NO}_2}^2}$	$\lg K_a = \frac{3070,2}{T} + 0,189 \lg T + 0,446 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,022 \cdot 10^5}{T^2} - 10,019$
$\text{CO} + 2\text{H}_2 =$ $= \text{CH}_3\text{OH} (\text{r.})$	$K_a = \frac{a_{\text{CH}_3\text{OH}(\text{r.})}}{a_{\text{CO}} a_{\text{H}_2}^2}$	$\lg K_a = \frac{3886,0}{T} - 8,142 \lg T + 2,470 \cdot 10^{-3} T - 0,270 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,014 \cdot 10^5}{T^2} + 10,826$
$2\text{CO} + 2\text{H}_2 =$ $= \text{CH}_3\text{COOH} (\text{r.})$	$K_a = \frac{a_{\text{CH}_3\text{COOH}(\text{r.})}}{a_{\text{CO}}^2 a_{\text{H}_2}^2}$	$\lg K_a = \frac{10050}{T} - 11,614 \lg T + 4,752 \cdot 10^{-3} T - 0,676 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,002 \cdot 10^5}{T^2} + 11,600$
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} (\text{r.}) =$ $= \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{r.})$	$K_a = \frac{a_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{r.})}}{a_{\text{C}_2\text{H}_4} a_{\text{H}_2\text{O}(\text{r.})}}$	$\lg K_a = \frac{2049,3}{T} - 3,648 \lg T + 1,880 \cdot 10^{-3} T - 0,316 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,009 \cdot 10^5}{T^2} + 2,940$
$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{r.}) =$ $= \text{C}_4\text{H}_{10} + 2\text{H}_2\text{O} (\text{r.}) + \text{H}_2$ (1, 3-бутанол)	$K_a = \frac{a_{\text{C}_4\text{H}_{10}} a_{\text{H}_2\text{O}(\text{r.})}^2 a_{\text{H}_2}}{a_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{r.})}^2}$	$\lg K_a = -\frac{4141,1}{T} + 8,826 \lg T - 2,912 \cdot 10^{-3} T + 0,319 \cdot 10^{-6} T^2 + \frac{0,030 \cdot 10^5}{T^2} - 11,191$
$2\text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2\text{O} (\text{r.}) =$ $= \text{C}_3\text{H}_6\text{O} (\text{r.}) + \text{CO}_2 +$ $+ 2\text{H}_2$	$K_a = \frac{a_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}(\text{r.})} a_{\text{CO}_2(\text{r.})} a_{\text{H}_2}^2}{a_{\text{C}_2\text{H}_2}^2 a_{\text{H}_2\text{O}(\text{r.})}^3}$	$\lg K_a = \frac{17637}{T} - 2,611 \lg T + 1,356 \cdot 10^{-3} T - 0,092 \cdot 10^{-6} T^2 - \frac{0,223 \cdot 10^5}{T^2} - 3,794$

42. Критические параметры простых веществ и соединений

Вещество	T, K	$t, ^\circ C$	$P \cdot 10^{-2},$ кПа	$P, атм$	$V \cdot 10^6,$ м ³ /моль
Простые вещества					
Br ₂	584,2	311	103,4	102	127
C	6810	6537	2230	2201	18,8
Cl ₂	417,2	144	77,1	76,1	124
D ₂	38,3	- 234,9	16,6	16,4	57,7
F ₂	144,3	- 128,9	52,2	51,5	66,2
H ₂	33,2	- 240	13,2	13,0	67,0
N ₂	126,2	- 147	33,9	33,5	89,5
O ₂	154,6	- 118,6	50,4	49,7	73,4
O ₃	261,1	- 12,1	55,7	55,0	89
P	993,8	720,6	104,0	103	215
S	1313	1039,8	182,1	180	158
Неорганические соединения					
BCl ₃	455,2	182	38,7	38,2	239
BF ₃	260,9	- 12,3	49,8	49,2	115
CO	132,9	- 140,3	35,0	34,5	93,1
CO ₂	304,2	31,0	73,8	72,8	94,0
COCl ₂	455,2	182	56,7	56,0	190,2
COS	378,8	105,6	63,5	62,7	135,1
CS ₂	552,2	279	79,0	78	173,0
D ₂ O	643,9	370,7	216,6	213,8	56,1
HBr	363,2	90	85,5	84,4	(100,3)
HCN	456,7	183,5	53,9	53,2	138,6
HCl	324,7	51,5	82,6	81,5	85,8
HD	35,9	- 237,3	14,8	14,6	62,8
HF	461,2	188	64,9	64,1	69
HI	423,8	150,6	83,1	82,0	—
H ₂ O	647,1	373,9	220,6	217,7	55,9
H ₂ S	373,2	100,0	89,4	88,2	98,5
NH ₃	405,4	132,2	113,3	111,8	72,5
NO	180,2	- 93	64,8	64,0	58,0
NOCl	438,2	165	93,6	92,4	—
N ₂ O	309,6	36,4	72,5	71,6	97,3
N ₂ O ₄	431,4	158,2	101,3	100,0	167
PCl ₃	563,2	290	—	—	264
PH ₃	324,5	51,3	65,4	64,5	113

Вещество	T, K	t, °C	P · 10 ⁻² , кПа	P, атм	V · 10 ⁶ , м ³ /моль
SO ₂	430,6	157,4	78,8	77,8	122
SO ₃	490,8	217,6	82,1	81,0	127,1
SiCl ₄	508,1	234,9	35,9	35,4	326,1
SiF ₄	259,1	- 14,1	37,2	36,7	—
SnCl ₄	591,9	318,7	37,5	37,0	351
UF ₆	503,4	230,2	46,1	45,5	—

Органические соединения

Углеводороды

CH ₄ метан	191,6	- 81,6	46,6	46,0	98,9
C ₂ H ₂ ацетилен	308,3	35,1	61,4	60,6	119,7
C ₂ H ₄ этилен	282,4	9,2	50,4	49,7	131,0
C ₂ H ₆ этан	305,3	32,1	48,7	48,1	147,1
C ₃ H ₄ пропadiен (аллен)	401,2	128	53,5	52,8	—
C ₃ H ₆ пропиен	365,0	91,8	46,2	45,6	181
C ₃ H ₈ пропан	370,0	96,8	42,6	42,0	200
C ₄ H ₆ 1,3-бутадиен (дивинил)	425,2	152	43,3	42,7	221
C ₄ H ₈ 1-бутен	419,6	146,4	40,2	39,7	240
C ₄ H ₈ 2-метилпропен	417,9	144,7	40,0	39,5	239
C ₄ H ₁₀ бутан	425,2	152	38,0	37,5	255
C ₄ H ₁₀ 2-метилпропан (изобутан)	408,1	134,9	36,5	36,0	263
C ₅ H ₁₀ циклопентан	511,8	238,6	45,2	44,6	260
C ₅ H ₁₂ пентан	469,8	196,6	33,7	33,3	311
C ₅ H ₁₂ 2-метилбутан (изопентан)	461,0	187,2	34,2	33,7	306
C ₅ H ₁₂ 2,2-диметилпропан (неопентан)	433,8	160,6	32,0	31,6	303
C ₆ H ₆ бензол	562,7	289,5	49,2	48,6	260
C ₆ H ₁₂ циклогексан	554,2	281,0	41,1	40,6	309
C ₆ H ₁₄ гексан	507,9	234,7	30,3	29,9	368
C ₇ H ₈ толуол	594,0	320,8	42,2	41,6	318
C ₇ H ₁₆ гептан	540,2	267,0	27,4	27,0	426
C ₈ H ₁₀ о-ксилол	632,2	359,0	36,5	36,0	379
C ₈ H ₁₀ м-ксилол	619,2	346,0	35,5	35,0	363
C ₈ H ₁₀ п-ксилол	618,2	345,0	34,4	34	366
C ₈ H ₁₈ октан	569,9	296,7	24,9	24,6	490

Кислородсодержащие соединения

CH ₄ O метанол	512,6	239,4	81,0	79,9	116,6
C ₂ H ₄ O уксусный альдегид	461,2	188	—	—	—
C ₂ H ₄ O этиленоксид	468,2	195	71,9	71,0	138

Вещество	T, K	$t, ^\circ C$	$P \cdot 10^{-2},$ кПа	$P, \text{атм}$	$V \cdot 10^6,$ $\text{м}^3/\text{моль}$
$C_2H_4O_2$ 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 $\pi = P/P_{\text{крит}}$; приведенная температура $\tau = T/T_{\text{крит}}$. При вычислении свойств H_2 , Ne и Xe необходимо использовать вместо $P_{\text{крит}}$ и $T_{\text{крит}}$ псевдокритические параметры ($P_{\text{крит}} + 8$) и ($T_{\text{крит}} + 8$).

$\pi = \frac{P}{P_{\text{крит}}}$	$\tau = T/T_{\text{крит}}$															
	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	

$\pi = \frac{P}{P_{\text{крит}}}$	$\tau = T/T_{\text{крит}}$														
	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	1,534

$\pi = \frac{P}{P_{\text{крит}}}$	$\tau = T/T_{\text{крит}}$															
	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

$\Delta H_{f, 298}^\circ$ и $\Delta G_{f, 298}^\circ$ — 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 $C_{p, 298}^\circ$ — 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:

$$C_p^\circ = a + bT + c'/T^2 \text{ или } C_p^{\circ \Delta} = bT + cT^2$$

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

Вещество	$\Delta H_f^{298^\circ}$ кДж/моль	S_{298° Дж моль · К	$\Delta G_f^{298^\circ}$ кДж/моль	$C_{p, 298^\circ}$ Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p^\circ = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	b · 10 ³	c · 10 ⁻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	$\Delta H_{643}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,63$	—	—	—	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 (с · 10 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	20,84	—	—	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 ⁻ (r.)	- 233,63	153,25	- 239,86	20,79	20,79	20,79	—	—	До 20 000 К
Cl ₂ (r.)	0	222,98	0	33,93	37,03	37,03	0,67	- 2,85	298-3000
Co-α	0	30,04	0	24,81	19,83	19,83	16,75	—	298-700
Cr (кр.)	0	23,64	0	23,35	24,43	24,43	9,87	- 3,68	298-2000
Cs (кр.)	0	84,35	0	31,38	31,38	31,38	—	—	273-301,8
Cu (кр.)	0	33,14	0	24,43	22,64	22,64	6,28	—	298-1357
D (r.)	221,67	123,24	206,52	20,79	20,79	20,79	—	—	До 20 000 К
D ₂ (r.)	0	144,86	0	29,20	28,58	28,58	0,88	1,96 (с · 10 ⁶)	298-1500
F (r.)	79,38	158,64	62,30	22,75	23,70	23,70	- 3,21	—	298-500
F ⁻ (r.)	—	145,47	—	20,79	21,08	21,08	- 0,10	2,67	500-3000
F ₂ (r.)	0	202,67	- 266,61	31,30	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
Fe-α	0	27,15	0	24,98	34,56	34,56	2,51	- 3,51	298-2000
Ga (кр.)	0	41,09	0	26,07	17,24	17,24	24,77	—	298-700
Ge (кр.)	0	31,09	0	28,83	- 159,80	- 159,80	181,00	332,36	700-1000
H (r.)	217,98	114,60	203,28	20,79	26,07	26,07	—	—	298-302,9
H ⁺ (r.)	1536,21	108,84	1517,00	20,79	25,02	25,02	3,43	- 2,34	298-1210
H ⁻ (r.)	139,03	108,85	132,26	20,79	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
H ₂ (r.)	0	130,52	0	20,79	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
Hg (ж.)	0	75,90	0	28,83	27,28	27,28	3,26	0,50	298-3000
Hg (r.)	61,30	174,85	31,80	27,99	26,94	26,94	0,00	0,79	298-629,9
I (r.)	106,76	180,67	70,21	20,79	20,79	20,79	—	—	до 4 000 К
I ⁻ (r.)	- 195,02	169,15	- 221,92	20,79	20,07	20,07	0,68	0,46	298-3000
I ₂ (кр.)	0	116,14	0	54,44	20,79	20,79	—	—	до 20 000 К
I ₂ (r.)	62,43	260,60	19,39	36,90	40,12	40,12	49,79	—	298-385
In (кр.)	0	57,82	0	26,74	37,40	37,40	0,59	- 0,71	298-3000
K (кр.)	0	64,18	0	29,58	20,25	20,25	21,59	—	298-430
La (кр.)	0	56,90	0	27,82	5,61	5,61	81,17	—	298-335
Li (кр.)	0	28,24	0	24,73	25,8	25,8	6,70	—	298-1153
Mg (кр.)	0	32,68	0	24,89	6,86	6,86	46,44	3,51	298-450
Mn-α	0	32,01	0	26,28	22,30	22,30	10,63	- 0,42	298-920
Mo (кр.)	0	28,62	0	24,06	23,85	23,85	14,14	- 1,59	298-980
N ₂ (r.)	0	191,50	0	29,12	21,67	21,67	6,95	—	298-2890
Na (кр.)	0	51,21	0	28,24	27,88	27,88	4,27	—	298-2500
Na (ж.)	ΔH ₃₇₁ ^{плвл} = 2,60	—	—	—	16,82	16,82	37,82	—	298-371
Ni-α	0	29,87	0	26,07	—	—	—	—	—
Ni-β	ΔH ₆₃₃ ^{α→β} = 0,38	—	—	—	16,99	16,99	29,46	—	298-633
					25,10	25,10	7,53	—	633-1725

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж моль·К	ΔG_f^{298} , кДж/моль	C_p^{298} , Дж моль·К	Коэффициенты уравнения $C_p = f(T)$			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.)	$\Delta H_{\text{плавл}} = 0,66$	—	—	—	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.)	$\Delta H_{\text{плавл}} = 4,77$	—	—	—	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)	(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	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.)	$\Delta H_{\text{плавл}} = 7,03$	—	—	—	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 ₂ O (кр.)	-30,54	121,75	-10,90	65,86	55,48	29,46	-	298-500
Ag ₂ S-α	-31,80	143,51	-39,70	76,53	64,60	39,96	-	298-449
Ag ₂ SO 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 ₂ O 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	133,47	-	-	-
AsCl ₃ (г.)	-270,34	328,82	-258,04	75,48	82,09	1,00	-5,94	298-2000
As ₂ O ₃ (клардтит)	-653,37	122,72	-577,03	112,21	59,83	175,73	-	298-582
As ₂ O ₃ (арсенолит)	-656,89	108,32	-576,16	95,65	35,02	203,34	-	298-548
As ₂ O ₅ (кр.)	-921,32	105,44	-478,69	116,52	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 ₂ O 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 ₂ O 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	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

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж моль · К	ΔG_f^{298} , кДж/моль	C_p^{298} , Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p = f(T)$				Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$		
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 · 2H ₂ O (кр.)	-2397,46	189,45	-2148,60	197,07	197,07	—	—	—	
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (кр.)	-3114,57	189,54	-2811,81	—	—	—	—	—	
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O (кр.)	-3408,29	259,83	-3057,00	258,82	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 ₂ O (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	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 ₂ O 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 ₂ O (кр.)	-173,18	92,93	-150,56	63,64	56,57	29,29	—	298-1500	
Cu ₂ S (кр.)	-79,50	120,92	-86,27	76,32	39,25	130,54	—	298-376	

D ₂ O (ж.)	- 294,60	75,90	- 243,47	84,31	84,31	—	—	—	—
D ₂ O (г.)	- 249,20	198,23	- 234,55	34,27	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	—
ΔH ₄₁₁ ^{α→β} = 4,39	—	—	—	—	50,42	11,42	—	411-1468	—
FeS-β	- 927,59	107,53	- 819,77	100,58	100,58	—	—	—	—
FeSO ₄ (кр.)	- 177,40	52,93	- 166,05	62,17	74,81	5,52	- 12,76	298-1000	—
FeS ₂ (кр.)	- 822,16	87,45	- 740,34	103,76	97,74	72,13	- 12,89	298-1000	—
Fe ₂ O ₃ (кр.)	- 1117,13	146,19	- 1014,17	150,79	86,27	208,92	—	298-866	—
Fe ₃ O ₄ (кр.)	- 1089,10	84,98	- 998,24	92,05	112,88	15,44	- 21,00	298-2068	—
Ga ₂ O ₃ (кр.)	- 554,71	55,27	- 500,79	52,09	68,91	9,83	- 17,70	298-1390	—
GeO ₂ (рекар.)	- 580,15	39,71	- 521,59	50,17	66,61	11,59	- 17,74	298-1300	—
GeO ₂ (тетраг.)	- 36,38	198,58	- 53,43	29,14	26,15	5,86	1,09	298-1600	—
HBr (г.)	132,00	201,71	121,58	35,90	39,37	11,30	- 6,02	298-2500	—
HCN (г.)	- 92,31	186,79	- 95,30	29,14	26,53	4,60	1,09	298-2000	—
HCl (г.)	0,32	143,70	- 1,47	29,20	29,25	- 1,15	2,50	298-1500	—
HD (г.)	—	—	—	—	—	—	(c · 10 ⁶)	—	—
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	298-1000	—
HNO ₃ (ж.)	- 173,00	156,16	- 79,90	109,87	109,87	—	—	—	—
HNO ₃ (г.)	- 133,91	266,78	- 73,78	54,12	54,12	—	—	—	—
H ₂ O (кр.)	- 291,85	(39,33)	—	—	4,41	109,50	46,47	100-273	—
H ₂ O (ж.)	- 285,83	69,95	- 237,23	75,30	39,02	76,64	(c · 10 ⁶)	273-380	—
H ₂ O (г.)	- 241,81	188,72	- 228,61	33,61	30,00	10,71	11,96	298-2500	—
H ₂ O ₂ (ж.)	- 187,86	109,60	- 120,52	89,33	53,60	117,15	0,33	298-450	—
H ₂ O ₂ (г.)	- 135,88	234,41	- 105,74	42,39	52,30	11,88	—	298-1500	—
H ₂ S (г.)	- 20,60	205,70	- 33,50	33,44	29,37	15,40	- 11,88	298-1800	—
H ₂ SO ₄ (ж.)	- 813,99	156,90	- 690,14	138,91	156,90	28,30	—	298-553	—
H ₃ PO ₄ (кр.)	- 1279,05	110,50	- 1119,20	106,06	49,83	189,24	- 23,46	298-316	—
H ₃ PO ₄ (ж.)	- 1266,90	200,83	- 1134,00	106,10	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	—

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/ моль · К	ΔC_f^{298} , кДж/моль	C_p^{298} , Дж/ моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p^0 = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$	
Hg ₂ Br ₂ (кр.)	-207,07	217,70	-181,35	88,70	88,70	—	—	—
Hg ₂ Cl ₂ (кр.)	-265,06	192,76	-210,81	101,70	92,47	30,96	—	273-798
Hg ₂ SO ₄ (красн.)	-744,65	200,71	-627,51	131,96	131,96	—	—	—
In ₂ O ₃ (кр.)	-925,92	107,95	-831,98	92,05	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	100,25	—	—	—
KClO ₄ (кр.)	-430,12	151,04	-300,58	112,40	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	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 ₂ CO ₃ (кр.)	-1150,18	155,52	-1064,87	114,44	80,29	109,04	—	630-1171
K ₂ CrO ₄ (кр.)	-1385,74	200,00	-1277,84	146,00	123,72	74,89	—	298-939
K ₂ Cr ₂ O ₇ (кр.)	-2067,27	291,21	-1887,85	219,70	153,38	229,29	—	298-671
K ₂ SO 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 ₂ CO ₃ (кр.)	-1216,00	90,16	-1132,67	96,20	42,53	177,34	—	298-623
Li ₂ SO ₄ (кр.)	-1435,86	114,00	-1321,28	117,60	118,95	93,34	-27,20	298-505
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 · 6H ₂ O (кр.)	-3089,50	348,10	-2635,10	348,10	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.)	53,14	- 466,68	54,02	69,45	10,21	- 16,23	298-523
MnS (кр.)	80,75	- 219,36	49,92	47,70	7,53	-	298-1800
Mn ₂ O ₃ (кр.)	110,46	- 879,91	107,50	107,50	-	-	-
Mn ₃ O ₄ (кр.)	154,81	- 1282,91	148,08	144,93	45,27	- 9,20	298-1445
NH ₃ (ж.)	-	-	80,75	80,75	-	-	-
NH ₃ (г.)	192,66	- 16,48	35,16	29,80	25,48	- 1,67	298-1800
NH ₄ Al(SO ₄) ₂ (кр.)	216,31	- 2039,80	226,40	226,40	-	-	-
NH ₄ Cl-β	95,81	- 203,22	84,10	84,10	-	-	-
NH ₄ NO ₃ (кр.)	151,04	- 183,93	139,33	139,33	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄ (кр.)	220,08	- 901,53	187,30	103,60	280,80	-	298-600
NO (г.)	210,64	87,58	29,86	29,58	3,85	- 0,59	298-2500
NOCl (г.)	263,50	66,37	39,37	44,89	7,70	- 6,95	298-2000
NO ₂ (г.)	240,06	52,29	36,66	41,16	11,33	- 7,02	298-1500
N ₂ O (г.)	219,83	104,12	38,62	45,69	8,62	- 8,53	298-2000
N ₂ O ₄ (г.)	304,35	99,68	79,16	83,89	39,75	- 14,90	298-1000
N ₂ O ₅ (г.)	355,65	117,14	95,28	127,45	16,54	- 32,85	298-2000
NaAlO ₂ (кр.)	70,29	- 1069,20	73,30	87,95	17,70	- 17,74	298-1900
NaBr (кр.)	86,82	- 349,34	51,90	47,92	13,31	-	-
NaC ₂ H ₃ O ₂ (кр.)	123,10	- 608,96	80,33	80,33	-	-	-
NaCl (кр.)	72,13	- 384,13	50,81	45,94	16,32	-	298-1070
NaF (кр.)	51,30	- 543,46	46,86	43,51	16,23	- 1,38	298-1265
NaHCO ₃ (кр.)	102,10	849,65	87,70	44,89	143,89	-	298-500
NaI (кр.)	98,32	- 284,59	52,50	48,88	12,05	-	298-933
NaNO ₃ -α	116,50	- 365,97	93,05	25,69	225,94	-	298-550
NaOH-α	64,43	- 380,29	59,66	7,34	125,00	13,38	298-566
NaOH (ж.)	-	-	-	89,58	- 5,86	-	595-1000
Na ₂ B ₄ O ₇ (кр.)	189,50	- 3081,80	186,80	206,10	77,09	- 37,49	298-1000
Na ₂ CO ₃ -α	138,80	- 1048,20	111,30	70,63	135,6	-	298-723
Na ₂ CO ₃ (ж.)	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O (кр.)	2172	- 3906	536	536	-	-	-
NaH ₂ PO ₄ (кр.)	127,57	- 1394,24	116,94	116,94	-	-	-
Na ₂ HPO ₄ (кр.)	150,60	- 1615,25	135,28	135,28	-	-	-
Na ₂ O (кр.)	75,06	- 379,26	68,89	77,11	19,33	- 12,59	298-1000
Na ₂ O ₂ -α	94,81	- 449,81	90,89	74,00	56,66	-	298-785
Na ₂ S (кр.)	79,50	- 358,13	84,93	82,89	6,86	-	298-1250
Na ₂ SO ₃ (кр.)	146,02	- 1001,21	120,08	107,11	43,51	-	298-1000
Na ₂ SO ₄ -α	149,62	- 1269,50	128,35	82,32	154,36	-	298-522
Na ₂ SO ₄ -β	-	-	-	145,05	54,60	-	522-980
$\Delta H_{595}^{\text{плавл}} = 6,36$							
$\Delta H_{1127}^{\text{плавл}} = 33,00$							
$\Delta H_{522}^{\alpha \rightarrow \beta} = 10,81$							

Вещество	ΔH_f^{298} кДж/моль	S_{298}° Дж моль · К	ΔC_p^{298} кДж/моль	C_p^{298} Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p^{\circ} = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$	
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \gamma$	$\Delta H_{980}^{\beta \rightarrow \gamma} = 0,33$	—	—	—	142,68	59,31	—	980–1157
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (кр.)	$\Delta H_{1157}^{\text{плавл}} = 4324,75$	591,87	—3644,09	547,46	547,46	—	—	—
Na_2SO_4 (ж.)	$\Delta H_{1157}^{\text{плавл}} = 23,01$	—	—	—	197,40	—	—	1157–2000
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (кр.)	$\Delta H_{1157}^{\text{плавл}} = 1117,13$	(225)	(–1043)	145,98	145,98	—	—	—
Na_2SiF_6 (кр.)	$\Delta H_{1157}^{\text{плавл}} = 2849,72$	214,64	—2696,29	—	—	—	—	—
Na_2SiO_3 (кр.)	$\Delta H_{1157}^{\text{плавл}} = 1561,43$	113,76	—1467,50	111,81	130,29	40,17	–27,07	298–1361
Na_2SiO_3 (ж.)	$\Delta H_{1361}^{\text{плавл}} = 51,80$	—	—	—	177,32	—	—	1361–2000
Na_2SiO_3 (стекл.)	$\Delta H_{1361}^{\text{плавл}} = 1541,64$	—	—	—	179,20	—	—	298–2000
$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (ж.)	$\Delta H_{1361}^{\text{плавл}} = 2470,07$	164,05	—2324,39	156,50	185,69	70,54	–44,64	298–951
$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (ж.)	$\Delta H_{1147}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,42$	—	—	—	292,88	—	—	951–1147
$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (ж.)	$\Delta H_{1147}^{\text{плавл}} = 35,56$	—	—	—	261,21	—	—	1147–2000
$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (стекл.)	$\Delta H_{1147}^{\text{плавл}} = 2443,04$	—	—	—	—	—	—	—
Na_3AlF_6 (ж.)	$\Delta H_{1147}^{\text{плавл}} = 3309,54$	283,49	—3158,53	219,51	172,27	158,45	—	298–834
Na_3AlF_6 (ж.)	$\Delta H_{1147}^{\text{плавл}} = 9,29$	—	—	—	151,49	144,29	—	834–1279
Na_3AlF_6 (ж.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 107,28$	—	—	—	396,22	—	—	1279–2500
Na_3PO_4 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 1924,64$	224,68	—1811,31	153,57	136,10	67,00	—	298–1600
Na_4SiO_4 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 2106,64$	195,81	—1976,07	184,72	162,59	74,22	—	298–1393
NiCl_2 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 304,18$	98,07	—258,03	71,67	73,27	13,23	–4,98	298–1300
NiO (ж.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 239,74$	37,99	—211,60	44,31	–20,88	157,23	16,28	298–525
NiS (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 79,50$	52,97	—76,87	47,11	38,70	26,78	—	273–597
NiSO_4 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 873,49$	103,85	—763,76	97,70	125,94	41,51	—	298–1200
PCl_3 (ж.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 320,91$	218,49	—274,08	131,38	131,38	—	—	298–340
PCl_3 (г.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 287,02$	311,71	—267,98	71,84	80,11	3,10	7,99	298–1000
PCl_5 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 445,89$	170,80	—318,36	(138)	(138)	—	—	298–432
PCl_5 (г.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 374,89$	364,47	—305,10	112,97	129,49	2,93	–16,40	298–1500
P_2O_3 (ж.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 1097$	(142)	(–1023)	144,4	144,4	—	—	—
P_2O_5 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 1507,2$	140,3	—1371,7	(41,8)	35,06	22,61	—	(298–500)
P_4O_{10} (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 2984,03$	228,86	—2697,60	211,71	93,30	407,19	—	298–630
P_4O_{10} (г.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 2894,49$	394,55	—2657,46	190,79	190,79	—	—	—
PbBr_2 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 282,42$	161,75	—265,94	80,54	77,78	9,20	—	298–640
PbCO_3 (кр.)	$\Delta H_{1279}^{\text{плавл}} = 699,56$	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.)	$\Delta H_{768}^{\text{плавл}} = 23,85$	-	-	-	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 ₃ O 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 ₂ Cl ₂ (ж.)	- 394,13	216,31	- 321,49	133,89	133,89	16,15	-	219-342
SO ₂ Cl ₂ (г.)	- 363,17	311,29	- 318,85	77,40	87,91	11,75	- 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 ₂ O ₃ (кр.)	- 715,46	132,63	- 636,06	111,76	92,05	66,11	-	298-930
Sb ₂ O ₅ (кр.)	- 1007,51	125,10	- 864,74	117,61	45,86	241,04	-	298-500
Sb ₄ O ₆ (кр.)	- 1417,12	282,00	- 1263,10	223,80	223,80	-	-	-
Sb ₂ S 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)	$\Delta H_{846}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,63$	41,84	- 856,67	44,43	46,99	34,31	- 11,30	298-846
SiO ₂ (кварц-β)	$\Delta H_{846}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,63$	-	-	-	60,29	8,12	-	846-2000
SiO ₂ (тридимит-α)	$\Delta H_{390}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,29$	43,51	- 855,29	44,60	13,68	103,76	-	298-390
SiO ₂ (тридимит-β)	$\Delta H_{390}^{\alpha \rightarrow \beta} = 0,29$	-	-	-	57,07	11,05	-	390-2000
SiO ₂ (кristобалит-α)	$\Delta H_{515}^{\alpha \rightarrow \beta} = 1,30$	42,68	- 855,46	44,18	17,91	88,12	-	298-515
SiO ₂ (кristобалит-β)	$\Delta H_{515}^{\alpha \rightarrow \beta} = 1,30$	-	-	-	60,25	8,54	-	515-2000

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж моль · К	ΔG_f° , кДж/моль	C_p^{298} , Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p^\circ = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	
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.)	$\Delta H_{\text{плав}} = 14,52$	—	—	—	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	-2,89	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	$\Delta H_{\alpha \rightarrow \beta} = 0,67$	—	—	—	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
TiCl (кр.)	-204,18	111,29	-184,98	52,70	50,21	8,37	—	298-700
TiCl (г.)	-68,41	256,06	-92,38	36,23	37,40	0,00	-1,05	298-2000
Tl ₂ O (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.)	$\Delta H_{\text{плав}} = 58,6$	—	—	—	133,98	37,68	—	1309-1500
UF ₄ (г.)	-1591,55	349,36	-1559,87	90,79	90,79	—	—	—
UF ₆ (кр.)	-2188,23	227,61	-2059,82	167,49	52,72	384,93	—	273-337

	$\Delta H_{337}^{\text{плавл}} = 19,22$							
UF ₆ (ж.)	—	377,98	—	—	129,74	198,32	—	337–450
UF ₆ (г.)	—2138,61	77,82	—2055,03	—	63,71	151,04	5,44	298–1000
UO ₂ (кр.)	—1084,91	135,56	—1031,98	—	103,05	80,33	6,78	298–1500
UO ₂ F ₂ (кр.)	—1637,20	276,33	—1541,06	—	—	222,88	8,62	298–1500
UO ₂ (NO ₃) ₂ (кр.)	—1348,99	282,42	—1114,76	—	237,24	—	—	—
U ₃ O ₈ (кр.)	—3574,81	75,90	—3369,50	—	72,79	282,42	36,94	298–900
WO ₃ (кр.)	—842,91	64,85	—764,11	—	63,55	87,65	16,17	298–1050
WS ₂ (кр.)	—259,41	80,33	—249,98	—	80,08	68,63	15,61	298–1500
ZnCO ₃ (кр.)	—812,53	111,46	—730,66	—	67,53	38,91	138,07	298–500
ZnCl ₂ (кр.)	—415,05	276,56	—369,39	—	56,90	60,67	23,01	298–590
ZnCl ₂ (г.)	—265,68	43,51	—269,24	—	40,25	60,25	0,84	1005–2000
ZnO (кр.)	—348,11	57,66	—318,10	—	45,36	48,99	5,10	298–1600
ZnS (кр.)	—205,18	110,54	—200,44	—	99,06	49,25	5,27	298–1290
ZnSO ₄ (кр.)	—981,36	76,99	—870,12	—	74,27	76,36	76,15	298–1020
Zn(OH) ₂ (кр.)	—645,43	181,42	—555,92	—	119,77	74,27	—	—
ZrCl ₄ (кр.)	—979,77	368,19	—889,27	—	98,32	124,97	14,14	298–607
ZrCl ₄ (г.)	—869,31	50,36	—834,50	—	56,05	107,46	0,29	607–2000
ZrO ₂ -α	—1097,46	—	—1039,72	—	—	69,62	7,53	298–1480

Органические соединения

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S^{298} , $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	ΔG_f^{298} , кДж/моль	C_p^{298} , $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	Коэффициенты уравнения $C_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	b · 10 ³	c · 10 ⁶	
Углеводороды								
CH ₄ (г.) метан	-74,85	186,27	-50,85	35,71	14,32	74,66	-17,43	298-1500
C ₂ H ₂ (г.) ацетилен	226,75	200,82	209,21	43,93	20,44	66,65	-26,48	298-1000
C ₂ H ₄ (г.) этилен	52,30	219,45	68,14	43,56	11,32	122,01	-37,90	298-1500
C ₂ H ₆ (г.) этан	-84,67	229,49	-32,93	52,64	5,75	175,11	-57,85	298-1500
C ₃ H ₄ (г.) пропadiен (аллен)	192,13	243,93	202,36	58,99	13,05	175,31	-71,17	298-1000
C ₃ H ₆ (г.) пропен	20,41	266,94	62,70	63,89	12,44	188,38	-47,60	298-1000
C ₃ H ₆ (г.) циклопропан	53,30	237,44	104,38	55,94	-14,94	268,91	-105,90	298-1000
C ₃ H ₈ (г.) пропан	-103,85	269,91	-23,53	73,51	1,72	270,75	-94,48	298-1500
C ₄ H ₆ (г.) 1,2-бутадиен	162,21	293,01	198,44	80,12	17,74	234,43	-84,73	298-1000
C ₄ H ₆ 1,3-бутадиен (дивинил)	110,16	278,74	150,64	79,54	8,08	273,22	-111,75	298-1000

Вещество	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}^0 , Дж моль · К	ΔG_f^{298} , кДж/моль	S_p^{298} , Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p^0 = f(T)$	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	298-1500
C_4H_8 (г.) 2-бутен, <i>цис</i> -	- 6,99	300,83	65,82	78,91	- 2,72	298-1000
C_4H_8 (г.) 2-бутен, <i>транс</i> -	- 11,17	296,48	62,94	87,82	20,78	298-1000
C_4H_8 (г.) 2-метилпропен	- 16,90	293,59	58,07	89,12	22,30	298-1000
C_4H_8 (г.) циклобутан	26,65	265,39	110,03	72,22	- 24,43	298-1000
C_4H_{10} (г.) бутан	- 126,15	310,12	- 17,19	97,45	18,23	298-1500
C_4H_{10} (г.) 2-метилпропан (изобутан)	- 134,52	294,64	- 20,95	96,82	9,61	298-1000
C_5H_8 (ж.) 2-метил-1,3-бута- диен (изопрен)	49,40	229,40	145,22	153,20	-	-
C_5H_8 (г.) 2-метил-1,3-бута- диен (изопрен)	75,73	315,64	145,84	104,60	14,23	298-1000
C_5H_{10} (ж.) циклопентан	- 105,97	204,40	36,22	126,82	126,82	-
C_5H_{10} (г.) циклопентан	- 77,24	292,88	38,57	83,01	- 42,43	298-1000
C_5H_{12} (ж.) пентан	- 173,33	262,85	- 9,66	172,90	172,90	-
C_5H_{12} (г.) пентан	- 146,44	348,95	- 8,44	120,21	6,90	298-1000
C_5H_{12} (ж.) 2-метилбутан (изопентан)	- 179,28	260,37	- 14,86	164,85	164,85	-
C_5H_{12} (г.) 2-метилбутан (изопентан)	- 154,47	343,59	- 14,87	118,78	2,05	298-1000
C_5H_{12} (г.) 2,2-диметилпро- пан (неопентан)	- 165,98	306,39	- 15,29	121,63	- 0,75	298-1000
C_6H_6 (ж.) бензол	49,03	173,26	124,38	135,14	59,50	281-353
C_6H_6 (г.) бензол	82,93	269,20	129,68	81,67	- 21,09	298-1000
C_6H_{12} (ж.) циклогексан	- 156,23	204,35	26,60	156,48	156,48	-
C_6H_{12} (г.) циклогексан	- 123,14	298,24	31,70	106,27	- 51,71	298-1000
C_6H_{14} (ж.) гексан	- 198,82	296,02	- 4,41	194,93	194,93	-
C_6H_{14} (г.) гексан	- 167,19	388,40	- 0,32	143,09	8,66	298-1000
C_7H_8 (ж.) толуол	12,01	220,96	113,77	156,06	59,62	281-382
C_7H_8 (г.) толуол	50,00	320,66	122,03	103,64	- 21,59	298-1000
C_7H_{16} (ж.) гептан	- 224,54	328,79	0,73	138,91	138,91	-
C_7H_{16} (г.) гептан	- 187,78	427,90	7,94	165,98	10,00	298-1000

C_8H_6 (г.) этилбензол (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	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	186,58	-	-	-
C_8H_{10} (г.) этилбензол	29,79	360,45	130,59	128,41	- 15,61	548,82	- 220,37	298-1000
$o-C_8H_{10}$ (ж.) <i>o</i> -ксилол	- 24,43	246,02	110,48	187,86	187,86	-	-	-
$o-C_8H_{10}$ (г.) <i>o</i> -ксилол	19,00	352,75	122,09	133,26	0,04	504,59	- 193,55	298-1000
$m-C_8H_{10}$ (ж.) <i>m</i> -ксилол	- 25,42	252,17	107,66	183,26	183,26	-	-	-
$m-C_8H_{10}$ (г.) <i>m</i> -ксилол	17,24	357,69	118,86	127,57	- 11,30	526,64	- 204,76	298-1000
$p-C_8H_{10}$ (ж.) <i>p</i> -ксилол	- 24,43	247,69	109,98	183,68	183,68	-	-	-
$p-C_8H_{10}$ (г.) <i>p</i> -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	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	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	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	207,94	-	-	-
$C_{14}H_{10}$ (кр.) фенантрен	116,15	211,84	271,52	234,30	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	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	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	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	123,43	-	-	-

Вещество	ΔH_f^{298} кДж/моль	S^{298} Дж моль · К	ΔG_f^{298} кДж/моль	C_p^{298} Дж моль · К	Коэффициенты уравнения $C_p = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	
$C_2H_4O_2$ (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	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	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	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	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	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	223,01	—	—	—
$C_4H_4O_4$ (кр.) maleиновая кислота	- 790,61	159,41	- 631,20	136,82	136,82	—	—	—
$C_4H_4O_4$ (кр.) фумаровая кислота	- 811,07	166,10	- 653,65	141,84	141,84	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) масляная кислота	- 524,30	255,00	- 376,69	177,82	177,82	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) этилацетат	- 479,03	259,41	- 332,74	169,87	169,87	—	—	—
$C_4H_8O_2$ (ж.) 1,4-диоксан	- 400,80	196,60	- 235,78	152,90	152,90	—	—	—
$C_4H_{10}O$ (ж.) бутанол	- 325,56	225,73	- 160,88	183,26	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	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.) циклопентанол	- 300,16	205,85	- 127,84	184,00	184,00	—	—	—
$C_5H_{12}O$ (ж.) амиловый спирт	- 357,94	254,80	- 161,30	209,20	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	132,00	—	—	—
C_6H_6O (кр.) фенол	- 164,85	144,01	- 50,21	134,70	134,70	—	—	—
$C_6H_6O_2$ (кр.) гидрохинон	- 362,96	140,16	- 216,68	139,74	139,74	—	—	—
$C_7H_6O_2$ (кр.) бензойная кислота	- 385,14	167,57	- 245,24	145,18	145,18	—	—	—

C ₇ H ₆ O (ж.) бензиловый спирт	-161,00	216,70	-27,40	217,80	217,80	-	-	-
C ₈ H ₄ O ₃ (кр.) ангидрид фталевой кислоты	-460,66	179,49	-330,96	161,80	161,80	-	-	-
C ₈ H ₆ O ₄ (кр.) фталевая кислота	-782,24	207,94	-591,54	188,20	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	425,00	-	-	-
Галогенсодержащие соединения								
CCl ₂ F ₂ (г.) дихлордифторметан (фреон-12)	-477,44	300,79	-438,50	72,40	72,40	-	-	-
CCl ₃ F (г.) трихлорфторметан (фреон-11)	-285,15	309,74	-245,85	77,99	77,99	-	-	-
CCl ₄ (ж.) тетрахлорметан	-132,84	216,19	-62,66	131,70	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	55,85	-	-	-
CHCl ₂ F (г.) дихлорфторметан (фреон-21)	-282,19	293,05	-251,70	60,98	60,98	-	-	-
CHCl ₃ (ж.) трихлорметан (хлороформ)	-132,21	202,92	-71,85	116,30	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 ₂ Cl ₂ (ж.) дихлорметан	-124,26	178,66	-70,45	100,00	100,00	-	-	-
CH ₂ Cl ₂ (г.) дихлорметан	-95,39	270,24	-68,87	51,13	22,09	111,30	-46,36	298-1000
CH ₂ F ₂ (г.) дифторметан	-452,88	246,60	-425,36	42,88	11,39	118,20	-46,00	298-1000
CH ₃ Br (г.) бромметан	-37,66	245,81	-28,18	42,43	18,53	89,40	-27,28	298-1500
CH ₃ Cl (г.) хлорметан	-86,31	234,47	-62,90	40,75	15,57	92,74	-28,31	298-1500
CH ₃ F (г.) фторметан	-246,90	222,80	-223,04	37,48	11,87	94,58	-29,30	298-1500
CH ₃ I (ж.) иодметан	-13,76	162,76	15,10	127,2	127,2	-	-	-
CH ₃ I (г.) иодметан	13,97	254,01	15,63	44,14	19,67	92,67	-32,28	298-1000
C ₂ H ₅ Cl (г.) хлорэтан	-111,72	275,85	-60,04	62,72	11,63	193,00	-72,92	298-1000
C ₂ H ₅ F (г.) фторэтан	-261,50	264,93	-209,60	59,04	8,27	190,90	-69,55	298-1000
C ₆ H ₅ Cl (ж.) хлорбензол	10,79	209,20	89,17	145,60	145,60	-	-	-
C ₆ H ₅ Cl (г.) хлорбензол	51,84	313,46	99,15	98,03	-3,09	388,92	-166,25	298-1000
C ₆ H ₅ F (ж.) фторбензол	-151,17	205,94	-74,84	146,40	146,40	-	-	-
C ₆ H ₅ F (г.) фторбензол	-116,57	302,63	-69,06	94,43	-9,91	401,30	-171,40	298-1000

Вещество	$\Delta H_{f, 298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	$\Delta G_{f, 298}^\circ$, кДж/моль	$C_p^{298},$ $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	Коэффициенты уравнения $C_p^\circ = f(T)$			Температурный интервал, К
					a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	
Азотсодержащие соединения								
$C_7H_5F_3$ (ж.) фенилтрифторметан	-637,64	271,50	-518,74	188,40	188,40	—	—	—
$C_7H_5F_3$ (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 ($c' \cdot 10^3$)	298-1000
CH_3NO_2 (г.) нитрометан	-74,73	275,01	-7,00	57,32	11,76	172,60	-66,49	298-1000
CH_4N_2O (кр.) карбамид (мочевина)	-333,17	104,60	-197,15	93,14	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	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.) аминокус- ная кислота (гликоколь)	-524,67	109,20	-366,84	100,42	100,42	—	—	—
C_2H_7N (г.) диметиламин	-18,83	272,96	67,91	69,04	4,54	242,10	-86,84	298-1000
C_3H_3N (г.) акрилонитрил	184,93	273,93	195,31	63,76	20,46	164,50	-64,14	298-1000
C_3H_9N (г.) триметиламин	-23,85	288,78	98,79	91,76	1,60	341,00	-129,30	298-1000
C_3H_5N (ж.) пиридин	99,96	177,90	181,31	132,72	132,72	—	—	—
C_3H_5N (г.) пиридин	140,16	282,80	190,23	78,12	-18,45 (186)	370,10	-154,30	298-1000
$C_6H_5NO_2$ (ж.) нитробензол	15,90	224,26	146,20	(186)	190,79	—	—	—
C_6H_7N (ж.) анилин	31,09	191,29	149,08	190,79	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.)	- 62,59	235,39	6,43	146,00	112,13	112,97	-	300-350
диметилдисульфид								
$C_2H_6S_2$ (г.)	- 24,14	336,64	14,69	94,31	38,91	207,65	- 73,72	298-1000
диметилдисульфид								
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.)	- 120,04	305,01	9,47	203,96	152,59	172,38	-	270-300
диэтилдисульфид								
$C_4H_{10}S_2$ (г.)	- 74,64	414,51	22,23	141,34	39,04	380,28	- 151,34	298-1000
диэтилдисульфид								
$C_5H_{10}S$ (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	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	ΔG_f^{298} , кДж/моль	Ион	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	ΔG_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_3^{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

Ион	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	ΔG_f^{298} , кДж/моль	Ион	ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	ΔG_f^{298} , кДж/моль
Ca^{2+}	-542,66	-55,23	-552,70	H_2PO_4	-1296,29	90,37	-1130,34
Cd^{2+}	-75,31	-70,92	-77,65	Hg^{2+}	173,47	-25,15	164,68
Cl^-	-167,07	56,74	-131,29	Hg_2^{2+}	171,75	82,17	153,60
ClO^-	-110,04	32,97	-36,61	I^-	-56,90	106,69	-51,94
ClO_2	-66,53	101,25	17,12	I_3	-51,46	239,32	-51,42
ClO_3^-	-95,56	164,43	-0,19	IO_3	-220,52	117,78	-127,16
ClO_4^-	-123,60	183,68	-3,40	K^+	-252,17	101,04	-282,62
Co^{2+}	-56,61	-110,46	-53,64	Li^+	-278,45	11,30	-292,86
Co^{3+}	94,14	-285,01	-129,70	Mg^{2+}	-461,75	-119,66	-455,24
Cr^{2+}	-138,91	41,87	-183,26	Mn^{2+}	-220,50	-66,94	-229,91
Cr^{3+}	-235,98	-215,48	-223,06	MnO_4	-533,04	196,23	-440,28
CrO_4^{2-}	-875,42	46,02	-720,91	NH_4^+	-132,80	112,84	-79,52
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	-1490,93	270,39	-1295,62	NO_2	-104,60	139,85	-37,16
Cs^+	-258,04	132,84	-291,96	NO_3	-207,38	146,94	-111,49
Cu^+	72,80	44,35	50,00	Na^+	-240,30	58,41	-261,90
Cu^{2+}	66,94	-92,72	65,56	Ni^{2+}	-53,14	-126,05	-45,56
CuNH_3^{2+}	-36,86	17,90	15,76	OH^-	-230,02	-10,71	-157,35
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$	-151,04	263,59	-65,37	PO_4^{3-}	-1277,38	-220,29	-1018,81
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$	-140,21	117,74	-30,50	Pb^{2+}	(-1,18)	-24,32	(11,82)
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}$	-244,01	204,24	-73,18	PtCl_4^{2-}	-500,82	125,64	-354,01
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	-346,52	280,50	-111,51	PtCl_6^{2-}	-669,44	223,43	-485,31
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_5^{2+}$	-448,23	309,47	-134,64	Ra^{2+}	-529,69	28,87	(-555,99)
F^-	-333,84	-14,02	-279,99	Rb^+	-251,12	120,46	-283,76

Fe^{2+}	-87,86	-113,39	-84,88	S^-	32,64	-14,52	85,40
Fe^{3+}	-47,70	-293,30	-10,53	SO_3^-	-638,27	-38,28	-486,73
H^+	0	0	0	SO_4^{2-}	-909,26	18,20	-743,99
HCOO^-	-426,22	90,81	-351,54	SiF_6^{2-}	-2396,51	125,94	-2208,25
HCO_3^-	-691,28	92,57	-586,56	Sn^{2+}	-10,23	-25,26	-26,24
HC_2O_4^-	-818,18	117,03	-688,47	Sr^{2+}	-545,51	-26,36	-560,97
HF_2^-	-660,65	67,78	-581,52	Tl^-	5,52	126,20	-32,43
HPO_3^{2-}	-969,01	(16,81)	-811,70	Tl^{3+}	201,25	-176,92	214,76
HPO_4^{2-}	-1292,14	-33,47	-1089,28	U^{3-}	-514,63	-125,52	-520,59
HS^-	-17,57	62,76	12,15	U^{4+}	-590,15	-382,62	-538,91
HSO_3^-	-627,98	132,38	-527,32	UO_2^{2+}	-1018,66	-89,68	-954,71
HSO_4^-	-887,77	127,97	-755,23	Zn^{2+}	-153,64	-110,62	-147,16
H_2PO_3^-	-969,43	79,50	-830,81				

Ионы в жидком аммиаке

Ион	$\Delta H_f^{298},$ кДж/моль	$S_{298}^0,$ Дж/(моль · К)	$\Delta G_f^{298},$ кДж/моль	Ион	$\Delta H_f^{298},$ кДж/моль	$S_{298}^0,$ Дж/(моль · К)	$\Delta G_f^{298},$ 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	NC_2	-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; $\Delta S_{298}^\circ = \sum (v_i S_{298}^\circ)_{\text{прод}} - \sum (v_i S_{298}^\circ)_{\text{исх}}$; Δa (соответственно Δb , Δc , $\Delta c'$) = $\sum (v_i a)_{\text{прод}} - \sum (v_i a)_{\text{исх}}$ (обозначения см. табл. 44).

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

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

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. $\theta = \frac{hc\tilde{\omega}}{k}$ — характеристическая температура. K (здесь $\tilde{\omega}$ — волновое число собственных колебаний).

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: $\theta = \frac{h\nu_{\text{макс}}}{k}$. Величины θ в скобках вычислены из приведенных значений мольного объема V

и температуры плавления $T_{\text{плав}}$ по формуле Линдемана: $\theta = 1,35 \sqrt{\frac{T_{\text{плав}}}{M \cdot V^{2/3}}}$ (M — относительная молекулярная масса).

Вещество	$T_{\text{плав}}, \text{K}$	$V \cdot 10^6, \text{м}^3/\text{моль}$	θ, K	Вещество	$T_{\text{плав}}, \text{K}$	$V \cdot 10^6, \text{м}^3/\text{моль}$	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	25,08 **	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 ₂ O	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	33,90	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	8,51	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:

$$\lg K_{a,T} = \Delta \lg K_{f,T} = \sum \nu_i \lg K_{f,i} (\text{прод.}) - \sum \nu_i \lg K_{f,i} (\text{исх.})$$

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000

Неорганические соединения

AgCl (кр.)	10,30	9,79	7,08	—	—	—
Ag ₂ O (кр.)	— 0,248	—	—	—	—	—
AlF ₃ -α	143,95	117,71	99,00	—	—	—
Al ₂ O ₃ (корунд)	158,68	129,54	108,73	93,13	81,00	—
AsCl ₃ (г.)	26,09	21,38	18,01	15,48	—	—
As ₂ O ₃ (клаудетит)	55,08	—	—	—	—	—
As ₂ O 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 ₂ O 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 ₂ O 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 ₂ O (г.)	— 11,01	— 9,70	— 8,75	— 8,05	— 7,49	— 7,05

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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 ₂ O ₃ (кр.)	104,9	85,1	71,02	52,20	45,61	35,72
CuCl (кр.)	11,38	9,05	7,41	—	—	—
CuCl ₂ (кр.)	13,85	10,33	7,84	—	—	—
CuO (кр.)	12,10	9,32	7,34	5,88	4,75	3,86
Cu ₂ O (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 ₂ O ₃ (кр.)	71,66	57,44	47,33	39,78	33,92	29,20
Fe ₃ O ₄ (кр.)	98,83	79,55	65,89	55,75	—	—
GeO ₂ (гексаг.)	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 ₂ O (г.)	22,89	18,64	15,59	13,30	11,52	10,08
H ₂ O ₂ (г.)	8,85	6,45	4,74	3,45	2,44	1,66
HgO (кр.)	3,88	2,33	—	—	—	—
Hg ₂ Cl 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 ₂ O ₃ (кр.)	86,45	69,80	57,84	49,03	42,12	36,60
NH ₃ (г.)	— 0,48	— 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 ₂ O (г.)	— 12,45	— 11,01	— 9,99	— 9,22	— 8,61	— 8,12
N ₂ O ₄ (г.)	— 16,69	— 16,47	— 16,30	— 16,14	— 16,00	— 15,86
N ₂ O 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 ₂ O 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

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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
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 ₃ O ₈ (кр.)	338,20	276,12	231,85	198,67	172,89	—
UO ₂ F 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 ₂ H ₂ (г.) ацетилен	- 21,41	- 17,49	- 14,70	- 12,61	- 10,99	- 9,70
C ₂ H ₄ (г.) этилен	- 8,41	- 7,61	- 7,06	- 6,84	- 6,31	- 6,04
C ₂ H ₆ (г.) этан	- 0,496	- 2,14	- 3,33	- 4,22	- 4,91	- 5,45
C ₃ H ₄ (г.) пропadiен (аллен)	- 22,01	- 18,76	- 16,45	- 14,71	- 13,35	- 12,27
C ₃ H ₆ (г.) пропен	- 9,81	- 9,62	- 9,50	- 9,40	- 9,30	- 9,20
C ₃ H ₆ (г.) циклопропан	- 14,82	- 14,06	- 13,53	- 13,12	- 12,79	- 12,51
C ₃ H ₈ (г.) пропан	- 3,58	- 5,60	- 7,05	- 8,13	- 8,96	- 9,60
C ₄ H ₆ (г.) 1,2-бутадиен	- 23,53	- 20,86	- 18,97	- 17,54	- 16,43	- 15,52
C ₄ H ₆ (г.) 1,3-бутадиен (дивинил)	- 18,83	- 17,06	- 15,79	- 14,84	- 14,08	- 13,46
C ₄ H ₈ (г.) 1-бутен	- 12,83	- 13,03	- 13,20	- 13,31	- 13,39	- 13,42
C ₄ H ₈ (г.) 2-бутен, <i>цис</i> -	- 12,42	- 12,77	- 13,049	- 13,25	- 13,39	- 13,49
C ₄ H ₈ (г.) 2-бутен, <i>транс</i> -	- 12,17	- 12,58	- 12,90	- 13,13	- 13,30	- 13,41
C ₄ H ₈ (г.) 2-метилпропен	- 11,71	- 12,21	- 12,59	- 12,87	- 13,07	- 13,20
C ₄ H ₈ (г.) циклобутан	- 17,80	- 17,57	- 17,41	- 17,28	- 17,15	- 17,02
C ₄ H ₁₀ (г.) бутан	- 6,34	- 8,79	- 10,56	- 11,88	- 12,89	- 13,66
C ₄ H ₁₀ (г.) изобутан	- 6,26	- 8,85	- 10,71	- 12,10	- 13,16	- 13,99
C ₅ H ₈ (г.) 2-метил- 1,3-бутадиен (изопрен)	- 20,49	- 19,38	- 18,54	- 17,93	- 17,43	- 17,01

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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-диметил- пропан (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
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.) этилбензол (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
<i>o</i> - C_8H_{10} (г.) <i>o</i> -ксилол	-20,51	-20,46	-20,44	-20,41	-20,36	-20,29
<i>m</i> - C_8H_{10} (г.) <i>m</i> -ксилол	-20,11	-20,10	-20,10	-20,09	-20,05	-20,00
<i>p</i> - C_8H_{10} (г.) <i>p</i> -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.) диметило- вый 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

Вещество	Температура, К					
	500	600	700	800	900	1000
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

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 (г.) 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 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
$C_7H_5F_3$ (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 веществ в состоянии

Приведенная энергия Гиббса $\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$, приращение энтальпии $H_T^\circ - H_0^\circ$ и равновесия:

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

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						
	298	500	600	700	800	900	1000
Простые							
Br	154,13	164,88	168,66	171,79	174,65	177,08	179,30
Br ₂	212,76	230,07	236,33	241,68	246,45	250,50	254,40
C (графит)	2,20	4,85	6,24	7,62	8,99	10,34	11,64
Cl	144,05	155,06	159,02	162,48	165,32	168,02	170,24
Cl ₂	192,20	208,57	214,55	219,68	224,22	228,19	231,94
F	136,78	148,16	152,19	155,68	158,53	161,10	163,41
F ₂	173,08	188,71	194,40	199,42	203,65	207,59	211,05
D	102,46	113,16	116,99	120,26	122,97	125,48	127,61
D ₂	116,12	130,92	136,28	140,82	144,63	148,06	151,22
H	93,82	104,57	108,35	111,62	114,34	116,84	118,98
H ₂	102,17	116,92	122,19	126,52	130,48	133,80	136,96
I	159,89	170,64	174,43	177,65	180,41	182,86	185,05
I ₂	226,65	244,57	251,01	256,60	261,34	265,62	269,45
N ₂	162,42	177,47	182,79	187,34	191,27	194,70	197,93
O	138,39	149,92	153,97	157,34	160,26	162,77	165,09
O ₂	175,92	191,06	196,46	201,00	205,16	208,75	212,08
P ₂	188,17	203,95	209,75	214,72	219,09	223,00	226,53
S	145,40	157,00	161,20	164,70	167,70	170,35	172,70
S ₂	198,00	214,35	219,62	224,64	229,08	234,00	236,60
Неорганические							
CO	168,47	183,53	188,88	193,39	197,37	200,91	204,08
CO ₂	182,26	199,44	206,02	211,92	217,16	222,00	226,41
COCl ₂	240,40	264,85	274,45	283,00	290,83	297,80	304,40
COS	198,17	216,69	223,75	230,20	235,80	241,00	245,75
CS ₂	202,02	221,89	229,56	236,40	242,49	248,00	253,10
HBr	169,58	184,61	189,90	194,40	198,36	201,80	204,98
HCl	157,81	172,82	178,14	182,65	186,52	190,00	193,11
HF	144,82	159,78	165,04	169,50	173,42	176,80	179,93
HI	177,45	192,48	197,80	202,30	206,30	209,80	213,00
H ₂ O	155,50	172,77	178,93	184,20	188,84	192,90	196,74
H ₂ S	172,30	189,77	196,07	201,50	206,35	210,60	214,65
NH ₃	158,98	176,82	183,30	189,30	194,46	199,25	203,65
NO	179,82	195,63	201,23	205,95	210,07	213,70	217,00
NO ₂	205,81	224,12	230,85	236,85	242,25	247,18	251,70
SO ₂	212,71	231,76	238,95	245,25	250,87	256,00	260,67
SO ₃	217,40	239,30	248,20	256,00	263,50	270,00	276,25

* Из Br₂ (ж.).

** Из I₂ (кр.).

*** Из P (бел., кр.).

**** Из S (ромб.).

и стандартная теплота образования (при $T = 0 \text{ K}$) некоторых идеального газа

теплота образования $\Delta H_{f,0}^\circ$ служат для вычисления тепловых эффектов и констант

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

$H_T^\circ - H_0^\circ$ [кДж/моль] при T, K							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
298	500	600	700	800	900	1000	
вещества							
6,20	10,40	12,48	14,56	16,66	18,77	20,89	117,94 *
9,72	17,13	20,84	24,58	28,32	32,08	35,84	45,70 *
1,05	3,45	5,03	6,80	8,70	10,70	12,83	0
6,27	10,80	13,08	15,34	17,61	19,85	22,09	119,66
9,18	16,31	19,92	23,60	27,30	31,00	34,74	0
6,52	11,03	13,24	15,41	17,57	19,71	21,84	77,28
8,82	15,50	18,96	22,52	26,14	29,80	33,50	0
6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	219,75
8,57	14,45	17,40	20,39	23,40	26,49	29,60	0
6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	216,03
8,47	14,38	17,30	20,22	23,18	26,16	29,16	0
6,20	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79	107,16 **
10,12	17,64	21,38	25,15	28,91	32,70	36,50	65,51 **
8,67	14,60	17,56	20,62	23,72	26,90	30,13	0
6,73	11,06	13,19	15,29	17,40	19,49	21,59	246,80
8,68	14,80	17,92	21,20	24,52	27,94	31,39	0
8,90	15,70	19,19	22,79	26,38	30,05	33,71	145,64 ^{3*}
6,66	11,34	13,60	15,81	18,01	20,17	22,33	276,56 ^{4*}
8,96	15,90	19,40	23,00	26,70	30,40	34,00	128,23 ^{4*}
вещества							
8,67	14,62	17,61	20,71	23,84	27,10	30,35	- 113,81
9,37	17,70	22,27	27,10	32,17	37,30	42,76	- 393,15
12,87	25,75	32,65	40,00	47,30	55,00	62,55	- 217,81
9,93	19,10	24,15	29,20	34,70	40,00	45,85	- 141,83
10,66	20,60	25,94	31,45	37,12	42,85	48,74	115,91
8,65	14,56	17,52	20,55	23,61	26,75	29,94	- 28,54 *
8,64	14,53	17,47	20,46	23,48	26,56	29,69	- 92,13
8,60	14,48	17,41	20,34	23,28	26,25	29,25	- 273,26
8,66	14,60	17,59	20,65	23,80	27,00	30,31	27,00 **
9,91	16,80	20,41	24,10	27,93	31,90	35,95	- 238,91
9,96	17,15	20,98	25,00	29,17	33,52	38,05	- 17,68 ^{4*}
10,04	17,85	22,20	26,80	31,80	37,00	42,60	- 39,22
9,18	15,25	18,33	21,45	24,74	28,00	31,41	90,15
10,21	18,30	22,85	27,55	32,55	37,50	42,85	36,50
10,55	19,30	24,09	29,00	34,25	39,40	44,95	- 294,36 ^{4*}
11,74	23,30	29,85	36,70	44,05	51,22	59,00	- 391,44 ^{4*}

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/(К · моль)] при T, К						
	298	500	600	700	800	900	1000
Органические							
	Угле						
CH ₄ метан	152,60	170,60	177,46	183,63	189,26	194,55	199,31
C ₂ H ₂ ацетилен	167,23	186,25	193,77	200,55	206,69	212,35	217,56
C ₂ H ₄ этилен	184,00	204,02	212,18	219,73	226,79	233,45	239,77
C ₂ H ₆ этан	189,37	212,45	222,12	231,18	239,70	247,89	255,66
C ₃ H ₄ пропadiен (аллен)	201,56	226,30	236,66	246,28	255,22	263,71	271,72
C ₃ H ₆ пропен	221,47	248,22	259,63	270,36	280,51	290,22	292,45
C ₃ H ₈ пропан	220,58	250,31	263,36	275,79	287,65	299,02	309,98
C ₄ H ₆ 1,2-бутадиен	238,90	271,15	284,96	297,90	310,14	321,71	332,79
C ₄ H ₆ 1,3-бутадиен (дивинил)	227,81	258,94	272,74	285,74	298,10	309,83	321,01
C ₄ H ₈ 1-бутен	247,84	282,53	297,67	311,99	325,60	338,62	351,11
C ₄ H ₈ 2-бутен, <i>цис</i> -	244,91	278,06	292,44	306,12	319,13	331,65	343,71
C ₄ H ₈ 2-бутен, <i>транс</i> -	237,63	272,84	288,09	302,45	316,07	329,09	341,54
C ₄ H ₈ 2-метилпропен	236,26	271,06	286,33	300,75	314,50	327,59	340,15
C ₄ H ₁₀ бутан	244,88	284,14	301,32	317,64	333,19	348,06	362,40
C ₄ H ₁₀ изобутан	234,58	271,74	288,50	304,49	319,84	334,59	348,84
C ₅ H ₈ 2-метил-1,3-бута- диен (изопрен)	252,83	292,07	309,68	326,41	342,33	357,49	371,95
C ₅ H ₁₀ циклопентан	242,33	274,65	290,12	305,39	320,42	335,19	349,62
C ₅ H ₁₂ пентан	269,88	317,74	338,80	358,83	377,91	396,21	413,76
C ₅ H ₁₂ 2-метилбутан (изопентан)	269,22	315,10	335,70	355,38	374,26	392,45	409,33
C ₅ H ₁₂ 2,2-диметилпро- пан (неопентан)	235,74	280,54	301,14	320,98	340,04	358,41	376,14
C ₆ H ₆ бензол	221,43	252,08	266,56	280,64	294,34	310,57	320,41
C ₆ H ₁₂ циклогексан	238,72	277,84	296,92	315,97	334,74	353,22	371,38
C ₆ H ₁₄ гексан	295,39	351,90	376,86	400,59	423,22	444,94	465,76
C ₇ H ₈ толуол	260,18	298,90	317,07	334,77	351,95	368,59	384,69
C ₇ H ₁₆ гептан	320,94	386,10	414,95	442,40	468,57	493,71	517,83
C ₈ H ₈ фенилэтилен (стирол)	275,08	319,87	340,66	360,71	380,03	398,62	416,50
C ₈ H ₁₀ этилбензол	285,52	333,26	355,50	376,98	397,74	417,82	437,16
C ₈ H ₁₀ <i>м</i> -ксилол	282,48	330,08	352,10	373,35	393,87	413,68	432,81
C ₈ H ₁₀ <i>о</i> -ксилол	274,43	323,83	346,46	368,22	389,15	409,30	428,71
C ₈ H ₁₀ <i>п</i> -ксилол	277,16	324,65	346,55	367,73	388,12	407,84	426,86
C ₈ H ₁₈ октан	345,82	419,63	452,38	483,54	513,25	541,77	569,16
Кислородсодержащие							
CH ₂ O формальдегид	185,14	203,05	209,73	215,68	221,07	226,02	230,64
CH ₂ O ₂ муравьиная кислота	212,25	232,73	240,95	248,40	255,32	261,72	267,78
CH ₄ O метанол	201,34	222,37	230,61	238,11	245,04	251,52	257,65
C ₂ H ₄ O этиленоксид	205,96	227,18	236,20	244,73	252,82	260,56	267,92
C ₂ H ₄ O ацетальдегид	221,00	245,46	255,39	264,58	273,11	281,17	288,79

$H_T^\circ - H_0^\circ$ (кДж/моль) при T , К							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
298	500	600	700	800	900	1000	
соединения							
водороды							
10,03	18,27	23,25	28,77	34,88	41,45	48,52	- 66,89
10,01	20,05	25,66	31,52	37,67	44,03	50,59	227,31
10,56	21,44	28,17	35,71	43,86	52,57	61,81	60,78
11,95	25,17	33,58	43,00	53,37	64,58	76,51	- 69,11
12,62	27,10	35,84	45,46	55,76	66,68	78,18	199,60
13,54	29,65	39,77	51,07	63,46	76,72	90,78	35,43
14,69	33,64	45,78	59,42	74,35	90,42	107,45	- 81,51
16,12	35,91	48,09	61,56	76,12	91,64	108,00	175,70
15,17	35,95	48,18	62,07	77,01	92,87	109,48	124,60
17,20	39,09	52,94	68,42	85,28	103,32	122,44	20,75
16,66	37,16	50,38	65,36	81,76	99,50	118,29	14,43
17,53	39,45	51,92	68,49	85,23	103,18	122,17	9,38
17,08	39,42	53,36	68,88	85,78	103,86	122,98	4,10
19,44	44,38	60,19	77,97	97,39	118,27	140,40	- 99,04
17,89	42,91	58,89	76,80	96,34	117,30	139,52	- 105,86
18,71	45,36	61,81	79,88	99,34	120,00	141,64	96,15
15,06	38,91	55,39	74,39	95,43	118,28	142,63	- 44,70
23,55	54,30	73,84	95,68	119,61	145,22	172,42	- 113,92
22,15	52,82	72,44	94,45	118,51	144,32	171,73	- 120,55
21,05	52,60	72,76	95,32	119,83	146,07	173,81	- 130,96
14,23	36,66	51,43	68,08	86,28	105,69	126,24	100,41
17,73	47,85	68,69	92,71	119,44	148,44	179,32	- 83,75
27,71	64,28	87,50	113,48	141,85	172,27	204,48	- 129,31
18,02	46,09	64,59	85,47	108,27	132,70	158,60	73,21
31,86	74,29	101,19	131,27	164,12	199,30	236,54	- 144,53
20,86	52,99	73,54	96,46	121,28	147,72	175,54	168,78
22,32	56,50	78,68	103,57	130,64	159,64	190,22	58,22
22,40	56,04	77,80	102,31	129,09	157,79	188,09	45,59
23,33	57,81	79,81	104,50	131,40	160,15	190,56	46,42
22,42	55,81	77,44	101,79	128,44	157,02	187,27	46,28
36,02	84,62	114,85	149,07	186,35	226,35	268,61	- 159,84
соединения							
10,02	17,97	22,57	27,59	33,03	38,81	44,87	- 112,06
10,87	21,71	28,11	35,10	42,58	50,41	58,61	- 371,47
11,43	21,85	28,17	35,24	42,89	51,14	59,84	- 190,10
10,86	23,45	31,57	40,65	50,57	61,19	72,41	- 40,11
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						
	298	500	600	700	800	900	1000
C ₂ H ₄ O ₂ уксусная кислота	236,43	263,68	275,23	286,00	296,14	305,71	314,76
C ₂ H ₆ O этанол	234,97	262,71	274,42	285,39	295,65	305,45	314,76
C ₂ H ₆ O диметиловый эфир	219,10	246,90	258,52	269,38	279,54	289,22	298,42
C ₃ H ₆ O ацетон	240,30	272,05	285,42	297,93	309,69	320,87	331,54
C ₃ H ₈ O 1-пропанол	264,17	300,02	315,36	329,80	343,44	356,45	368,92
C ₃ H ₈ O 2-пропанол	252,18	287,19	302,62	317,19	331,05	344,32	356,98
C ₄ H ₁₀ O бутанол	288,59	333,09	352,33	370,48	387,70	404,09	419,82
C ₆ H ₆ O фенол	256,75	294,51	312,02	328,89	345,11	360,64	375,51

Галогенсодержащие

CCl ₄ тетрахлорметан	252,29	285,75	299,18	311,25	322,06	331,98	341,05
CHCl ₃ трихлорметан (хлороформ)	248,04	275,36	286,36	296,27	305,28	313,57	321,25
CH ₂ Cl ₂ дихлорметан	230,50	253,09	262,14	270,36	277,91	284,91	291,42
CH ₃ Cl хлорметан	199,51	218,79	226,40	233,28	239,65	245,58	251,17

Температура

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/ (моль · К)]		
	2000 К	3000 К	5000 К
Br	193,98	202,80	214,06
Br ₂	279,67	294,80	314,53
C	22,50	30,17	41,60
Cl	185,51	194,34	205,33
Cl ₂	256,57	271,64	291,18
F	178,41	187,07	197,88
F ₂	233,15	250,17	270,02
H	133,38	141,81	152,43
H ₂	157,60	170,38	187,59
I	199,48	208,00	218,96
I ₂	295,11	310,39	330,34
N ₂	219,56	233,00	250,66
O	179,92	188,50	199,28
O ₂	234,32	248,81	267,60
S ₂	261,00	276,44	296,24
CH ₄	239,00	268,29	310,67

$H_T^\circ - H_0^\circ$ [кДж/моль] при T, K							$\Delta H_{f,0}^\circ$, кДж/моль
298	500	600	700	800	900	1000	
13,72	30,12	40,12	51,12	62,97	75,43	88,53	- 420,84
14,18	30,50	40,66	51,92	64,18	77,27	91,08	- 217,13
14,29	30,40	40,27	51,36	63,45	76,46	90,23	- 166,49
16,27	34,85	46,39	59,32	73,38	88,49	104,47	- 200,94
18,06	39,86	53,50	68,69	85,26	102,95	121,74	- 234,22
17,20	39,79	53,94	69,63	86,70	104,85	123,98	- 248,42
22,22	49,83	67,16	86,49	107,49	130,00	153,81	- 245,76
17,53	44,73	61,92	81,00	101,50	123,26	146,02	- 77,84

соединения

17,23	35,72	45,64	55,85	66,22	76,77	87,40	- 98,24
14,18	29,16	37,48	46,23	55,27	64,56	74,01	- 98,22
11,85	24,02	31,00	38,49	46,40	54,68	63,26	- 85,61
10,41	20,16	25,97	32,38	39,28	46,60	54,34	- 72,85

2000–5000 K

Вещество	$\Phi_T = -\frac{G_T^\circ - H_0^\circ}{T}$ [Дж/ (моль · К)]		
	2000 K	3000 K	5000 K
CO	225,91	239,45	257,24
CO ₂	258,76	279,96	308,54
COCl ₂	351,00	380,63	419,72
CS ₂	289,10	311,83	341,72
HBr	226,50	239,92	257,78
HCl	214,35	227,57	245,19
HF	200,61	213,38	230,42
HI	234,82	248,44	266,53
H ₂ O	223,39	241,10	266,03
H ₂ S	243,26	262,35	288,87
NH ₃	237,03	260,66	294,97
NO	239,50	253,25	271,27
NO ₂	283,80	305,39	334,44
SO ₂	293,97	315,24	343,53
SO ₃	320,90	350,60	389,15

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: $c = \frac{g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots}{100}$ [Дж/ (г · К)], где g_1, g_2 —

массовые доли компонентов, %; c_1, c_2 — их удельная теплоемкость.

П р и м е ч а н и е. При значительной теплоте смешения (растворения) получают повышенные результаты.

Теплота сгорания органических соединений в газообразном состоянии

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

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

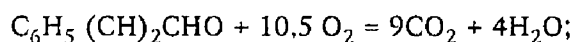
Группы атомов или типы связей		x , кДж/моль
Ординарная связь	C—C	0
Двойная связь	C=C	87,9
Тройная связь	C≡C	213,4
Фенильная группа	R—C ₆ H ₅	100,4
Спиртовая группа	R—CH ₂ OH	50,2
Простые эфиры	R—O—R	87,9
Альдегидная группа	R—CHO	75,3
Кетогруппа	R—CO—R	50,2
Кислотная группа в одноосновной кислоте	R—COOH	0
Кислотные группы в двухосновной кислоте	HOOC—R—COOH	12,6
Алкилциклогексаны	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{R}-\text{HC} \quad \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array} $	0
Алкилциклопентаны	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{R}-\text{HC} \quad \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array} $	25,1

Пример. Вычисление теплоты сгорания газообразного коричневого альдегида $C_6H_5CH=CHCHO$.

Термическая характеристика коричневого альдегида складывается из следующих значений:

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

Реакция сгорания:



$n = 21; m = 4$:

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

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

Теплота испарения неполярных жидкостей при нормальной температуре кипения

$$\frac{\Delta H_{\text{исп}}}{T_{\text{кип}}} = 36,61 + 19,14 \lg T_{\text{кип}} \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{K)]};$$

$$\frac{\Delta H_{\text{исп}}}{T_{\text{кип}}} \approx 89,12 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{K)]}.$$

Теплота плавления

Простые вещества: $\frac{\Delta H_{\text{плавл}}}{T_{\text{плавл}}} = 10,5 \pm 2,1 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{K)]}.$

Неорганические вещества: $\frac{\Delta H_{\text{плавл}}}{T_{\text{плавл}}} = 25,1 \pm 4,2 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{K)]}.$

Органические вещества: $\frac{\Delta H_{\text{плавл}}}{T_{\text{плавл}}} = 54,4 \pm 12,6 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{K)]}.$

Энтропия

Твердые неорганические вещества: $S_{298}^\circ = A \lg M + B$, где M — относительная молекулярная масса; A и B — константы, характерные для каждого типа соединений. Каждому типу окислов (ЭО , $\text{Э}_2\text{O}_3$, 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 $\cdot$ К), для некоторых типов соединений

Здесь Э — металл, X — галоген.

Тип соединения	A	B	Тип соединения	A	B
$\text{Э}_2\text{O}$	87,45	- 87,45	ЭX	62,76	- 38,07
ЭO	60,67	- 70,71	ЭX_2	136,82	- 185,35
$\text{Э}_2\text{O}_3$	138,49	- 227,61	ЭXO_3	35,98	68,20
ЭO_2	64,02	- 68,62	ЭS	69,87	- 73,22
$\text{Э}_2\text{O}_5$	133,05	- 209,20	ЭNO_3	90,79	- 60,67

$$\lg S_{298}^{\circ} = A \lg M + \lg B \text{ или } S_{298}^{\circ} = BM^A \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{К)]},$$

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: $S_{298}^{\circ} = 75,31 + 24,27n$ [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):

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

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

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

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

Ионы одноатомные в водных растворах:

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

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).

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

52. Вязкость газов при 25 °С и атмосферном давлении

Вещество	$\eta \cdot 10^7, \text{Па} \cdot \text{с}$	Вещество	$\eta \cdot 10^7, \text{Па} \cdot \text{с}$
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

$t, ^\circ\text{C}$	$\eta_0, \text{мПа} \cdot \text{с}$	$x = \lg \eta_0$	$t, ^\circ\text{C}$	$\eta_0, \text{мПа} \cdot \text{с}$	$x = \lg \eta_0$
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
o-Ксилол C_8H_{10}	1,108	0,939	0,809	0,756	0,708	0,625	0,557	0,501
m-Ксилол C_8H_{10}	0,80	0,70	0,61	0,581	0,55	0,490	0,433	0,403
p-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
Метилформиат $C_2H_4O_2$	0,429	0,385	0,348	0,330	0,318	—	—	—

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

Муравьиная кислота CH_2O_2	—	2,262	1,804	1,160	1,460	1,290	1,025	0,890
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$	3,090	2,483	2,034	(1,845)	1,682	1,438	1,251	1,094
Нитрометан $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$	0,85	0,74	0,66	0,627	0,595	0,530	0,478	0,433
Октан C_8H_{18}	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 $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	1,330	1,120	0,974	0,895	0,830	0,735	0,651	0,580
1-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	3,883	2,897	2,234	2,00	1,75	1,400	1,129	0,921
2-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	4,60	3,26	2,39	2,05	1,77	1,33	1,03	0,80
Пропионовая кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	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 $\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$	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 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	—	1,450	1,210	(1,125)	1,040	0,900	0,790	0,700
Уксусный альдегид $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	0,276	0,253	0,225	—	—	—	—	—
Уксусный ангидрид $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	1,245	1,058	0,907	(0,845)	0,787	0,699	0,623	0,550
Фенилгидразин $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	—	—	0,456	(0,45)	0,443	0,404	—	—
Фенол $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	—	—	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 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	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 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	1,773	1,466	1,200	1,096	1,003	0,834	0,702	0,592
Этилацетат $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	0,582	0,512	0,458	0,430	0,403	0,360	0,324	0,294
Этиленгликоль $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	—	—	19,9	(16,5)	13,2	9,13	(6,65)	4,95
Этилформнат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	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 ₂ SO ₄	20	1,12	1,38	1,82	2,48	3,58	5,52	9,65	23,2	23,1	27,8
H ₃ PO 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 ₃ OH	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 ₂ H ₅ OH	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 ₃ COOH	20	1,22	1,45	1,70	1,96	2,21	2,43	2,66	2,75	2,43	1,22
C ₃ H ₈ O 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:

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

Значения η_0 и x см. в табл. 53.

Растворенное вещество	Коэффици- циент	Коэффициенты уравнения $\lg \eta_r = f(x)$ при массовом содержании растворенного вещества, %								Температур- ный 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	—	—	—	—	10-60	10
CaCl ₂	a	51	115	193	287	400	535	—	—	15-90	5
	b	-38	-63	-74	-70	-50	-13	—	—	10-80	5
CsCl	a	-7	-14	-21	-27	-32	-35	-34	-31	10-90	10
	b	-34	-68	-102	-136	-170	-202	-232	-261	10-80	5
HCl	a	32	65	100	139	183	234	294	—	10-80	5
	b	-86	-160	-218	-255	-266	-246	-190	—	10-80	5
KCl	a	-5	-6	-3	5	18	—	—	—	10-90	5
	b	-60	-114	-161	-201	-235	—	—	—	10-90	5
KNO ₃	a	-10	-15	-14	-7	7	—	—	—	18-90	10
	b	-49	-89	-120	-143	-160	—	—	—	10-100	5
KOH	a	42	91	148	214	291	381	487	614	20-60	10
	b	-33	-59	-76	-82	-74	-47	5	89	20-60	10
LiCl	a	72	148	231	326	440	581	756	970	20-60	10
	b	-14	-27	-38	-44	-28	16	91	199	20-60	10
MgBr ₂	a	47	95	145	200	265	343	436	545	20-60	10
	b	-17	-31	-41	-45	-35	-16	8	34	20-60	10
MgCl ₂	a	92	193	310	450	619	823	—	—	20-60	10
	b	1	9	27	60	115	201	—	—	20-60	10

Растворенное вещество	Коэффи- циент	Коэффициенты уравнения $\lg \eta_r = f(x)$ при массовом содержании растворенного вещества, %								Температур- ный 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 ₄ Cl	a	-8	-13	-13	-7	3	—	—	—	10-75	5
	b	-67	-125	-174	-212	-239	—	—	—		
NH ₄ NO 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 ₂ SO ₄	a	80	176	289	420	—	—	—	—	25-90	20
	b	-15	15	80	170	—	—	—	—		
		10	20	30	40	50	60	70	80		
CH ₃ COOH	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 ₃ PO ₄	a	119	255	409	581	771	979	1211	1505	25-75	20
	b	50	101	154	211	275	355	495	703		
H ₂ SO 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	$t, ^\circ\text{C}$	$D \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	$D \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
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	$t, ^\circ\text{C}$	$D \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$	Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	$D \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$
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 $\pm 3 \%$, в редких случаях — до $\pm 10 \%$.

Электролит	$D \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$, 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	—	—

Элек- тролит	с, моль/л, при 25 °С	$D \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$		Элек- тролит	с, моль/л, при 25 °С	$D \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$	
		25 °С	60 °С			25 °С	60 °С
LiCl	0	1,37	2,83	NH ₄ Cl	0,48	1,74	3,36
	0,10	1,28	2,36		0,96	1,64	3,25
	0,28	1,23	2,14		1,96	1,28	2,96
	0,45	1,26	2,03		2,83	1,10	2,58
	0,96	1,30	2,03		0	2,00	3,86
	1,97	1,36	2,65		0,20	1,87	3,29
	3,11	1,43	2,94		0,42	1,86	3,33
NaCl	0	1,61	3,30	NH ₄ NO ₃	1,58	1,98	3,46
	0,07	1,51	2,53		2,92	2,12	3,68
	0,22	1,48	2,09		0	1,92	3,65
	0,57	1,47	2,18		0,20	1,74	3,18
	1,08	1,48	2,52		0,50	1,71	3,04
	2,10	1,52	2,94		1,00	1,68	3,01
	3,11	1,57	3,03		1,97	1,60	2,96
KCl	0	1,99	3,92	MgCl ₂	3,00	1,58	2,82
	0,05	1,86	3,37		0	1,25	2,56
	0,26	1,83	3,17		0,20	1,06	1,80
	0,53	1,81	3,19		0,53	1,24	1,98
	1,18	1,91	3,38		1,03	1,40	2,12
	2,01	2,00	3,54		1,56	1,46	2,20
	3,11	2,11	3,38		2,31	1,44	2,20
RbCl	0	2,05	3,97	MgBr ₂	3,27	1,37	2,27
	0,01	2,02	3,13		0	1,26	2,64
	0,20	1,70	2,99		0,18	1,16	1,83
	0,48	1,75	3,15		0,62	1,39	2,29
	0,96	1,85	3,48		1,02	1,46	2,39
	1,96	2,03	3,80		2,03	1,41	2,42
	2,83	2,24	3,61		2,99	1,33	2,31
CsF	0	1,71	3,33	CaCl ₂	0	1,39	2,70
	0,04	1,49	2,95		0,18	1,12	1,77
	0,18	1,43	2,28		0,52	1,14	1,02
	0,50	1,45	2,40		1,02	1,22	2,12
	1,02	1,47	2,68		2,05	1,29	2,28
	2,04	1,51	3,08		3,01	1,27	2,16
	2,94	1,56	3,39	SrCl ₂	0	1,39	2,65
CsCl	0	2,04	3,97		0,17	1,19	2,00
	0,04	2,04	2,64		0,49	1,16	1,80
	0,19	1,86	3,42		1,01	1,18	1,70
	0,39	1,86	3,37		1,91	1,21	1,72
	0,99	1,90	3,74		3,02	1,18	1,64
	1,95	2,03	4,01	BaCl ₂	0	1,35	2,64
	2,96	1,22	3,02		0,18	1,16	1,96
CsI	0	2,05	3,96		0,49	1,17	1,83
	0,02	1,89	3,52		1,01	1,19	1,88
	0,17	1,93	3,26		1,55	1,18	1,90
	0,56	2,15	3,27	MgSO ₄	0	0,85	1,86
	0,94	1,98	3,33		0,20	0,58	1,11
	1,47	1,60	3,35		0,51	0,48	0,96
	1,97	1,28	3,31		1,01	0,44	0,81
KNO ₃	0	1,93	3,73		1,94	0,36	0,78
	0,20	1,77	3,34		2,59	0,32	0,76

60. Коэффициенты диффузии в твердых телах

Диффундирующее вещество	Диффузионная среда	$D \cdot 10^4, \text{м}^2/\text{с}$	Диффундирующее вещество	Диффузионная среда	$D \cdot 10^4, \text{м}^2/\text{с}$
C	$\alpha\text{-Fe}$	$2 \cdot 10^{-2} e^{-\frac{10100}{T}}$	Fe	FeO	$0,118 e^{-\frac{14950}{T}}$
	$\gamma\text{-Fe}$	$1,9 \cdot 10^{-2} e^{-\frac{14200}{T}}$		Fe_2O_3	$4,0 \cdot 10^{15} e^{-\frac{56400}{T}}$
Co	CoO	$2,15 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{17360}{T}}$		Fe_3O_4	$5,2 e^{-\frac{27700}{T}}$
Cu	Fe	$3,0 e^{-\frac{30700}{T}}$	H_2	$\alpha\text{-Fe}$	$2,2 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{1460}{T}}$
	Ni	$1,01 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{17900}{T}}$		$\alpha\text{-Fe}$	$6,6 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{9360}{T}}$
	PbS	$5,0 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{3590}{T}}$	Pb	PbS	$1,3 e^{-\frac{21140}{T}}$
Fe	Cu	$1,6 \cdot 10^6 e^{-\frac{46200}{T}}$			

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

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

$t, ^\circ\text{C}$	$\kappa \cdot 10^6, \text{См/м}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\kappa \cdot 10^6, \text{См/м}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\kappa \cdot 10^6, \text{См/м}$
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	$\kappa, \text{См/м, при температуре, } ^\circ\text{C}$						
	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 °C

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

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
1/2 Ag ₂ SO ₄	142	1,30	–3,5	LiOH	236,5	0,48	0,5
1/3 AlBr ₃	139	1,64	2,2	1/2 Li ₂ SO ₄	119,2	1,48	1,4
1/3 AlCl ₃	137,6	1,65	2,0	1/2 MgBr ₂	129	1,34	2,2
1/3 AlI ₃	137,6	1,66	3,1	1/2 Mg(NO ₃) ₂	129	1,35	1,8
1/3 Al(NO ₃) ₃	129,5	1,72	2,2	1/2 MnBr ₂	128	1,34	1,7
1/2 BaBr ₂	141,1	1,28	1,78	1/2 MnCl ₂	126	1,36	1,6
1/2 Ba(COOCH ₃) ₂	104,2	1,59	1,7	NH ₄ Br	155	0,62	0,60
1/2 BaCl ₂	139,5	1,28	1,74	NH ₄ Cl	150,5	0,63	0,49
1/2 Ba(NO ₃) ₂	132	1,34	1,2	NH ₄ NCS	140,8	0,65	0,5
1/2 CaBr ₂	133	1,32	2,1	NH ₄ NO ₃	145,3	0,64	0,55
1/2 CaCl ₂	135,6	1,3	1,8	NaBr	126,0	0,70	0,5
1/2 Ca(NO ₃) ₂	130	1,35	2,0	1/2 Na ₂ CO ₃	124,1	1,47	1,6
1/2 CdCl ₂	104	1,65	0,9	NaCOOCH ₃	91,1	0,89	0,34
1/2 CdSO ₄	105	2,89	3,7	NaCl	126,5	0,70	0,74
1/2 CoCl ₂	124,5	1,37	1,2	NaClO ₃	115	0,75	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
$\frac{1}{2}\text{CuCl}_2$	131	1,33	1,5	NaHCO_3	96,0	0,85	0,6
$\frac{1}{2}\text{CuSO}_4$	113	2,79	3,3	NaNCS	110,5	0,77	0,75
$\frac{1}{2}\text{FeCl}_2$	137	1,34	1,05	NaOH	246,5	0,47	0,3
HBr	429,4	0,37	0,35	$\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4$	129,0	1,39	1,50
HCl	426,0	0,37	0,38	$\frac{1}{2}\text{NiCl}_2$	123,3	1,37	1,7
HClO_4	417	0,36	0,4	$\frac{1}{2}\text{NiSO}_4$	100	2,7	1,6
HI	428	0,37	0,42	$\frac{1}{2}\text{PbCl}_2$	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	$\frac{1}{3}\text{SmBr}_3$	140,2	1,63	2,9
KBrO_3	129,4	0,69	0,48	$\frac{1}{3}\text{SmCl}_3$	139,8	1,64	3,0
KCOOCH_3	115,4	0,75	1,3	$\frac{1}{3}\text{SmI}_3$	138,5	1,64	3,4
KCl	149,8	0,63	0,64	$\frac{1}{2}\text{SrCl}_2$	136,0	1,30	1,74
KClO_3	138,7	0,66	0,4	$\frac{1}{2}\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	131,8	1,34	1,5
KF	128	0,70	0,5	TlCl	150,3	0,63	-1,3
$\frac{1}{3}\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	167,8	1,56	1,8	TlClO_3	137,6	0,65	0,45
$\frac{1}{4}\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	169	2,48	3,6	TlOH	276,1	0,45	0,45
KI	150,8	0,63	0,62	$\frac{1}{3}\text{YCl}_3$	136	1,67	3,5
KNCS	140	0,65	0,65	$\frac{1}{2}\text{ZnBr}_2$	159	1,23	0,7
KNO_3	144,5	0,64	0,36	$\frac{1}{2}\text{Zn}(\text{COOCH}_3)_2$	88	1,77	1,2
KOH	271	0,45	0,4	$\frac{1}{2}\text{ZnCl}_2$	130	1,48	2,3
$\frac{1}{2}\text{K}_2\text{SO}_4$	151,4	1,24	1,14	$\frac{1}{2}\text{ZnSO}_4$	105	2,90	4,2
LiBr	121,4	0,72	0,5	$(\text{CH}_3)_4\text{NI}$	118,6	0,73	0,35
LiCl	115	0,75	0,78	$(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{NI}$	108	0,78	-
LiI	117,7	0,74	0,8	$(\text{C}_3\text{H}_7)_4\text{NI}$	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
$\frac{1}{2}$ CaCl 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
$\frac{1}{2}$ K ₂ SO ₄	0,491	0,489	0,487	0,485	0,483	0,479
$\frac{1}{3}$ LaCl 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 ₄ Cl	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
$\frac{1}{2}$ Na ₂ SO 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 °C

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

В интервале от 15 до 35 °C температурный коэффициент электрической проводимо-

$$\text{где } \alpha = \frac{1}{\lambda_{0,25}} \left(\frac{d\lambda}{dt} \right) \approx 0,02.$$

Катион	$\lambda_0 \cdot 10^4, (\text{См} \cdot \text{м}^2)/\text{моль, при температуре, } ^\circ\text{C}$					$\alpha \cdot 10^2$
	0	18	25	55	100	
Ag ⁺	33,1	53,5	61,9	—	175	1,94
¹ / ₃ Al ³⁺	29	—	63	—	—	2,1
¹ / ₂ Ba ²⁺	34,0	54,6	63,6	—	195	2,0
¹ / ₂ Be ²⁺	—	—	45	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Ca ²⁺	31,2	50,7	59,5	—	180	2,1
¹ / ₂ Cd ²⁺	28	45,1	54	—	—	2,0
¹ / ₃ Ce ³⁺	—	—	69,6	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Co ²⁺	28	45	54	—	—	≈ 2
CNS [—]	41,7	56,6	66,5	—	—	≈ 2
¹ / ₃ Cr ³⁺	—	—	67	—	—	≈ 2
Cs ⁺	44	67	77,2	123,6	200	1,9
¹ / ₂ Cu ²⁺	28	45,3	56,6	—	—	2,4
¹ / ₃ Eu ³⁺	—	—	67,8	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Fe ²⁺	28	44,5	53,5	—	—	2,4
¹ / ₃ Fe ³⁺	—	—	68,0	—	—	≈ 2
H ⁺	225	315	349,8	483,1	630	1,42
¹ / ₂ Hg ²⁺	—	—	63,6	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Hg ₂ ²⁺	—	—	68,6	—	—	≈ 2
K ⁺	40,7	63,9	73,5	119,2	195	1,87
¹ / ₃ La ³⁺	35	59,2	69,6	—	220	1,5
Li ⁺	19,4	32,8	38,6	68,7	115	2,14
¹ / ₂ Mg ²⁺	28,9	44,9	53,0	—	170	2,18
¹ / ₂ Mn 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 ₂ H ₅) ₄ ⁺	16,4	28,2	32,6	—	—	1,93
N(C ₃ H ₇) ₄ ⁺	11,5	20,9	23,4	—	—	1,52
N(C ₄ H ₉) ₄ ⁺	9,6	—	19,4	—	—	≈ 2
N(C ₅ H ₁₁) ₄ ⁺	8,8	—	17,4	—	—	≈ 2
¹ / ₃ Nd ³⁺	—	—	64,3	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Ni ²⁺	28	45	54	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Pb ²⁺	37,5	60,5	70	—	—	1,78
¹ / ₃ Pr ³⁺	—	—	69,8	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Ra ²⁺	33	56,6	66,8	—	—	1,88
Rb ⁺	43,9	66,5	77,8	124,2	—	2,07
¹ / ₃ Sc ³⁺	—	—	64,7	—	—	≈ 2
¹ / ₃ Sm ³⁺	—	—	65,8	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Sr ²⁺	31	50,6	59,4	—	—	2,12
Tl ⁺	43,3	66,0	74,7	—	—	1,76
UO ₂ ⁺	—	—	32	—	—	≈ 2
¹ / ₂ Zn ²⁺	28	45	54	—	—	1,85

Анион	$\lambda_0 \cdot 10^4, (\text{см} \cdot \text{м}^2)/\text{моль, при температуре, } ^\circ\text{C}$					$\alpha \cdot 10^2$
	0	18	25	55	100	
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
$1/2\text{CO}_3^{2-}$	36	60,5	69,3	—	—	1,92
$1/2\text{CrO}_4^{2-}$	42	72	85	—	—	2,1
F^-	—	47,3	55,4	—	—	2,1
$1/3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	—	—	99,1	—	—	≈ 2
$1/4\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	—	—	111	—	—	≈ 2
HCO_3^-	—	—	44,5	—	—	≈ 2
$1/2\text{HPO}_4^{2-}$	—	—	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
$1/3\text{PO}_4^{3-}$	—	—	69	—	—	≈ 2
$1/2\text{S}^{2-}$	—	53,5	—	—	—	≈ 2
$1/2\text{SO}_3^{2-}$	—	—	72	—	—	≈ 2
$1/2\text{SO}_4^{2-}$	41	68,4	80,0	—	260	2,06
$1/2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	—	—	87,4	—	—	≈ 2
$1/2\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$	34	—	66,5	—	—	≈ 2
$1/2\text{Se}_2\text{O}_4^{2-}$	—	65	75,7	—	—	≈ 2
HCOO^-	—	47	54,6	—	—	≈ 2
CH_3COO^-	20,3	34	40,9	—	130	2,06
$\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$	—	—	35,8	—	—	≈ 2
$\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-$	—	—	32,6	—	—	≈ 2
$\text{C}_4\text{H}_9\text{COO}^-$	—	—	28,8	—	—	≈ 2
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$	17	—	32,3	—	—	≈ 2
$\text{CH}_2\text{ClCOO}^-$	—	—	39,8	—	—	≈ 2
$\text{CHCl}_2\text{COO}^-$	—	—	38,3	—	—	≈ 2
CCl_3COO^-	—	—	36,6	—	—	≈ 2
$\text{CH}_2\text{CNCOO}^-$	—	—	39,8	—	—	≈ 2
HOOC-COO^-	—	—	40,2	—	—	≈ 2
оксалат-ион						
$1/2\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ оксалат-ион	32	—	74	—	—	≈ 2
$\text{C}_6\text{H}_2\text{O}_7\text{N}_3^-$ пикрат-ион	15,3	—	30,4	—	—	≈ 2

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

Кислота	$\mu \cdot 10^4, (\text{См} \cdot \text{м}^2)/\text{моль, при разведении, л/моль}$					
	32	64	128	256	512	1024
Дихлоруксусная CHCl_2COOH	269,8	309,9	338,4	359,2	375,4	383,8
Изомасляная <i>изо</i> - $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	8,0	11,4	15,9	22,2	30,8	42,6
Масляная $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	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 $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	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	136,1	174,8	219,4	265,7
Щавелевая $(\text{COOH})_2$	285	319	345	369	388	408
Основание	$\mu \cdot 10^4, (\text{См} \cdot \text{м}^2)/\text{моль, при разведении, л/моль}$					
	8	16	32	64	128	256
Гидразин $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	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 $(\text{CH}_3)_2\text{NH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	17,2	24,0	33,2	45,3	61,2	80,7
Диэтиламин $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	20,4	28,8	39,7	53,8	71,8	92,7
Метиламин $\text{CH}_3\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	15,1	21,0	28,9	39,3	53,0	70,0
Пиперидин $\text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	23,0	32,3	44,2	59,2	77,8	99,7
Пропиламин $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	13,2	18,7	25,6	35,4	47,8	63,8
Триметиламин $(\text{CH}_3)_3\text{N} \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	—	—	15,4	21,4	29,4
Этиламин $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	14,8	21,0	28,9	39,2	52,9	70,2

РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

67. Ионное произведение воды в интервале 0–100 °С

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

$t, ^\circ\text{C}$	$K_B \cdot 10^{14}$	pK_B	$t, ^\circ\text{C}$	$K_B \cdot 10^{14}$	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 °С

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

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

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.

Мас- совое содер- жание, %	m , моль/кг раствори- теля	c , моль/л раствора	a_w	$-H_0$	Мас- совое содер- жание, %	m , моль/кг раствори- теля	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

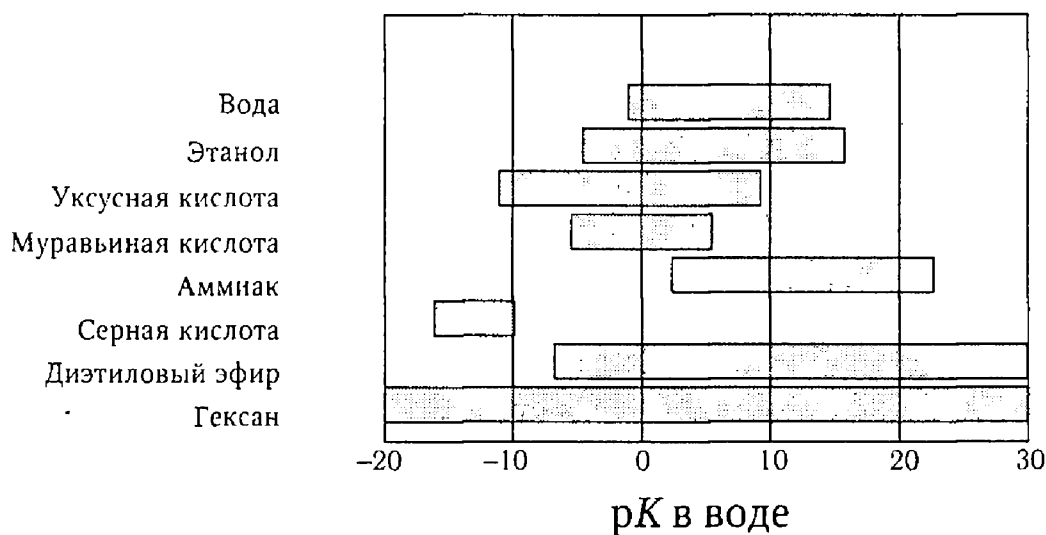
10	1,10	1,05	0,956	0,35	50	9,95	6,98	0,330	3,52
20	2,49	2,23	0,890	0,95	60	14,92	9,13	0,110	5,25
30	4,26	3,58	0,770	1,60	70	23,20	11,60	—	7,72
40	6,63	5,15	0,580	2,40	78,6	—	—	—	10,31

69. Константы кислотности в воде при 18 °С



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^-	$1,07 \cdot 10^{-16}$	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-}	$5 \cdot 10^{-6}$	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-}	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$COONCOOH$	$COONCOO^-$	$5,7 \cdot 10^{-2}$
HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	$3,5 \cdot 10^{-13}$	$COONCOO^-$	$(COO)_2^{2-}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$
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-}	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$(CH_3)_2NH_2$	$(CH_3)_2NH^-$	$1,2 \cdot 10^{-11}$
HCN	CN^-	$7 \cdot 10^{-10}$			

Области существования кислот и оснований в различных растворителях



70. рН стандартных растворов

Раствор	Температура, °С									
	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90
0,05 М $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (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 °С раствор $(\text{CHON})_2(\text{COON})\text{COOK}$ (первичный тартрат калия)	—	—	3,555	3,547	3,543	3,549	3,565	3,580	3,609	3,650
0,01 М $(\text{CHON})_2(\text{COON})\text{COOK}$ (первичный тартрат калия)	3,671	3,647	3,637	3,633	3,630	3,640	3,654	—	—	—
0,05 М $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COON})\text{COOK}$ (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 М $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (тетраборат натрия)	9,328	9,223	9,177	9,135	9,066	9,012	8,961	8,93	8,89	8,85
0,025 М KH_2PO_4 (первичный фосфат калия) + 0,025 М 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 М Na_3PO_4 (третичный фосфат натрия)	—	—	11,72	—	—	—	—	—	—	—

При 25 °С рН буферных растворов:

0,025 М NaHCO_3 (бикарбонат натрия) + 0,025 М Na_2CO_3 (карбонат натрия) — 10,02;

0,025 М $(\text{CH}_2)_2(\text{COON})\text{COONa}$ (первичный сукцинат натрия) + 0,025 М $(\text{CH}_2\text{COONa})_2$ (сукцинат натрия) — 5,40;

0,01 М CH_3COONa (уксусная кислота) + 0,01 М CH_3COONa (ацетат натрия) — 4,67.

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

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

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	—	—	0,792	—
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	—	0,106	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 ₂ SO 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 ₃ Fe(CN) ₆	—	—	(0,700)	(0,589)	(0,495)	(0,355)	0,268	0,212	0,155	0,128	—	—
K ₄ Fe(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

	0.790	—	0.729	—	0.639	—	0.562	—	0.490	—	0.824	0.798	0.760	0.732	—	0.756	0.588	—
KOH	0.790	—	0.729	—	0.639	—	0.562	—	0.490	—	0.402	—	0.274	0.266	—	0.342	—	—
LaBr ₃	0.790	—	0.729	—	0.636	—	0.560	—	0.483	—	0.388	0.314	0.274	0.266	0.342	0.342	0.825	—
LaCl ₃	0.963	—	0.948	—	0.921	—	0.895	—	0.865	—	0.819	0.790	0.757	0.739	0.774	0.774	0.921	—
LiCl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.812	0.794	0.808	0.887	0.887	1.158	1.156
LiClO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.529	0.489	0.481	0.570	0.570	1.053	1.582
MgCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.590	0.578	0.647	0.946	0.946	2.65	9.19
Mg(ClO ₄) ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.150	0.108	0.068	0.049	0.049	0.042	0.049
MgSO ₄	—	—	—	—	—	—	0.896	—	0.862	—	0.808	0.770	0.718	0.649	0.603	0.603	0.570	0.561
NH ₄ Cl	—	—	—	—	0.924	—	0.897	—	0.860	—	0.799	0.740	0.677	0.582	0.504	0.504	0.419	0.368
NH ₄ NO ₃	—	—	—	—	0.925	—	0.91	—	0.89	—	0.85	0.782	0.741	0.697	0.687	0.687	0.731	0.812
NaBr	0.97	—	0.96	—	0.94	—	0.903	—	0.872	—	0.822	0.778	0.735	0.681	0.657	0.657	0.668	0.714
NaCl	0.965	—	0.952	—	0.928	—	0.904	—	0.873	—	0.822	0.775	0.720	0.645	0.589	0.589	0.538	0.515
NaClO ₃	0.965	—	0.953	—	0.928	—	0.904	—	0.873	—	0.822	0.775	0.720	0.645	0.589	0.589	0.538	0.515
NaClO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.765	0.729	0.668	0.629	0.629	0.609	0.611
NaF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.765	0.729	0.668	0.629	0.629	0.609	0.611
NaH ₂ P ₂ O ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.744	0.710	0.632	0.573	0.573	—	—
NaI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.744	0.675	0.563	0.468	0.468	0.371	0.320
NaNO ₃	0.966	—	0.953	—	0.929	—	0.905	—	0.873	—	0.821	0.787	0.751	0.723	0.736	0.736	0.820	0.963
NaOH	—	—	—	—	—	—	0.905	—	0.871	—	0.818	0.762	0.703	0.617	0.548	0.548	0.478	0.437
Na ₂ SO ₄	0.887	—	0.847	—	0.778	—	0.714	—	0.642	—	0.536	0.466	0.365	0.266	0.201	0.201	0.152	0.137
Na ₂ S ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.445	0.382	0.292	0.234	0.234	0.198	0.199
NiSO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.457	0.382	0.292	0.234	0.234	0.198	0.199
Pb(NO ₃) ₂	0.88	—	0.84	—	0.76	—	0.69	—	0.60	—	0.46	0.37	0.27	0.17	0.11	0.11	0.034	—
SnCl ₂	0.809	—	0.716	—	0.624	—	0.512	—	0.398	—	0.283	0.233	—	—	—	—	—	—
TiCl	0.962	—	0.946	—	—	—	0.876	—	—	—	—	0.730	0.652	0.527	—	—	—	—
TiClO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.730	0.652	0.527	—	—	—	—
UO ₂ (ClO ₄) ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.626	0.634	0.790	1.390	1.390	5.91	30.9
UO ₂ (NO ₃) ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.551	0.520	0.542	0.689	0.689	1.237	2.03
ZnBr ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.547	0.510	0.511	0.552	0.552	0.572	0.598
ZnCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.515	0.462	0.394	0.339	0.339	0.289	0.287
ZnSO ₄	0.88	—	0.84	—	0.77	—	0.71	—	0.64	—	0.56	0.515	0.462	0.394	0.339	0.339	0.289	0.287
HCOONa	0.700	—	0.608	—	0.477	—	0.387	—	0.298	—	0.202	0.150	0.104	0.063	0.043	0.043	0.035	0.041
CH ₃ COOCs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.778	0.734	0.685	0.661	0.661	0.658	0.678
CH ₃ COOLi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.799	0.711	0.762	0.802	0.802	0.95	1.145
CH ₃ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.784	0.742	0.700	0.689	0.689	0.729	0.798
CH ₃ COORb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.791	0.757	0.735	0.757	0.757	0.851	0.982
CH ₃ COOTl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.796	0.767	0.755	0.792	0.792	0.933	1.126
C ₂ H ₅ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.750	0.686	0.589	0.515	0.515	0.444	0.405
C ₃ H ₇ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.800	0.772	0.764	0.808	0.808	0.966	1.160
C ₄ H ₉ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.800	0.774	0.782	0.868	0.868	1.083	1.278
C ₅ H ₁₁ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.800	0.776	0.790	0.868	0.868	1.030	0.982
C ₅ H ₁₁ COONa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.803	0.779	0.794	0.858	0.858	0.763	0.612

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 ₂ SO 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 ₄ Cl	0,560	0,562	0,564	0,566	—	—	—	—		
NH ₄ NO 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 ₂ PO 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) ₂	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 ₂ SO 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 ₄ NO 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, $\frac{\text{моль}}{\text{кг воды}}$	$\gamma_{\pm}$ 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	0,754
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, $\frac{\text{моль}}{\text{кг воды}}$	$\gamma_{\pm}$ 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	0,671	0,679	0,679	(0,67)	(0,67)	0,672
1,0	0,638	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	0,872	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 $m_{\pm} = \left(v_+^{v_+} v_-^{v_-} \right)^{1/v} m$; активность $a = (m_{\pm} \gamma_{\pm})^v = a_{\pm}^v$, где v_+ — число катионов; v_- — число анионов; v — общее число ионов.

В зависимости от способа выражения концентрации раствора средние ионные коэффициенты активности электролитов обозначают: $\gamma_{\pm, c} \equiv \gamma_{\pm}$; $\gamma_{\pm, m} \equiv \gamma_{\pm}$; $\gamma_{\pm, X} \equiv f_{\pm}$. Соотношения между ними: $\gamma_{\pm} = m \rho_0 \gamma_{\pm, c} / c$; $f_{\pm} = \gamma_{\pm} (1 + v M_0 m \cdot 10^{-3}) = \gamma_{\pm} [\rho + c (v M_0 - M) \cdot 10^{-3}] / \rho_0$, где ρ_0 и ρ — плотность растворителя и раствора, г/см³; M_0 и M — молярная масса растворителя и раствора, г/моль; X — молярная 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	$(\gamma_+ \gamma_-^2)^{\frac{1}{3}}$	$4^{\frac{1}{3}} m$	$4 m^3 \gamma_{\pm}^3$
1-2	Na ₂ SO ₄	$(\gamma_+^2 \gamma_-)^{\frac{1}{3}}$	$4^{\frac{1}{3}} m$	$4 m^3 \gamma_{\pm}^3$
3-1	LaCl ₃	$(\gamma_+ \gamma_-^3)^{\frac{1}{4}}$	$27^{\frac{1}{4}} m$	$27 m^4 \gamma_{\pm}^4$
1-3	K ₃ Fe(CN) ₆	$(\gamma_+^3 \gamma_-)^{\frac{1}{4}}$	$27^{\frac{1}{4}} m$	$27 m^4 \gamma_{\pm}^4$
4-1	Th(NO ₃) ₄	$(\gamma_+ \gamma_-^4)^{\frac{1}{5}}$	$256^{\frac{1}{5}} m$	$256 m^5 \gamma_{\pm}^5$
1-4	K ₄ Fe(CN) ₆	$(\gamma_+^4 \gamma_-)^{\frac{1}{5}}$	$256^{\frac{1}{5}} m$	$256 m^5 \gamma_{\pm}^5$
3-2	Al ₂ (SO ₄) ₃	$(\gamma_+^2 \gamma_-^3)^{\frac{1}{5}}$	$108^{\frac{1}{5}} m$	$108 m^5 \gamma_{\pm}^5$

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) $3,71 \cdot 10^{-5} *$ (II) $3,87 \cdot 10^{-6}$	4,430 5,412
Акриловая $C_3H_4O_2$	$5,56 \cdot 10^{-5} *$	4,255
Аспарагиновая $C_4H_7O_4N$	(I) $1,29 \cdot 10^{-2}$ (II) $1,26 \cdot 10^{-4}$	1,990 3,900
Бензойная $C_7H_6O_2$	$6,3 \cdot 10^{-5} *$	4,201
Борная H_3BO_3	(I) $5,83 \cdot 10^{-10} *$ (II) $1,8 \cdot 10^{-13}$ (III) $1,6 \cdot 10^{-14}$	9,234 12,745 13,80
<i>м</i> -Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1,54 \cdot 10^{-4}$	3,812
<i>о</i> -Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,854
<i>п</i> -Бромбензойная $C_7H_5O_2Br$	$1,07 \cdot 10^{-4}$	3,971
Валериановая $C_5H_{10}O_2$	$1,44 \cdot 10^{-5}$	4,842
Германиевая H_2GeO_3	(I) $2,6 \cdot 10^{-9}$ (II) $1,9 \cdot 10^{-13}$	8,585 12,721
<i>м</i> -Гидроксibenзойная $C_7H_6O_3$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	4,079
<i>о</i> -Гидроксibenзойная $C_7H_6O_3$	$1,06 \cdot 10^{-3}$	2,975
<i>п</i> -Гидроксibenзойная $C_7H_6O_3$	$2,85 \cdot 10^{-5}$	4,545
Гидрохинон $C_6H_6O_2$	(I) $4,5 \cdot 10^{-11}$	10,347
Гликолевая $C_2H_4O_3$	$1,48 \cdot 10^{-4} *$	3,831
Глицин $C_2H_5O_2N$	(I) $4,47 \cdot 10^{-3}$	2,350
Глутаровая $C_5H_8O_4$	(I) $4,54 \cdot 10^{-5} *$ (II) $3,8 \cdot 10^{-6}$	4,343 5,420
Дихлоруксусная $C_2H_2O_2Cl_2$	$3,32 \cdot 10^{-2}$	1,479
Изовалериановая $C_5H_{10}O_2$	$1,73 \cdot 10^{-5}$	4,762
Изомасляная $C_4H_8O_2$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	4,848
Каприловая $C_8H_{16}O_2$	$1,28 \cdot 10^{-5}$	4,894
<i>цис</i> -Коричная $C_9H_8O_2$	$1,32 \cdot 10^{-4} *$	3,879
<i>транс</i> -Коричная $C_9H_8O_2$	$3,65 \cdot 10^{-5}$	4,438
Лимонная $C_6H_8O_7$	(I) $7,45 \cdot 10^{-4} *$ (II) $1,73 \cdot 10^{-5} *$ (III) $4,02 \cdot 10^{-6}$	3,128 4,761 5,396
Малеиновая $C_4H_4O_4$	(I) $1,42 \cdot 10^{-2} *$ (II) $8,57 \cdot 10^{-7} *$	1,848 6,067
Малоновая $C_3H_4O_4$	(I) $1,40 \cdot 10^{-3} *$ (II) $2,01 \cdot 10^{-6} *$	2,855 5,696
Масляная $C_4H_8O_2$	$1,51 \cdot 10^{-5} *$	4,820
Миндальная $C_8H_8O_3$	$3,88 \cdot 10^{-4}$	3,411
Молочная $C_3H_6O_3$	$1,37 \cdot 10^{-4} *$	3,863
Муравьиная CH_2O_2	$1,772 \cdot 10^{-4}$	3,752
<i>м</i> -Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$3,21 \cdot 10^{-4} *$	3,493
<i>о</i> -Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$6,71 \cdot 10^{-3} *$	2,173
<i>п</i> -Нитробензойная $C_7H_5O_4N$	$3,76 \cdot 10^{-4}$	3,425
Нитроуксусная $C_2H_3O_4N$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	2,26

Кислота	K	pK
Пимелиновая $C_7H_{12}O_4$	(I) $3,1 \cdot 10^{-5} *$	4,509
	(II) $4,88 \cdot 10^{-6}$	5,312
Пропионовая $C_3H_6O_2$	$1,34 \cdot 10^{-5} *$	4,874
Сероводородная H_2S	(I) $1,1 \cdot 10^{-7}$	6,96
	(II) $3,63 \cdot 10^{-12}$	11,44
	(20 °C)	
Трихлоруксусная $C_2HO_2Cl_3$	0,2	0,7
Угльная H_2CO_3	(I) $4,45 \cdot 10^{-7}$	6,352
	(II) $4,69 \cdot 10^{-11}$	10,329
Уксусная $C_2H_4O_2$	$1,754 \cdot 10^{-5} *$	4,756
Фенилуксусная $C_8H_8O_2$	$4,87 \cdot 10^{-5} *$	4,312
Фенол C_6H_6O	$1,01 \cdot 10^{-10} *$	9,998
Фосфорная H_3PO_4	(I) $7,11 \cdot 10^{-3} *$	2,148
	(II) $6,34 \cdot 10^{-8} *$	7,198
	(III) $1,26 \cdot 10^{-12}$	11,90
o-Фталевая $C_8H_6O_4$	(I) $1,12 \cdot 10^{-3} *$	2,950
	(II) $3,91 \cdot 10^{-6} *$	5,408
m-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$1,36 \cdot 10^{-4}$	3,865
o-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$5,41 \cdot 10^{-4}$	3,267
n-Фторбензойная $C_7H_5O_2F$	$7,23 \cdot 10^{-5}$	4,141
Фторуксусная $C_2H_3O_2F$	$2,61 \cdot 10^{-3}$	2,584
Фумаровая $C_4H_4O_4$	(I) $9,50 \cdot 10^{-4} *$	3,022
	(II) $4,8 \cdot 10^{-5} *$	4,319
m-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1,50 \cdot 10^{-4} *$	3,824
o-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1,14 \cdot 10^{-3} *$	2,943
n-Хлорбензойная $C_7H_5O_2Cl$	$1,06 \cdot 10^{-4} *$	3,975
Хлоруксусная $C_2H_3O_2Cl$	$1,36 \cdot 10^{-3} *$	2,865
Щавелевая $C_2H_2O_4$	(I) $6,5 \cdot 10^{-2} *$	1,187
	(II) $5,18 \cdot 10^{-5} *$	4,296
Янтарная $C_4H_6O_4$	(I) $6,21 \cdot 10^{-5}$	4,207
	(II) $2,31 \cdot 10^{-6}$	5,636
Основание	K	pK
Анилин $C_6H_7N \cdot H_2O$	$3,82 \cdot 10^{-10} *$	9,418
Бензиламин $C_7H_9N \cdot H_2O$	$2,35 \cdot 10^{-5}$	4,629
Бутиламин $C_4H_{11}N \cdot H_2O$	$4,57 \cdot 10^{-4} *$	3,340
Гидразин $N_2H_4 \cdot H_2O$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	5,77
Гидроксид аммония NH_4OH	$1,77 \cdot 10^{-5} *$	4,752
Диметиламин $C_2H_7N \cdot H_2O$	$6,0 \cdot 10^{-4} *$	3,222
Диэтиламин $C_4H_{11}N \cdot H_2O$	$9,6 \cdot 10^{-4} *$	3,018
Метиламин $CH_5N \cdot H_2O$	$4,24 \cdot 10^{-4} *$	3,373
Пиперидин $C_5H_{11}N \cdot H_2O$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	2,879
Пиридин $C_5H_5N \cdot H_2O$	$1,71 \cdot 10^{-9} *$	8,767
Пропиламин $C_3H_9N \cdot H_2O$	$5,62 \cdot 10^{-4} *$	3,256
Триметиламин $C_3H_9N \cdot H_2O$	$6,31 \cdot 10^{-5} *$	4,200
Хинолин $C_9H_7N \cdot H_2O$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	9,000
Этаноламин $C_2H_7ON \cdot H_2O$	$3,0 \cdot 10^{-5} *$	4,523
Этиламин $C_2H_7N \cdot H_2O$	$3,18 \cdot 10^{-4} *$	3,498

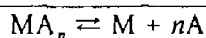
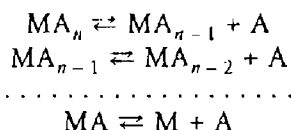
76. Характеристики кислотно-основных индикаторов

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

Индикатор	рК	Интервал рН 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
Бромрезоловый 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:



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

Пользуются также общими константами нестойкости любой степени 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	$p\beta$	pK
Аммиачные комплексы				
$[Ag(NH_3)]^+$	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

Комплекс	Температура, °C	Ионная сила	pβ	pK
[Pb(Ac) ₂]	20	2,0	0,24	2,04
[Pb(Ac) ₃] ⁻	20	2,0	- 0,13	1,91
[Pb(Ac) ₄] ²⁻	20	2,0	- 0,50	1,41
[Zn(Ac)] ⁺	18	0,1	1,70	1,70

Бромидные комплексы

[Ag ₂ Br] ⁺	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 ₃ I] ²⁺	Комн.	Перем.	—	14,15
[AgI ₃] ²⁻	«	1,6	—	13,95
[AgI ₄] ³⁻	20	1,6	—	13,74
[Pb ₂ I] 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

[AgCl] ⁺	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, °C	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) ₄] ⁺	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 = H₂NCH₂CH₂NH₂)

[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. Производство растворимости при 25 °С

$$L = v_+^{v_+} \cdot v_-^{v_-} \cdot (\gamma_{\pm} \cdot c)^{v_+ + v_-},$$

где v_+ и v_- — число катионов и анионов; $\gamma_{\pm}$ — средний ионный коэффициент активности, c — 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) ^v	Твердая фаза	L , (моль/л) ^v
AgBr	$4,8 \cdot 10^{-13}$	CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$
AgBrO ₃	$6,1 \cdot 10^{-5}$	Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-15}$
AgCl	$1,73 \cdot 10^{-10}$	Hg ₂ Br ₂	$5,4 \cdot 10^{-23}$
AgCN	$1,6 \cdot 10^{-14}$	Hg ₂ Cl ₂	$1,2 \cdot 10^{-18}$
AgI	$8,1 \cdot 10^{-17}$	Hg ₂ I ₂	$4,4 \cdot 10^{-29}$
AgIO ₃	$3,0 \cdot 10^{-8}$	Hg ₂ SO ₄	$6,4 \cdot 10^{-7}$
Ag ₂ CrO ₄	$4,7 \cdot 10^{-12}$	Ni(OH) ₂	$1,2 \cdot 10^{-16}$
Ag ₂ SO ₄	$1,24 \cdot 10^{-5}$	PbBr ₂	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Ag ₂ S	$4,23 \cdot 10^{-50}$	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$	PbI ₂	$8,2 \cdot 10^{-9}$
CaCO ₃	$3,7 \cdot 10^{-9}$	Pb(OH) ₂	$5,1 \cdot 10^{-16}$
CaHPO ₄	$1,4 \cdot 10^{-6}$	PbSO ₄	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	PbS	$6,2 \cdot 10^{-28}$
CaSO ₄	$1,7 \cdot 10^{-5}$	TlBr	$3,6 \cdot 10^{-6}$
CdCO ₃	$2,5 \cdot 10^{-14}$	TlCl	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Cd(OH) ₂	$1,8 \cdot 10^{-14}$	TlI	$8,8 \cdot 10^{-8}$
Co(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-16}$	Zn(OH) ₂	$4,9 \cdot 10^{-17}$
CuCl	$3,2 \cdot 10^{-7}$	ZnS	$1,9 \cdot 10^{-22}$

ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

УКАЗАТЕЛЬ

№ по порядку		№ по порядку	
Азот	46, 47, 120, 143, 145	Платина	139
Алюминий	16, 62	Плутоний	36, 144
Барий	6, 59	Радий	5
Бериллий	14	Ртуть	32, 34, 81, 96, 99, 101, 104, 109
Бром	40	Рубидий	3
Ванадий	118	Свинец	28, 71, 83, 85, 87, 88, 91, 92, 152, 156
Висмут	86, 107	Селен	37
Водород	12, 41, 43, 140	Сера	38, 112, 113, 115, 119, 123, 126, 131, 132, 135, 160
Германий	95	Серебро	33, 82, 94, 97, 98, 103, 105, 106, 108, 110, 111
Железо	21, 29, 70, 73, 76, 129, 141	Стронций	7, 58
Золото	35	Сурьма	102
Индий	23	Таллий	24, 77, 84, 90, 150
Иод	39, 133, 147	Торий	13
Кадмий	22, 68, 75, 78	Углерод	42, 122
Калий	2	Уран	15, 61, 114, 121, 128, 137
Кальций	8, 57	Фосфор	117
Кислород	44, 45, 49, 50, 54, 55, 158, 161	Фтор	56
Кобальт	25, 79, 159	Хлор	48, 51, 52, 53, 127, 130, 138, 142, 146, 148, 155
Кремний	74	Хром	18, 20, 65, 116, 151
Лантан	10	Цезий	4
Литий	1	Церий	154
Магний	11, 60	Цинк	19, 66, 67, 69
Марганец	17, 63, 64, 136, 149, 153, 157		
Медь	30, 31, 72, 89, 93, 100, 125		
Мышьяк	134		
Натрий	9		
Никель	26, 80		
Олово	27, 124		

№	Электрод	Реакция	E°, В
---	----------	---------	-------

Электроды, обратимые относительно катиона

1	Li ⁺ , Li	Li ⁺ + e → Li	- 3,045
2	K ⁺ , K	K ⁺ + e → K	- 2,925
3	Rb ⁺ , Rb	Rb ⁺ + e → Rb	- 2,925
4	Cs ⁺ , Cs	Cs ⁺ + e → Cs	- 2,923
5	Ra ²⁺ , Ra	Ra ²⁺ + 2e → Ra	- 2,916
6	Ba ²⁺ , Ba	Ba ²⁺ + 2e → Ba	- 2,906
7	Sr ²⁺ , Sr	Sr ²⁺ + 2e → Sr	- 2,888
8	Ca ²⁺ , Ca	Ca ²⁺ + 2e → Ca	- 2,866
9	Na ⁺ , Na	Na ⁺ + e → Na	- 2,714
10	La ³⁺ , La	La ³⁺ + 3e → La	- 2,522
11	Mg ²⁺ , Mg	Mg ²⁺ + 2e → Mg	- 2,363
12	H ⁺ , H	H ⁺ + e → H	- 2,106
13	Th ⁴⁺ , Th	Th ⁴⁺ + 4e → Th	- 1,899
14	Be ²⁺ , Be	Be ²⁺ + 2e → Be	- 1,847
15	U ³⁺ , U	U ³⁺ + 3e → U	- 1,789

№	Электрод	Реакция	E°, В
16	$\text{Al}^{3+}, \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	-1,662
17	$\text{Mn}^{2+}, \text{Mn}$	$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mn}$	-1,180
18	$\text{Cr}^{2+}, \text{Cr}$	$\text{Cr}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cr}$	-0,913
19	$\text{Zn}^{2+}, \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	-0,763
20	$\text{Cr}^{3+}, \text{Cr}$	$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Cr}$	-0,744
21	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	-0,440
22	$\text{Cd}^{2+}, \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	-0,403
23	$\text{In}^{3+}, \text{In}$	$\text{In}^{3+} + 3e \rightarrow \text{In}$	-0,343
24	Tl^+, Tl	$\text{Tl}^+ + e \rightarrow \text{Tl}$	-0,336
25	$\text{Co}^{2+}, \text{Co}$	$\text{Co}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Co}$	-0,277
26	$\text{Ni}^{2+}, \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	-0,250
27	$\text{Sn}^{2+}, \text{Sn}$	$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sn}$	-0,136
28	$\text{Pb}^{2+}, \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	-0,126
29	$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}$	$\text{Fe}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Fe}$	-0,036
30	$\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	+0,337
31	Cu^+, Cu	$\text{Cu}^+ + e \rightarrow \text{Cu}$	+0,521
32	$\text{Hg}_2^{2+}, \text{Hg}$	$\frac{1}{2}\text{Hg}_2^{2+} + e \rightarrow \text{Hg}$	+0,798
33	Ag^+, Ag	$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	+0,799
34	$\text{Hg}^{2+}, \text{Hg}$	$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	+0,854
35	$\text{Au}^{3+}, \text{Au}$	$\text{Au}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Au}$	+1,498
36	$\text{Pu}^{3+}, \text{Pu}$	$\text{Pu}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Pu}$	+2,03

Электроды, обратимые относительно аниона

37	$\text{Se}, \text{Se}^{2-}$	$\text{Se} + 2e \rightarrow \text{Se}^{2-}$	-0,92
38	S, S^{2-}	$\text{S} + 2e \rightarrow \text{S}^{2-}$	-0,447
39	$\text{I}_2 (\text{кр.}), \text{I}^-$	$\frac{1}{2}\text{I}_2 + e \rightarrow \text{I}^-$	+0,536
40	$\text{Br}_2 (\text{ж.}), \text{Br}^-$	$\frac{1}{2}\text{Br}_2 + e \rightarrow \text{Br}^-$	+1,065

Газовые электроды

41	H_2, OH^-	$2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
42	$\text{H}^+, \text{HCOOH}, \text{CO}_2(\text{Pt})$	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{HCOOH}$	-0,199
43	H^+, H_2	$\text{H}^+ + e \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2$	0,000
44	O_2, OH^-	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow 2\text{OH}^-$	+0,401
45	$\text{H}^+, \text{H}_2\text{O}_2, \text{O}_2(\text{Pt})$	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	+0,682
46	$\text{H}^+, \text{NO}_3^-, \text{NO}(\text{Pt})$	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
47	$\text{H}^+, \text{HNO}_2, \text{NO}(\text{Pt})$	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+1,00
48	$\text{ClO}_2, \text{Cl}_2^-(\text{Pt})$	$\text{ClO}_2 + e \rightarrow \text{ClO}_2^-$	+1,16
49	$\text{H}^+, \text{O}_2(\text{Pt})$	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
50	$\text{O}_3, \text{O}_2, \text{OH}^-(\text{Pt})$	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	+1,24
51	$\text{H}^+, \text{ClO}_2, \text{HClO}_2(\text{Pt})$	$\text{ClO}_2 + \text{H}^+ + e \rightarrow \text{HClO}_2$	+1,275
52	Cl_2, Cl^-	$\frac{1}{2}\text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl}^-$	+1,360
53	$\text{H}^+, \text{HClO}, \text{Cl}_2(\text{Pt})$	$\text{HClO} + \text{H}^+ + e \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+1,63
54	$\text{H}^+, \text{O}_3, \text{O}_2(\text{Pt})$	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+2,07
55	$\text{H}^+, \text{O}(\text{Pt})$	$\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	+2,422
56	F_2, F^-	$\frac{1}{2}\text{F}_2 + e \rightarrow \text{F}^-$	+2,87

№	Электрод	Реакция	Е°, В
Электроды второго рода			
57	Ca, Ca(OH) ₂ , OH ⁻	Ca(OH) ₂ + 2e → Ca + 2OH ⁻	- 3,02
58	Sr, Sr(OH) ₂ , OH ⁻	Sr(OH) ₂ + 2e → Sr + 2OH ⁻	- 2,88
59	Ba, Ba(OH) ₂ , OH ⁻	Ba(OH) ₂ + 2e → Ba + 2OH ⁻	- 2,81
60	Mg, Mg(OH) ₂ , OH ⁻	Mg(OH) ₂ + 2e → Mg + 2OH ⁻	- 2,69
61	U, UO ₂ , OH ⁻	UO ₂ + 2H ₂ O + 4e → U + 4OH ⁻	- 2,39
62	Al, Al(OH) ₃ , OH ⁻	Al(OH) ₃ + 3e → Al + 3OH ⁻	- 2,30
63	Mn, Mn(OH) ₂ , OH ⁻	Mn(OH) ₂ + 2e → Mn + 2OH ⁻	- 1,55
64	Mn, MnCO ₃ , CO ₃ ²⁻	MnCO ₃ + 2e → Mn + CO ₃ ²⁻	- 1,50
65	Cr, Cr(OH) ₃ , OH ⁻	Cr(OH) ₃ + 3e → Cr + 3OH ⁻	- 1,48
66	Zn, ZnS, S ²⁻	ZnS + 2e → Zn + S ²⁻	- 1,405
67	Zn, Zn(OH) ₂ , OH ⁻	Zn(OH) ₂ + 2e → Zn + 2OH ⁻	- 1,245
68	Cd, CdS, S ²⁻	CdS + 2e → Cd + S ²⁻	- 1,175
69	Zn, ZnCO ₃ , CO ₃ ²⁻	ZnCO ₃ + 2e → Zn + CO ₃ ²⁻	- 1,06
70	Fe, FeS, S ²⁻	FeS + 2e → Fe + S ²⁻	- 0,95
71	Pb, PbS, S ²⁻	PbS + 2e → Pb + S ²⁻	- 0,93
72	Cu, Cu ₂ S, S ²⁻	Cu ₂ S + 2e → 2Cu + S ²⁻	- 0,89
73	Fe, Fe(OH) ₂ , OH ⁻	Fe(OH) ₂ + 2e → Fe + 2OH ⁻	- 0,877
74	Si, SiO ₂ , H ⁺	SiO ₂ + 4H ⁺ + 4e → Si + 2H ₂ O	- 0,857
75	Cd, Cd(OH) ₂ , OH ⁻	Cd(OH) ₂ + 2e → Cd + 2OH ⁻	- 0,809
76	Fe, FeCO ₃ , CO ₃ ²⁻	FeCO ₃ + 2e → Fe + CO ₃ ²⁻	- 0,756
77	Tl, TlI, I ⁻	TlI + e → Tl + I ⁻	- 0,753
78	Cd, CdCO ₃ , CO ₃ ²⁻	CdCO ₃ + 2e → Cd + CO ₃ ²⁻	(- 0,74)
79	Co, Co(OH) ₂ , OH ⁻	Co(OH) ₂ + 2e → Co + 2OH ⁻	- 0,73
80	Ni, Ni(OH) ₂ , OH ⁻	Ni(OH) ₂ + 2e → Ni + 2OH ⁻	- 0,72
81	Hg, HgS, S ²⁻	HgS + 2e → Hg + S ²⁻	- 0,69
82	Ag, Ag ₂ S (α), S ²⁻	Ag ₂ S (α) + 2e → 2Ag + S ²⁻	- 0,66
83	Pb, PbO, OH ⁻	PbO + H ₂ O + 2e → Pb + 2OH ⁻	- 0,578
84	Tl, TlCl, Cl ⁻	TlCl + e → Tl + Cl ⁻	- 0,557
85	Pb, PbCO ₃ , CO ₃ ²⁻	PbCO ₃ + 2e → Pb + CO ₃ ²⁻	- 0,506
86	Bi, Bi ₂ O ₃ , OH ⁻	Bi ₂ O ₃ + 3H ₂ O + 3e → 2Bi + 6OH ⁻	- 0,46
87	Pb, PbI ₂ , I ⁻	PbI ₂ + 2e → Pb + 2I ⁻	- 0,365
88	Pb, PbSO ₄ , SO ₄ ²⁻	PbSO ₄ + 2e → Pb + SO ₄ ²⁻	- 0,359
89	Cu, Cu ₂ O, OH ⁻	Cu ₂ O + H ₂ O + 2e → 2Cu + 2OH ⁻	- 0,358
90	Tl, TlOH, OH ⁻	TlOH + e → Tl + OH ⁻	- 0,345
91	Pb, PbBr ₂ , Br ⁻	PbBr ₂ + 2e → Pb + 2Br ⁻	- 0,284
92	Pb, PbCl ₂ , Cl ⁻	PbCl ₂ + 2e → Pb + 2Cl ⁻	- 0,268
93	Cu, CuI, I ⁻	CuI + e → Cu + I ⁻	- 0,185
94	Ag, AgI, I ⁻	AgI + e → Ag + I ⁻	- 0,152
95	Ge, GeO ₂ , H ⁺	GeO ₂ + 4H ⁺ + 4e → Ge + 2H ₂ O	- 0,15
96	Hg, Hg ₂ I ₂ , I ⁻	1/2 Hg ₂ I ₂ + e → Hg + I ⁻	- 0,040
97	Ag, AgCN, CN ⁻	AgCN + e → Ag + CN ⁻	- 0,017
98	Ag, AgBr, Br ⁻	AgBr + e → Ag + Br ⁻	+ 0,071
99	Hg, HgO, OH ⁻	HgO + H ₂ O + 2e → Hg + 2OH ⁻	+ 0,098

№	Электрод	Реакция	E°, В
100	Cu, CuCl, Cl ⁻	CuCl + e → Cu + Cl ⁻	+ 0,137
101	Hg, Hg ₂ Br ₂ , Br ⁻	$\frac{1}{2}$ Hg ₂ Br ₂ + e → Hg + Br ⁻	+ 0,140
102	Sb, Sb ₂ O ₃ , H ⁺	Sb ₂ O ₃ + 6H ⁺ + 6e → 2Sb + 3H ₂ O	+ 0,152
103	Ag, AgCl, Cl ⁻	AgCl + e → Ag + Cl ⁻	+ 0,222
104	Hg, Hg ₂ Cl ₂ , Cl ⁻ *	$\frac{1}{2}$ Hg ₂ Cl ₂ + e → Hg + Cl ⁻	+ 0,268 *
105	Ag, Ag ₂ O, OH ⁻	Ag ₂ O + H ₂ O + 2e → 2Ag + 2OH ⁻	+ 0,345
106	Ag, AgIO ₃ , IO ₃ ⁻	AgIO ₃ + e → Ag + IO ₃ ⁻	+ 0,354
107	Bi, Bi ₂ O ₃ , H ⁺	Bi ₂ O ₃ + 6H ⁺ + 6e → 2Bi + 3H ₂ O	+ 0,371
108	Ag, Ag ₂ CrO ₄ , CrO ₄ ²⁻	Ag ₂ CrO ₄ + 2e → 2Ag + CrO ₄ ²⁻	+ 0,464
109	Hg, Hg ₂ SO ₄ , SO ₄ ²⁻	Hg ₂ SO ₄ + 2e → 2Hg + SO ₄ ²⁻	+ 0,615
110	Ag, AgC ₂ H ₃ O ₂ , C ₂ H ₃ O ₂ ⁻	AgC ₂ H ₃ O ₂ + e → Ag + C ₂ H ₃ O ₂ ⁻	+ 0,643
111	Ag, Ag ₂ SO ₄ , SO ₄ ²⁻	Ag ₂ SO ₄ + 2e → 2Ag + SO ₄ ²⁻	+ 0,654
Окислительно-восстановительные электроды			
112	SO ₃ ²⁻ , S ₂ O ₄ ²⁻ , OH ⁻ (Pt)	2SO ₃ ²⁻ + 2H ₂ O + 2e → S ₂ O ₄ ²⁻ + 4OH ⁻	- 1,12
113	SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻ , OH ⁻ (Pt)	SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + 2e → SO ₃ ²⁻ + 2OH ⁻	- 0,93
114	U ⁴⁺ , U ³⁺ (Pt)	U ⁴⁺ + e → U ³⁺	- 0,607
115	SO ₃ ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ , OH ⁻ (Pt)	2SO ₃ ²⁻ + 3H ₂ O + 4e → S ₂ O ₃ ²⁻ + 6OH ⁻	- 0,58
116	Cr ³⁺ , Cr ²⁺ (Pt)	Cr ³⁺ + e → Cr ²⁺	- 0,408
117	H ⁺ , H ₃ PO ₄ , H ₃ PO ₃ (Pt)	H ₃ PO ₄ + 2H ⁺ + 2e → H ₃ PO ₃ + H ₂ O	- 0,276
118	V ³⁺ , V ²⁺ (Pt)	V ³⁺ + e → V ²⁺	- 0,255
119	H ⁺ , SO ₄ ²⁻ , S ₂ O ₆ ²⁻ (Pt)	2SO ₄ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e → S ₂ O ₆ ²⁻ + 2H ₂ O	- 0,22
120	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , OH ⁻ (Pt)	NO ₃ ⁻ + H ₂ O + 2e → NO ₂ ⁻ + 2OH ⁻	+ 0,01
121	UO ₂ ²⁺ , UO ₂ ⁺ (Pt)	UO ₂ ²⁺ + e → UO ₂ ⁺	+ 0,05
122	H ⁺ , HCOOH, HCOH(Pt)	HCOOH + 2H ⁺ + 2e → HCOH + H ₂ O	+ 0,056
123	S ₄ O ₆ ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ (Pt)	S ₄ O ₆ ²⁻ + 2e → 2S ₂ O ₃ ²⁻	+ 0,08
124	Sn ⁴⁺ , Sn ²⁺ (Pt)	Sn ⁴⁺ + 2e → Sn ²⁺	+ 0,15
125	Cu ²⁺ , Cu ⁺ (Pt)	Cu ²⁺ + e → Cu ⁺	+ 0,153
126	H ⁺ , H ₂ SO ₃ , SO ₄ ²⁻ (Pt)	4H ⁺ + SO ₄ ²⁻ + 2e → H ₂ SO ₃ + H ₂ O	+ 0,172
127	ClO ₃ ⁻ , ClO ₂ ⁻ , OH ⁻ (Pt)	ClO ₃ ⁻ + H ₂ O + e → ClO ₂ ⁻ + 2OH ⁻	+ 0,33
128	H ⁺ , UO ₂ ²⁺ , U ⁴⁺ (Pt)	UO ₂ ²⁺ + 4H ⁺ + 2e → U ⁴⁺ + 2H ₂ O	+ 0,33
129	Fe(CN) ₆ ³⁻ , Fe(CN) ₆ ⁴⁻ (Pt)	Fe(CN) ₆ ³⁻ + e → Fe(CN) ₆ ⁴⁻	+ 0,36
130	ClO ₄ ⁻ , ClO ₃ ⁻ , OH ⁻ (Pt)	ClO ₄ ⁻ + H ₂ O + 2e → ClO ₃ ⁻ + 2OH ⁻	+ 0,36
131	H ⁺ , S ₂ O ₃ ²⁻ , H ₂ SO ₃ (Pt)	2H ₂ SO ₃ + 2H ⁺ + 4e → S ₂ O ₃ ²⁻ + 3H ₂ O	+ 0,400
132	H ⁺ , S ₄ O ₆ ²⁻ , H ₂ SO ₃ (Pt)	4H ₂ SO ₃ + 4H ⁺ + 6e → S ₄ O ₆ ²⁻ + 6H ₂ O	+ 0,51
133	I ₃ ⁻ , I ⁻ (Pt)	I ₃ ⁻ + 2e → 3I ⁻	+ 0,536
134	H ⁺ , H ₃ AsO ₄ , HAsO ₂ (Pt)	H ₃ AsO ₄ + 2H ⁺ + 2e → HAsO ₂ + 2H ₂ O	+ 0,560
135	H ⁺ , S ₂ O ₆ ²⁻ , H ₂ SO ₃ (Pt)	S ₂ O ₆ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e → 2H ₂ SO ₃	+ 0,57
136	MnO ₄ ⁻ , OH ⁻ , MnO ₂ (Pt)	MnO ₄ ⁻ + 2H ₂ O + 3e → MnO ₂ + 4OH ⁻	+ 0,588
137	H ⁺ , UO ₂ ²⁺ , U ⁴⁺ (Pt)	UO ₂ ²⁺ + 4H ⁺ + e → U ⁴⁺ + 2H ₂ O	+ 0,62
138	ClO ₂ ⁻ , ClO ⁻ , OH ⁻ (Pt)	ClO ₂ ⁻ + H ₂ O + 2e → ClO ⁻ + 2OH ⁻	+ 0,66

* Потенциалы каломельных электродов E, В:

Hg, Hg ₂ Cl ₂ , KCl, насыщ.	+ 0,2415
Hg, Hg ₂ Cl ₂ , KCl, 1,0 M	+ 0,2812
Hg, Hg ₂ Cl ₂ , KCl, 0,1 M	+ 0,3341

№	Электрод	Реакция	E°, В
139	$\text{PtCl}_6^{2-}, \text{PtCl}_4^{2-}, \text{Cl}^-(\text{Pt})$	$\text{PtCl}_6^{2-} + 2e \rightarrow \text{PtCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$	+ 0,68
140	$\text{H}^+, \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2, \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2(\text{Pt})$	$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	+ 0,699
141	$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}(\text{Pt})$	$\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+ 0,771
142	$\text{ClO}^-, \text{Cl}^-, \text{OH}^-(\text{Pt})$	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+ 0,89
143	$\text{H}^+, \text{NO}_3^-, \text{HNO}_2(\text{Pt})$	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ 0,94
144	$\text{Pu}^{4+}, \text{Pu}^{3+}(\text{Pt})$	$\text{Pu}^{4+} + e \rightarrow \text{Pu}^{3+}$	+ 0,97
145	$\text{H}^+, \text{N}_2\text{O}_4, \text{HNO}_2(\text{Pt})$	$\text{N}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow 2\text{HNO}_2$	+ 1,07
146	$\text{H}^+, \text{ClO}_4^-, \text{ClO}_3^-(\text{Pt})$	$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ 1,19
147	$\text{H}^+, \text{IO}_3^-, \text{I}_2(\text{Pt})$	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e \rightarrow \frac{1}{2}\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	+ 1,195
148	$\text{H}^+, \text{ClO}_3^-, \text{HClO}_2(\text{Pt})$	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{HClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ 1,21
149	$\text{H}^+, \text{Mn}^{2+}, \text{MnO}_2(\text{Pt})$	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,23
150	$\text{Tl}^{3+}, \text{Tl}^+(\text{Pt})$	$\text{Tl}^{3+} + 2e \rightarrow \text{Tl}^+$	+ 1,25
151	$\text{H}^+, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}, \text{Cr}^{3+}(\text{Pt})$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+ 1,33
152	$\text{H}^+, \text{PbO}_2, \text{Pb}^{2+}(\text{Pt})$	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,455
153	$\text{H}^+, \text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{2+}(\text{Pt})$	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+ 1,51
154	$\text{Ce}^{4+}, \text{Ce}^{3+}(\text{Pt})$	$\text{Ce}^{4+} + e \rightarrow \text{Ce}^{3+}$	+ 1,61
155	$\text{H}^+, \text{HClO}_2, \text{HClO}(\text{Pt})$	$\text{HClO}_2 + \text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{HClO} + \text{H}_2\text{O}$	+ 1,64
156	$\text{PbO}_2, \text{H}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{PbSO}_4(\text{Pt})$	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,685
157	$\text{H}^+, \text{MnO}_4^-, \text{MnO}_2(\text{Pt})$	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,695
158	$\text{H}^+, \text{H}_2\text{O}_2(\text{Pt})$	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,776
159	$\text{Co}^{3+}, \text{Co}^{2+}(\text{Pt})$	$\text{Co}^{3+} + e \rightarrow \text{Co}^{2+}$	+ 1,81
160	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}, \text{SO}_4^{2-}(\text{Pt})$	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$	+ 2,010
161	$\text{OH}^-, \text{OH}^-(\text{Pt})$	$\text{OH}^- + e \rightarrow \text{OH}^-$	+ 2,02

80. Потенциалы металлов в жидком аммиаке

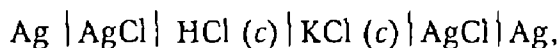
Реакция	E°, В	Реакция	E°, В	Реакция	E°, В
$\text{Li}^+ + e \rightarrow \text{Li}$	- 2,34	$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$	- 2,11	$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	- 2,04
$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sr}$	- 2,3	$\text{Cs}^+ + e \rightarrow \text{Cs}$	- 2,08	$\text{Na}^+ + e \rightarrow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

81. Температурные коэффициенты электродвижущей силы

Гальванический элемент	t °C	E, В	$(dE/dT) \cdot 10^4, \text{В/К}$
$\text{Zn} \text{ZnCl}_2 (0,555m) \text{AgCl} \text{Ag}$	0	1,015	- 4,02
$\text{Pb} \text{PbI}_2 \text{KI} (a = 1,0) \text{AgI} \text{Ag}$	25	0,21069	- 1,38
$\text{Cd} \text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O} \text{CdCl}_2 \text{PbCl}_2 \text{Pb}$ насыщ.	25	0,18801	- 4,8
$\text{Pb} \text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 (0,555m) \text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \text{Cu}$ насыщ.	25	0,4764	+ 3,85
$\text{Ag} \text{AgCl} \text{KCl} (a = 1,0) \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \text{Hg}$	5-38	0,2680-0,2647	- 2,39
	38-70	0,2647-0,2477	- 2,37

82. Диффузионные потенциалы в водных растворах при 25 °С

Диффузионные потенциалы E_D измерены в гальванических элементах типа:



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 разных 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 М HCl, покрытый пленкой миристиновой кислоты, — воздух (по Фрумкину).

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

84. Значения множителя $2,303 RT/F$ в интервале 0–100 °C

$t, ^\circ\text{C}$	$2,303 RT/F, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$2,303 RT/F, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$2,303 RT/F, \text{В}$
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 (с. моль/л)	$E_{н. з.}, В$	Металл	Среда (с. моль/л)	$E_{н. з.}, В$
Ag [110]	NaF (0,01)	$-0,77 \pm 0,02$	Co	—	$-0,40$
Ag [100]	Na ₂ SO ₄ (0,0025)	$-0,65 \pm 0,02$	Bi	KF (0,0002)	$-0,39 \pm 0,02$
Ag [111]	KF (0,001)	$-0,46 \pm 0,02$	Fe	—	$-0,35$
Ag поликристалл	Na ₂ SO ₄ (0,0025)	$-0,67 \pm 0,03$	Mo	—	$-0,30$
Cd	NaF (0,001)	$-0,75 \pm 0,02$	Ni	—	$-0,25$
Tl	NaF (0,001)	$-0,71 \pm 0,04$	W	—	$-0,25$
Ta	—	$-0,70$	Re	—	$-0,20$
Ti	—	$-0,70$	Hg	NaF (0,001)	$-0,19 \pm 0,01$
Ga (ж.)	—	$-0,65$	Sb	KClO ₄ (0,002)	$-0,15 \pm 0,02$
In	NaF (0,003)	$-0,65 \pm 0,02$	Rh	—	0,00
Nb	—	$-0,60$	Ir	—	0,05
Zn	—	$-0,60$	Cu	NaF (0,01)	$0,09 \pm 0,02$
Pb	NaF (0,001)	$-0,56$	Pd	—	0,10
Cr	—	$-0,45$	Pt	—	0,15
Sn	Na ₂ SO ₄ (0,00125)	$-0,43 \pm 0,02$	Au	—	0,20

87. Токи обмена

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

Система	Электрод	Среда	$t, ^\circ\text{C}$	$i_0, \text{A}/\text{cm}^2$	$i_0^\circ, \text{A}/\text{cm}^2$	Коэффициент обмена β
Ag^+, Ag	Ag	10 г AgNO_3 в 100 мл H_2O $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	Комн. 25	$1,1 \cdot 10^{-2}$ —	— $2,8 \cdot 10^{-3}$	— 0,5
$\text{Cd}^{2+}, \text{Cd}$	Cd	15 г CdSO_4 в 100 мл H_2O CdSO_4	Комн. 25	$1,4 \cdot 10^{-2}$ —	— $2 \cdot 10^{-2}$	0,5 0,5
$\text{Co}^{2+}, \text{Co}$	Co	0,1–2,0 н. CoCl_2 CoSO_4	Комн. 25	$8 \cdot 10^{-7}$ —	— $1,3 \cdot 10^{-5}$	0,5 0,3
$\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}$	Cu	2,0 н. CuSO_4 1 м CuCO_4 0,001 м $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0,01 м $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 м $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ CuSO_4	Комн. « 20 20 20 25	$2 \cdot 10^{-5}$ $2 \cdot 10^{-5}$ 10^{-9} 10^{-11} 10^{-10} —	— — — — — $5 \cdot 10^{-2}$	— 0,5 $\beta z = 0,22$ $\beta z = 0,55$ $\beta z = 0,76$ 0,25
$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}$	Fe	2,0 н. FeSO_4 1,0 м FeSO_4 FeSO_4	Комн. « 25	10^{-8} 10^{-8} —	— — $5 \cdot 10^{-5}$	— 0,5 0,5
$\text{Hg}_2^{2+}, \text{Hg}$	Hg	$2 \cdot 10^{-3}$ н. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ в 2,0 н. HClO_4 2,0 н. $\text{Hg}_2(\text{ClO}_4)_2$	Комн. 25	$5 \cdot 10^{-1}$ —	— 15	— 0,3

Система	Электрод	Среда	$t, ^\circ\text{C}$	$i_0, \text{A}/\text{cm}^2$	$i_0^0, \text{A}/\text{cm}^2$	Коэффициент обмена β
$\text{Ni}^{2+}, \text{Ni}$	Ni	0,1 н. NiSO_4 в 2,0 н. H_2SO_4 ($\text{pH} = 0,0$)	Комн.	$8,3 \cdot 10^{-10}$	—	0,35–0,40 $\beta z = 0,56$
		0,5 м NiSO_4 в ацетатном буферном растворе ($\text{pH} = 6,7$)	20	10^{-5}	—	
$\text{Pb}^{2+}, \text{Pb}$	Pb	1,0 м NiSO_4	Комн.	$2 \cdot 10^{-9}$	—	—
		$2 \cdot 10^{-3}$ н. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в 1,0 н. KNO_3	Комн.	10^{-1}	—	—
$\text{Zn}^{2+}, \text{Zn}$	Zn	$2 \cdot 10^{-3}$ н. $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ в 1,0 н. KNO_3	Комн.	$7 \cdot 10^{-4}$	—	—
		1 м ZnSO_4	«	$2 \cdot 10^{-5}$	—	0,5
$\text{Ce}^{4+}, \text{Ce}^{3+}$	Pt	2 н. ZnSO_4	«	$2 \cdot 10^{-5}$	—	—
		ZnSO_4	25	—	$7 \cdot 10^{-1}$	0,35
$\text{Cr}^{3+}, \text{Cr}^{2+}$	Hg	H_2SO_4	25	—	$4 \cdot 10^{-5}$	—
		KCl	25	—	$1 \cdot 10^{-6}$	—
$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$	Ir	H_2SO_4	25	—	$1,58 \cdot 10^{-3}$	—
	Pd	H_2SO_4	25	—	$6,3 \cdot 10^{-3}$	—
	Pt	H_2SO_4	25	—	$2,5 \cdot 10^{-3}$	—
	Rh	H_2SO_4	25	—	$1,74 \cdot 10^{-3}$	—
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	C	H_2SO_4	20	$5,8 \cdot 10^{-1}$	—	0,5
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	(графит)					
H^+, H_2	Au	H_2SO_4	25	—	$2,5 \cdot 10^{-4}$	—
	Cu	0,1 н. H_2SO_4	25	—	$8 \cdot 10^{-2}$	0,5
	Cu	0,1 н. H_2SO_4	20	—	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,5
	Hg	0,1 н. H_2SO_4	25	—	$7,95 \cdot 10^{-13}$	—
	Hg	1,0 н. H_2SO_4	Комн.	$5 \cdot 10^{-13}$	—	—
	Ni	H_2SO_4	25	—	$6,3 \cdot 10^{-6}$	—
	Pb	H_2SO_4	25	—	$5 \cdot 10^{-12}$	—
	Pt	H_2SO_4	25	—	$7,95 \cdot 10^{-4}$	—
	Pt	0,2 н. H_2SO_4	Комн.	$5 \cdot 10^{-3}$	—	—
	W	H_2SO_4	25	—	$1,26 \cdot 10^{-6}$	—

88. Перенапряжение при выделении водорода

Приведены константы a и b уравнения Тафеля $\eta = a + b \lg j$ в области плотностей тока $j = 10^{-2} \div 10^{-6}$ А/см² при 20 °С.

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

Металл	Электролит	Опытные данные		Принятые значения <i>a</i>	
		<i>a, B</i>	<i>b, B</i>	Кислые среды	Щелочные среды
Ni	1 н. — 2 н. H ₂ SO 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	«	—
Pb	0,001 н. — 0,1 н. NaOH	0,72-0,65	0,10	—	0,65
	0,1 н. — 20 н. H ₂ SO ₄	1,53-1,41	0,12-0,14	1,50	1,36
	0,1 н. — 10 н. HCl	1,57-1,19	0,12	«	(<i>b</i> = 0,25)
	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
Pd	1 н. HCl; 2 н. H ₂ SO ₄	0,38	0,11-0,12	0,38	(<i>b</i> = 0,25)
Pt	1 н. — 2 н. H ₂ SO ₄	—	—	—	0,53
	0,5 н. HCl	0,1-0,46	0,10-0,13	0,23	—
Sn	—	0,07	0,03	0,10	—
	2 н. H ₂ SO ₄	—	—	—	0,31
Sb	—	0,93-1,24	0,10-0,13	1,22	—
	—	—	—	—	1,28
Ta	2 н. H ₂ SO ₄	0,90-0,93	0,10	0,93	(<i>b</i> = 0,23)
Ti	1 н. H ₂ SO ₄	0,84-1,17	0,12-0,13	1,00	—
	1 н. HCl	0,98	0,14	«	—
Tl	2 н. H ₂ SO ₄	0,91-0,97	0,12-0,13	0,97	—
	—	—	—	—	0,83
W	1,6 н. H ₂ SO ₄	1,55	0,14	1,45	—
	1 н. HCl	1,28	0,13	«	—
Zn	0,5 н. — 2 н. H ₂ SO 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	«	—
	2 н. H ₂ SO 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 $e + aq \rightarrow e \cdot aq$.

$$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ} = -163,59 \text{ кДж/моль}; \Delta S_{\text{гидр}}^{\circ} = -7,95 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$\Delta G_{\text{гидр}}^{\circ} = -156,9 \text{ кДж/моль}.$$

Термодинамические функции гидратированного электрона:

$$\Delta H_f^{\circ} = -153,13 \text{ кДж/моль}; S^{\circ} = 12,97 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}; \Delta G_f^{\circ} = -156,9 \text{ кДж/моль}.$$

Максимум оптического поглощения $\lambda = 720 \text{ нм}$. Коэффициент молярного поглощения $\epsilon = 15\,800 \text{ л/(моль} \cdot \text{см)}$ при $\lambda = 720 \text{ нм}$.

Продолжительность жизни:

$$\geq 800 \text{ мкс в реакции } e \cdot aq + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH}^-;$$

$$\geq 300 \text{ мкс в воде при pH} = 7.$$

Коэффициент диффузии $D = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ($\pm 15\%$). Молярная электрическая проводимость $177 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩЕСТВА

90. Парахоры атомов и связей (по Квейлу)

$$P = M\sigma^{1/4} / (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}),$$

где M — молярная масса, кг/моль; σ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м; $\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{п}}$ — плотности жидкости и пара, кг/м³. Кроме системы составляющих P Квейла существует система Сегдена.

Атом, группа	$P \cdot 10^7, \text{ Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2}/\text{моль}$	Атом, группа	$P \cdot 10^7, \text{ Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2}/\text{моль}$
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	$P \cdot 10^7, \text{ Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2}/\text{моль}$	Цикл	$P \cdot 10^7, \text{ Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2}/\text{моль}$	Цикл	$P \cdot 10^7, \text{ Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2}/\text{моль}$
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	$R_D \cdot 10^6$, м ³ /моль	Атом, группа	$R_D \cdot 10^6$, м ³ /моль
Азот		Кислород	
в алифатических аминах		в гидроксиде	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	3,776*	ртуть	12,84
$\begin{array}{c} \text{C} \\ \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \\ \text{C} \end{array}$		свинец	18,33
в нитрилах (N $\equiv$ C)	3,118*	Мышьяк	
в уретанах (NCOOR)	2,32	в триалкиларсинах	11,55
в нитрогруппах алифати- ческих соединений		Сера	
первичных нитро- алканов	6,718	в тиоспиртах	7,81
вторичных нитро- алканов	6,618	в группе SO ₃ сульфитов	11,13
в нитрогруппах аромати- ческих соединений	7,30	в группе SO ₄ сульфатов	11,18
Бром	8,865	в группе SO ₃ Cl хлор- сульфонатов	16,37
Водород	1,100	Углерод	2,418
Иод	13,900	Фосфор	
		в диалкиларилфосфатах	9,8–10,4
		в триалкилфосфатах	9,14
		Хлор	5,967

* 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	$R_D \cdot 10^6$, м ³ /моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$, м ³ /моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$, м ³ /моль
Двойная	1,733	Трехчленный	0,71	C ₈ –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	$\alpha \cdot 10^{30}$, м ³	Вещество	$\alpha \cdot 10^{30}$, м ³	Вещество	$\alpha \cdot 10^{30}$, м ³
Ar	1,626	HCl	2,561	N ₂ O	2,921
Br ₂	6,430	HI	5,199	O ₂	1,561
CCl ₄	10,14–10,04	H ₂ O	1,444	O ₃	2,845
CO	1,926	H ₂ S	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 молярные 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 ⁺	— (2,34)	8,42 (7,59)	11,73 (10,56)	17,66 (15,98)	4,60	10,27
Na ⁺	— (3,02)	8,88 (8,52)	12,33 (11,56)	18,24 (17,07)	5,23	10,84
K ⁺	4,88 (5,16)	10,93 (10,85)	14,40 (13,98)	20,32 (19,75)	7,25	12,84
Rb ⁺	6,33 (6,74)	12,40 (12,55)	15,71 (15,78)	21,58 (21,71)	8,49	14,40
Cs ⁺	— (9,51)	14,92 (15,25)	18,35 (18,46)	— (24,27)	—	16,91

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 Дж)			3,936 (1,18 Дж)			0			5,571 (1,67 Дж)			9,040 (2,71 Дж)		
t , °C	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /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	78,53	—	41,78	4,64	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 Дж)			0			5,104 (1,53 Дж)			5,238 (1,57 Дж)			13,110 (3,93 Дж)		
t , °C	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /моль	$\epsilon \epsilon_0 \cdot 10^{12}$, Ф/м	ϵ	$P_\infty \cdot 10^6$, м ³ /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

Диэлектрическая проницаемость жидкостей

Вещество	ε при температуре, °C			
	20	25	30	Другие
Аммиак NH_3 (ж.)		16,90		22,4 (−33°)
Анизол (метилфениловый эфир) $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$		4,33		
Анилин $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	6,89			
Ацетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	21,4	20,9		
Ацетонитрил $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$		38,0		
Ацетофенон $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$		17,39		
Бензол C_6H_6	2,23	2,27		
Вода H_2O		78,53		
Гексан C_6H_{14}		1,89		
1,4-Диоксан 1,4- $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$		2,21		
Метанол CH_4O		32,63		
Муравьиная кислота CH_2O_2	57,0			58,0 (16°)
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$		34,85	34,82	
Нитрометан $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$		38,6	35,9	
Серная кислота H_2SO_4		101		
Сероуглерод CS_2		2,64		
Толуол C_7H_8		2,3		
Триметилметанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$		9,3		
Трихлорметан (хлороформ) CHCl_3	4,81	4,64		
Уксусная кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	6,15	6,19		
Формамид CH_3ON		110		
Хлорбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$		5,62		
Хлористый водород HCl		4,97		
Циклогексан C_6H_{12}		2,0		
Этанол $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	25,0	24,30		
Этилбромид $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$		9,13		
Этиленгликоль $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	34,5			46,7 (1°)

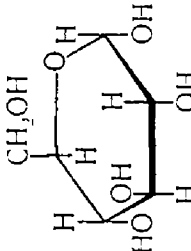
96. Удельное вращение оптически активных веществ

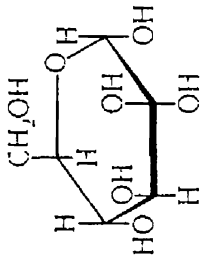
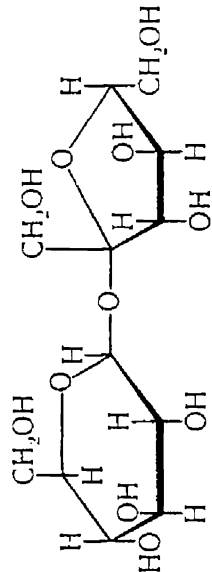
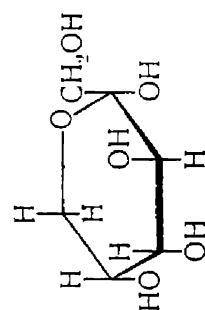
Оптическую активность вещества в индивидуальном виде или в растворе характеризуют величиной удельного вращения плоскости поляризации проходящего сквозь вещество поляризованного монохроматического света.

Оптически активными являются молекулы с элементом симметрии C_n (см. табл. 103). В отличие от асимметричных, такие молекулы называют дисимметричными или хиральными (от греч. $\chi\epsilon\iota\rho$ — рука). Хиральность означает невозможность при помощи операций симметрии совместить полиздр 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 — стереические ряды.

Угол вращения при содержании растворенного вещества P г/100мл: $\alpha = [\alpha]_D^t P l / 100$, 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	$t, ^\circ\text{C}$	$[\alpha]_D^t$
<i>d</i> -Адреналин	$\text{C}_9\text{H}_{13}\text{O}_3\text{N}$	$(\text{HO})_2\text{C}_6\text{H}_3\text{CHONCH}_2\text{NHNCH}_3$	0,3 <i>M</i> HCl	19,8	51,9
<i>l</i> -Адреналин			0,4 <i>M</i> HCl		- 51,4
<i>L</i> -Аскорбиновая кислота	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	$\text{OSOC}(\text{OH}) = \text{C}(\text{OH})\text{CHNCHONCH}_2\text{OH}$	Метанол	23	48
<i>D</i> -Аскорбиновая кислота					- 48,3
<i>d</i> -втор-Бутиловый спирт	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHONCH}_3$	Индивидуальн.	20	13,87
<i>D</i> -Винная кислота	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	$(\text{CHONCOOH})_2$	Вода	20	11,98
<i>L</i> -Винная кислота					- 11,98
<i>D</i> -Глицериновый альдегид	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	$\text{HOCH}_2\text{CHONCHO}$	Вода	15	21,2
<i>L</i> -Глицериновый альдегид				26	- 20,9
α - <i>D</i> -Глюкоза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$		Вода	20	52,7 *

Вещество	Эмпирическая формула	Структурная формула	Растворитель	$t, ^\circ\text{C}$	$[\alpha]_D^{20}$
α -D-Манноза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$		Вода	20	14,2 *
d-Никотин	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$		Вода	20	77
l-Никотин			Индивидуальн.	20	-79,4
d-Никотин				20	163,17
l-Никотин					-169,3
Сахароза	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$		Вода	20	66,5
β -D-Фруктоза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$		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		$-E \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	X
		$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	I, эВ на 1 атом	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	II, эВ на 1 атом	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	III, 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	—	—	0,57	1
5	B	8,01	8,30	24,27	25,16	117,7	122	0,29	2,0
6	C	10,86	11,26	23,53	24,38	36,7	38	1,23	2,6
7	N	14,02	14,53	28,57	29,60	46,3	48	-0,20	3,0
8	O	13,14	13,62	33,89	35,12	45,3	47	1,42	3,5
9	F	16,81	17,42	33,76	34,98	53,1	55	3,33	3,9
11	Na	4,95	5,14	45,65	47,30	60,8	63	0,33	0,9
12	Mg	7,38	7,65	14,51	15,04	69,5	72	-0,21	1,2
13	Al	5,78	5,99	18,17	18,83	101,3	105	0,48	1,5
14	Si	7,87	8,15	15,77	16,34	27,0	28	1,78	1,9
15	P	10,12	10,49	19,04	19,73	31,8	33	0,77	2,1
16	S	10,00	10,36	22,53	23,35	28,9	30	2,00	2,6
17	Cl	12,51	12,97	22,97	23,80	33,8	35	3,49	3,0
20	Ca	5,90	6,11	11,45	11,87	38,6	40	-1,86	1,0
32	Ge	7,62	7,90	15,38	15,94	49,2	51	1,68	2,0
33	As	9,47	9,82	17,97	18,62	32,8	34	1,03	2,0
34	Se	9,41	9,75	20,45	21,19	27,0	28	1,95	2,4
35	Br	11,42	11,84	21,04	21,80	32,8	34	3,25	2,9
37	Rb	4,03	4,18	23,52	24,37	34,7	36	0,61	0,8
38	Sr	5,49	5,69	10,64	11,03	38,6	40	-1,46	1,0
50	Sn	7,09	7,34	14,12	14,63	(41,5)	(43)	0,99	1,8
52	Te	8,69	9,01	17,95	18,6	28,9	30	$\approx 1,93$	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	$-E \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	Молекула или радикал	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	$-E \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	Молекула или радикал	$I \cdot 10^{-2}$, кДж/моль	$-E \cdot 10^{-2}$, кДж/моль
CH	$\approx 10,1$	2,51	Адамантан	8,93	—	NO	8,94	0,02
CH ₂	10,03	-0,92	(трициклодекан)			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 ₂ O	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 ₂ H ₅	8,09	0,87	HBr	11,21	—	SiO ₂	11,29	—
CH ₂ =C=CH ₂	9,7	$\approx 2,1$	HI	10,02	—	SiH ₄	11,00	—
CH ₃ CH=CH ₂	9,39	—	BO	13,03	2,99	P ₂	≈ 10	—
CH ₃ CH ₂ CH ₂	7,82	0,67	B ₂ H ₆	11,01	—	PH	10,23	0,90
CH ₃ -C $\equiv$ C-CH ₃	9,26	—	C ₂	11,48	3,18	PH ₃	9,77	—
C ₃ H ₁₁	8,20	—	CO	13,52	—	S ₂	9,03	$\geq 1,93$
C ₅ H ₁₂	10,13	1,33	CO ₂	13,31	< 0	SH	10,13	2,24
C ₆ H ₅	7,82	2,12	CF	8,60	$\geq 3,18$	SO	11,68	1,05
C ₆ H ₅ O	8,49	1,16	CF ₂	11,29	2,56	SO ₂	11,91	1,16
C ₆ H ₅ OH	8,20	-1,17	CCl	12,45	—	Br ₂	10,16	2,42
C ₆ H ₅ CH ₃	8,51	$\geq -1,25$	N ₂	15,03	-2,70	F ₂	15,15	2,97
C ₆ H ₆	8,92	-1,06	NH	12,64	0,21	Cl ₂	11,08	2,30
C ₆ H ₅ CHO	9,18	0,41	NH ₂	11,00	$\approx 0,9$	ClO ₃	11,29	2,73
C ₁₀ H ₈	7,84	0,14	NH ₃	9,79	—	As ₂	10,62	—
			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;
 $a_0 = \frac{\hbar^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{m_e e^2} = 0,053 \text{ нм}$ — 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 $J = L + S, L + S - 1, \dots, L - S$ ($L > S$), 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 $l = 0, 1, 2, 3 \dots$ сопоставляют буквенное обозначение $s, p, d, f \dots$. В многоэлектронных атомах каждому $L = 0, 1, 2, 3 \dots$ сопоставляют обозначения $S, P, D, F \dots$

Терм записывают в виде $M \boxed{}_J$ или (что то же) $2S + 1 \boxed{}_J$. 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	$1D$	$3P$
	б	↑	↑	—	1	1	3	$3P$	
	в	—	↑↓	—	0	0	1	$1S$	
3	а	↑↓		—	2	$1/2$	2	$2D$	$4S$
	б	↑	↑	↑	0	$3/2$	4	$4S$	
	в		↑↓	—	1	$1/2$	2	$2P$	
4	а	↑↓	↑↓	—	2	0	1	$1D$	$3P$
	б	↑↓	↑	↑	1	1	3	$3P$	
	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 $\sigma_s - \sigma_z$. При отсутствии взаимодействия заселение происходит в следующем порядке:

$$\begin{aligned} \sigma (1s)^2 < \sigma^* (1s)^2 < \sigma (2s)^2 < \sigma^* (2s)^2 < \sigma (2p_z)^2 < \pi (2p_x)^2 = \\ &= \pi (2p_y)^2 < \pi^* (2p_x)^2 = \pi^* (2p_y)^2 < \sigma^* (2p_z)^2 \dots \end{aligned}$$

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 $\Lambda = 0, 1, 2, 3, \dots$ обозначают буквами $\Sigma, \Pi, \Delta, \Phi$.

Полное квантовое число молекулы $\Omega = |\Lambda + \Sigma|$ (сложение алгебраическое, тогда как Λ и Σ по отдельности получены векторным сложением). Мультиплетность термина 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 (нем. 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: $+$ $\rightarrow$ $+$, $-$ $\rightarrow$ $-$, $\Delta\Lambda = \pm 1$ или 0 , $\Delta\Sigma = 0$, $\Delta\Omega = \pm 1$ или 0 , $g \rightarrow u$ и $u \rightarrow g$. 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 $p\pi$; если электрон участвует в связи, то такой переход обозначают $\pi\pi^*$.

Вид термина, 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
$^{107}\text{Ag}^{35}\text{Cl}$	$^1\Sigma^+$	CoCl	$^3\Sigma$	MgCl	$^2\Sigma$
$^{107}\text{Ag}^{127}\text{I}$	$^1\Sigma^+$	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	$^2\Pi_{1/2}$	$^{63}\text{Cu}^{35}\text{Cl}$	$^1\Sigma^+$	NaO	$^2\Pi$
$^{11}\text{B}_2$	$^3\Sigma_g^-$	$^{63}\text{Cu}^{127}\text{I}$	$^1\Sigma^+$	NiH	$^2\Delta_{5/2}$
$^{11}\text{B}^{79}\text{Br}$	$^1\Sigma^+$	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	$^1\Sigma^+$	$^{32}\text{S}_2$	$^3\Sigma_g^-$
$^9\text{Be}^{35}\text{Cl}$	$^2\Sigma$	F^{16}O	$^2\Pi$	S_2^+	$^2\Pi_g$
$^9\text{BeH}^+$	$^1\Sigma^+$	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	$^1\Sigma^+$
$^{40}\text{Ca}_2$	$^1\Sigma_g^+$	Li_2	$^1\Sigma_g^+$	TiN	$^2\Sigma$
^{40}CaH	$^2\Sigma$	$^6\text{Li}^{35}\text{Cl}$	$^1\Sigma$	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 $\Psi_{\text{мол}} \equiv \sum c_i \Psi_{\text{ат}}$, 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 попарно равны все α и все β , все s равны нулю, энергия связи $\epsilon_i = \alpha - x\beta$.

Обозначения на молекулярных диаграммах: 1) полный порядок связи (указывается на связях между соседними атомами углерода) $P_{ij} = n_{\sigma-\text{св}} + \sum \nu p_{ij}$, где n — число σ -связей; $\nu = 0, 1, 2$ — 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 $\sum c_i^2$ (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.

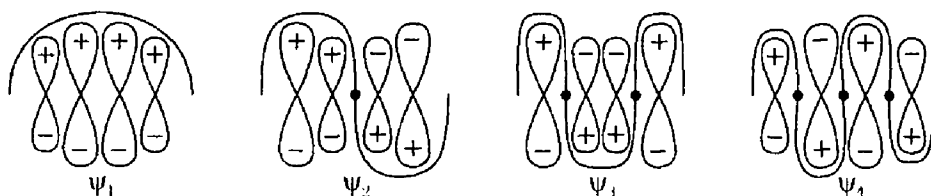
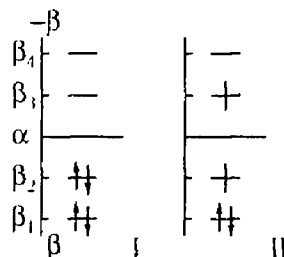
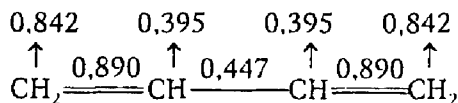


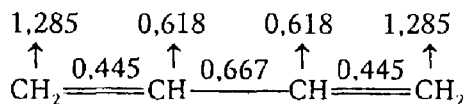
Рис. 102.2 Распределение электронной плотности и узловые линии орбиталей бутадиена.

Узлы отмечены точками, знаки + и — обозначают фазовые состояния электронной плотности. Рост энергии системы соответствует увеличению числа узлов.

Молекулярная диаграмма бутадиена:
в основном состоянии



в возбужденном состоянии



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.

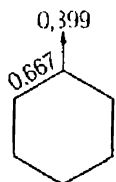


Рис. 102.3. Бензол.

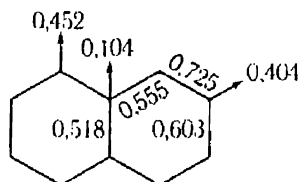


Рис. 102.4. Нафталин.

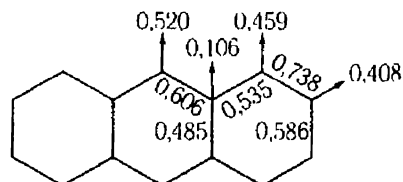


Рис. 102.5. Антрацен.

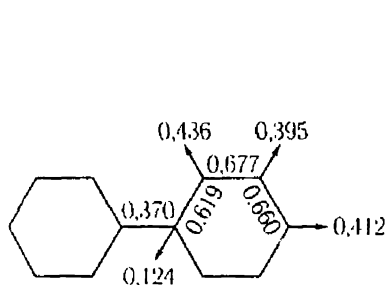


Рис. 102.6. Дифенил.

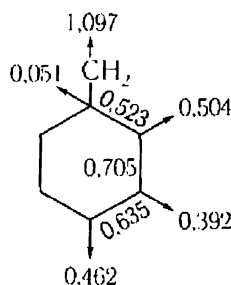


Рис. 102.7. Бензил.

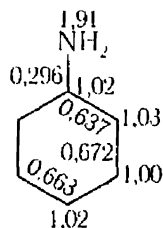


Рис. 102.8. Анилин.

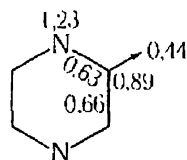


Рис. 102.9. Пиразин.

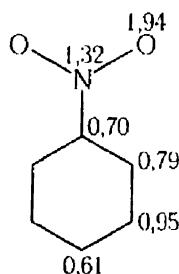


Рис. 102.10. Нитробензол.

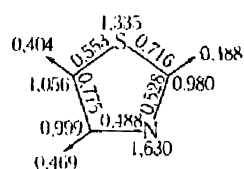


Рис. 102.11. Тиазол.

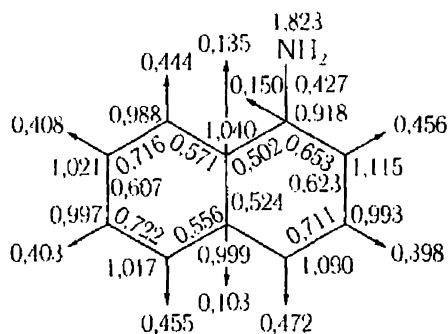


Рис. 102.12. α-Нафтиламин.

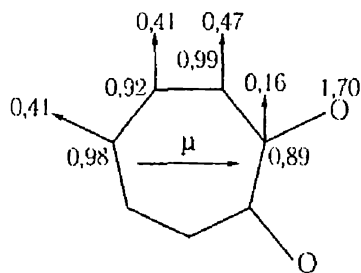


Рис. 102.13. Трополон.
 $\mu = 14,7 \cdot 10^{-18}$ Кл · м (4,4 Д).

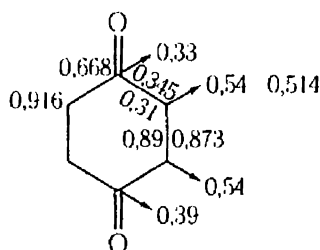


Рис. 102.14. p-Бензохинон.

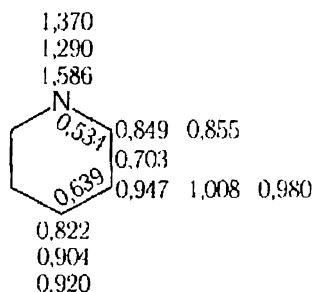
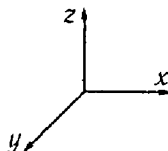


Рис. 102.15. Пиридин.

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 :



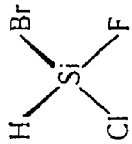
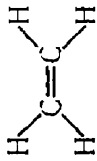
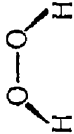
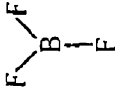
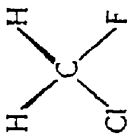
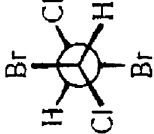
Симметрию полиэдра характеризует совокупность его поворотов вокруг воображаемых осей, проходящих через центр масс полиэдра, и отражений атомов в воображаемых плоскостях, проходящих через оси вращения или перпендикулярных к ним. При вращениях центр масс (точка) не меняет положения, поэтому симметрию называют 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.

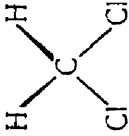
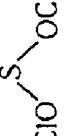
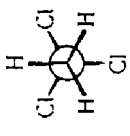
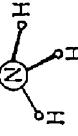
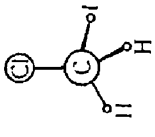
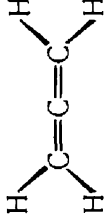
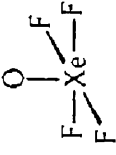
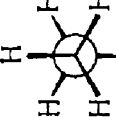
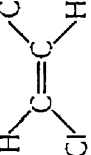
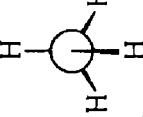
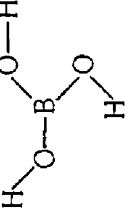
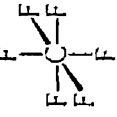
Совокупность всех элементов симметрии, или набор всех операций симметрии, которые можно провести над молекулой, образует точечную группу.

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 $360^\circ/n$).
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 $2\pi/1$

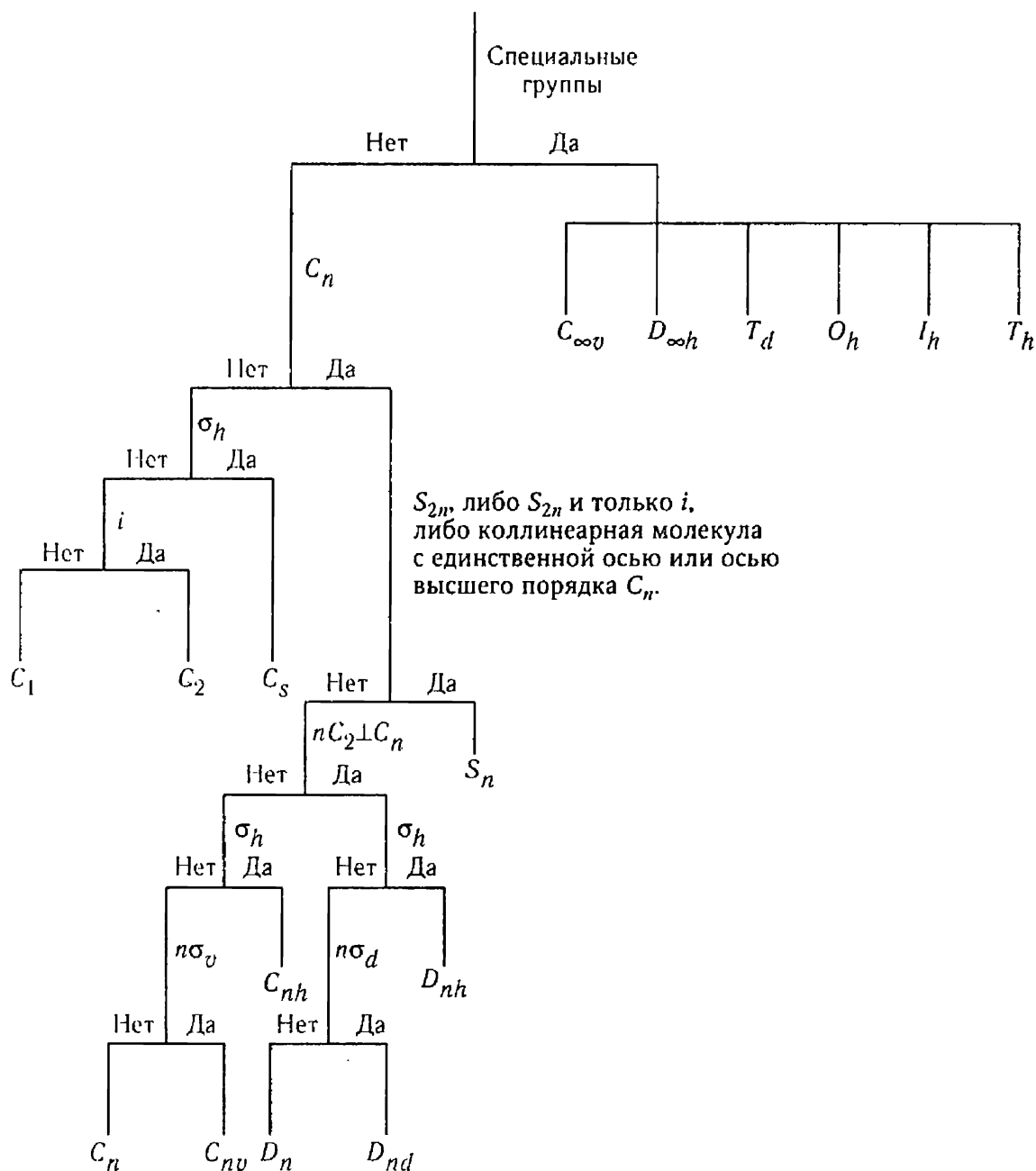
Некоторые часто встречающиеся группы симметрии
Молекулы изображены схематически.

Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры	Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры
C_1	E		D_{2h}	$E, C_2, 2C_2, \sigma_h, 2\sigma_v, i$	 
C_2	E, C_2		D_{3h}	$E, C_3 (S_3), 3C_2, \sigma_h, 3\sigma_v$	
C_s	E, σ		D_{4h}	$E, C_4 (C_2, S_4), 4C_2, \sigma_h, 2\sigma_v, 2\sigma_d, i$	
C_i	E, i		D_{5h}	$E, C_5 (S_5), 5C_2, \sigma_h, 5\sigma_v$	

Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры	Символ группы по Шенфлису	Элементы симметрии группы	Примеры
C_{2v}	$E, C_2, 2\sigma_v$	  	$D_{\infty h}$	$E, C_{\infty} (S_{\infty}), \infty C_2, \sigma_h, \infty \sigma_v, i$	$H-C \equiv C-H$
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}	$E, C_3 (S_6), 3C_2, 3\sigma_d, i$	
$C_{\infty v}$	$E, C_{\infty}, \infty \sigma_v$	 	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}	$E, C_3 (S_3), \sigma_h$		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 А — 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 гибридизованный тетраэдр. У линейных несимметричных молекул точечная группа $C_{\infty v}$, у симметричных — $D_{\infty h}$.

Распространенные углы между связями:

К.ч.	2	3	4
Форма молекулы	Линейная	Изогнутая	Плоская треугольная
Угол, градусы	180	60–180	120 90 109° 28'

К. ч.	АО	Число электронных пар		Форма молекулы	Примеры	Точечная группа симметрии
		m	n			
2	sp, dp	2	0	Линейная AX_2	$CdBr_2, [Ag(NH_3)_2]^+, [Ag(CN)_2]^-$ OH^-, CN^-	$D_{\infty h}$ $C_{\infty v}$
2	p^2, dp	2	2	Изогнутая AX_2E_2	$H_2S (92^\circ), H_2O (104^\circ 31'), NO_2^-, TiCl_2$	C_{2v}
3	sp^2, dp^2, p^3	3	0	Треугольная плоская AX_3	$NO_3^- (120^\circ), BF_3, GaCl_3, In(CH_3)_3$	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	$CH_4, SiF_4, NH_4^+, ClO_4^-, [Ni(Et_3P)_2(NO_3)_2], MnCl_4^{2-}$	T_d
4	dsp^2, d^2p^2	4	2	Плоская квадратная AX_4E_2	$[Ni(CN)_4]^{2-}, [PtCl_4]^{2-}, [Cu(NH_3)_4]^{2+} (90^\circ)$	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_{3d}
6	d^2sp^3	6	0	Октаэдр AX_6	$[Sn(OH)_6]^{2-}, [Mn(CN)_6]^{4-}, [SiF_6]^- (90 \text{ и } 180^\circ)$	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, $\tilde{\omega} = 2B_e j$, 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 $\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}$ в м^{-1}

j — вращательное квантовое число нижнего энергетического уровня.

j	CO	HCl	HF	$\text{H}^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	$^{14}\text{N}_2^{16}\text{O}$
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 $j \rightarrow j+1$	$^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{32}\text{S}$	$^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{34}\text{S}$
1 → 2	24,3259	23,7323
2 → 3	36,4888	—
3 → 4	48,6516	47,4624
4 → 5	60,8141	—

106. Колебательно-вращательные спектры некоторых молекул

Колебательно-вращательные полосы HCl

$\nu-\nu'$	λ , мкм	$\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}$, 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

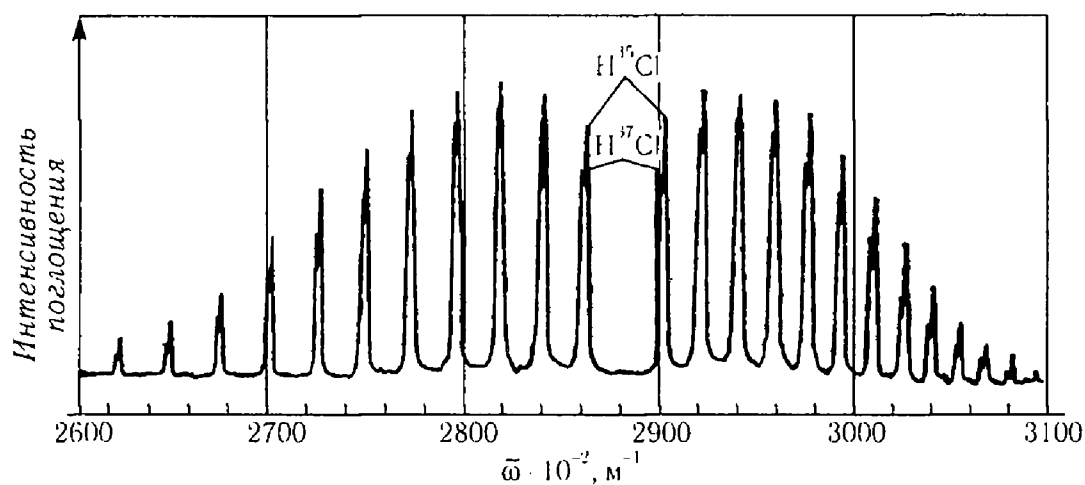


Рис. 106.1. Основная полоса колебательно-вращательного спектра HCl (природная смесь изотопов хлора).

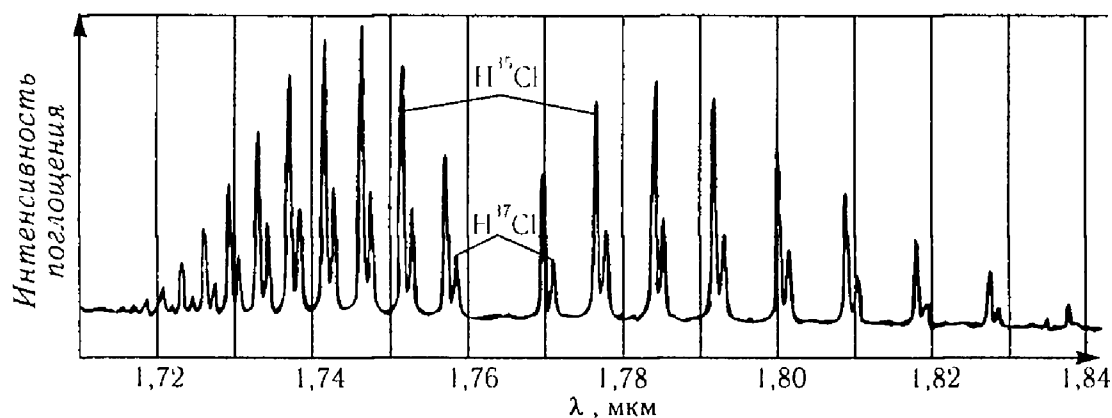


Рис. 106.2. Первый обертон колебательно-вращательного спектра HCl (природная смесь изотопов хлора).

Волновые числа тонкой структуры колебательно-вращательных полос HCl

См. рис. 106.1 и 106.2.

j	$\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}, \text{ м}^{-1}, \text{ H}^{35}\text{Cl}$				$\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}, \text{ м}^{-1}, \text{ H}^{37}\text{Cl}$			
	$\lambda = 3,46 \text{ мкм}$		$\lambda = 1,76 \text{ мкм}$		$\lambda = 3,46 \text{ мкм}$		$\lambda = 1,76 \text{ мкм}$	
	$P(j)$	$R(j)$	$P(j)$	$R(j)$	$P(j)$	$R(j)$	$P(j)$	$R(j)$
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	—	—	—

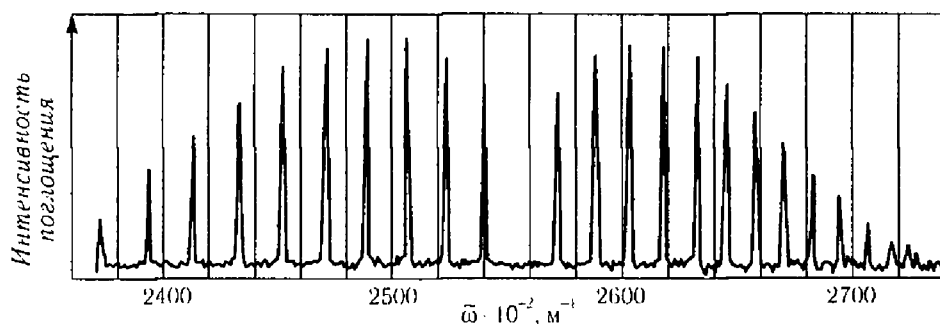


Рис. 106.3. Основная полоса колебательно-вращательного спектра HCl.

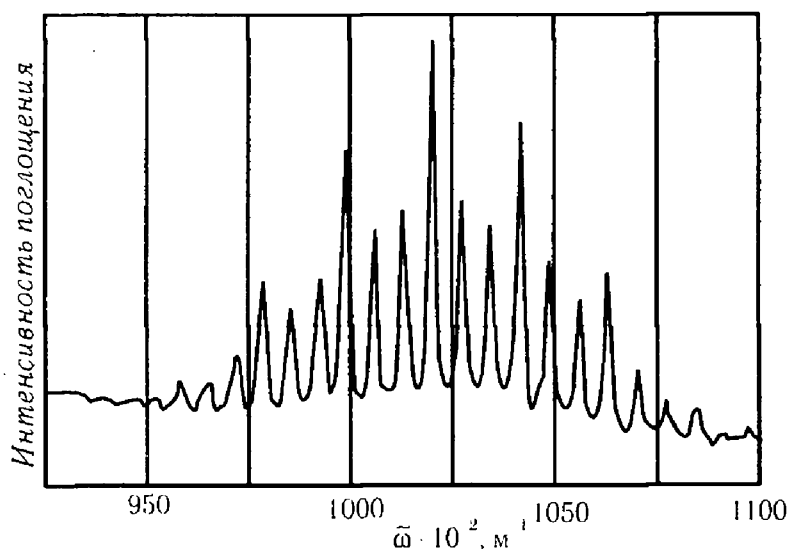


Рис. 106.4. Перпендикулярная полоса колебательно-вращательного спектра CH₃Cl.

107. Константы двухатомных молекул

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

$$E_v = \left[\left(v + \frac{1}{2} \right) - x_e \left(v + \frac{1}{2} \right)^2 + y_e \left(v + \frac{1}{2} \right)^3 \right] N_A h c \tilde{\omega}_e,$$

где v — колебательное квантовое число; x_e и y_e — коэффициенты ангармоничности; $\tilde{\omega}_e$ — волновое число собственных колебаний.

$$E_r = j(j+1) B_e N_A h c,$$

где j — вращательное квантовое число; $B_e = h/8\pi^2 c I$ — 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.

$$B_v = B_e - \alpha \left(v + \frac{1}{2} \right),$$

где B_v — вращательная постоянная при учете взаимодействия колебательного и вращательного движений; α — коэффициент взаимодействия. D_0 — энергия (теплота) диссоциации на невозбужденные атомы при 0 К.

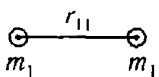
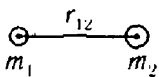
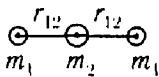
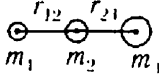
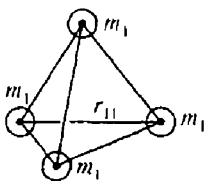
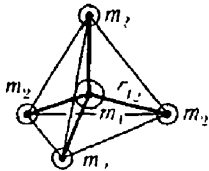
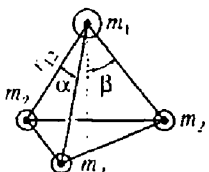
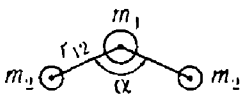
$$D_T = D_0 + RT.$$

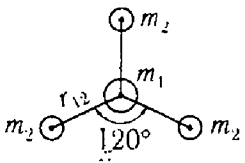
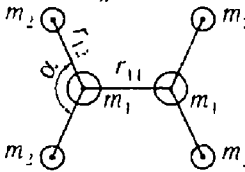
Молекула	Терм. основного состояния	$\tilde{\omega}_e \cdot 10^{-2},$ M^{-1}	$\tilde{\omega}_e x_e \cdot 10^{-2},$ M^{-1}	$\tilde{\omega}_e y_e \cdot 10^{-2},$ M^{-1}	$r_e \cdot 10^{10},$ M^{-1}	$I \cdot 10^{47},$ $кг \cdot м^2$	$B_e \cdot 10^{-2},$ M^{-1}	α	$D_0,$ кДж/моль
BCl	$^1\Sigma$	839,12	5,11	—	1,716	40,5	0,691	—	544 ± 20
BN	$^3\Pi$	—	—	—	1,281	16,63	1,684	—	384,9
BO	2Σ	1885,44	11,769	—	1,204	15,53	1,803	—	799,8
Br ₂	$1\Sigma^+$	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	$2\Sigma^+$	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	2Σ	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	1Σ	2649,683	45,52	0,104	1,414	3,30	8,485	0,2313	362,5
H ³⁵ Cl	1Σ	2990,95	52,819	0,2242	1,275	2,64	10,606	0,3019	427,8

Молекула	Терм. основного состояния	$\tilde{\omega}_e \cdot 10^{-2},$ М^{-1}	$\tilde{\omega}_e x_e \cdot 10^{-2},$ М^{-1}	$\tilde{\omega}_e y_e \cdot 10^{10},$ М^{-1}	$r_e \cdot 10^{-2},$ М^{-1}	$I \cdot 10^{47},$ $\text{кг} \cdot \text{М}^2$	$B_e \cdot 10^{-2},$ М^{-1}	α	$D_0,$ кДж/моль
HD	—	3817,09	94,958	1,4569	0,7413	0,61	45,68	—	435,5
HF	1Σ	4141,03	90,439	1,178	0,917	1,34	20,896	0,7971	566,3
HI	1Σ	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	$1\Sigma^+$	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	$1\Sigma^+$	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	2Π	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	1Σ	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 ⁻	$2\Pi_{g,i}$	≈ 1107	$\approx 8-9$	—	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
³¹ P ₂	$1\Sigma^+$	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	$3\Sigma_g^-$	—	—	—	2,166	307,6	0,091	—	305,2
SiF	$2\Pi_{1/2}$	857,2	4,74	—	1,601	48,23	0,581	—	535 ± 12
SiN	2Σ	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.

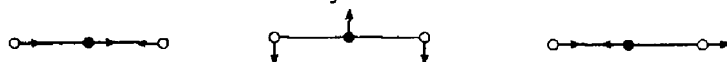
Расположение ядер	Тип молекулы	σ	Момент инерции I
Линейные молекулы			
	Симметричная	2	$\frac{1}{2} m_1 r_{11}^2$
	Асимметричная	1	$(m_1 m_2 / m) r_{12}^2$
	Симметричная	2	$2 m_1 r_{12}^2$
	Асимметричная $r_{12} \neq r_{23}$	1	$(m_1 m_3 / m) (r_{12} + r_{23})^2 + (m_2 / m) (m_1 r_{12}^2 + m_3 r_{23}^2)$
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	$I_1 = 3 m_2 r_{12}^2 \sin^2 \beta$ $I_2 = I_3 = \frac{3 m_2 r_{12}^2}{2(1 + 2 m_2 / m_1)} \times [2 - (1 - 3 m_2 / m_1) \sin^2 \beta]$ $I_1 \cdot I_2 \cdot I_3 = 2 m_2^3 (1 - \cos \alpha)^3 \times \left[1 + \mu \frac{1 + 2 \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \right]^2 r_{12}^6,$ $\text{где } \mu = \frac{m_1}{m_1 + 3 m_2}$
Асимметричный волчок			
	Изогнутая симметричная	2	$I_1 = \frac{2 m_1 m_2}{2 m_2 + m_1} r_{12}^2 \cos^2 (\alpha / 2)$ $I_2 = 2 m_2 r_{12}^2 \sin^2 (\alpha / 2)$ $I_3 = I_1 + I_2$

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

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



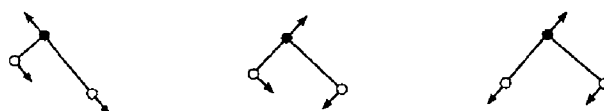
Обозначение колебания	ν_1	$\nu_2 (2)$	ν_3
Класс	A_1	E_1	A_1
ИКС	акт. (π)	акт. (σ)	акт. (π)
СКР	акт. (p)	акт. (d)	акт. (p)

Линейные молекулы YX₂



Обозначение колебания	ν_1	$\nu_2 (2)$	ν_3
Класс	A_g	E_u	A_u
ИКС	неакт. (π)	акт. (σ)	акт. (π)
СКР	акт. (p)	неакт.	неакт.

Нелинейные молекулы XYZ

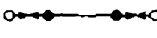
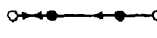


Обозначение колебания	ν_1	ν_2	ν_3
Класс	A'	A'	A'
ИКС	акт. (π)	акт. (π)	акт. (σ)
СКР	акт. (p)	акт. (p)	акт. (p)

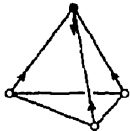
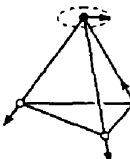
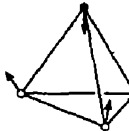
Нелинейные молекулы YX_2

			
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)

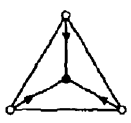
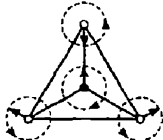
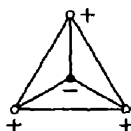
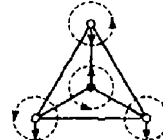
Линейные молекулы X_2Y_2

					
Обозначение колебания	ν_1	ν_2	$\nu_3 (2)$	ν_4	$\nu_5 (2)$
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)

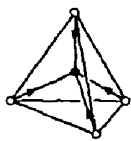
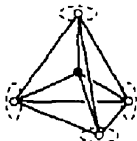
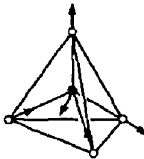
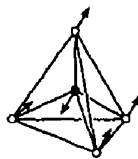
Пирамидальные молекулы YX_3

				
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

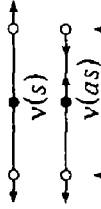
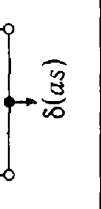
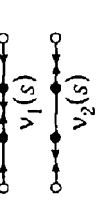
				
Обозначение колебания	ν_1	$\nu_2 (2)$	ν_3	$\nu_4 (2)$
Класс	A_1'	E'	A_2''	E'
ИКС	неакт.	акт. (σ)	акт. (π)	акт. (σ)
СКР	акт. (p)	акт. (d)	неакт.	акт. (d)

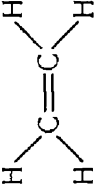
Тетраэдрические молекулы YX_4

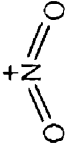
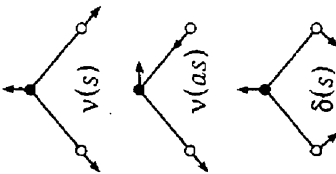
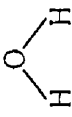
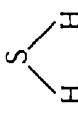
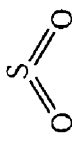
				
Обозначение колебания	ν_1	$\nu_2 (2)$	$\nu_3 (3)$	$\nu_4 (3)$
Класс	A_1	E	F_1	F_2
ИКС	неакт.	неакт.	акт.	акт.
СКР	акт. (p)	акт. (d)	акт. (d)	акт. (d)

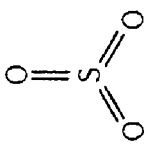
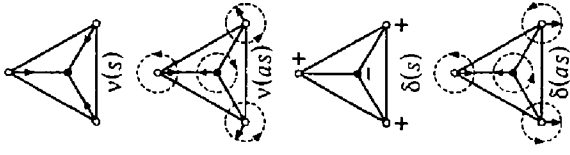
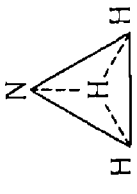
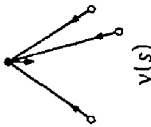
110. Структура и константы многоатомных молекул газобразных веществ

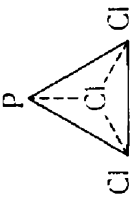
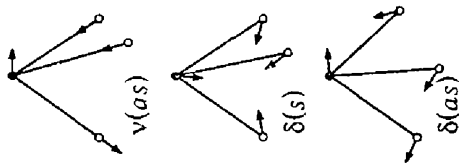
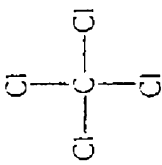
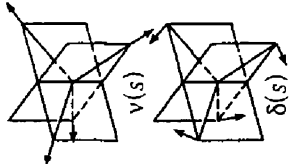
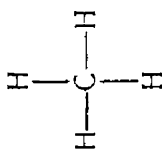
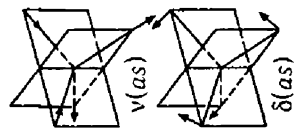
Число атомов в молекуле $n \geq 3$. Число характеристических колебаний $3n - 5$ у линейных и $3n - 6$ у нелинейных молекул. Число частот валентных колебаний $n - 1$; число частот деформационных колебаний $2n - 4$ у линейных и $2n - 5$ у нелинейных молекул. Колебания: ν — валентные, δ — деформационные, s — симметричные, as — асимметричные. γ — крутильные, σ — колебания перпендикулярные оси молекулы; π — колебания, параллельные оси молекулы. Характеристическая температура $\theta = 1,439 \cdot 10^{-2} \tilde{\omega}$ К.

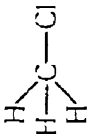
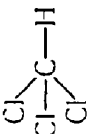
Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10^{-10}$, нм	Характеристика колебаний			Волновое число $\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}$, м $^{-1}$	Характеристическая температура θ , К
			направление колебаний	степень вырождения	обозначение		
CO ₂	Линейная, симметричная O = C = O $D_{\infty h}$	1,162			$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(as)$	1388,17 2349,16 667,4	1997,6 3380,4 960,4
	Линейная, симметричная S = C = S $D_{\infty h}$	1,5529		2	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(as)$	657,98 1532,5 396,7	946,8 2205,3 570,8
C ₂ H ₂	Линейная, симметричная H-C≡C-H $D_{\infty h}$	C-H 1,06 C≡C 1,20			$\nu_1(s)$ $\nu_2(s)$ $\nu(as)$ $\delta_1(as)$ $\delta_2(as)$	3372,5 1973,5 3294,8 611,7 729,1	4853,0 2839,9 4741,2 880,2 1049,2
N ₂ O	Линейная, несимметричная $\overset{+}{N}=\overset{-}{N}=\overset{+}{O}$ $C_{\infty v}$	$\overset{+}{N}=\overset{-}{O}$ 1,184 $\overset{-}{N}=\overset{+}{N}$ 1,128		2	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(as)$	2223,76 1284,9 588,78	3200,0 1849,0 847,2

Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10^{-10}, \text{нм}$	Характеристика колебаний			Волновое число $\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}, \text{м}^{-1}$	Характеристическая температура $\theta, \text{К}$
			направление колебаний	степень вырождения	обозначение		
OCS	Линейная, несимметричная $\text{O}=\text{C}=\text{S}$ $C_{\infty v}$	O=C 1,154 C=S 1,563		2	$\nu(s)$	2062,20	2967,5
					$\nu(as)$	858,97	1236,1
					$\delta(as)$	520,42	748,9
C_2H_4	Плоская  $\angle \text{HCH} \approx 117^\circ 22'$ $\angle \text{CCH} \approx 121^\circ 19'$ D_{2h}	C-H 1,086 C=C 1,337	$\nu_1(\pi, s)$		$\nu_1(\pi, s)$	3026,4	4352
			$\nu_2(\pi, s)$		$\nu_2(\pi, s)$	1622,6	2335
			$\nu_3(\pi, s)$		$\nu(\pi, as)$	2988,7	4301
			$\nu(\pi, as)$		$\nu(\sigma, s)$	3102,5	4463
			$\nu(\sigma, s)$		$\nu(\sigma, as)$	3105,5	4470
			$\nu(\sigma, s)$		$\delta(\pi, s)$	1342,2	1934
			$\nu(\sigma, as)$		$\delta(\pi, as)$	1443,5	2062
			$\delta(\pi, s)$		$\delta(\sigma, s)$	1222	1758
			$\delta(\pi, as)$		$\delta(\sigma, as)$	1027	1479
			$\delta(\sigma, s)$		$\delta'(\sigma, as)$	949,3	1366
			$\delta(\sigma, as)$		$\delta'(\sigma, s)$	943	1357
			$\delta'(\sigma, as)$		$\gamma(r)$	826,3	1166
			$\delta'(\sigma, s)$				

NO ₂	Изогнутая  ∠ONO 134° 15' C _{2v}	N-O 1,197		v (s) v (as) δ (s)	(1319,7) 1617,75 749,8	(1899) 2327,9 1079
H ₂ O	Изогнутая  ∠HOH 104° 31' ± 3' C _{2v}	O-H 0,9572		v (s) v (as) δ (s)	3657,0 3755,8 1594,8	5262,4 5404,6 2294,9
H ₂ S	Изогнутая  ∠HSH 92,06° C _{2v}	S-H 1,336		v (s) v (as) δ (s)	2614,6 2627,5 1182,7	3762,4 3780,9 1701,9
SO ₂	Изогнутая  ∠OSO 118,5° ± 1° C _{2v}	S=O 1,431		v (s) v (as) δ (s)	1151,4 1361,8 517,6	1656,9 1959,6 744,8

Молекула	Форма и симметрия	Межъядерное расстояние $r \cdot 10, \text{нм}$	Характеристика колебаний			Волновое число $\tilde{\omega} \cdot 10^{-2}, \text{м}^{-1}$	Характеристическая температура $\theta, \text{К}$
			направление колебаний	степень вырождения	обозначение		
SO_3	Треугольная плоская  $\angle \text{OSO } 120^\circ$ D_{3h}	S=O 1,419		2 2	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(s)$ $\delta(as)$	1068	1536,9
						1391	2001,6
						495	712,3
						529	761,2
NH_3	Тригональная симметричная пирамида  $\angle \text{HNN } 107^\circ 17'$ C_{3v}	H-N 1,0156 H-H 1,61		2 2	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(s)$ $\delta(as)$	3337,2	4802,2
						3443,6	4955,3
						932,5	1341,9
						1626,1	2340

PCl_3	Тригональная симметричная пирамида  $\angle \text{ClPCl } 100^\circ \pm 1^\circ$ C_{3v}	$\text{P-Cl } 2,043$		2 2	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(s)$ $\delta(as)$	515,0 504,0 258,3 186,0	741 725 371,7 267,6
CCl_4	Правильный тетраэдр  $\angle \text{при C } 109^\circ 28'$ T_d	$\text{C-Cl } 1,767$		3 2 3	$\nu(s)$ $\nu(as)$ $\delta(s)$ $\delta(as)$	458 775 218 310	659 1150 314 446
CH_4	Правильный тетраэдр  $\angle \text{при C } 109^\circ 28'$ T_d	$\text{C-H } 1,0934$		3 2 3	$\nu(s, \text{C-H})$ $\nu(as, \text{C-H})$ $\delta(s, \text{H-C-H})$ $\delta(as, \text{H-C-H})$	2916,5 3019,5 1533,6 1306,2	4196,8 4345,1 2206,8 1879,6

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

111. Силловые постоянные связей в двухатомных и многоатомных молекулах

Силловая постоянная $k = 4\pi^2\nu_e^2 \mu = 4\pi^2c^2\tilde{\omega}_e^2 M_1M_2/N_A (M_1 + M_2)$, где ν_e и $\tilde{\omega}_e$ — частота и волновое число собственных колебаний; c — скорость света в вакууме; M_1 и M_2 — атомные массы; μ — приведенная масса молекулы.

Молекула	$\tilde{\omega}_e \cdot 10^{-2},$ м ⁻¹	$k \cdot 10^{-2},$ Н/м	Молекула	$\tilde{\omega}_e \cdot 10^{-2},$ 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—Cl **		3,64
	$sp^2 = sp^2$	9,7	C—Br		3,12
	$sp \equiv sp$	15,6	C—I		2,65
	$sp^3 - sp^2$	4,8	C=O	$sp^2 - C$	12,1
	$sp^3 - sp$	4,5	C=O	$sp - C$	15,5
	$sp^3 -$ (карбонильная группа)	4,8	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	$\backslash N-H$		6,35
	sp	5,9			
	В ароматических соединениях	5,0	$\backslash S \rightarrow O$		5,0
	В карбонильных соединениях (с гибридизацией sp^2)	5,3			
C—F		5,96			

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

** Силловая постоянная связи C—Cl в молекулах CCl₄, CH₂Cl₂, CH₃Cl, C₂H₅Cl 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		Интенсивность полосы	Примечания
	см ⁻¹	мкм		
Алканы				
Валентные колебания С-Н				
-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 С-Н				
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.	Ограниченное число данных
-CH-	1340	7,46	сл.	
Колебания скелета				
C(CH ₃) ₂	1175-1165	8,51-8,58	с.	Ограниченное число данных
	1170-1140	8,55-8,77	«	
	840-790	11,90-12,66	ср.	
C(CH ₃) ₃	1255-1245	7,97-8,03	с.	Ограниченное число данных
	1250-1200	8,00-8,33	«	
	750-720	13,33-13,89	«	
-(CH ₂) ₄ -	1020-1000	9,80-10,00	ср.	То же
-CH ₂ -(циклопропан)				
Алкены				
Валентные колебания С=С				
Несопр. С=С	1680-1620	5,95-6,17	пер.	Ограниченное число данных
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 ₁ R ₂ =CH ₂	1660-1640	6,02-6,10	«	
CR ₁ R ₂ =CHR ₃	1675-1665	5,97-6,00	«	
CR ₁ R ₂ =CR ₃ R ₄	1690-1670	5,92-5,99	сл.	
Фенил, сопр. С=С	≈ 1625	≈ 6,16	с.	
				Повышенная интенсивность

Группа атомов	Область поглощения		Интенсивность полосы	Примечания
	см ⁻¹	мкм		
C=O или C=C сопр. с C=C	1660-1580	6,02-6,33	с.	Интенсивность <i>цис</i> -форм часто выше, чем <i>транс</i> -форм
<i>Валентные и деформационные колебания C-H</i>				
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 (<i>цис</i>)	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 (<i>транс</i>)	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 ₁ R 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 ₁ R ₂ =CHR ₃	3040-3010	3,29-3,32	ср.	CH валентные
	850-790	11,76-12,66	«	CH внеплоскостные деформационные
Алкины				
RC≡CH	3310-3300	3,02-3,03	ср.	C-H валентные
	2140-2100	4,67-4,76	сл.	C≡C «
R ₁ C≡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				
<i>Валентные колебания</i>				
=C-H валентные	3080-3030	3,25-3,30	сл. ср.	Может быть несколько пиков

Группа атомов	Область поглощения		Интенсивность полосы	Примечания
	см ⁻¹	мкм		
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	«	

*Плоскостные деформационные колебания C-H
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
1,3-Дизамещенные	1000-960	10,00-10,42	«	
	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 C-H
для различных типов замещения бензольного кольца **

Монозамещенные	770-730	12,99-13,70	с.	5 рядом стоящих атомов H
	710-690	14,08-14,49	«	То же

* Слабые полосы поглощения, являющиеся обертонами и составными частотами внеплоскостных деформационных колебаний C-H, 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		Интенсивность полосы	Примечания
	см ⁻¹	мкм		
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
	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	«	« «
	900-860	11,11-11,63	ср.	« «
1,2,3,5-, 1,2,4,5- и 1,2,3,4,5-замещенные				

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	Валентные
N-H	3500-3200	2,86-3,12	
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	O-O	H ₂ O ₂	1,48
N-H	NH ₃	1,012	P-H	PH ₃	1,437
N-H	RNH ₂	1,01	S-H	H ₂ S	1,335
NO	RONO ₂	1,36	Si-H	R ₃ SiH	1,476
NO	RNO ₂	1,22	C-H	RCH ₃	1,096

Тип связи	Соединения	$r \cdot 10, \text{нм}$	Тип связи	Соединения	$r \cdot 10, \text{нм}$
C-H	R_2CH_2	1,073	C-C	C-C $\equiv$ C	1,459
	R_3CH	1,070		C=C-C $\equiv$ C	1,45
	Алкены	1,083		Бензол	1,397
	Аллены	1,07		Графит	1,421
	Ароматические соединения	1,084		Изолированная связь	1,335
	Алкины	1,055		То же	1,202
C-F	Алканы	1,379	C $\equiv$ N	Пиридин	1,339
	Алкены	1,333	C $\equiv$ N	C_2H_5CN	1,157
	Ароматические соединения	1,328	C-O	Алифатические спирты, простые эфиры	1,426
C-Cl	Алканы	1,767	C=O	Альдегиды, кетоны	1,215
	Алкены	1,719	C $\equiv$ O	CO	1,128
	Ароматические соединения	1,70	C=S	Тиофен	1,718
C-C	Алмаз	1,5445	C-Si	Алкилсиланы	1,870
	Алканы	1,537		Арилсиланы	1,843

114. Углы между связями в молекулах

R — радикал, X — галоген.

Структура	Угол, градусы	Структура	Угол, градусы
Алканы	CCC 112,6	RCl	HCO 107
	HCH 104 $\pm$ 2		CCCl 107
C-C-H	CCH 107-108		HCCl 108
C-C-C (sp^2 и sp)	CCC 110-111	NH ₃	HNH 107,3
C-C=C	CCC 122-125	RNH ₂	HNH 106
C=C-H	CCH 119		CNH 112
H ₂ O	HOH 104,45	H ₂ S	HSH 92,3
ROH	COH 108-109	SO ₂	OSO 119,5
R ₂ O	COC 110 $\pm$ 3	PX ₃	XPX 100-101
	CCO 111	PR ₃	RPR 100

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 ₂ Cl 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: $\mu_B = e\hbar/2m_e c$. 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	${}^2\Pi_{1/2}$	} 1,837
				${}^2\Pi_{3/2}$	

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	⁵ D	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	⁶ S	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	⁵ D	4,90	5,48	5,1–5,7 ≈ 5,4	0	≈ 0
Co ²⁺ Ni ³⁺	d ⁷	⁴ F	3,88	5,20	4,3–5,2 —	1,73	1,7–2,0 1,8–2,0
Ni ²⁺	d ⁸	³ F	2,83	4,47	2,8–4,0	—	—
Cu ²⁺	d ⁹	² D	1,73	3,00	1,7–2,2	—	—

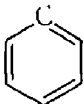
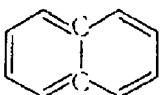
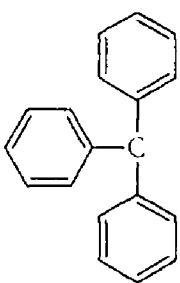
117. Диамагнитная восприимчивость атомов и связей (по Паскалю)

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

Магнитная восприимчивость выражается в м³/моль.

Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м ³ /моль	Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м ³ /моль	Атом	$\chi_D \cdot 10^{12}$, м ³ /моль
Ag	– 31	I	– 44,6	Na	– 9,2
Al	– 13	K	– 18,5	О 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	– 5,57	P	– 26,3
Ca	– 15,9	цепях		Pb	– 46
Cl	– 20,1	в циклах	– 4,61	S	– 15
F	– 11,5	в моноамидах	– 1,54	Sb ³⁺	– 74
H	– 2,93	в диамидах	– 2,11	Si	– 20
Hg ²⁺	– 33	и имидах		Zn	– 13,5

Группа	$\chi_D \cdot 10^{12},$ м ³ /моль	Группа	$\chi_D \cdot 10^{12},$ м ³ /моль
$\begin{array}{c} \quad \\ -C=C- \\ \quad \end{array}$	+ 5,5	$\begin{array}{c} \\ -C-Cl \\ \end{array}$	+ 3,1
$\begin{array}{c} \quad \quad \quad \\ -C=C-C=C- \\ \quad \end{array}$	+ 10,6	$\begin{array}{c} \\ -C-Br \\ \end{array}$	+ 4,1
$-C \equiv C-$	+ 0,8	$\begin{array}{c} \quad \quad \\ Cl-C-C-Cl \\ \quad \end{array}$	+ 4,3
$CH_2=CH-CH_2-$	+ 4,5	$\begin{array}{c} \quad \quad \\ Br-C-C-Br \\ \quad \end{array}$	+ 6,2
Циклогексан	+ 3,0	$\begin{array}{c} \\ -C-Cl \\ \\ Cl \end{array}$	+ 1,4
$-N=N-$	+ 1,8	Добавочные поправки в групп-	
$-C=NR$	+ 8,2	пах $\begin{array}{c} C \\ \\ C-C^{(3)}-X \\ \\ C \end{array}$ $\begin{array}{c} C \\ \\ C-C^{(4)}=C, \end{array}$	
$-N=O$	+ 1,7	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:	
 для каждого С атома в одном цикле	- 0,24	в случае $C^{(3)}$	- 1,29
 для каждого атома С, принадлежащего двум циклам	- 3,1	« « $C^{(4)}$	- 1,54
 для атома С, принадлежащего трем циклам	- 4,0	« « $C^{(3)}$ и $C^{(4)}$	- 0,48

118. Химические сдвиги протонов относительно тетраметилсилана

Смесь исследуемого и стандартного (тетраметилсилан, ТМС) веществ помещают в ампуле внутри 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 $H_{эф}$ 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 $H_0 = \text{const}$). 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 $\delta_{\text{ТМС}} = 10$ млн. долей. Величина δ положительна, когда сигнал находится в области поля с меньшей напряженностью (большей 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 ₂ O	H ₂	H ₂ O (г.)
- 20,94	- 3,16	4,68	5,66	9,26

Углеводороды

C ₆ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₆ H ₁₂	C ₂ H 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 ₃ F	CH ₃ Cl	CH ₃ Br	CH ₃ I
2,73	5,70	7,00	7,30	7,83

Органические вещества, содержащие кислород и азот

CH ₃ COOH*	CH ₃ *CHO	CH ₃ NO ₂	Диоксан	CH ₃ CH*O	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ CN	CH ₃ OH*
- 1,37	0,20	5,67	6,30	7,80	7,83	8,00	8,57

Неорганические вещества

SiH ₄	PH ₃	H ₂ S	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	2	3	4	6
Угол поворота φ°	360	180	120	90	60
Обозначение	E	C ₂	C ₃	C ₄	C ₆

Обозначения классов кристаллов

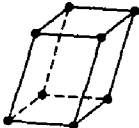
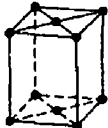
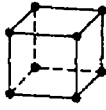
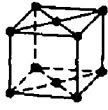
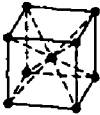
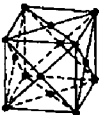
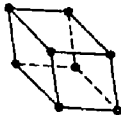
Приведена классификация по Шенфлису. В кристаллографии пользуются также системой Германа—Могена.

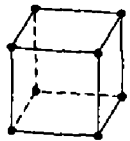
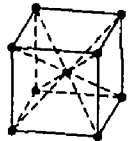
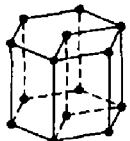
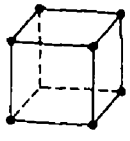
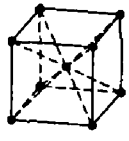
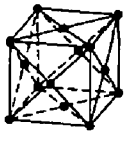
Системы (7)	Триклинная	Моноклинная	Ромбическая	Ромбоэдрическая
Классы (32)	C_1, C_i	C_s, C_2, C_{2h}	C_{2v}, D_2, D_{2h}	$C_3, C_{3v}, D_3, D_{3h}, S_6$

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

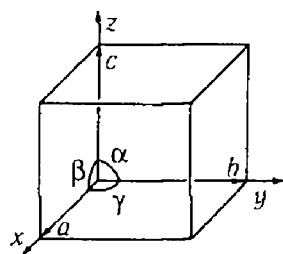
Решетки Бравэ

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

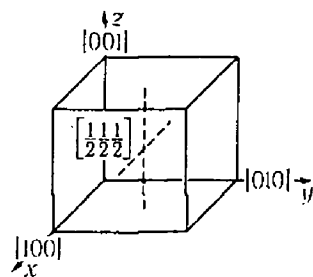
Сингония	Тип решетки			
	Примитивная (P)	Базоцентрированная (C)	Объемно-центрированная (I)	Гранецентрированная (F)
Триклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$				
Моноклинная $a \neq b = c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$				
Ромбическая $a \neq b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
Тригональная (ромбоэдрическая) $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$				

Сингония	Тип решетки			
	Примитивная (P)	Базоцентрированная (C)	Объемно-центрированная (I)	Гранецентрированная (F)
Тетрагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
Гексагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$				
Кубическая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				

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
Na	То же	0,430	Si	«	0,542
K	« «	0,520	BaO	NaCl	0,550
Cu	Гранецентрированный куб	0,3597	CaO	NaCl	0,4797
Ag	То же	0,4078	KCl	NaCl	0,6277
Be	Гексагональная плотная упаковка	0,2283	MgO	NaCl	0,4203
Mg	То же	0,3220	NaCl	NaCl	0,5628
Zn	« «	0,2657	CsCl	CsCl	(0,411)
Cd	« «	0,298	CaF ₂	CaF ₂	0,546
			Cu ₂ S	CaF ₂	0,559
			ZnS	ZnS	0,543
			BeS	ZnS	0,485

Примеры элементарных ячеек

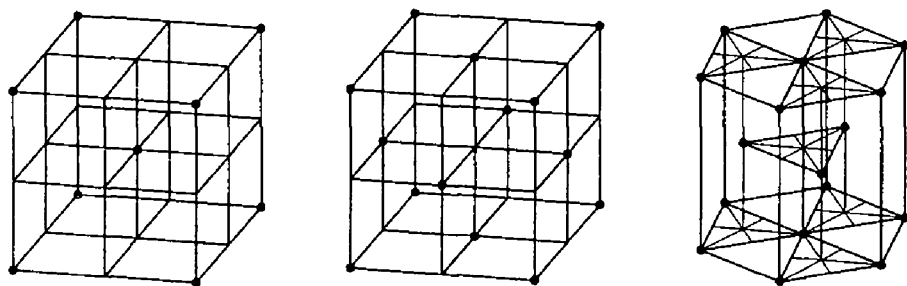


Рис. 122.1. Элементарная ячейка кубической объемно-центрированной решетки.

Рис. 122.2. Элементарная ячейка кубической гранецентрированной решетки.

Рис. 122.3. Элементарная ячейка гексагональной плотной упаковки.

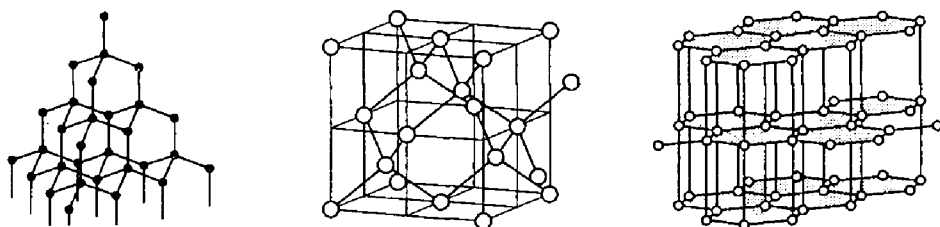


Рис. 122.4. Строение алмаза по Брэггу.

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—Хаггину (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 $r_a \cdot 10, \text{нм}$				Заряд иона	Радиус иона $r_i \cdot 10, \text{нм}$				
	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 +3	— —	0,46 0,58	— —	0,71 —	(0,47) 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 +3	— 1,20	0,74 0,96	— —	0,98 —	(0,74) 1,20
Br	1,1415	1,14	1,14	—	+7 -1	— 1,973	— 1,96	— 1,95	0,62 1,95	(0,39) 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 -1	— 1,811	— 1,81	— —	0,49 1,81	(0,26) 1,81
Co	1,253	1,25	1,25	1,25	+3 +2	0,65 0,78	0,63 0,72	— —	— —	0,64 0,78
Cr	1,249	1,25	1,25	1,27	+6 +3 +2	— 0,65 —	0,52 0,63 —	— — —	0,81 — —	0,35 0,64 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 +1	0,47 —	0,72 0,96	— —	0,96 —	0,80 0,98
F	0,709	0,64	0,64	—	+7 -1	— 1,294	— 1,36	— 1,36	0,19 1,36	— 1,33
Fe	1,241	1,26	—	1,26	+3 +2	0,67 0,80	0,64 0,71	— —	— —	0,67 0,80
H	0,3707	0,36	0,30*	0,46	-1	—	1,53	—	2,08	1,36

Элемент	Радиус атома $r_a \cdot 10, \text{нм}$				Заряд иона	Радиус иона $r_i \cdot 10, \text{нм}$				
	МХ	Г	П	Б		МХ	Г	П	И _н	Б
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 Н-Н; 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
$r \cdot 10, \text{ нм}$	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+}
$r_s \cdot 10, \text{ нм}$	1,83	2,37	4,08	3,46	3,09	3,09
$r_{\text{эфф}} \cdot 10, \text{ нм}$	3,3	3,7	4,6	4,4	4,2	4,2
$r_{\text{крист}} \cdot 10, \text{ нм}$	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+}	$\text{N}(\text{CH}_3)_4^+$	$\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)^+$	$\text{N}(\text{C}_5\text{H}_{11})^+$
$r_s \cdot 10, \text{ нм}$	2,88	3,46	3,95	2,04	4,71	5,25
$r_{\text{эфф}} \cdot 10, \text{ нм}$	4,1	4,4	4,6	3,47	4,94	5,29
$r_{\text{крист}} \cdot 10, \text{ нм}$	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-}
$r \cdot 10, \text{ нм}$	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)	4,332

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 Сесерленда.

Диаметр при критической температуре σ_k вычисляется по формуле:

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

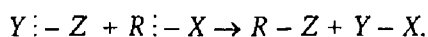
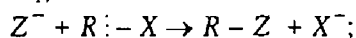
где N_0 — число молекул на 1 см^3 при 273 К и 101,325 кПа, b — постоянная отталкивания Ван-дер-Ваальса, σ_0 — расстояние между частицами, на котором потенциальная энергия их взаимодействия равна нулю.

Атом или молекула	$\sigma_\infty \cdot 10, \text{ нм}$	$\sigma_k \cdot 10, \text{ нм}$	$\sigma_0 \cdot 10, \text{ нм}$	C	Атом или молекула	$\sigma_\infty \cdot 10, \text{ нм}$	$\sigma_k \cdot 10, \text{ нм}$	$\sigma_0 \cdot 10, \text{ нм}$	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 ₃ OH	3,25	3,59	3,76	487
HBr	3,16	3,27	—	375	C ₂ H ₂	3,72	3,44	4,22	198
HCl	2,96	3,19	3,31	362	C ₂ H ₄	3,72	3,57	4,23	225
HI	3,55	—	—	390	C ₂ H ₆	3,88	3,70	4,42	252
H ₂ O	2,27	2,89	—	961	C ₂ H ₅ OH	3,95	4,06	4,46	407
H ₂ S	3,18	3,24	—	331	CH ₃ Cl	3,57	3,38	3,72	441
He	1,82	2,66	2,70	173	CH ₂ Cl 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 ₆ H ₆	4,71	4,51	5,27	448

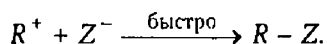
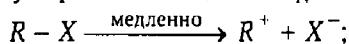
130. Общая систематизация гомогенных реакций

Классификация реакций (по Ингольду)

Нуклеофильное замещение S_N :



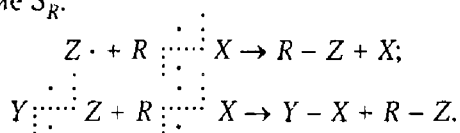
Нуклеофильное мономолекулярное замещение S_N1 :



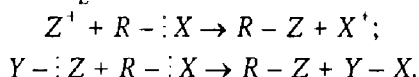
Нуклеофильное бимолекулярное замещение $S_N 2$:



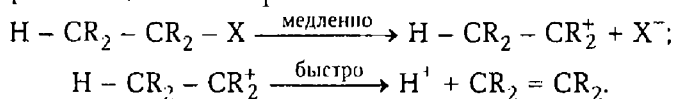
Радикальное замещение S_R :



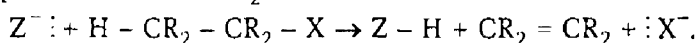
Электрофильное замещение S_E :



Мономолекулярное отщепление E_1 :



Бимолекулярное отщепление E_2 :



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),

$ArN=N^+$, карбокатионы, 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 реакцию систему не действуют излучения, то реакция может происходить в одну элементарную стадию лишь при сохранении молекулярной симметрии реагентов и продуктов реакции. Если на реакцию 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 $\nu = kc_1^{n_1}c_2^{n_2}\dots$ 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: s^{-1} , л/(моль · с), $cm^3/(mоль \cdot c)$, в физических процессах — числом молекул в $1 cm^3$ в 1 с, в реакциях между газами — в Па/с или мм рт. ст./с.

Реакции в газах

Первый порядок

Реакция	$A, \text{с}^{-1}$	$E,$ кДж/моль
<i>Реакции между молекулами</i>		
А. Разложение		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HBr}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	218,0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl}$	$4 \cdot 10^4$	247,5
$\text{CH}_3\text{CHCl}_2 \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CHCl} + \text{HCl}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	207,8
$\text{CCl}_3\text{CH}_3 \rightarrow \text{CCl}_2 = \text{CH}_2 + \text{HCl}$	$3,2 \cdot 10^{12}$	201,0
$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_4$	$3,2 \cdot 10^{12}$	200,5
цикло- $(\text{CH}_3\text{CHO})_3 \rightarrow 3\text{CH}_3\text{CHO}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	185,5
$\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 1/2 \text{O}_2$	$4,6 \cdot 10^{13}$	103,5
$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	10^{16}	54,4
Б. Изомеризация		
<i>транс</i> -Дихлорэтилен $\rightarrow$ <i>цис</i>	$4,9 \cdot 10^{12}$	175,8
Циклопропан $\rightarrow$ пропилен	$1,5 \cdot 10^{15}$	272,8
Винилаллиловый эфир $\rightarrow$ аллилацетальдегид	$5 \cdot 10^{11}$	128,3
<i>Реакции с угастием атомов и радикалов</i>		
$\text{CCl}_4 \rightarrow \text{CCl}_3 + \text{Cl}$	—	356,2
$\text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{Cl}$	$2 \cdot 10^{13}$	356,2
$\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3$	—	354,0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5 + \text{Br}$	—	225,2
$\text{C}_2\text{H}_5\text{I} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5 + \text{I}$	—	216,0
$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5 + \text{Br}$	—	297,2
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2 + \text{Br}$	—	211,8
$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2 + \text{CH}_3$	—	264,2

Второй порядок

Реакция	$A,$ $\text{см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$	$E,$ кДж/моль
<i>Реакции между молекулами</i>		
$\text{CH}_3\text{CH} = \text{CHCH}_3 + \text{HBr} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHBrCH}_3$	$1,6 \cdot 10^{10}$	94,2
$\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	$4 \cdot 10^{13}$	180,5
$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	165,5
$\text{HI} + \text{CH}_3\text{I} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{I}_2$	$2 \cdot 10^{14}$	140,0
$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$	$9,2 \cdot 10^{13}$	186,4
$2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$	$9,4 \cdot 10^{12}$	112,6

Реакция	A, см ³ /(моль · с)	E, кДж/моль
<i>Реакции с угастием атомов и радикалов</i>		
$\text{CH}_3 + \text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	$1,03 \cdot 10^4$	0
$\text{CH}_3 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7$	$2,5 \cdot 10^{11}$	29,3
$\text{CH}_3 + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_5$	—	43,5
$\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}_6\text{H}_5$	$1,4 \cdot 10^{10}$	38,5
$\text{CH}_3 + \text{CHCl}_3 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CCl}_3$	—	24,3
$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{BF}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2\text{BF}_3$	$7,9 \cdot 10^{11}$	0
$\text{C}_2\text{H}_5 + \text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$	$1,12 \cdot 10^4$	8,4
$\text{Br} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HBr} + \text{CH}_3$	$5 \cdot 10^{13}$	76,6
$\text{Br} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{HBr} + \text{C}_2\text{H}_5$	—	58,2
$\text{Br} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HBr} + \text{H}$	$6,9 \cdot 10^{13}$	74,2
$\text{Cl} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HCl} + \text{CH}_3$	$2,5 \cdot 10^{13}$	16,3
$\text{Cl} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{HCl} + \text{C}_2\text{H}_5$	$1,3 \cdot 10^{14}$	4,2
$\text{Cl} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCl} + \text{H}$	$9,5 \cdot 10^{13}$	23,0
$\text{H} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{H}_2 + \text{CH}_3$	$3,2 \cdot 10^{10}$	27,6
$\text{H} + \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_3$	$2 \cdot 10^{11}$	75,4
$\text{H} + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5$	$3,2 \cdot 10^{13}$	17,2
$\text{H} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_5$	$3,2 \cdot 10^{12}$	28,5
$\text{H} + \text{CCl}_4 \rightarrow \text{HCl} + \text{CCl}_3$	—	14,6
$\text{H} + \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{HCl} + \text{C}_2\text{H}_5$	—	33,5
$\text{H} + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Br}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	4,6
$\text{Na} + \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{CH}_3$	—	42,7
$\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NOCl} + \text{Cl}$	$4 \cdot 10^{12}$	85,0
$\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	41,8
$\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	29,3
$\text{OH} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3$	—	36,2
$\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5$	—	23,0

Третий порядок

Реакция	A, см ⁶ /(моль ² · с)	E, кДж/моль
$2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	5,44
$2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$	$4,6 \cdot 10^9$	15,5
$2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$	$1,0 \cdot 10^9$	— 4,7

Второй порядок

Реакция	Раствори- тель	A, см ³ (моль · с)	E, кДж моль
$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	H_2O	$1,4 \cdot 10^{10}$	46,9
$\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	То же	$1,9 \cdot 10^{10}$	47,3
$\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	« «	$2,1 \cdot 10^{10}$	47,7
$\text{CH}_2\text{ICOOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_2\text{OHCOOH} + \text{I}^-$	« «	$6,3 \cdot 10^{14}$	98,0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} + \text{OH}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{Br}^-$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$4,3 \cdot 10^{14}$	89,6
$\text{CH}_2\text{ICOOH} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{CH}_2\text{ClCOOH} + \text{I}^-$	H_2O	$7,9 \cdot 10^{14}$	95,8
$\text{CH}_2\text{ClCOOH} + \text{I}^- \rightarrow \text{CH}_2\text{ICOOH} + \text{Cl}^-$	То же	$1,3 \cdot 10^{13}$	82,9
$\text{CH}_3\text{Br} + \text{I}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{I} + \text{Br}^-$	« «	$1,7 \cdot 10^{13}$	76,6
$\text{CH}_3\text{Br} + \text{I}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{I} + \text{Br}^-$	CH_3OH	$2,3 \cdot 10^{13}$	76,2
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{Cl} + \text{I}^- \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{I} + \text{Cl}^-$	CH_3COCH_3	$1,0 \cdot 10^{15}$	93,0
$\text{CH}_3\text{I} + \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{I}^-$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	81,6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{I} + \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{I}^-$	То же	$1,5 \cdot 10^{14}$	86,6
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{I} + \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{I}^-$	« «	$1,5 \cdot 10^{13}$	83,3
$\text{C}_3\text{H}_7\text{I} + \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{I}^-$	« «	$3,5 \cdot 10^{14}$	94,2
$\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{I} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{NaI}$	« «	$1,5 \cdot 10^{14}$	86,2
$\text{C}_6\text{H}_5\text{N}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_3\text{I} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_3\text{N}^+ + \text{I}^-$	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	$2,2 \cdot 10^4$	49,0
$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N} + \text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}^+ + \text{Br}^-$	C_6H_6	$2,8 \cdot 10^2$	46,9
$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N} + \text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}^+ + \text{Br}^-$	CH_3COCH_3	$8,5 \cdot 10^3$	49,0
$\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_2\text{N} + \text{C}_2\text{H}_5\text{I} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_2\text{C}_2\text{H}_5\text{N}^+ + \text{I}^-$	То же	$2,7 \cdot 10^4$	57,4
$\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_2\text{N} + \text{CH}_3\text{I} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_3\text{N}^+ + \text{I}^-$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	$2,6 \cdot 10^4$	54,4
$\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_2\text{N} + \text{CH}_3\text{I} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_3\text{N}^+ + \text{I}^-$	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	$2,1 \cdot 10^4$	49,0
$\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_2\text{N} + \text{CH}_3\text{I} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)_3\text{N}^+ + \text{I}^-$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	$7,0 \cdot 10^6$	60,2
$\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$	H_2O	$1,5 \cdot 10^{13}$	38,2

132. Применимость уравнения Аррениуса к гомогенным реакциям между газами

$$k = A \exp \left(- \frac{E}{RT} \right) \left[\left(\frac{\text{см}^3}{\text{моль}} \right)^n \right]^{-1/\text{с}}$$

$\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2$			$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$			$2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$			$\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$		
$n \approx 1; A = 4,95 \cdot 10^{13};$ $E = 103,39 \text{ кДж/моль}$			$n = 2; A = 9,17 \cdot 10^{10};$ $E = 185,98 \text{ кДж/моль}$			$n = 3; A = 2,7 \cdot 10^4;$ $E = 5,44 \text{ кДж/моль}$			$n = 2; A = 4,03 \cdot 10^{12};$ $E = 138,91 \text{ кДж/моль}$		
T, K	$k_{\text{эксп}}$	$k_{\text{расч}}$	T, K	$k_{\text{эксп}}$	$k_{\text{расч}}$	T, K	$k_{\text{эксп}}$	$k_{\text{расч}}$	T, K	$k_{\text{эксп}}$	$k_{\text{расч}}$
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

$k = A \exp(-E/RT)$; $\Delta \lg k = \lg(k_6/k_p)$; $\Delta \lg A = \lg(A_6/A_p)$; $\Delta E = E_6 - E_p$; ϵ — диэлектрическая проницаемость растворителя.

Растворитель	ϵ	$(C_2H_5)_3N + C_2H_5I \rightarrow$ $\rightarrow (C_2H_5)_4NI$			$C_5H_5N + CH_3I \rightarrow$ $\rightarrow C_5H_6 \cdot CH_3NI$		
		$\Delta \lg k$	$\Delta \lg A$	$\Delta E/2,3RT$	$\Delta \lg k$	$\Delta \lg A$	$\Delta E/2,3RT$
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
Иодбензол	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	$R, \text{см}^3/\text{моль}$	$k \cdot 10^4$		
			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 электрооакцепторным (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 уравнений Гаммета:

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

При $R \approx 1$ получается уравнение Брауна

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

или его аналог для нуклеофильных реакций:

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

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 $\pm 15\%$.

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 ₂ H ₅	-0,05	-0,07	-0,07	—	-0,151	-0,295	-0,151
-C ₆ H 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 ₂ H 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 ₂ H 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 ₂ H 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	$t, ^\circ\text{C}$	$-\lg k_0$	ρ	Корреляционное уравнение	Примечания
$\text{X}-\text{COOH} \xrightleftharpoons{k} \text{X}-\text{COO}^- + \text{H}^+$	H_2O	25	4,203	1,000	1	Стандартная реакционная серия
$\text{X}-\text{OH} \xrightleftharpoons{k} \text{X}-\text{O}^- + \text{H}^+$	CH_3OH	25	6,514	1,537	1	
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	25	7,206	1,957	1	
	H_2O	25	9,847	2,113	3	
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (95%)	20	12,572	2,364	3	
$\text{X}-\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \xrightarrow{k} \text{X}-\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{OH}$	Ацетон (60%)	25	2,075	2,229	1	
		50	1,247	1,920	1	
$\text{X}-\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{OH}^- \xrightarrow{k} \text{X}-\text{COO}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Ацетон (60%)	25	2,557	2,265	1	
$\text{X}-\text{COCl} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{k} \text{X}-\text{COOH} + \text{HCl}$	Ацетон (95%)	25	4,200	1,782	1	
$\text{X}-\text{H} + \text{Br}_2 \xrightarrow{k} \text{X}-\text{Br} + \text{HBr}$	CH_3COOH (лед.)	25	—	— 12,4	2	
$\text{X}-\text{H} + \text{HNO}_3 \xrightarrow{k} \text{X}-\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	CH_3COOH (лед.)	25	—	— 6,377	2	$R = 0,9$

Реакция	Растворитель	$t, ^\circ\text{C}$	$-\lg k_0$	ρ	Корреляционное уравнение	Примечания
$* \left[(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}^+(\text{X}) \right]_2 \xrightarrow{k} \text{C}-\text{X} + \text{CH}_3\text{OH}$ $\rightarrow \left[(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{OCH}_3) \right]_2 \xrightarrow{k} \text{C}-\text{X} + \text{H}^+$	CH_3OH	25	2,93	0,94	2	
$* \left[(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}^+(\text{X}) \right]_2 \xrightarrow{k} \text{C}-\text{X} + \text{OH}^-$ $\rightarrow \left[(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{OH}) \right]_2 \xrightarrow{k} \text{C}-\text{X}$	H_2O	25	-0,337	0,46	2	$R = 0,72$
$\text{X}-\text{O}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{I} \xrightarrow{k} \text{X}-\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{I}^-$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	42,5	3,955	-0,994	3	
$\text{X}-\text{NH}_2 + \text{C}_6\text{H}_5\text{COCl} \xrightarrow{k} \text{X}-\text{NHCOC}_6\text{H}_5 + \text{HCl}$	C_6H_6	25	1,03	-2,07	3	
$\text{X}-\text{N}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_3\text{I} \xrightarrow{k} \text{X}-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 + \text{I}^-$	CH_3OH	62	1,940	-2,142	3	

* В этих реакциях участвует ион карбония $\text{R}_1-\text{C}-\text{R}_2$ (положительный заряд на атоме углерода).

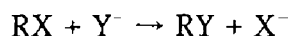
136. Константы скорости инверсии сахарозы в 0,05 М.серной кислоте в зависимости от состава раствора и температуры

Состав раствора		$k \cdot 10^6, \text{с}^{-1}$		
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}, \text{г/л}$	$\text{H}_2\text{O}, \text{моль/л}$	20 °С	30 °С	50 °С
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

$t, ^\circ\text{C}$	$k, \text{см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$	$k, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{мин})$	$t, ^\circ\text{C}$	$k, \text{см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$	$k, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{мин})$
Этилацетат $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$			Бутилацетат $\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$		
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 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5$			втор-Бутилацетат $\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$		
0	19	1,14	10	29,3	1,76
25	95,7	5,94	20	59	3,54
Пропилацетат $\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7$			трет-Бутилацетат $\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$		
10	35,8	2,15	10	0,615	0,0369
20	70,5	4,23	20	1,35	0,0810

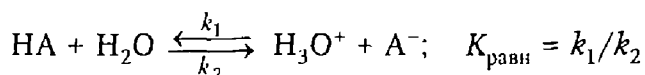
138. Константы скорости реакций нуклеофильного замещения



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
<i>Растворитель — вода</i>		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	7,21	7,21
$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	7,31	7,31
<i>изо</i> - $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{изо-}\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	6,80	6,80
$\text{C}_4\text{H}_9\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	7,32	7,32
<i>изо</i> - $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{изо-}\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	7,47	7,47
<i>втор</i> - $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{втор-}\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	6,37	6,37
<i>трет</i> - $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOCH}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{трет-}\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	6,88	6,88
$\text{CH}_3\text{Br} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{CH}_3\text{S}_2\text{O}_3^- + \text{Br}^-$	12,81	12,81
$\text{CH}_3\text{I} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{CH}_3\text{S}_2\text{O}_3^- + \text{I}^-$	12,33	12,33
$n\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{Br} + \text{Cl}^- \rightarrow n\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{Cl} + \text{Br}^-$	9,28	9,28
<i>Растворитель — ацетон</i>		
$\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl} + \text{I}^- \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{I} + \text{Cl}^-$	8,07	8,07
$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} + \text{I}^- \rightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{I} + \text{Cl}^-$	11,33	11,33

139. Константы скорости быстрых реакций между молекулами или между ионами



Кислота	$k_1, \text{с}^{-1}$	$k_2, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{с})$	$K_{\text{равн}}, \text{моль}/\text{л}$
<i>Растворитель – вода при 25 °С</i>			
H_2O	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$
NH_4^+	—	$3,0 \cdot 10^{10}$	—
CH_3COOH	$8,0 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
HSO_4^-	$1,5 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
$\text{C}(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$

*Раствор LiCl (1M) при 20 °С **

HCOOH	$1,88 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^{10}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$
CH_3COOH	$1,39 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^{10}$	$3,67 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$4,0 \cdot 10^6$	$2,84 \cdot 10^{10}$	$1,41 \cdot 10^{-4}$
<i>m</i> - $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$	$8,1 \cdot 10^6$	$4,44 \cdot 10^{10}$	$1,83 \cdot 10^{-4}$
<i>n</i> - $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$	$1,78 \cdot 10^6$	$3,10 \cdot 10^{10}$	$5,75 \cdot 10^{-5}$

* Погрешность констант скорости, измеренных в растворах LiCl, составляет $\pm 30\%$.

140. Константы скорости реакций в газовой и в жидкой фазах

Растворитель – вода при 25 °С

Реакция	$\lg k_{\text{газ}}$	$\lg k_{\text{H}_2\text{O}}$	$k_{\text{H}_2\text{O}}/k_{\text{газ}}$
$\text{H} \cdot + \text{CH}_3\text{OH}$	4,9	6,2	20
$\text{H} \cdot + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	6,3	7,2	8
$\text{H} \cdot + \text{CH}_3\text{COOCH}_3$	4,85	5,8	9
$\cdot \text{OH} + \text{H}_2$	6,6	7,6	10
$\cdot \text{OH} + \text{D}_2$	6,05	7,2	14
$\cdot \text{OH} + \text{CH}_2\text{O}$	7,7	9,0	20
$\cdot \text{OH} + \text{CH}_3\text{CHO}$	7,6	8,85	18
$\cdot \text{CH}_3 + \text{CH}_3\text{OH}$	1,7	2,34	4,4
$\cdot \text{CH}_3 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	2,14	2,77	4,3
$\text{H} \cdot + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2 \cdot + \text{M}$	10,71 (300 °С)	10,3	0,39
$\text{H} \cdot + \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5 \cdot$	10,43	9,50	0,12
$\cdot \text{CH}_3 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2 \cdot$	8,70	3,69 (85 °С)	$9,8 \cdot 10^{-6}$

Другие растворители

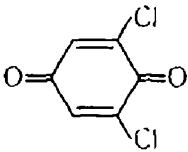
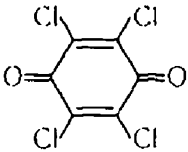
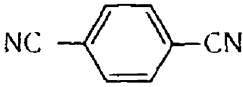
Реакция	Среда	$k \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Реакция	Среда	$k \cdot 10^5, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{с})$
Распад N_2O_5 , 20 °С	Газ	1,65	Димеризация циклопента- диена, 50 °С	Газ	0,62
	CCl_4	2,0		$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	2,0
	CHCl_3	2,8		CH_3COOH	1,0
	CH_3NO_2	1,55		CCl_4	1,6
				CS_2	0,7
				C_6H_6	1,0
				$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	2,2
				Циклопентадиен	0,7

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

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

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	$k, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{с})$
	$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$2,1 \cdot 10^3$
	$\text{CH}_2 = \text{CHCOOCH}_3$	$1,15 \cdot 10^3$
	$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$1,2 \cdot 10^4$
	$\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$	$1,6 \cdot 10^4$
	$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$1,05 \cdot 10^2$
	$\text{CH}_2 = \text{CHCOOCH}_3$	$2,0 \cdot 10^3$
	$\text{CH}_2 = (\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$6,9 \cdot 10^3$
	$\text{CH}_2 = \text{CHCOOCH}_3$	$9,8 \cdot 10^5$
	$\text{CH}_2 = (\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$4,1 \cdot 10^2$
	$\text{CH}_2 = \text{CHCOOCH}_3$	$9,2 \cdot 10^4$

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. ν — колебательное квантовое число возбужденного уровня. Звездочкой обозначено рассчитанное значение ν для CO.

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

144. Критическая фотохимическая энергия разложения молекул

D — энергия (теплота) диссоциации.

Вещество	λ , нм	$E_{\text{фх}} = N_A \cdot h\nu$, 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 $\lambda \cdot 10^3$, нм	Температура, °C	Выход
Br_2, H_2	HBr	Br_2	В газообразном состоянии	5000–5780		0–2
$\text{Br}_2, \text{C}_6\text{H}_{12}$	$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{Br}$	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	$(\text{C}_2\text{H}_2)_n$, полимер	C_2H_2	«	2150		9,2
CH_3CHO	H_2, CO	CH_3CHO	«	3130		2
CH_3COCH_3	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{CO}, \text{CH}_4$	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	$\text{N}_2, \text{O}_2, \text{NO}$	N_2O	«	Ал-искровой спектр		≈ 1
$\text{I}_2, \text{Fe}^{2+}$	$\text{I}_3^-, \text{Fe}^{3+}$	I_2	H_2O	3600–5790		≈ 1
$\text{I}_2, \text{HCOO}^-$	I^-, CO	I_2	То же	3450–3500		15–25
CH_3COOH	CH_4, CO_2	CH_3COOH	«	1850–2300		0,5
HClO	$\text{HCl}, \text{HClO}_3, \text{O}_2$	HClO	«	3660–4360		≈ 2
H_2O_2	$\text{H}_2\text{O}, \text{O}_2$	H_2O_2	«	2750–3660		20–500
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	$\text{H}_2\text{SO}_4, \text{O}_2$	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	«	2537	10–21	0,58
$\text{Cl}_2, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	$\text{HCl}, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$	Cl_2	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	4050	17–50	27
$\text{C}_2\text{H}_4\text{I}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4, \text{I}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{I}_2$	CCl_4	4360		25
Cl_2O	Cl_2, O_2	Cl_2O	CCl_4	4450		≈ 1
$\text{Br}_2, \text{C}_6\text{H}_6$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}, \text{HBr}$	Br_2	C_6H_6	3000–5500		0,4–0,9

146. Среднее время жизни электроновозбужденных атомов

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

147. Энтальпия образования радикалов

Радикал	$\Delta H_f^\circ, 298, \text{ кДж/моль}$	Радикал	$\Delta H_f^\circ, 298, \text{ кДж/моль}$	Радикал	$\Delta H_f^\circ, 298, \text{ кДж/моль}$
C	716,7	CH ₃ CO	~ 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 ₂ H ₅	107,5	CN	428,0	N	472,7
C ₆ H ₅	322,2	Br	111,9	NH	377,4
CH ₂ OH	~ 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	$E, \text{ кДж/моль}$
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	Е, кДж/моль	катализатор	Е, кДж/моль
C_2H_5OH	Медь	62,8	—	—
C_3H_7OH	«	50,6	Оксид алюминия	119,5
<i>изо</i> - 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 ₃ Cl	CH ₃ , Cl	349,8
CH ₂	CH, H	430,1	CH ₃ F	CH ₃ , F	468,6
CH ₃	CH ₂ , H	457,7	CH ₃ I	CH ₃ , I	234,3
CH ₄	CH ₃ , H	435,1	C ₆ H ₅ Br	C ₆ H ₅ , Br	297,1
C ₂ H ₂	C ₂ H, H	502,1	C ₆ H ₅ I	C ₆ H ₅ , I	265,3
	CH, CH	962,3	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ , OH	381,2
C ₂ H ₄	C ₂ H ₃ , H	443,5	CH ₃ NH ₂	CH ₃ , NH ₂	337,6
	CH ₂ , CH ₂	711,7	CH ₃ NO ₂	CH ₃ , NO ₂	256,5
C ₂ H ₆	C ₂ H ₅ , H	410,5	CH ₃ COOH	CH ₃ COO, H	461,5
C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ , H	457,3	H ₂ O	OH, H	498,7
CH ₃ Cl	CH ₂ Cl, H	425,5	H ₂ O ₂	OH, OH	213,8
CHCl ₃	CCl ₃ , H	401,7	NH	N, H	351,0
CH ₃ Br	CH ₂ Br, H	410,0	NH ₂	NH, H	383,7
HCHO	CHO, H	364,0	NH ₃	NH ₂ , H	438,1
CH ₃ OH	CH ₂ OH, H	399,2	N ₂ O ₃	NO, NO ₂	40,6
	CH ₃ , OH	383,3	N ₂ O ₄	NO ₂ , NO ₂	57,4
CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CHOH, H	377,4	N ₂ O	N ₂ , O	167,4
CH ₃ CHO	CH ₃ , CHO	338,9	O ₃	O ₂ , O	107,1
CH ₃ Br	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, см ³	Равновесное давление		Заполнение поверхности, $n \cdot 10^{-13}$ молекул на 1 см ²
	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

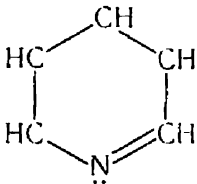
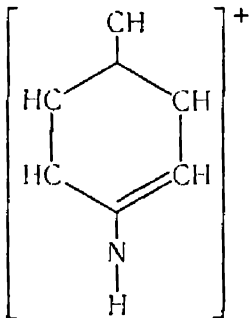
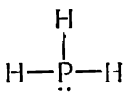
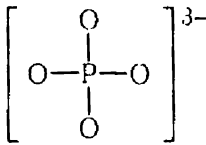
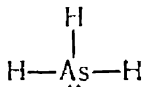
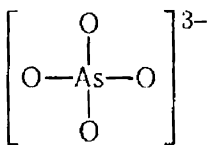
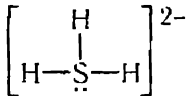
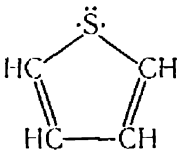
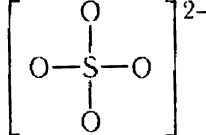
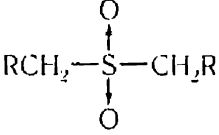
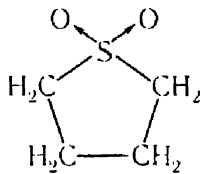
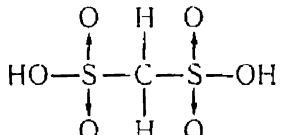
Давление примерно 100 Па.

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	нетоксичные
N	NH_3 	NH_4^+ 
P		
As		
S	 $\text{RCH}_2-\text{S}-\text{CH}_2\text{R}$  $:\ddot{\text{S}}=\text{C}=\ddot{\text{S}}:$	   

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., Моразевский 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., Каразевцев Г. В., Кондратьев В. И. и др. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. М.: Наука, 1974.
16. Гурвич Л. В., Хаткурузов 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., Шлеймовит 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. И., Трушников 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 ВИНТИ 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.: Metallurgizdat, 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. Герцикен 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., Сергент Е. Константы ионизации кислот и оснований. Л.: Химия, 1964.
42. Белл Р. Протон в химии. М.: Мир, 1977.
43. Глестон 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. Глестон 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. Селвуд 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 химических 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. Трепвел Б. Хемосорбция. М.: ИЛ, 1958.
77. Энтеллис 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 физико-химических 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.: Издательский центр, 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», ВИНТИ АН СССР (с 1953 г.).
РЖБиохим	Реферативный журнал «Биологическая химия». ВИНТИ 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 Δ Фундаментальные физические константы. М.: Изд-во стандартов, 1979.
5	3
6	6 Δ 7 Δ 9 Δ 45 Δ 59 Δ Гутман В. Химия координационных соединений в неводных растворах. М.: Мир. 1971.
7-8	3 Δ 7 Δ 59
9-13	3-7
14	12
15-17	6 Δ 9 Δ 11 Δ 45
18	8
19	3
20	23
21-26	20 Δ 26 Δ 29
27	3
28	3 Δ 21 Δ 22 Δ 23 Δ 89 Δ Тонков Е. Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. М.: Наука 1979
29 и 30	3
31-33	30 Δ 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 Δ 3
40 и 41	Вычислено по данным табл. 44
42	3 Δ 30
43, 45, 48	18
44	18 Δ 25 Δ 28 Δ 30 Δ 33 Δ 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 Δ 30 Δ 82 (интерполировано)
51	18 Δ Веннер Р. Термохимические расчеты М.: Издательский, 1950. Δ Kharasch M., Sher B. — J Phys. Chem., 1935, Bd. 29, S. 625. Δ Лебедева Н. Д. К анализу формулы Д. П. Коновалова. — Труды ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, вып. 34 (94), 1958
52	37
53	Kestin 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 Δ 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 Δ 49
66	Сборник физических констант/Под ред. Дорфман Я. Г. и Фриш С. Э. М.; Л.: ОНТИ, 1937
68 и 69	42 Δ Бродский А. И. Физическая химия. М.; Л.: Госхимиздат, 1948
70	5
71 и 72, 74	48 Δ 52
73	45 Δ 49 (интерполировано)
75	2
76	43
77	51 Δ Яцимирский К. Б., Васильев В. П. Константы нестойкости комплексных соединений. М.: Изд-во АН СССР. 1959. Δ Bjerrum J., Schwarzenbach G., Sillen L. Stability Constants of Metall-ion Complexes. London, 1957, 1958.
78.	Вычислено по данным табл. 44 и 79
79	46 Δ 49 Δ 50
80	58
81	45 Δ 47
82	См. литературу к табл. 68 и 69
83	84
84	Вычислено
85	Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1969
86	49 Δ Фрумкин А. Н. Потенциалы нулевого заряда. М.: Наука, 1979
87	47 Δ Tamamushi 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. Δ Jortner J., Noyes R. — J. Phys. Chem., 1966, v. 70, p. 770.
90	Quayle O. R. — Chem. Rev., 1953, v. 53, p. 439. Δ Sugden S. — J. Chem. Soc., 1924, v. 125
91	59
92–94	84
95	9
96	3
97 и 98	15
99	78
100	56 Δ 58

101	54 $\triangle$ 60
102	62
103	79
104	58
105	54 $\triangle$ Уитли П. Определение молекулярной структуры. М.: Мир, 1970. $\triangle$ Финг А., Гейтс П., Редклиф К. Применение длинноволновой инфракрасной спектроскопии в химии. М.: Мир 1973
106	54 $\triangle$ Barrow G. M. Introduction to Molecular Spectroscopy. N. Y.; L.: Internat. Student Edition.
107	54 $\triangle$ 60
108	16 $\triangle$ 91
109	56
110	60
111	Вычислены
112	6 $\triangle$ К. Наканиси. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965
113 и 114	6
115	64 $\triangle$ Басоло Ф., Пирсон Р. Механизмы неорганических реакций. М.: Мир, 1971
116	58
117	61
118	Керрингтон А., Мак-Лезлан Э. Магнитный резонанс и его применение в химии. М.: Мир, 1970
119	64 $\triangle$ 66 $\triangle$ 91
120–122	64 $\triangle$ 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. $\triangle$ Паулинг Л. Природа химической связи. М.; Л.: Госхимиздат, 1947
128	См. литературу к табл. 37
129	2
130 и 131	67 $\triangle$ Ингольд К. К. Механизм реакций и строение органических соединений. М.: ИЛ, 1959
132	84
133 и 134	77
135	68
136–138	69 $\triangle$ 72 $\triangle$ 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., Питтис Дж. Фотохимия. М.: Мир, 1968
146	Воюцкий В. В. Физика и химия элементарных химических процессов. М.: Наука, 1969
147, 150	15
148	75 $\triangle$ 84
149 и 150	84
152, 153 и 154	76

УКАЗАТЕЛЬ

	Табл.	Стр.
Адсорбция (и)		
водорода	153	223
газов	152	223
криптона	151	223
скорость	153	223
теплота	152	223
Активность		
колебаний атомов	109	181
оптическая	96	160
электролитов в растворе	74	135
Величина		
$2,303 RT/F$	84	149
M_n для вычисления ΔG_T	45	92
Водородный показатель (рН) стандартных растворов	70	128
Возбуждение колебательное	143	219
Волновые функции		
водородоподобных атомов	99	164
молекулярных орбиталей	102	168
Волновые числа		
вращательных спектров	105	175
двухатомных молекул	107	178
многоатомных молекул	110	183
тонкой структуры колебательно-вращательных полос	106	176
Вращательная постоянная	107	178
Вращательные спектры	105	175
Вращение плоскости поляризации удельное	96	160
Время жизни электроновозбужденных атомов	146	221
Вязкость		
воды	53	111
газов	52	111
жидкостей	54	112
растворителей органических	6	12
растворов водных	55	114
	56	115
Гибридизация	104	174
Группы симметрии	103	170
Давление насыщенного пара		
воды	21	28
критическое	42	66
металлов	23	29
над кристаллогидратами	27	37
неорганических соединений	24	30
органических соединений	24	30
парциальное компонентов раствора	20	26
ртути	22	29
Диаграммы		
молекулярные	102	168
фазовых равновесий	28	38
		231

	Табл.	Стр.
Диаманитная восприимчивость атомов и связей	117	196
Диаметры кинетические атомов и молекул	129	206
Дипольные моменты		
молекул		
газообразных веществ	16	24
жидких веществ	17	24
	95	158
растворителей органических	6	12
функциональных групп молекул	15	22
Диссоциация		
слабых кислот и оснований	75	136
твердых веществ	26	36
Диффузионный потенциал	82	148
Диэлектрическая проницаемость		
вакуума	2	10
жидкостей	95	158
растворителей органических	6	12
растворов	18	24
Длина связи, см. также	113	193
Межъядерное расстояние		
Донорное число органического растворителя	6	12
Единица (ы)		
атомная массы	3	11
измерения физических		
величин	1	9
соотношения	4	11
обозначения	1	9
Индекс свободной валентности	102	168
Индикаторы кислотноосновные	76	138
Интегральная теплота растворения		
иодида натрия в воднодиоксидных растворах	35	50
кислот и оснований в воде	32	48
солей в ацетоне, этиленгликоле, этаноле и метаноле	34	49
солей в воде	31	46
солей, образующих кристаллогидраты	33	48
Ионное произведение воды	67	126
Катализаторы		
влияние на энергию активации	148	221
отравление	154	224
реакций дегидратации и дегидрирования	149	222
Квантовые числа		
атомов	100	164
вращательные	105	175
	107	178
колебательные	107	178
	143	219
молекул	101	166
Квантовый выход фотохимических реакций	145	220
Кинетические диаметры атомов и молекул	129	206

	Табл.	Стр.
Кинетические параметры реакций	131	207
Кислоты и основания, области существования в различных растворителях	69	127
Классы кристаллов	119	198
Константы		
двухатомных молекул	107	178
диссоциации слабых кислот и оснований	75	136
кислотности	69	127
многоатомных молекул	110	183
нестойкости комплексных соединений	77	139
равновесия газовых реакций	41	63
реакций образования сложных веществ из простых	49	97
скорости быстрых реакций	139	217
скорости инверсии сахарозы	136	216
скорости продолжения и обрыва цепей при полимеризации	141	218
скорости реакций		
в газах	131	207
	132	211
в газовой и жидкой фазах	140	217
в растворах	131	207
Меншуткина	134	212
мономеров с ингибиторами	142	218
нуклеофильного замещения	138	216
скорости щелочного омыления сложных эфиров	137	216
Корреляционные уравнения	135	212
Корреляционный анализ	135	212
Коэффициент (ы)		
абсорбции	19	25
активности		
реальных газов	43	69
сильных электролитов	73	133
ангармоничности	107	178
взаимодействия колебания и вращения	107	178
диффузии		
в жидкостях	58	117
в твердых телах	60	119
газов в воздухе	57	117
гидратированного электрона	89	155
электролитов в водных растворах	59	117
осмотические	71	129
распределения	29	44
самодиффузии неэлектролитов	58	117
температурный		
э. д. с.	81	147
электрической проводимости	65	123
Кристаллическая решетка	119	198
параметры	120	200
постоянные	122	201
элементарные ячейки	122	201
энергия	128	205
Кристаллические вещества		
объем мольный	47	95
температура плавления	47	95

	Табл.	Стр.
Магнетон Бора	2	10
Магнетон ядерный	2	10
Магнитная проницаемость вакуума	2	10
Магнитный момент		
ионов и молекул	116	195
протона	2	10
угловой	100	164
электрона	2	10
Масса		
атомная, единица	3	11
приведенная молекулы	107	178
Межъядерное расстояние	107	178
	110	183
Молекулярные орбитали	101	166
по Хюккелю	102	168
Мольная доля	5	11
Молярность	5	11
средняя ионная	74	135
Молярность	5	11
Моменты инерции молекул	107	178
главные	108	180
Объем критический	42	66
Оптическая активность веществ	96	160
Орбитали		
атомные	101	166
	102	168
	104	174
молекулярные	101	166
	102	168
Осмотические коэффициенты	71	129
Параметры		
кинетические	131	207
критические	42	66
Парахоры атомов и связей	90	155
Перенапряжение при выделении водорода	88	153
Плотность		
воды	9	15
жидкостей	10	16
растворителей органических	6	12
растворов		
кислот и оснований	12	19
органических соединений	13	19
солей	11	18
электронная	102	168
Поверхностное натяжение		
жидкостей	14	20
растворителей органических	6	12
Показатель преломления		
жидкостей	7	14
растворителей органических	6	12
растворов	8	15

	Табл.	Стр.
Поляризация жидкостей	95	158
Поляризуемость молекул	92	156
Порядок связи	102	168
Постоянная (ые)		
вращательная	107	178
кристаллических решеток	122	201
Маделунга	127	204
основные физические	2	10
силовые	111	189
Потенциал (ы)		
влияние ПАВ	83	149
диффузионный	82	148
ионизации		
атомов	97	162
молекул и радикалов	98	163
металлов в жидком аммиаке	80	147
нулевого заряда	86	150
электродные в водных растворах	79	143
Радиусы		
атомов и ионов в кристаллах	123	202
вандерваальсовы	124	204
ионов в растворах	125	204
ковалентные	123	202
первый Бора	2	10
«термохимические»	126	204
Растворимость		
газов в воде	19	25
произведение	78	142
растворителей органических в воде	6	12
Растворители органические, свойства	6	12
Растворы стандартные	70	128
Рефракция		
атомная	91	156
ионов в растворах	94	157
парциальная мольная растворов солей	93	157
Симметрия (и)		
кристаллов (пространственная)	119	198
молекул (точечная)	103	170
	104	174
	110	183
операции	103	170
реагентов и продуктов реакции	130	206
элементы	103	170
Спектр		
вращательный	105	175
инфракрасный, активность колебаний	109	181
колебательно-вращательный	106	176
комбинационного рассеяния, активность колебаний	109	181
микроволновой	105	175
Сродство к электрону		
атомов	97	162

	Табл.	Стр.
Сродство к электрону молекул и радикалов	98	163
Степень вырождения	110	183
ионности связи	115	194
Структура адсорбирующихся веществ	154	224
Температура		
возгонки	24	30
	25	36
диссоциации твердых веществ	26	36
кипения	24	30
критическая	42	66
плавления	24	30
характеристическая		
кристаллических веществ	47	95
многоатомных молекул	110	183
Температурный коэффициент		
показателя преломления	7	14
э. д. с.	81	147
электрической проводимости	65	123
Тепловой эффект (см. Энтальпия, Теплота)		
Теплоемкость		
истинная в интервале 10–298 К	39	54
коэффициенты уравнений	44	72
средняя	40	56
удельная растворов	38	53
эмпирические зависимости	51	108
Теплота (ы)		
испарения	51	108
образования радикалов (см. Энтальпия образования радикалов)	147	221
плавления	51	108
растворения (см. Интегральная теплота растворения)		
сгорания	30	45
	51	108
смешения жидкостей	36	51
Термодинамические свойства		
ионов	44	72
простых веществ	44	72
соединений	44	72
функции		
гидратированного электрона	89	155
кристаллических веществ (по Дебаю)	48	96
линейного гармонического осциллятора (по Эйнштейну)	46	93
Термы		
атомов	100	164
молекул	101	166
	107	178
Ток обмена	87	151

	Табл.	Стр.
Угол между связями	104	174
	114	194
Уравнение (я)		
Аррениуса		
отношение параметров	133	212
параметры	131	207
	132	211
применимость	132	211
корреляционные	135	212
Физические постоянные, значения и обозначения	2	10
Фотохимические реакции		
квантовый выход	145	220
критическая энергия разложения	144	219
Функции кислотности	68	126
Химический сдвиг протонов	118	197
Хиральность	96	160
Частоты характеристические	112	190
Числа переноса катионов	64	122
Электрическая проводимость		
молярная	89	155
гидратированного электрона	89	155
ионов предельная	65	123
растворов слабых кислот и оснований	63	120
растворов электролитов	63	120
температурный коэффициент	65	123
удельная		
воды	61	119
растворителей органических	6	12
растворов KCl	62	119
Электродный потенциал		
в водном растворе	79	143
в жидком растворе	80	147
Электрон(ы)		
гидратированный	89	155
масса покоя	2	10
работа выхода	85	149
Электроотрицательность атомов	97	162
Энергия		
активации		
в отсутствии и в присутствии катализатора	148	221
гомогенных реакций	131	207
	132	211
каталических реакций	149	222
Гиббса	44	72
приведенная	50	102

диссоциации молекул и радикалов	150
Энергия	
ионизации	
атомов	97
молекул и радикалов	150
кристаллических решеток	128
разрыва связей	150
фотохимическая критическая	144
Энтальпия, изменение при	
испарении	51
образовании ионов	44
образовании радикалов	147
образовании сложных веществ из простых	50
плавлении	51
сгорании	30
сольватации солей	51
сольватации солей	37
Энтропия	
ионов	44
стандартные значения	44
эмпирические зависимости	51

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

**КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН**

Ответственный за выпуск: *В. Н. Шакиров*
Редактор: *Е. В. Чайкун*
Техническое редактирование: *Е. В. Чайкун*
Корректурa: *А. М. Пономарева, В. Н. Шакиров*
Компьютерный набор: *Т. Ю. Татьяничева*
Компьютерная верстка: *Е. А. Шашкова*
Рисунки и оформление обл.: *А. В. Гангурин*

Лицензия ЛР 040420 от 24.10.97
Подписано в печать 10.10.03. Формат 60×88¹/₁₆.
Гарнитура «OstavaC». Печать офсетная. Усл. печ. л. 15.
Доп. тираж 4000 экз. Заказ № 377
Издательство «Иван Федоров». 191126, Санкт-Петербург, Звенигородская, 11.
Телефакс 8(812) 320-92-18
Издание осуществлено при участии ЗАО «П-2»
Отпечатано с готовых диапозитивов
в ФГУП ордена Трудового Красного Знамени «Техническая книга»
Министерства Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
198005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИВАН ФЕДОРОВ»
ТОРГОВЫЙ ДОМ «МЕДНЫЙ ВСАДНИК»
ПРЕДСТАВЛЯЮТ
НОВУЮ УЧЕБНУЮ ЛИТЕРАТУРУ**

1. Демидович Б. П., Моденов В. М. «Дифференциальные уравнения». Учебное пособие по курсу дифференциальных уравнений, рассчитанное на 1–2 семестра, написанное на основе курса, читавшегося на химическом факультете МГУ и в Артиллерийской академии. 320 с. Переплет.

2. Беляев Н. М. и др. «Сборник задач по сопротивлению материалов». Сборник представляет собой исправленное и дополненное издание знаменитого задачника, выходившего в 1972 г. под редакцией В. К. Качурина. 464 с. Переплет.

3. Миролобов А. В. и др. «Электронный бизнес». Учебник для студентов, обучающихся по специальностям «Менеджмент и маркетинг» и «Международный бизнес». В учебнике изложены основы организации электронного бизнеса и практика его ведения в России и за рубежом.

4. Петров А. А. и др. «Органическая химия». 6-е издание известного учебника для химико-технологических вузов. В настоящем издании исправлен ряд ошибок. 624 с. Переплет.

5. Романов М. Ф. «Математические модели в экологии» Учебное пособие ориентировано на студентов и специалистов экологов, ранее не сталкивавшихся с математическими моделями. Книга снабжена значительным количеством примеров, иллюстрирующих излагаемую теорию.

Оптовым покупателям предоставляются скидки

Имеется также в наличии учебник
**В. З. Васильев. Краткий курс сопротивления материалов
с основами теории упругости. Цена 55 рублей.**

По вопросам приобретения книги обращайтесь
в ближайший филиал торгового дома «Медный всадник»

193029 г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 95, к. 2.
тел./факс (812) 320-9135, 320-9136, 320-9137, e-mail: mvs@mail.wplus.net

Филиал ТД «Медный всадник»
Москва, ул. Мал. Тульская, 25
(095) 737-72-26, 737-72-20
e-mail: mvsadnik@mail.ru

Филиал ТД «Медный всадник»
344069 г. Ростов-на-Дону,
Таганрогское шоссе, д. 106
(8632) 958-267, 958-266
e-mail: mvsadnik@aanet.ru

Филиал ТД «Медный всадник»
620028 г. Екатеринбург,
ул. Нагорная, 12
(3432) 46-91-78, 46-91 79

