

1. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

1.1. Атом

В задачах 1–15 по заданным координатам (период, группа) найдите элемент в Периодической системе, составьте полную электронную формулу атома, изобразите распределение электронов по энергетическим ячейкам, укажите, диамагнитными или парамагнитными свойствами обладают нейтральные атомы данного элемента.

№ п/п	Пери- од	Группа	№ п/п	Пери- од	Группа	№ п/п	Пери- од	Группа
1	4	9 (VIIIB)	6	4	11 (IIB)	11	4	5 (VB)
2	5	15 (VA)	7	4	17 (VIIA)	12	4	14 (IVA)
3	3	16 (VIA)	8	5	1 (IA)	13	4	4 (IVB)
4	4	5 (VB)	9	4	12 (IIB)	14	3	18 (VIIIA)
5	5	2 (IA)	10	4	7 (VII)B	15	5	6 (VIB)

В задачах 16–30 укажите значения квантовых чисел n , l и m_l для электронов внешнего энергетического уровня в атомах элементов с порядковыми номерами Z . Составьте полную электронную формулу атома элемента, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Z								
16	11	19	23	22	17	25	30	28	31
17	14	20	33	23	12	26	25	29	37
18	20	21	15	24	7	27	35	30	24

В задачах 31–44 объясните изменение первой энергии ионизации в ряду атомов элементов. Составьте полные электронные формулы атомов элементов, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Первая энергия ионизации, эВ				Первая энергия ионизации, эВ		
31	Li 5,39	Na 5,14	K 4,34	38	Li 5,39	Be 9,32	B 8,296
32	Be 9,32	Mg 7,64	Ca 6,11	39	C 11,26	N 14,54	O 13,61
33	B 8,29	Al 5,98	Ga 6,00	40	K 4,34	Ca 6,11	Sc 6,56
34	C 11,26	Si 8,15	Ge 7,88	41	Na 5,14	Mg 7,64	Al 5,98
35	Cu 7,72	Ag 7,57	Au 9,22	42	B 8,29	C 11,26	N 14,54
36	Zn 9,39	Cd 8,99	Hg 10,34	43	O 13,61	F 17,42	Ne 21,56
37	N 14,54	P 10,55	As 9,81	44	Al 5,98	Si 8,15	P 10,55

В задачах 45–58 объясните изменение радиуса в ряду атомов элементов. Составьте полные электронные формулы атомов элементов, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м				Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м		
45	Li 1,55	Na 1,89	K 2,36	50	Fe 1,26	Co 1,25	Ni 1,24
46	Be 1,13	Mg 1,60	Ca 1,97	51	N 0,71	P 1,30	As 1,48
47	B 0,91	Al 1,42	Ga 1,39	52	Li 1,55	Be 1,13	B 0,91
48	C 0,77	Si 1,34	Ge 1,39	53	C 0,77	N 0,75	O 0,73
49	Sc 1,64	Ti 1,46	V 1,34	54	K 2,36	Ca 1,97	Sc 1,64

Окончание таблицы

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м				Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м		
55	Na 1,89	Mg 1,60	Al 1,43	57	O 0,73	F 0,72	Ne 0,70
56	B 0,81	C 0,77	N 0,75	58	Al 1,43	Si 1,34	P 1,30

В задачах 59–82 составьте полную электронную формулу атома элемента в основном и возбужденном состояниях, покажите распределение электронов по квантовым ячейкам, объясните, диамагнитными или paramagnитными свойствами обладают нейтральные атомы данного элемента в основном состоянии. Изобразите орбитали внешнего энергетического уровня атома в основном состоянии.

№ п/п	Элемент	№ п/п	Элемент	№ п/п	Элемент	№ п/п	Элемент
59	Mg	65	Al	71	Ge	77	Fe
60	Ga	66	Sc	72	S	78	Co
61	Ti	67	V	73	Mn	79	Cu
62	P	68	Sn	74	Zr	80	Br
63	Cl	69	Se	75	Ca	81	As
64	Si	70	Zn	76	Cr	82	Ni

1.2. Молекула

В задачах 83–88, используя метод молекулярных орбиталей, объясните различную длину связи в молекулах и молекулярных ионах.

№ п/п	Моле- кула	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м	Ион	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м	№ п/п	Моле- кула	Длина связи, $d \cdot 10^{12}$ м	Ион	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м
83	Cl ₂	199	Cl ₂ ⁺	189	86	C ₂	124	C ₂ ⁺	146
84	P ₂	189	P ₂ ⁺	199	87	O ₂	121	O ₂ ⁻	134
85	C ₂	124	C ₂ ⁻	127	88	H ₂	74	H ₂ ⁺	108

В задачах 89–94, используя метод молекулярных орбиталей, объясните различные значения энергии связи E в частицах.

№ п/п	Частица	E , кДж/моль	Частица	E , кДж/моль
89	P_2	489	P_2^+	430
90	S_2^+	522	S_2	426
91	O_2^-	397	O_2^+	646
92	N_2^+	846	N_2	945
93	Cl_2^-	124	Cl_2^+	392
94	I_2	153	I_2^+	254

В задачах 95–100, используя метод молекулярных орбиталей, изобразите энергетические диаграммы молекулы и молекулярного иона, определите порядок связи, сравните прочность связи, укажите характер магнитных свойств частиц.

№ п/п	Молекула	Ион	№ п/п	Молекула	Ион
95	O_2	O_2^+	98	N_2	N_2^{2-}
96	C_2	C_2^-	99	F_2	F_2^+
97	P_2	P_2^+	100	Be_2	Be_2^-

В задачах 101–109, используя метод молекулярных орбиталей, изобразите энергетические диаграммы молекул, определите порядок связи, сравните прочность связи, укажите характер магнитных свойств частиц.

№ п/п	Молекулы		№ п/п	Молекулы		№ п/п	Молекулы	
101	Al_2	F_2	104	C_2	Cl_2	107	N_2	Mg_2
102	B_2	Na_2	105	Be_2	S_2	108	O_2	Na_2
103	Li_2	P_2	106	Mg_2	Si_2	109	F_2	Al_2

В задачах 110–161 объясните экспериментально установленное строение молекулы или иона, используя метод валентных связей. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома, изобразите перекрывание орбиталей и определите, полярна ли эта частица.

Внимание! Тип молекулы в общем виде записывается как AB_mE_n , где А — центральный атом, В — концевые атомы, Е — неподеленные пары электронов. Наличие неподеленной пары электронов в молекуле обозначено как B^* . В случае тригональной бипирамиды (sp^3d -гибридизация) неподеленные пары электронов располагаются в экваториальной плоскости, у октаэдра (sp^3d^2 -гибридизация) — в аксиальных положениях.

№ п/п	Частица	Геометрическая форма частицы	Валентные углы, град	
110	BeCl_2	Линейная	Cl–Be–Cl	180
111	COS	»	O–C–S	180
112	CNF	»	N–C–F	180
113	HCN	»	H–C–N	180
114	NCS^-	»	N–C–S	180
115	OCN^-	»	O–C–N	180
116	SnO_2	»	O–Sn–O	180
117	AlBr_3	Плоский треугольник	Br–Al–Br	120
118	COCl_2	»	Cl–C–Cl Cl–C–O	111 124
119	BCl_3	»	Cl–B–Cl	120
120	GaCl_3	»	Cl–Ga–Cl	120
121	NOF	Угловая	O–N–F	110
122	SiF_2	»	F–Si–F	101
123	GeCl_2	»	Cl–Ge–Cl	107
124	PbF_2	»	F–Pb–F	90
125	$[\text{BeF}_4]^{2-}$	Тетраэдр	F–Be–F	109,5
126	$[\text{AlH}_4]^-$	»	H–Al–H	109,5
127	$[\text{GaH}_4]^-$	»	H–Ga–H	109,5
128	GeF_4	»	F–Ge–F	109,5
129	PH_4^+	»	H–P–H	109,5
130	SiBr_4	»	Br–Si–Br	109,5
131	H_3O^+	Тригональная пирамида	H–O–H	109
132	H_3S^+	То же	H–S–H	96
133	NHF_2	»	H–N–F F–N–F	100 103
134	AsCl_3	»	Cl–As–Cl	99
135	PCl_2F	»	Cl–P–Cl Cl–P–F	104 102
136	SbCl_3	»	Cl–Sb–Cl	97
137	$[\text{ClF}_2]^+$	Угловая	F–Cl–F	100

Окончание таблицы

№ п/п	Частица	Геометрическая форма частицы	Валентные углы, град	
138	HOF	Угловая	H–O–F	97
139	OF ₂	»	F–O–F	103
140	NH ₂ ⁻	»	H–N–H	104
141	SCl ₂	»	Cl–S–Cl	103
142	PCl ₅	Тригональная бипирамида	Cl–P–Cl Cl–P–Cl [*]	120 90
143	AsF ₅	То же	F–As–F F–As–F [*]	120 90
144	SF ₄	Искаженный тетраэдр	F–S–F F–S–F [*]	104 89
145	TeCl ₄	То же	Cl–Te–Cl Cl–Te–Cl [*]	120 93
146	BrF ₃	T-конфигурация	F–Br–F [*] F [*] –Br–F [*]	86 188
147	[XeF ₃] ⁺	»	F–Xe–F [*] F [*] –Xe–F [*]	80–82 162
148	XeF ₂	Линейная	F [*] –X–F [*]	180
149	[IBrCl] ⁻	»	Br [*] –I–Cl [*]	180
150	SClF ₅	Октаэдр	F–S–F Cl–S–F	90 90
151	SeF ₆	»	F–Se–F	90
152	[AlF ₆] ³⁻	»	F–Al–F	90
153	[SiF ₆] ²⁻	»	F–Si–F	90
154	[GeCl ₆] ²⁻	»	Cl–Ge–Cl	90
155	[AsF ₆] ⁻	»	F–As–F	90
156	ClF ₅	Квадратная пирамида	F–Cl–F F–Cl–F [*]	90 86
157	BrF ₅	То же	F–Br–F F–Br–F [*]	90 85
158	[SbF ₅] ²⁻	»	F–Sb–F F–Sb–F [*]	90 90
159	[BrF ₄] ⁻	Плоский квадрат	F–Br–F	90
160	[ICl ₄] ⁻	»	Cl–I–Cl	90
161	XeF ₄	»	F–Xe–F	90

В задачах 162–179 приведены частицы, имеющие одинаковую геометрическую форму. Используя метод валентных связей (см. примечание к задачам 110–161), объясните, одинаковый ли тип гибридизации орбиталей имеют центральные атомы частиц, имеются ли неподеленные электронные пары, оказывающие влияние на форму частицы. Приведите схему перекрывания атомных орбиталей.

№ п/п	Части- ца 1	Валентные углы, град		Части- ца 2	Валентные углы, град		Форма частиц
162	BeF_2	F–Be–F	180	KrF_2	$\text{F}^*–\text{Kr}–\text{F}^*$	180	Линей- ная
163	CO_2	O–C–O	180	XeF_2	$\text{F}^*–\text{Xe}–\text{F}^*$	180	»
164	CNCl	N–C–Cl	180	$[\text{ICl}_2]^-$	$\text{Cl}–\text{I}–\text{Cl}^*$	180	»
165	NCS^-	N–C–S	180	$[\text{IBr}_2]^-$	$\text{Br}–\text{I}–\text{Br}^*$	180	»
166	NOF	O–N–F	110	$[\text{ClF}_2]^+$	F–Cl–F	100	Угловая
167	GeCl_2	Cl–Ge–Cl	107	H_2O	H–O–H	105	»
168	SnF_2	F–Sn–F	94	NH_2^-	H–N–H	104	»
169	PbBr_2	Br–Pb–Br	95	HOF	H–O–F	97	»
170	NOCl	O–N–Cl	113	SCl_2	Cl–S–Cl	103	»
171	PbF_2	F–Pb–F	90	$[\text{BrF}_2]^+$	F–Br–F	94	»
172	NOBr	O–N–Br	115	H_2S	H–S–H	92	»
173	SiF_2	F–Si–F	101	OF_2	F–O–F	103	»
174	SnF_2	F–Sn–F	94	H_2Se	H–Se–H	91	»
175	PbCl_2	Cl–Pb–Cl	96	H_2Te	H–Te–H	90	»
176	$[\text{BH}_4]^-$	H–B–H	109,5	SF_4	F–S–F F–S–F [*]	104 89	Тетраэдр
177	Cl_4	I–C–I	109,5	TeCl_4	Cl–Te–Cl Cl–Te–Cl [*]	120 93	»
178	SiF_4	F–Si–F	109,5	SF_4	F–S–F F–S–F [*]	104 89	»
179	SnH_4	H–Sn–H	109,5	TeCl_4	Cl–Te–Cl Cl–Te–Cl [*]	120 93	»

В задачах 180–205 приведены частицы, состоящие из одного и того же количества атомов. Используя метод валентных связей, укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома, изобразите геометрическое строение указанных частиц (см. примечание к задачам 110–161).

№ п/п	Частица 1	Валентные углы, град		Частица 2	Валентные углы, град	
180	BeCl ₂	Cl–B–Cl	180	NOBr	O–N–Br	115
181	CS ₂	S–C–S	180	GeCl ₂	Cl–Ge–Cl	107
182	HCN	H–C–N	180	SnI ₂	I–Sn–I	95
183	CNBr	N–C–Br	180	PbF ₂	F–Pb–F	90
184	SnO ₂	O–Sn–O	180	[ClF ₂] ⁺	F–Cl–F	100
185	OCN ⁻	O–C–N	180	OF ₂	F–O–F	103
186	BeBr ₂	Br–Be–Br	180	SCl ₂	Cl–S–Cl	103
187	COS	O–C–S	180	KrF ₂	F [*] –Kr–F [*]	180
188	CNCl	N–C–Cl	180	XeF ₂	F [*] –Xe–F [*]	180
189	CNI	N–C–I	180	[IBr ₂] ⁻	Br [*] –I–Br [*]	180
190	BeF ₂	F–Be–F	180	[IBrCl] ⁻	Br [*] –I–Cl [*]	180
191	BeI ₂	I–Be–I	180	KrF ₂	F [*] –Kr–F [*]	180
192	AlCl ₃	Cl–Al–Cl	120	H ₃ O ⁺	H–O–H	109
193	COF ₂	F–C–F	108	NHF ₂	H–N–F	100
		F–C–O	126		F–N–F	103
194	BBr ₃	Br–B–Br	120	AsF ₃	F–As–F	96
195	GaCl ₃	Cl–Ga–Cl	120	PCl ₃	Cl–P–Cl	100
196	CSCl ₂	Cl–C–Cl	111	SbF ₃	F–Sb–F	95
		Cl–C–S	124			
197	GaBr ₃	Br–Ga–Br	120	BrF ₃	F–Br–F [*]	86
					F [*] –Br–F [*]	188
198	AlF ₃	F–Al–F	120	[XeF ₃] ⁺	F–Xe–F [*]	80–82
					F [*] –Xe–F [*]	162
199	[BeF ₄] ²⁻	F–Be–F	109,5	SF ₄	F–S–F	104
					F–S–F [*]	89
200	[AlCl ₄] ⁻	Cl–Al–Cl	109,5	[BrF ₄] ⁻	F–Br–F	90
201	SiCl ₄	Cl–Si–Cl	109,5	[ICl ₄] ⁻	Cl–I–Cl	90
202	SnF ₄	F–Sn–F	109,5	XeF ₄	F–Xe–F	90
203	PF ₅	F–P–F	120	ClF ₅	F–Cl–F	90
		F–P–F [*]	90		F–Cl–F [*]	86
204	AsF ₅	F–As–F	120	[XeF ₅] ⁺	F–Xe–F	≈90
		F–As–F [*]	90		F–Xe–F [*]	79–83
205	PCl ₅	Cl–P–Cl	120	[SbF ₅] ²⁻	F–Sb–F	90
		Cl–P–Cl [*]	90		F–Sb–F [*]	90

1.3. Кристалл

В задачах 206–225 определите, используя приведенные ниже экспериментальные данные, структурный тип кристаллической решетки, в которой кристаллизуется данный металл (гранецентрированная кубическая, объемно-центрированная кубическая или типа алмаза), рассчитайте эффективный радиус атома металла, изобразите элементарную ячейку, укажите координационное число.

№ п/п	Металл	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Металл	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
206	Cr	7,19	2,885	216	Cu	8,90	3,6153
207	V	6,11	3,039	217	Sn	5,75	6,46
208	W	19,3	3,164	218	Nb	8,57	3,296
209	Rb	1,53	5,60	219	Ta	16,65	3,296
210	Pb	11,35	4,949	220	α -Fe	7,87	2,8665
211	Au	19,32	4,0786	221	Mo	10,22	3,1473
212	Na	0,97	4,20	222	Cs	1,87	6,0
213	Ge	5,32	5,65	223	Ba	3,59	5,02
214	Li	0,53	3,50	224	γ -Fe	8,14	3,64
215	Pt	21,45	3,93	225	Al	2,70	4,0495

В задачах 226–245 определите, используя приведенные ниже экспериментальные данные, структурный тип кристаллической решетки, в которой кристаллизуется данное вещество (структурный тип NaCl или CsCl), рассчитайте ионный радиус катиона, изобразите элементарную ячейку, укажите координационное число катиона и аниона.

№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
226	AgCl	1,81	5,56	5,55	233	RbF	1,33	3,87	5,64
227	KF	1,33	249	5,34	234	CsI	2,19	4,51	4,57
228	PbS	1,85	7,50	5,92	235	RbCl	1,81	2,76	6,55
229	KCl	1,81	1,98	629	236	LiF	1,33	2,63	4,03
230	AgF	1,33	5,85	524	237	TlCl	1,81	7,00	3,86
231	CsBr	1,96	4,44	4,3	238	CaS	1,85	2,61	5,68
232	LiCl	1,81	2,07	5,14	239	MnO	1,40	544	4,44

Окончание таблицы

№ п/п	Соеди- нение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Соеди- нение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
240	CdO	1,40	8,15	4,70	243	TiO	1,40	5,52	4,25
241	CsH	1,36	3,42	6,39	244	MgS	1,85	2,66	5,20
242	TlI	2,19	7,29	4,21	245	TIBr	1,95	7,56	3,98

В задачах 246–265 определите структурный тип соединения (CsCl, NaCl или ZnS) по приведенным ниже экспериментальным данным, изобразите элементарную ячейку, укажите координационные числа для катиона и аниона.

№ п/п	Соеди- нение	$R_{\text{кат}} \times 10^{10}$, м	$R_{\text{анион}} \times 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	№ п/п	Соеди- нение	$R_{\text{кат}} \times 10^{10}$, м	$R_{\text{анион}} \times 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³
246	CuBr	0,60	1,95	5,83	256	NiAl	1,35	1,25	6,05
247	AuZn	1,42	1,32	13,81	257	RbBr	1,47	1,95	3,40
248	MnS	0,80	1,85	3,99	258	CdTe	0,78	2,20	6,36
249	AlP	1,30	1,0	2,40	259	NaF	0,97	1,33	2,56
250	SnSb	1,90	1,50	6,90	260	CuBe	1,24	1,07	6,09
251	CoAl	1,35	1,25	6,12	261	CdS	0,78	1,85	4,82
252	SiC	1,10	0,70	3,27	262	CoO	0,72	1,40	6,43
253	CuPd	1,24	1,34	10,80	263	ZnTe	1,32	2,20	6,34
254	SrTe	1,12	2,20	4,84	264	NbN	0,72	1,46	8,40
255	CuCl	0,60	1,81	5,82	265	MgO	0,66	1,40	3,58

В задачах 266–285 определите формулу соединения, состоящего из указанных элементов, кристаллизующегося в кубической сингонии с известным числом формульных единиц Z в элементарной ячейке. Число атомов в формуле целое.

№ п/п	Эле- менты	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z	№ п/п	Эле- менты	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z
266	K, Ta, O	7,01	3,99	1	269	Fe, O	5,17	8,41	8
267	Al, Au	7,65	6,01	4	270	La, O	5,82	11,42	16
268	C, Si	3,22	4,37	4	271	Ce, B	4,73	4,16	1

№ п/п	Эле- менты	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z	№ п/п	Эле- менты	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z
272	K, Pd, Cl	2,74	9,88	4	279	Mg, Ce	3,05	7,74	4
273	Mg, Sn	3,57	6,78	4	280	Mg, N	2,71	9,97	16
274	Al, Sb	4,33	6,11	4	281	Ni, S	4,70	9,48	8
275	Me, Hg	9,09	3,45	1	282	Te, Ru	9,15	6,37	4
276	Fe, Mn, O	4,80	8,61	8	283	Mn, Cr, S	3,72	10,08	8
277	K, Cl, O	2,52	7,14	4	284	Fe, Al	6,59	5,95	4
278	Ti, Br	3,41	11,27	8	285	N, V	6,13	4,14	4

2. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

В задачах 286–369 подберите коэффициенты к уравнениям окислительно-восстановительных реакций, используя метод электронно-ионного баланса (метод полуреакций), укажите окислитель и восстановитель.

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
286	$\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
287	$\text{MnO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
288	$\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
289	$\text{Au} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
290	$\text{Si} + \text{HNO}_3 + \text{HF} \rightarrow \text{H}_2[\text{SiF}_6] + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
291	$\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$
292	$\text{KClO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
293	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
294	$\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{O}_2$
295	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
296	$\text{KMnO}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
297	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
298	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{O}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
299	$\text{Br}_2 + \text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
300	$\text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
301	$\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
302	$\text{Fe} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
303	$\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
304	$\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
305	$\text{KBrO}_3 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
306	$\text{HIO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HI} + \text{H}_3\text{PO}_4$
307	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$
308	$\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KOH}$
309	$\text{HNO}_3 + \text{PbS}\downarrow + \rightarrow \text{NO} + \text{S} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
310	$\text{HNO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{H}_3\text{PO}_4$
311	$\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
312	$\text{HNO}_3 + \text{Cu}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
313	$\text{HNO}_3 + \text{Ca} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
314	$\text{NaMnO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
315	$\text{KMnO}_4 + \text{HBr} \rightarrow \text{MnBr}_2 + \text{Br}_2 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$
316	$\text{HClO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_3\text{PO}_4$
317	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
318	$\text{Br}_2 + \text{NaCrO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaBr} + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
319	$\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
320	$\text{KClO}_3 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
321	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
322	$\text{CrO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
323	$\text{KMnO}_4 + \text{Cd} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CdSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
324	$\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
325	$\text{PbO}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{HMnO}_4 + \text{PbSO}_4\downarrow + \text{H}_2\text{O}$
326	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
327	$\text{KMnO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
328	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
329	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2[\text{HPO}_3] + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
330	$\text{PbO}_2\downarrow + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4\downarrow + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
331	$\text{HBrO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$
332	$\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
333	$\text{KMnO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
334	$Mg + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + H_2S + H_2O$
335	$KClO_3 + HCl \rightarrow Cl_2 + KCl + H_2O$
336	$HClO + I_2 + H_2O \rightarrow HCl + HIO_3$
337	$NaBrO_3 + NaBr + H_2SO_4 \rightarrow Br_2 + Na_2SO_4 + H_2O$
338	$Al + H_2O + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] + H_2$
339	$KNO_2 + KI + H_2SO_4 \rightarrow NO + I_2 + K_2SO_4 + H_2O$
340	$K_2Cr_2O_7 + SnCl_2 + HCl \rightarrow CrCl_3 + SnCl_4 + KCl + H_2O$
341	$KMnO_4 + K_2SO_3 + NaOH \rightarrow K_2MnO_4 + Na_2MnO_4 + K_2SO_4 + H_2O$
342	$KMnO_4 + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + O_2 + KOH + H_2O$
343	$H_2O_2 + CrCl_3 + NaOH \rightarrow Na_2CrO_4 + NaCl + H_2O$
344	$H_2O_2 + Hg(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow O_2 + Hg + NaNO_3 + H_2O$
345	$HIO_3 + H_2O_2 \rightarrow I_2 + O_2 + H_2O$
346	$KMnO_4 + Zn + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + ZnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$
347	$NaClO + KI + H_2SO_4 \rightarrow NaCl + I_2 + K_2SO_4 + H_2O$
348	$MnO_2 \downarrow + H_2C_2O_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + CO_2 + H_2O$
349	$PbO_2 \downarrow + Mn(NO_3)_2 + HNO_3 \rightarrow Pb(NO_3)_2 + HMnO_4 + H_2O$
350	$Na_2WO_4 + SnCl_2 + HCl \rightarrow W_2O_5 + SnCl_4 + NaCl + H_2O$
351	$KClO_3 + MnSO_4 + KOH \rightarrow K_2MnO_4 + KCl + K_2SO_4 + H_2O$
352	$Na_2SeO_3 + Cl_2 + NaOH \rightarrow Na_2SeO_4 + NaCl + H_2O$
353	$HNO_3 + FeCl_2 + HCl \rightarrow NO + FeCl_3 + H_2O$
354	$KMnO_4 + PH_3 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + H_3PO_4 + K_2SO_4 + H_2O$
355	$MnSO_4 + H_2O_2 + KOH \rightarrow MnO_2 + K_2SO_4 + H_2O$
356	$KClO_3 + K_2S + H_2SO_4 \rightarrow KCl + S + K_2SO_4 + H_2O$
357	$KNO_3 + KI + HCl \rightarrow NO + I_2 + KCl + H_2O$
358	$K_2Cr_2O_7 + Al + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + Al_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$
359	$Bi(NO_3)_3 + K_2SnO_2 + KOH \rightarrow Bi + K_2SnO_3 + KNO_3 + H_2O$
360	$NaNO_3 + Al + NaOH \rightarrow NH_3 + Na[Al(OH)_4]$
361	$HNO_3 + Ti + H_2O \rightarrow NO + H_2TiO_3 \downarrow$
362	$Cl_2 + K_2S + KOH \rightarrow KCl + K_2SO_4 + H_2O$
363	$KNO_3 + Cr_2O_3 + KOH \rightarrow KNO_2 + K_2CrO_4 + H_2O$
364	$Cl_2 + CrCl_3 + NaOH \rightarrow NaCl + Na_2CrO_4 + H_2O$
365	$S + KOH \rightarrow K_2SO_3 + K_2S + H_2O$
366	$KMnO_4 + MnSO_4 + KOH \rightarrow MnO_2 + K_2SO_4 + H_2O$
367	$AgNO_3 + H_2O_2 + KOH \rightarrow Ag + KNO_3 + O_2 + H_2O$
368	$KBrO + MnCl_2 + KOH \rightarrow KBr + MnO_2 + KCl + H_2O$
369	$K_2MnO_4 + K_2S + H_2O \rightarrow MnO_2 + S + KOH$

3. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

3.1. Первый закон термодинамики

В задачах 370–394 определите стандартный тепловой эффект реакции: а) при изобарном проведении $\Delta_r H_{298}^0$; б) при изохорном проведении $\Delta_r U_{298}^0$. Стандартные значения термодинамических функций приведены в приложении.

№ п/п	Уравнение реакции
370	$4\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})}$
371	$\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$
372	$\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{k})} + 4\text{CO}_{(\text{r})} = 3\text{Fe}_{(\text{k})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})}$
373	$3\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{k})} + 8\text{Al}_{(\text{k})} = 4\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{k})} + 9\text{Fe}_{(\text{k})}$
374	$3\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Al}_{(\text{k})} = \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{k})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$
375	$\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{k})} + 4\text{H}_{2(\text{r})} = 3\text{Fe}_{(\text{k})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$
376	$\text{S}_{(\text{k})} + 2\text{N}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{SO}_{2(\text{r})} + 2\text{N}_{2(\text{r})}$
377	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = 2\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{S}_{(\text{k})}$
378	$\text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$
379	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{k})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{Fe}_{(\text{k})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$
380	$2\text{PbS}_{(\text{k})} + 3\text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{PbO}_{(\text{k})} + 2\text{SO}_{2(\text{r})}$
381	$\text{CaCO}_{3(\text{k})} = \text{CaO}_{(\text{k})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$
382	$\text{Fe}_{(\text{k})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{FeO}_{(\text{k})} + \text{H}_{2(\text{r})}$
383	$2\text{CO}_{2(\text{r})} = 2\text{CO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$
384	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{k})} + \text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{FeO}_{(\text{k})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$
385	$\text{PbO}_{(\text{k})} + \text{CO}_{(\text{r})} = \text{Pb}_{(\text{k})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$
386	$\text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_{(\text{r})}$
387	$\text{FeO}_{(\text{k})} + \text{Mn}_{(\text{k})} = \text{MnO}_{(\text{k})} + \text{Fe}_{(\text{k})}$
388	$2\text{FeO}_{(\text{k})} + \text{Si}_{(\text{k})} = 2\text{Fe}_{(\text{k})} + \text{SiO}_{2(\text{k})}$
389	$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$
390	$3\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{k})} + \text{H}_{2(\text{r})} = 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{k})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$
391	$\text{GeO}_{2(\text{k})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2\text{C}_{(\text{k})} = \text{GeCl}_{4(\text{r})} + 2\text{CO}_{(\text{r})}$
392	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$
393	$\text{WO}_{3(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} = \text{W}_{(\text{k})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$
394	$2\text{MoO}_{2(\text{k})} + 6\text{CO}_{(\text{r})} = \text{Mo}_2\text{C}_{(\text{k})} + 5\text{CO}_{2(\text{r})}$

В задачах 395–414 вычислите, сколько теплоты выделится при полном сгорании указанного количества вещества при стандартном давлении и температуре 298 К. Учтите, что в продуктах

сгорания углерод находится в виде углекислого газа, водород — водяного пара, сера — сернистого газа, азот выделяется в свободном состоянии.

№ п/п	Вещество	Количество вещества, моль	№ п/п	Вещество	Количество вещества, моль
395	CH _{4(г)}	3	405	C ₆ H ₅ NO _{2(ж)}	2
396	C ₂ H _{4(г)}	20	406	C ₅ H ₅ N _(ж)	10
397	C ₂ H _{2(г)}	5	407	CH ₄ N ₂ O _(к)	3
398	C ₂ H _{6(г)}	20	408	C ₁₀ H _{8(к)}	50
399	C ₃ H _{8(г)}	5	409	CH ₄ O _(ж)	4
400	H ₂ S _(г)	8	410	C ₃ H ₆ O _(г)	6
401	CS _{2(г)}	40	411	C ₄ H _{10(г)}	9
402	C ₃ H _{6(г)}	7	412	CH ₃ COOH _(г)	40
403	C ₄ H _{8(г)}	6	413	C ₂ H ₅ OH _(ж)	5
404	CH ₂ O _(г)	25	414	CH ₄ O _(г)	80

В задачах 415–427 по заданным термохимическим уравнениям рассчитайте стандартную энталпию образования указанного вещества.

№ п/п	Термохимические уравнения реакций	$\Delta_r H^0$, кДж	Вещество
415	(I) 4As _(т) + 3O _{2(г)} = 2As ₂ O _{3(т)} (II) As ₂ O _{3(т)} + O _{2(г)} = As ₂ O _{5(т)}	$\Delta_r H_I^0 = -1328$ $\Delta_r H_{II}^0 = -261$	As ₂ O ₅
416	(I) 2As _(т) + 3F _{2(г)} = 2AsF _{3(г)} (II) AsF _{5(т)} = AsF _{3(т)} + F _{2(г)}	$\Delta_r H_I^0 = -1842$ $\Delta_r H_{II}^0 = +317$	AsF ₅
417	(I) 2C _(т) + O _{2(г)} = 2CO _{2(г)} (II) CO _(т) + F _{2(г)} = COF _{2(т)}	$\Delta_r H_I^0 = -220$ $\Delta_r H_{II}^0 = -698$	COF ₂
418	(I) 2Cr _(т) + 3F _{2(г)} = 2CrF _{3(т)} (II) 2CrF _{3(т)} + Cr _(т) = 2CrF _{2(т)}	$\Delta_r H_I^0 = -2224$ $\Delta_r H_{II}^0 = -38$	CrF ₂
419	(I) 2P _(т) + 3Cl _{2(г)} = 2PCl _{3(т)} (II) PCl _{5(т)} = PCl _{3(т)} + Cl _{2(г)}	$\Delta_r H_I^0 = -574$ $\Delta_r H_{II}^0 = +88$	PCl ₅

№ п/п	Термохимические уравнения реакций	$\Delta_r H^0$, кДж	Вещество
420	(I) $2\text{Pb}_{(т)} + \text{O}_{2(r)} = 2\text{PbO}_{(т)}$ (II) $2\text{PbO}_{(т)} = 2\text{PbO}_{(т)} + \text{O}_{2(r)}$	$\Delta_r H_1^0 = -438$ $\Delta_r H_{II}^0 = +116$	PbO_2
421	(I) $\text{Zr}_{(т)} + \text{ZrCl}_{4(r)} = 2\text{ZrCl}_{2(r)}$ (II) $\text{Zr}_{(т)} + 2\text{Cl}_{2(r)} = \text{ZrCl}_{4(r)}$	$\Delta_r H_1^0 = -242$ $\Delta_r H_{II}^0 = -862$	ZrCl_2
422	(I) $2\text{ClF}_{5(r)} = \text{Cl}_2\text{F}_{6(r)} + 2\text{F}_{2(r)}$ (II) $\text{Cl}_{2(r)} + 5\text{F}_{2(r)} = 2\text{ClF}_{5(r)}$	$\Delta_r H_1^0 = +152$ $\Delta_r H_{II}^0 = -478$	Cl_2F_6
423	(I) $\text{Ce}_{(т)} + \text{O}_{2(r)} = \text{CeO}_{(т)}$ (II) $3\text{CeO}_{2(т)} + \text{Ce}_{(т)} = 2\text{Ce}_2\text{O}_{3(т)}$	$\Delta_r H_1^0 = -1090$ $\Delta_r H_{II}^0 = -332$	Ce_2O_3
424	(I) $\text{CuCl}_{2(т)} + \text{Cu}_{(т)} = 2\text{CuCl}_{(т)}$ (II) $\text{Cu}_{(т)} + \text{Cl}_{2(т)} = \text{CuCl}_{2(т)}$	$\Delta_r H_1^0 = -56$ $\Delta_r H_{II}^0 = -216$	CuCl
425	(I) $\text{HgBr}_{2(т)} + \text{Hg}_{(ж)} = \text{Hg}_2\text{Br}_{2(т)}$ (II) $\text{HgBr}_{2(т)} = \text{Hg}_{(ж)} + \text{Br}_{2(ж)}$	$\Delta_r H_1^0 = -38$ $\Delta_r H_{II}^0 = +169$	Hg_2Br_2
426	(I) $\text{Ir}_{(т)} + 2\text{S}_{(т)} = \text{IrS}_{2(т)}$ (II) $2\text{IrS}_{2(т)} = \text{Ir}_2\text{S}_{3(т)} + \text{S}_{(т)}$	$\Delta_r H_1^0 = -144$ $\Delta_r H_{II}^0 = +43$	Ir_2S_3
427	(I) $2\text{Fe}_{(т)} + \text{O}_{2(r)} = 2\text{FeO}_{(т)}$ (II) $4\text{FeO}_{(т)} + \text{O}_{2(r)} = 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(т)}$	$\Delta_r H_1^0 = -532$ $\Delta_r H_{II}^0 = -584$	Fe_2O_3

3.2. Второй закон термодинамики

В задачах 428–443 определите энтропию 1 моль газа при указанном давлении p и постоянной температуре 298 К. Укажите, увеличивается или уменьшается энтропия вещества при изменении давления от стандартного к заданному. Значения энтропии при стандартных условиях возьмите из приложения, примите, что данные вещества подчиняются законам идеальных газов.

№ п/п	Газ	$p \cdot 10^{-5}$, Па	№ п/п	Газ	$p \cdot 10^{-5}$, Па
428	H ₂	3,039	436	C ₂ H ₄	0,601
429	H ₂ O	10,130	437	N ₂	0,507
430	He	1,519	438	O ₂	0,840
431	CH ₄	8,100	439	F ₂	1,722
432	CO	0,405	440	Cl ₂	1,925
433	NO	1,823	441	Ne	3,039
434	CO ₂	1,317	442	Ar	2,533
435	C ₂ H ₆	0,709	443	Kr	1,013

В задачах 444 – 461 рассчитайте энтропию 1 моль вещества в двухкомпонентном растворе при известной массовой доле ω , полагая, что раствор является идеальным.

№ п/п	Вещество	$\omega, \%$	Растворитель	№ п/п	Вещество	$\omega, \%$	Растворитель
444	C (графит)	0,36	Fe	453	Cu	5,8	Sn
445	Al	13,5	Cu	454	Mn	1,3	Cu
446	Sn	4,5	Cu	455	Co	10,5	W
447	Cr	26	Ni	456	Fe	3,1	Ni
448	Zn	3,8	Cu	457	Ni	5,2	Cu
449	Be	2,7	Cu	458	Sb	15,7	Pb
450	Si	13,9	Fe	459	Rh	10,0	Pt
451	Si	17,5	Al	460	Ir	15,9	Pt
452	Al	1,8	Ni	461	Ag	12,5	Au

В задачах 462 – 480 рассчитайте энтропию каждого компонента в газовой смеси, подчиняющейся законам идеальных газов, и энтропию смеси.

№ п/п	1-й компонент		2-й компонент		3-й компонент	
	Символ	n_1 , моль	Символ	n_2 , моль	Символ	n_3 , моль
462	H ₂	1,0	N ₂	2,0	Ar	5,0
463	He	1,5	H ₂	2,5	N ₂	4,0
464	N ₂	2,0	Ne	3,0	Kr	3,0
465	Ar	3,5	He	2,0	H ₂	2,5
466	Ne	2,0	N ₂	1,5	O ₂	3,5
467	O ₂	1,5	Ne	1,0	Ar	2,5
468	H ₂	2,0	N ₂	3,0	Ar	4,0

№ п/п	1-й компонент		2-й компонент		3-й компонент	
	Символ	n_1 , моль	Символ	n_2 , моль	Символ	n_3 , моль
469	O ₂	1,0	F ₂	2,5	N ₂	4,5
470	He	2,0	Cl ₂	3,0	Ne	1,5
471	Ne	2,5	H ₂	2,0	O ₂	3,5
472	N ₂	3,0	Kr	2,0	Ne	2,0
473	O ₂	2,0	He	1,5	F ₂	3,5
474	H ₂	1,0	Ne	3,0	N ₂	5,0
475	Kr	0,5	F ₂	2,5	He	2,5
476	Ar	2,0	H ₂	1,0	Ne	1,5
477	N ₂	3,5	F ₂	1,5	Kr	2,0
478	Ne	1,5	He	2,5	H ₂	3,5
479	O ₂	2,0	N ₂	2,0	Ar	4,0
480	H ₂	1,0	N ₂	3,0	He	2,0

3.3. Химическое равновесие

В задачах 481 – 505 рассчитайте стандартные энергии Гиббса $\Delta_f G_T^0$ и константу равновесия K^0 реакции при заданной температуре. Напишите выражение константы равновесия. Укажите, в каком направлении протекает реакция при данной температуре и направление смещения равновесия при изменении температуры. Для обоснования направления смещения равновесия используйте уравнение изобары химической реакции.

№ п/п	Уравнение реакции	T, K
481	2H _{2(r)} + CO _(r) \leftrightarrow CH ₃ OH _(ж)	390
482	4HCl _(r) + O _{2(r)} \leftrightarrow 2H ₂ O _(р) + 2Cl _{2(r)}	750
483	2N _{2(r)} + 6H ₂ O _(р) \leftrightarrow 4NH _{3(r)} + 3O _{2(r)}	1300
484	4NO _(р) + 6H ₂ O _(р) \leftrightarrow 4NH _{3(r)} + 5O _{2(r)}	1000
485	2NO _{2(r)} \leftrightarrow 2NO _(р) + O _{2(r)}	700
486	N ₂ O _{4(r)} \leftrightarrow 2NO _{2(r)}	400
487	S _{2(r)} + 4H ₂ O _(р) \leftrightarrow 2SO _{2(r)} + 4H _{2(r)}	1000
488	S _{2(r)} + 4CO _{2(r)} \leftrightarrow 2SO _{2(r)} + 4CO _(р)	900
489	2SO _{2(r)} + O _{2(r)} \leftrightarrow 2SO _{3(r)}	700
490	CO _{2(r)} + H _{2(r)} \leftrightarrow CO _(р) + H ₂ O _(р)	1200
491	SO _{2(r)} + Cl _{2(r)} \leftrightarrow SO ₂ Cl _{2(r)}	400

№ п/п	Уравнение реакции	T, K
492	$\text{CO}_{(r)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_4_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000
493	$4\text{CO}_{(r)} + 2\text{SO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{S}_{2(r)} + 4\text{CO}_{2(r)}$	900
494	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	400
495	$\text{FeO}_{(k)} + \text{CO}_{(r)} \leftrightarrow \text{Fe}_{(k)} + \text{CO}_{2(r)}$	1000
496	$\text{WO}_{3(k)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{W}_{(k)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	2000
497	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(k)} \leftrightarrow \text{NH}_{3(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	500
498	$\text{Mg}(\text{OH})_{2(k)} \leftrightarrow \text{MgO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500
499	$\text{H}_2\text{O}_{(r)} + \text{C}_{(\text{графит})} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_{2(r)}$	1000
500	$\text{PbO}_{2(k)} + \text{C}_{(\text{графит})} \leftrightarrow \text{Pb}_{(k)} + \text{CO}_{2(r)}$	1000
501	$\text{MnO}_{2(k)} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{Mn}_{(k)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000
502	$3\text{Fe}_{(k)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow \text{Fe}_{3}\text{O}_{4(k)} + 4\text{H}_{2(r)}$	1000
503	$\text{C}_6\text{H}_{6(r)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12(r)}$	600
504	$\text{Ni}(\text{OH})_2_{(k)} \leftrightarrow \text{NiO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500
505	$2\text{CrCl}_{3(k)} \leftrightarrow 2\text{CrCl}_{2(k)} + \text{Cl}_{2(r)}$	500

В задачах 506–521 для гомогенной реакции $A + B = C + D$ рассчитайте константу равновесия и равновесный состав системы при температуре T , если известны $\Delta_r G_T^0$ и начальные концентрации C_0 исходных веществ. Продукты реакции в начальный момент времени отсутствуют.

№ п/п	T, K	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	C_0 , моль/л		№ п/п	T, K	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	C_0 , моль/л	
			A	B				A	B
506	400	-14,1	1	1	514	600	-1,6	1	1
507	800	-13,8	1	2	515	800	-3,6	1	1
508	400	-7,5	1	1	516	1000	-5,7	1	1
509	800	-6,7	1	2	517	400	-10,1	1	1
510	600	-6,0	1	1	518	600	-9,2	1	2
511	1000	-20,5	2	1	519	800	-8,5	2	2
512	600	-25,4	2	1	520	1000	-18,5	3	1
513	800	-28,5	3	1	521	700	-4,6	2	1

В задачах 522–536 для данной гомогенной реакции $A + B \leftrightarrow C + D$ определите температуру, при которой наступает равновесие. Напишите выражение константы равновесия. Рассчитайте

равновесный состав системы при этой температуре, если известны начальные концентрации исходных веществ C_0 (продукты реакции в исходной смеси отсутствуют).

№ п/п	Уравнение реакции	C_0 , моль/л	
		A	B
522	$\text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(r)}$	1	1
523	$2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)}$	1	0,5
524	$2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(r)}$	1	0,5
525	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)}$	1	1
526	$\text{CCl}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(r)} + 2\text{HCl}_{(r)}$	1	1
527	$\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	0,5	1
528	$\text{SO}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(r)}$	0,5	0,5
529	$\text{C}_2\text{H}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{HCN}_{(r)}$	1	1
530	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{4(r)} + \text{H}_{2(r)}$	1	—
531	$2\text{CO}_{(r)} + 2\text{NO}_{(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)}$	0,5	0,5
532	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CH}_3\text{Cl}_{(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{6(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	1	1
533	$\text{PCl}_{5(r)} \leftrightarrow \text{PCl}_{3(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$	0,5	—
534	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	0,2	0,2
535	$2\text{CF}_2\text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{F}_{4(r)} + 2\text{Cl}_{2(r)}$	1	—
536	$2\text{CH}_{4(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(r)} + 3\text{H}_{2(r)}$	0,5	—

В задачах 537–556, используя уравнение температурной зависимости константы равновесия $\lg K_p = a/T + b \lg T + cT + d$, рассчитайте константу равновесия K_p при температуре $T_1 = 298$ К и при заданной температуре T_2 . Укажите, в каком направлении смещается равновесие реакции при повышении температуры. Рассчитайте константу равновесия K_C при стандартной температуре.

№ п/п	Реакция	T_2 , К	a	b	$c \cdot 10^4$	d
537	$2\text{H}_{2(r)} + \text{CO}_{(r)} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	800	3724	-9,13	30,8	3,401
538	$4\text{HCl}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{Cl}_{2(r)}$	750	5750	-2,13	-8,57	-4,710
539	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(k)} \leftrightarrow \text{NH}_{3(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	455	-9650	1,830	-32,4	28,239
540	$2\text{N}_{2(r)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow 4\text{NH}_{3(r)} + 3\text{O}_{2(r)}$	900	-66250	-1,75	0	-10,206

Окончание таблицы

№ п/п	Реакция	T_2 , K	a	b	$c \cdot 10^4$	d
541	$4\text{NO}_{(r)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow 4\text{NH}_{3(r)} + 5\text{O}_{2(r)}$	1000	-47500	-1,75	0	-13,706
542	$2\text{NO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)}$	700	-5749	1,75	-5,0	7,899
543	$\text{N}_2\text{O}_{4(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(r)}$	400	-2692	1,750	-4,8	1,944
544	$\text{Mg(OH)}_{2(k)} \leftrightarrow \text{MgO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500	-4600	0,623	-10,0	17,776
545	$\text{CaCO}_{3(k)} \leftrightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{CO}_{2(r)}$	1000	-9680	-1,38	-2,19	17,756
546	$\text{Ca(OH)}_{2(k)} \leftrightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500	-5650	0,670	4,14	9,616
547	$\text{S}_{2(r)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow 2\text{SO}_{2(r)} + 4\text{H}_{2(r)}$	1000	-13800	-0,88	26,7	8,386
548	$\text{S}_{2(r)} + 4\text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{SO}_{2(r)} + 4\text{CO}_{(r)}$	900	-23000	4,340	-16,2	2,576
549	$2\text{SO}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(r)}$	700	10373	1,222	0	-18,806
550	$\text{SO}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(r)}$	400	2250	-1,75	4,55	-7,206
551	$\text{CO}_{(r)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000	9874	-7,14	18,8	-1,371
552	$4\text{CO}_{(r)} + 2\text{SO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{S}_{2(r)} + 4\text{CO}_{2(r)}$	900	23000	-4,34	0	-2,576
553	$\text{COCl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$	400	5020	1,750	0	3,748
554	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1200	-2203	0	-0,52	2,300
555	$\text{CO}_{2(r)} + 4\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_{4(r)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000	7674	-6,23	9,06	-1,291
556	$2\text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)}$	700	29500	1,75	-12,15	3,290

В задачах 557–580 определите, при какой температуре в системе устанавливается химическое равновесие. Напишите выражение константы равновесия. Укажите, используя уравнение изобары химической реакции, в каком направлении смещается равновесие при изменении температуры.

№ п/п	Уравнение реакции	№ п/п	Уравнение реакции
557	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH}_{(ж)}$	569	$2\text{H}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$
558	$2\text{H}_{2(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{HCOH}_{(ж)} + \text{H}_2\text{O}_{(ж)}$	570	$\text{N}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{N}_{(r)}$
559	$\text{Ni(OH)}_{2(ж)} \leftrightarrow \text{NiO}_{(ж)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	571	$2\text{NO}_{(r)} \leftrightarrow \text{N}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)}$
560	$2\text{SO}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(r)}$	572	$\text{CH}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + 3\text{H}_{2(r)}$
561	$\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	573	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)}$
562	$\text{Ca(OH)}_{2(ж)} \leftrightarrow \text{CaO}_{(ж)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	574	$2\text{CH}_{4(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(r)} + 3\text{H}_{2(r)}$
563	$\text{CaCO}_{3(ж)} \leftrightarrow \text{CaO}_{(ж)} + \text{CO}_{2(r)}$	575	$\text{F}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{F}_{(r)}$
564	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(ж)} \leftrightarrow \text{NH}_{3(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	576	$\text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{Cl}_{(r)}$
565	$2\text{NO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{N}_{2}\text{O}_{4(r)}$	577	$\text{HCl}_{(r)} \leftrightarrow \text{H}_{(r)} + \text{Cl}_{(r)}$
566	$\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{O}_{(r)}$	578	$\text{HF}_{(r)} \leftrightarrow \text{H}_{(r)} + \text{F}_{(r)}$
567	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	579	$2\text{HCl}_{(r)} + \text{F}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{HF}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$
568	$2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)}$	580	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(r)} + 2\text{H}_{2(r)}$

4. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

В задачах 581–595 для данной химической реакции при заданных температуре T , порядке реакции n , начальных концентрациях реагентов C_0 , времени полупревращения $t_{0,5}$ определите время t_a , за которое прореагирует указанная доля исходного вещества α .

№ п/п	Реакция	n	$T, \text{К}$	$t_{0,5}, \text{мин}$	$C_0, \text{моль/л}$	α
581	$\text{SO}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$	1	593	577,6	0,6	0,60
582	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	600	462	0,4	0,70
583	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	323	10	0,2	0,90
584	$2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	2	1129	17,25 ч	0,2	0,30

№ п/п	Реакция	<i>n</i>	<i>T</i> , К	<i>t</i> _{0,5} , мин	<i>C</i> ₀ , моль/л	<i>α</i>
585	$\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	1	856	23,9	0,4	0,95
586	$2\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	2	298	179,2	0,1	0,40
587	$\text{RBr} + \text{OH}^- \rightarrow \text{ROH} + \text{Br}^-$	2	293	78,25	0,1	0,60
588	$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{D}$	2	293	25,4	0,2	0,70
589	$\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	1	823	462	0,3	0,90
590	$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$	2	700	137,74	0,1	0,65
591	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$	1	293	13,6	0,3	0,99
592	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl}$	1	873	8,7	0,5	0,96
593	$\text{HCOOH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1	413	21	0,2	0,90
594	$\text{HBr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{Br}^\bullet$	2	700	2 с	0,1	0,98
595	$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$	2	680	175,4	0,2	0,60

В задачах 596–610 для реакции *n*-го порядка рассчитайте концентрацию исходных веществ *C*₂ через некоторое время *t*₂ от начала реакции, если известно, что при начальных концентрациях реагентов *C*₀ при постоянной температуре за время *t*₁ концентрация исходных веществ стала *C*₁.

№ п/п	Реакция	<i>n</i>	<i>C</i> ₀ , моль/л	<i>t</i> ₁ , мин	<i>C</i> ₁ , моль/л	<i>t</i> ₂ , мин
596	$2\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	2	0,1	76,8	0,06	100
597	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	0,2	5	0,14	10
598	$2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	2	0,1	300	0,071	500
599	$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{D} + \text{F}$	2	0,5	120	0,215	180
600	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$	1	0,4	13,6	0,2	80
601	$\text{A} \rightarrow \text{B}$	1	0,1	10	0,01	30
602	$\text{HCOOH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1	0,2	1,25	0,1	3
603	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl}$	1	0,4	15	0,2	30
604	$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$	2	0,2	50	0,12	100
605	$\text{SO}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$	1	0,4	200	0,3	600
606	$\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	1	0,5	50	0,4	150
607	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	0,2	300	0,08	600
608	$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{D} + \text{F}$	2	0,5	140	0,2	250
609	$2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$	2	0,4	200	0,15	400
610	$2\text{NOBr} \rightarrow 2\text{NO} + \text{Br}_2$	2	0,2	0,1	0,05	0,5

В задачах 611 – 630 по известным экспериментальным данным (n — порядок реакции; E_a — энергия активации; k_0 — предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса (имеет размерность скорости соответствующего порядка); T_1 и T_2 — начальная и конечная температуры; C_0 — исходные концентрации реагентов) рассчитайте константы скорости реакции при температурах T_1 и T_2 и определите скорость реакции в некоторый момент времени, когда прореагировала заданная доля исходных веществ α , при заданных значениях температуры.

№ п/п	Реакция	n	C_0 , моль/л	E_a , кДж/моль	k_0	T_1 , К	T_2 , К	α , %
611	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	2	247,5	$4 \cdot 10^{14}$	400	500	50
612	$HI + CH_3I \rightarrow CH_4 + I_2$	2	2	140	$2 \cdot 10^{14}$	400	700	60
613	$2NO + Br_2 \rightarrow 2NOBr$	3	1	5,44	$2,7 \cdot 10^{10}$	300	350	70
614	$N_2O_4 \rightarrow 2NO_2$	1	2	54,4	10^{16}	400	500	40
615	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$	2	1	113	$9 \cdot 10^{12}$	200	300	60
616	$C_6H_5ONa + C_3H_7I \rightarrow C_6H_5OC_3H_7 + NaI$	2	2	93,6	$3,5 \cdot 10^{11}$	300	500	50
617	$2N_2O_5 \rightarrow 2N_2O_4 + O_2$	1	2	103,5	$4,6 \cdot 10^{13}$	300	500	70
618	$H_2 + C_2H_4 \rightarrow C_2H_6$	2	1	180,5	$4 \cdot 10^{13}$	300	600	50
619	$H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$	2	1	165,5	$1,6 \cdot 10^{14}$	400	600	60
620	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	1	186,4	$9,2 \cdot 10^{13}$	500	300	80
621	$C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$	1	2	218	$7,2 \cdot 10^{12}$	300	400	40
622	$H_2 + ICl \rightarrow HI + HCl$	2	1	41,8	$1,6 \cdot 10^{15}$	500	650	70
623	$2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$	3	1	15,5	$4,6 \cdot 10^9$	300	400	40
624	$CO_2 + OH^- \rightarrow HCO_3^-$	2	1	38,2	$1,5 \cdot 10^{13}$	300	350	60
625	$C_2H_5ONa + CH_3I \rightarrow C_2H_5OCH_3 + NaI$	2	1	81,5	$2,4 \cdot 10^{11}$	300	450	50
626	$2O_3 \rightarrow 3O_2$	2	1	117,9	$6,3 \cdot 10^{18}$	300	500	70
627	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	2	2	180	$4 \cdot 10^{13}$	150	200	50
628	$HJ + C_2H_5I \rightarrow C_2H_6 + I_2$	2	2	124	$5 \cdot 10^{13}$	250	400	30
629	$NO^\bullet + Br_2 \rightarrow NOBr + Br^\bullet$	2	2	95	$4 \cdot 10^{12}$	200	350	70
630	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	2	248	$4 \cdot 10^4$	300	500	80

Примечание. k_0 имеет размерность константы скорости соответствующего порядка.

В задачах 631–640 определите скорость газофазной реакции по каждому компоненту, если известна скорость образования r какого-либо продукта.

№ п/п	Реакция	Про-дукт	r , моль / (л · с)	№ п/п	Реакция	Про-дукт	r , моль / (л · с)
631	$2A \rightarrow \rightarrow 2B + C$	B	$6,6 \cdot 10^{-4}$	636	$2 A \rightarrow B$	B	$2,4 \cdot 10^{-3}$
632	$A + B \rightarrow \rightarrow C$	C	$4,4 \cdot 10^{-6}$	637	$3 A \rightarrow \rightarrow B + C$	C	$8,0 \cdot 10^{-1}$
633	$A \rightarrow 2B$	B	$2,6 \cdot 10^{-2}$	638	$2 A + B \rightarrow \rightarrow C$	C	$1,2 \cdot 10^{-5}$
634	$3A \rightarrow \rightarrow 2B + C$	C	1,8	639	$A + B \rightarrow \rightarrow 2C$	C	4,0
635	$A \rightarrow B$	B	20	640	$A + B \rightarrow \rightarrow C + D$	D	$3,1 \cdot 10^{-2}$

В задачах 641–650 для данной элементарной реакции рассчитайте скорость реакции r_2 при указанной концентрации C_2 одного из компонентов, если известны начальные концентрации реагентов C_0 и скорость реакции r_1 при определенной концентрации одного из компонентов C_1 .

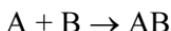
№ п/п	Реакция	C_0 , моль/л	r_1 , моль/(л · с); C_1 , моль/л	C_2 , моль/л
641	$A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 5,0$ $C_{0,B} = 7,0$	$r_1 = 2,0 \cdot 10^{-3}$ $C_{1,A} = 2,0$	$C_{2,D} = 3,0$
642	$2A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 2,0$	$r_1 = 1,8 \cdot 10^{-4}$ $C_{1,D} = 0,5$	$C_{2,A} = 1,0$
643	$A \rightarrow B + D$	$C_{0,A} = 10,0$	$r_1 = 2,1 \cdot 10^{-6}$ $C_{1,B} = 4,0$	$C_{2,D} = 2,0$
644	$3A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 4,0$	$r_1 = 4,2$ $C_{1,B} = 1,0$	$C_{2,D} = 1,0$
645	$A + 2B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 6,0$ $C_{0,B} = 18,0$	$r_1 = 1,4 \cdot 10^{-8}$ $C_{1,B} = 1,0$	$C_{2,B} = 10,0$
646	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 0,8$ $C_{0,B} = 0,6$	$r_1 = 6,8 \cdot 10^{-3}$ $C_{1,A} = 0,6$	$C_{2,B} = 0,4$
647	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 1,6$ $C_{0,B} = 1,6$	$r_1 = 4,1 \cdot 10^{-2}$ $C_{1,B} = 1,4$	$C_{2,D} = 0,4$

№ п/п	Реакция	C_0 , моль/л	r_1 , моль/(л·с); C_1 , моль/л	C_2 , моль/л
648	$2A \rightarrow B$	$C_{0,A} = 4,2$	$r_1 = 2,0$ $C_{1,B} = 1,8$	$C_{2,A} = 3,0$
649	$2A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 3,5$	$r_1 = 4,1 \cdot 10^{-1}$ $C_{1,D} = 1,0$	$C_{2,A} = 2,1$
650	$A \rightarrow B$	$C_{0,A} = 1 \cdot 10^{-2}$	$r_1 = 6,3 \cdot 10^{-2}$ $C_{1,B} = 5 \cdot 10^{-3}$	$C_{2,A} = 0,021$

В задачах 651–660 определите, во сколько раз увеличилась константа скорости второй реакции при нагревании от температуры T_1 до T_2 , если дано соотношение энергий активации первой и второй реакций (E_1/E_2) и известно, что при нагревании от T_1 до T_2 константа скорости первой реакции увеличилась в a раз.

№ п/п	E_1/E_2	a	№ п/п	E_1/E_2	a
651	2,0	10,0	656	6,5	6,5
652	0,5	5,0	657	0,3	2,5
653	3,0	6,0	658	5,1	4,0
654	4,5	12,0	659	0,2	3,5
655	0,1	3,5	660	3,5	6,0

В задачах 661–670 рассчитайте для элементарной реакции второго порядка



при одинаковых начальных концентрациях реагентов C_0 константу скорости реакции и время полупревращения $t_{0,5}$, если известно, что через некоторое время t концентрация вещества А уменьшилась до значения C .

№ п/п	C_0 , моль/л	t , мин	C , моль/л	№ п/п	C_0 , моль/л	t , мин	C , моль/л
661	0,06	60	0,03	666	2,0	10	1,5
662	0,1	50	0,02	667	0,04	15	0,035
663	1,2	30	0,9	668	0,3	40	0,15
664	0,4	100	0,1	669	2,5	35	1,1
665	1,5	70	0,9	670	1,1	20	0,6

5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ В РАСТВОРАХ

5.1. Способы выражения состава раствора

В задачах 671–682 определите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента водного раствора, если известны массовая доля растворенного вещества ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л
671	K_2CO_3	2	1016,3	677	$CaCl_2$	16	1138,4
672	$AlCl_3$	12	1109,3	678	HNO_3	30	1180,0
673	$BaCl_2$	18	1179,3	679	H_3PO_4	16	1088,4
674	H_2SO_4	6	1038,0	680	$AgNO_3$	20	1194,2
675	$CdSO_4$	10	1102,3	681	$FeSO_4$	16	1167,5
676	KOH	10	1090,0	682	H_3PO_4	35	1216,0

В задачах 683–694 определите мольные доли компонентов в 1 л водного раствора, если известны массовая доля растворенного вещества ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л
683	$AgNO_3$	16	1149,5	689	$AlCl_3$	10	1090,0
684	KOH	28	1267,0	690	H_2SO_4	40	1303,0
685	HCl	22	1108,0	691	$FeSO_4$	20	1213,5
686	$NaCl$	24	1180,4	692	$CuSO_4$	8	1084,0
687	NH_4OH	10	957,0	693	$CdSO_4$	16	1172,9
688	NH_4Cl	18	1051,2	694	KCl	14	1076,8

В задачах 695–706 определите массу растворенного вещества в 1 л водного раствора известной концентрации C [концентрация может быть выражена массовой долей (%), молярной концентрацией (M) или молярной концентрацией эквивалента (n)] и плотности ρ .

№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л
695	K_2CO_3	10 %	1090,4	697	$BaCl_2$	6 %	1052,8
696	$AlCl_3$	0,1 н	—	698	H_2SO_4	0,5 М	—

Окончание таблицы

№ п/п	Вещество	<i>C</i>	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	<i>C</i>	ρ , г/л
699	CaCl ₂	0,2 н	—	703	H ₃ PO ₄	12%	1064,7
700	HNO ₃	24 %	1140,0	704	K ₂ CO ₃	0,3 М	—
701	H ₃ PO ₄	0,2 М	—	705	ZnSO ₄	16 %	1155,3
702	AgNO ₃	0,5 н	—	706	NaOH	40 %	1430,0

В задачах 707–718 определите массу растворенного вещества в данном объеме раствора *V*, если известны массовая доля ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	<i>V</i> , л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	<i>V</i> , л
707	NH ₄ NO ₃	10	1039,7	0,5	713	H ₃ PO ₄	8	1042,0	0,3
708	LiCl	4	1021,5	0,2	714	KOH	14	1128,0	1,5
709	KNO ₃	18	1118,1	1,0	715	NaCl	18	1131,9	0,25
710	AlCl ₃	16	1149,1	1,2	716	NH ₄ OH	26	904,0	0,5
711	CuSO ₄	12	1131,0	0,25	717	K ₂ CO ₃	16	1149,0	0,75
712	H ₂ SO ₄	24	1170,0	0,45	718	BaCl ₂	20	1203,1	1,0

В задачах 719–730 определите массу вещества, необходимую для приготовления заданного объема *V* раствора известной молярной концентрации эквивалента *C*_{экв}.

№ п/п	Вещество	<i>V</i> , л	<i>C</i> _{экв} , моль/л	№ п/п	Вещество	<i>V</i> , л	<i>C</i> _{экв} , моль/л
719	NaNO ₂	0,5	0,1	725	K ₃ PO ₄	1,0	0,01
720	K ₂ SO ₃	0,3	0,1	726	NaF	0,25	0,02
721	Na ₂ CO ₃	1,0	0,05	727	K ₂ Cr ₂ O ₇	1,5	0,1
722	H ₃ BO ₃	0,25	0,01	728	ZnCl ₂	1,0	0,1
723	K ₂ S	0,45	0,02	729	KMnO ₄	0,5	0,5
724	Zn(OH) ₂	0,3	0,2	730	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,3	1,0

В задачах 731–741 определите массовую долю вещества в растворе, приготовленном смешиванием 200 мл разбавленного с массовой долей ω_1 и 20 мл концентрированного с массовой долей ω_2 растворов указанного вещества.

№ п/п	Вещество	$\omega_1, \%$	$\rho_1, \text{г/л}$	$\omega_2, \%$	$\rho_2, \text{г/л}$
731	H_2SO_4	10	1066	20	1139
732	KOH	6	1053	12	1109
733	NaCl	12	1085	26	1197
734	NaOH	8	1087	30	1328
735	HCl	16	1078	28	1139
736	H_3PO_4	12	1064	24	1139
737	AgNO_3	10	1088	20	1194
738	NH_4Cl	12	1034	18	1051
739	HNO_3	4	1010	18	1102
730	K_2CO_3	10	1090	18	1169
741	NaNO_3	14	1096	30	1225

5.2. Энергетика растворения

В задачах 742–765 вычислите, на сколько градусов изменится температура раствора при растворении 0,1 моля вещества в 1 л воды, если известен тепловой эффект растворения $\Delta_s H_{298}^0$ ($\Delta_s H > 0$ — теплота поглощается, $\Delta_s H < 0$ — выделяется). Удельную теплоемкость раствора примите равной удельной теплоемкости воды 4,187 Дж/(г·К).

№ п/п	Вещество	$\Delta_s H_{298}^0,$ кДж/(моль·кг)	№ п/п	Вещество	$\Delta_s H_{298}^0,$ кДж/(моль·кг)
742	LiCl	-36,48	754	K_2SO_4	24,78
743	LiBr	-48,62	755	KI	20,71
744	NaCl	4,25	756	HNO_3	-32,74
745	NaBr	-0,29	757	NaOH	-42,36
746	NaI	-7,20	758	CuSO_4	-68,07
747	KBr	20,33	759	MgSO_4	-87,91
748	HCl	-73,68	760	MnSO_4	-58,70
749	H_3PO_4	-9,64	761	ZnSO_4	-79,16
750	KNO_3	34,77	762	KCl	17,55
751	NH_4Cl	15,10	763	KClO_4	50,37
752	NH_4NO_3	25,75	764	H_2SO_4	-73,55
753	CaCl_2	-80,88	765	KOH	-54,33

В задачах 766–789 вычислите, сколько теплоты выделяется или поглощается при растворении массы m вещества в 1 кг воды, если известно повышение ($+ΔT$) или понижение ($-ΔT$) температу-

ры раствора. Удельную теплоемкость раствора примите равной удельной теплоемкости воды 4,187 Дж/(г·К).

№ п/п	Вещество	m , г	ΔT , К	№ п/п	Вещество	m , г	ΔT , К
766	NH ₄ Cl	5,34	-3,59	778	NaBr	10,29	+0,068
767	NH ₄ NO ₃	8,00	-6,10	779	NaI	15,00	+1,68
768	CaCl ₂	11,10	+19,10	780	HCl	3,65	+17,53
769	CuSO ₄	15,96	+16,00	781	ZnSO ₄	16,15	+18,60
770	MgSO ₄	12,04	+20,76	782	H ₃ PO ₄	9,80	+2,28
771	NaOH	4,00	+10,08	783	K ₂ SO ₄	14,23	-5,83
772	LiCl	4,24	+8,68	784	KCl	7,45	-4,16
773	H ₂ SO ₄	9,80	+17,39	785	KClO ₄	13,86	-11,86
774	MnSO ₄	15,10	+13,81	786	KOH	5,61	+12,29
775	KI	16,6	-4,86	787	Al ₂ (SO ₄) ₃	34,21	+79,5
776	LiBr	8,68	+11,52	788	NH ₃	1,7	+8,26
777	NaCl	5,84	-1,01	789	HCOOH	4,6	+0,16

5.3. Коллигативные свойства растворов

В задачах 790 – 799 определите температуру начала кристаллизации раствора (m — масса растворенного вещества; α — степень диссоциации электролита; g — масса растворителя; T_3 — температура замерзания растворителя; K_3 — криоскопическая постоянная).

№ п/п	Растворенное вещество			Растворитель			
	Формула	m , г	α , %	Формула	g , г	T_3 , °C	K_3 , К·моль ⁻¹ ·л
790	CH ₃ OH	7,0	0	H ₂ O	250	0	1,86
791	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	20,0	0	H ₂ O	800	0	1,86
792	KNO ₃	5,8	91,0	H ₂ O	500	0	1,86
793	C ₁₀ H ₈	10,0	0	C ₆ H ₆	200	5,5	5,07
794	H ₂ O	30,0	0	CH ₃ COOH	200	16,6	3,09
795	NaOH	25	90,5	H ₂ O	900	0	1,86
796	CH ₃ COOH	30	3,8	H ₂ O	200	0	1,86
797	C ₆ H ₅ NO ₂	10	0	C ₆ H ₆	300	5,5	5,07
798	C ₆ H ₁₂ O ₆	20	0	H ₂ O	300	0	1,86
799	ZnSO ₄	5	55,5	H ₂ O	500	0	1,86

В задачах 800–809 определите степень диссоциации электролита в водном растворе (m — масса растворенного вещества; g — масса растворителя; $T_{\text{кип}}$ — температура кипения раствора). Эбулиоскопическая постоянная воды $0,52 \text{ К} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{л}$.

№ п/п	Вещество		$g, \text{ г}$	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
	Формула	$m, \text{ г}$		
800	KNO ₃	1,01	100	100,095
801	BaCl ₂	3,4	100	100,2
802	K ₂ SO ₄	4,5	50	100,557
803	KOH	5,0	95	100,86
804	NaCl	4,388	100	100,074
805	NaOH	4,5	80	101,45
806	CH ₃ COOH	5,0	45	101,025
807	AlCl ₃	3,8	200	100,28
808	ZnSO ₄	4,1	250	100,068
809	Ba(NO ₃) ₂	5,2	100	100,28

В задачах 810–825 вычислите осмотическое давление водного раствора электролита (m — масса растворенного вещества; V — объем раствора; T — температура; α — степень диссоциации).

№ п/п	Вещество	$m, \text{ г}$	$V, \text{ л}$	$T, ^\circ\text{C}$	α
810	C ₆ H ₁₂ O ₆	63,0	1,4	0	0
811	K ₂ SO ₄	174,0	1,0	25	0,97
812	NaCl	58,5	0,5	25	0,98
813	CH ₃ OH	64,0	1,5	0	0
814	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	34,2	0,5	0	0
815	AlCl ₃	13,35	0,25	25	0,89
816	KOH	5,6	0,25	0	0,90
817	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	171,0	2,5	0	0
818	C ₃ H ₈ O ₃	184,0	2,0	25	0
819	Ba(NO ₃) ₂	200,0	1,0	25	0,95
820	C ₂ H ₅ OH	92,0	1,5	0	0
821	KNO ₃	101,0	0,5	25	0,96
822	CH ₃ COOH	120,0	2,0	0	0
823	NaOH	80,0	0,5	25	0,92
824	BaCl ₂	20,83	0,5	25	0,94
825	Al ₂ (SO ₄) ₂	34,21	1,0	25	0,95

В задачах 826–837 вычислите молярную массу растворенного вещества, находящегося в растворе объемом V при температуре T , если известны масса вещества m и осмотическое давление раствора π .

№ п/п	m , г	V , л	T , °C	$\pi \cdot 10^{-5}$, Па	№ п/п	m , г	V , л	T , °C	$\pi \cdot 10^{-5}$, Па
826	9,0	0,25	5,0	4,5	832	2,8	0,2	0,0	7,0
827	0,55	0,5	0,0	0,22	833	2,0	0,15	0,0	0,064
828	0,70	0,25	25,0	0,2	834	0,2	0,01	17,0	0,039
829	2,3	0,1	25,0	6,18	835	1,5	0,2	0,0	0,043
830	0,05	0,1	0,0	0,112	836	0,15	0,1	25,0	0,01
831	3,04	0,6	0,0	0,672	837	4,88	2,0	0,0	0,28

5.4. Равновесие в растворах электролитов

В задачах 838–849 вычислите концентрации ионов, на которые диссоциирует слабый электролит в водном растворе. Напишите уравнение диссоциации электролита.

№ п/п	Электро- лит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$	№ п/п	Электро- лит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$
838	NH_4OH	0,01	$1,79 \cdot 10^{-5}$	844	HF	0,01	$6,61 \cdot 10^{-4}$
839	LiOH	0,2	$6,75 \cdot 10^{-1}$	845	NH_4OH	0,1	$1,79 \cdot 10^{-5}$
840	HSCN	0,01	$1,4 \cdot 10^{-1}$	846	HBO_2	0,001	$7,5 \cdot 10^{-1}$
841	HCN	0,01	$7,9 \cdot 10^{-10}$	847	HIO_3	0,1	$1,9 \cdot 10^{-1}$
842	HClO_2	0,01	$5,0 \cdot 10^{-3}$	848	HBrO_3	0,1	$2,0 \cdot 10^{-1}$
843	LiOH	0,002	$6,75 \cdot 10^{-1}$	849	HNO_2	0,001	$4,0 \cdot 10^{-4}$

В задачах 850–861 вычислите pH водного раствора электролита. Напишите уравнение диссоциации электролита.

№ п/п	Электро- лит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$	№ п/п	Электро- лит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$
850	HF	0,02	$6,61 \cdot 10^{-4}$	856	HNO_2	0,01	$4,0 \cdot 10^{-4}$
851	HSCN	0,5	$1,4 \cdot 10^{-1}$	857	HClO_2	0,02	$5,0 \cdot 10^{-3}$
852	NH_4OH	0,2	$1,79 \cdot 10^{-5}$	858	LiOH	0,1	$6,75 \cdot 10^{-1}$
853	HIO_3	1,0	$1,9 \cdot 10^{-1}$	859	HCN	0,05	$7,9 \cdot 10^{-10}$
854	HBrO_3	0,8	$2,0 \cdot 10^{-1}$	860	NH_4OH	0,08	$1,8 \cdot 10^{-5}$
855	HBO_2	0,1	$7,5 \cdot 10^{-1}$	861	HF	0,005	$6,6 \cdot 10^{-4}$

В задачах 862–871 вычислите концентрации ионов, на которые диссоциирует комплексный ион в водном растворе. Напишите уравнение диссоциации иона.

№ п/п	Ион	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$
862	$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$	0,01	$1,0 \cdot 10^{-24}$
863	$[\text{AgBr}_2]^-$	0,001	$7,8 \cdot 10^{-8}$
864	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$	0,01	$1,62 \cdot 10^{-5}$
865	$[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^-$	0,01	$2,7 \cdot 10^{-8}$
866	$[\text{CuBr}_2]^-$	0,01	$1,3 \cdot 10^{-6}$
867	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	0,01	$8,0 \cdot 10^{-22}$
868	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$	0,005	$2,24 \cdot 10^{-8}$
869	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$	0,01	$6,6 \cdot 10^{-7}$
870	$[\text{AgCl}_2]^-$	0,001	$1,76 \cdot 10^{-5}$
871	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,01	$1,1 \cdot 10^{-12}$

В задачах 872–880 вычислите рН водного раствора щелочи, если известна массовая доля ω вещества в растворе. Плотность раствора и степень диссоциации щелочи в растворе примите равными единице.

№ п/п	Щелочь	$\omega, \%$
872	NaOH	0,005
873	KOH	0,03
874	RbOH	0,025
875	CsOH	0,055
876	Ca(OH) ₂	0,045
877	Sr(OH) ₂	0,002
878	Ba(OH) ₂	0,004
879	RbOH	0,001
880	Ba(OH) ₂	0,005

В задачах 881–901 вычислите коэффициент активности и значение рН водного раствора сильного электролита с известной молярной концентрацией C . Напишите уравнение полной диссоциации электролита.

№ п/п	Электролит	C , моль/л	№ п/п	Электролит	C , моль/л
881	Ba(OH) ₂	0,005	883	HCl	0,01
882	NaOH	0,002	884	H ₂ SO ₄	0,004

Окончание таблицы

№ п/п	Электролит	C , моль/л	№ п/п	Электролит	C , моль/л
885	HNO ₃	0,002	894	CsOH	0,05
886	HClO ₄	0,007	895	HI	0,02
887	Ca(OH) ₂	0,02	896	NaOH	0,04
888	KOH	0,001	897	HBr	0,006
889	CsOH	0,005	898	KOH	0,05
890	HClO ₄	0,02	899	H ₂ SO ₄	0,04
891	HBr	0,01	900	HNO ₃	0,01
892	Ca(OH) ₂	0,003	901	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,01
893	Ba(OH) ₂	0,04			

В задачах 902–909 вычислите константу и степень гидролиза соли при $T = 298$ К. Напишите уравнение гидролиза соли.

№ п/п	Соль	C , моль/л	K_a	K_b
902	NaCN	0,5	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
903	KF	0,3	$6,67 \cdot 10^{-4}$	—
904	NH ₄ Cl	0,5	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
905	AgNO ₃	0,05	$5,0 \cdot 10^{-3}$	—
906	NaCN	0,4	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
907	KNO ₂	0,03	$5,13 \cdot 10^{-4}$	—
908	NaNCS	0,001	$1,41 \cdot 10^{-1}$	—
909	NH ₄ NO ₃	0,004	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$

В задачах 910–917 вычислите степень гидролиза соли и pH раствора при $T = 298$ К. Напишите уравнение гидролиза соли.

№ п/п	Соль	C , моль/л	K_a	K_b
910	RbCN	0,02	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
911	NaF	0,005	$6,67 \cdot 10^{-4}$	—
912	NH ₄ Cl	0,008	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
913	AgNO ₃	0,002	$5,0 \cdot 10^{-3}$	—
914	NaCN	0,001	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
915	NaNO ₂	0,007	$5,13 \cdot 10^{-4}$	—
916	NH ₄ NO ₃	0,02	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
917	CH ₃ COONa	0,02	$1,75 \cdot 10^{-5}$	—

5.5. Растворимость твердых веществ. Насыщенные растворы

В задачах 918–935 вычислите растворимость [(моль/л) и (г/л)] вещества при температуре 25 °С и заданном произведении растворимости ПР. Напишите уравнение диссоциации электролита в насыщенном растворе.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
918	AgBr	$4,8 \cdot 10^{-13}$	927	Co(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-6}$
919	AgBrO ₃	$6,1 \cdot 10^{-5}$	928	CaCO ₃	$3,7 \cdot 10^{-9}$
920	CaSO ₄	$1,7 \cdot 10^{-5}$	929	Ag ₂ S	$6,3 \cdot 10^{-50}$
921	CdCO ₃	$2,5 \cdot 10^{-14}$	930	AgI	$8,1 \cdot 10^{-17}$
922	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$	931	AgIO ₃	$3,0 \cdot 10^{-8}$
923	PbS	$6,2 \cdot 10^{-28}$	932	Ag ₂ CrO ₄	$4,7 \cdot 10^{-12}$
924	AgCl	$1,7 \cdot 10^{-10}$	933	Ni(OH) ₂	$1,2 \cdot 10^{-16}$
925	AgCN	$1,6 \cdot 10^{-14}$	934	Zn(OH) ₂	$4,9 \cdot 10^{-17}$
926	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	935	AuCl	$2,0 \cdot 10^{-13}$

В задачах 936–947 вычислите равновесную молярную концентрацию (моль/л) аниона в насыщенном растворе соли при температуре 25 °С. Напишите уравнение диссоциации электролита в насыщенном растворе.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
936	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$	942	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
937	Ag ₂ SO ₄	$1,2 \cdot 10^{-5}$	943	Hg ₂ Br ₂	$5,4 \cdot 10^{-23}$
938	Ni(OH) ₂	$1,2 \cdot 10^{-16}$	944	Cd(OH) ₂	$1,8 \cdot 10^{-14}$
939	Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-15}$	945	Co(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-16}$
940	Ag ₂ S	$4,2 \cdot 10^{-50}$	946	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$
941	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	947	PbI ₂	$8,2 \cdot 10^{-9}$

В задачах 948–954 вычислите значение произведения растворимости гидроксида металла Me(OH)₂, если известен водородный показатель его насыщенного раствора при температуре 25 °С.

№ п/п	948	949	950	951	952	953	954
pH	9,54	9,17	10,68	9,76	9,34	10,24	12,36

В задачах 955–966 вычислите объем воды, который потребуется для растворения 0,01 г вещества при температуре 25 °C. Объем воды примите равным объему раствора.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
955	TlCl	$1,8 \cdot 10^{-4}$	961	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
956	Ag ₂ CrO ₄	$4,7 \cdot 10^{-12}$	962	Hg ₂ Cl ₂	$1,2 \cdot 10^{-18}$
957	Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-15}$	963	TlI	$8,8 \cdot 10^{-8}$
958	CuCl	$3,2 \cdot 10^{-7}$	964	ZnS	$1,9 \cdot 10^{-22}$
959	Ag ₂ S	$4,2 \cdot 10^{-50}$	965	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$
960	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	966	Hg ₂ SO ₄	$6,4 \cdot 10^{-7}$

6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

6.1. Окислительно-восстановительные реакции

В задачах 967–988 по приведенным уравнениям полуреакций и значениям стандартных потенциалов составьте полное ионно-молекулярное уравнение окислительно-восстановительной реакции, самопроизвольно протекающей в редокс-элементе. Рассчитайте ЭДС элемента и стандартную энергию Гиббса реакции $\Delta_r G_{298}^0$.

№ п/п	Уравнение полуреакции	ϕ^0 , В
967	$S + 2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2S$	0,14
	$SO_3^{2-} + 6H^+ + 6e \leftrightarrow S + 3H_2O$	0,45
968	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,33
	$S + 2e \leftrightarrow S^{2-}$	-0,48
969	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
	$S + 2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2S$	0,14
970	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,33
	$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36
971	$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36
	$IO_3^- + 6H^+ + 6e \leftrightarrow I^- + 3H_2O$	1,09
972	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
	$I_2 + 2e \leftrightarrow 2I^-$	0,62

Окончание таблицы

№ п/п	Уравнение полуреакции	ϕ^0 , В
973	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,2 1,06
974	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,23 1,06
975	$\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ $\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,77 0,94
976	$\text{Ni}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ni}$ $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,25 0,17
977	$\text{Al}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Al}$ $2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2$	-1,66 0,0
978	$\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ $\text{F}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{F}^-$	0,77 2,87
979	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + e \leftrightarrow 0,5\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^-$ $\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	0,40 1,36
980	$\text{MnO}_4^- + e \leftrightarrow \text{MnO}_4^{2-}$ $\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	0,56 1,36
981	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$ $\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	0,63 1,36
982	$\text{Sn}^{4+} + 2e \leftrightarrow \text{Sn}^{2+}$ $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	0,15 1,78
983	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,69 1,06
984	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ $\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$	1,33 0,14
985	$\text{MnO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 5e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,51 0,94
986	$\text{ClO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,47 0,55
987	$\text{Ag}^+ + e \leftrightarrow \text{Ag}$ $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,799 1,69
988	$\text{Cu}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cu}$ $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,34 0,79

В задачах 989 – 1005 определите направление, в котором реакция может протекать самопроизвольно, используя окислительно-восстановительные потенциалы отдельных полуреакций, вычислите стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ и константу равновесия реакции.

№ п/п	Уравнение реакции	$\phi^0, \text{В}$
989	$2\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + 4\text{HCl}$	$\phi^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77$ $\phi^0(\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2) = 0,16$
990	$5\text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{KMnO}_4 + 3\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\phi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{MnO}_2) = 1,6$ $\phi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}) = 1,23$
991	$2\text{Al} + \text{KNO}_2 + \text{KOH} + 5\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{KAl(OH)}_4 + \text{NH}_3$	$\phi^0(\text{Al(OH)}_4^-/\text{Al}) = -2,37$ $\phi^0(\text{NO}_2^-/\text{NH}_3) = -0,133$
992	$3\text{MnSO}_4 + 2\text{KClO}_3 + 12\text{KOH} \leftrightarrow 3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{KCl} + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$	$\phi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{Mn}^{2+}) = 0,71$ $\phi^0(\text{ClO}_3^-/\text{Cl}^-) = 1,463$
993	$5\text{S} + 2\text{MnSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{S}$	$\phi^0(\text{S}/\text{H}_2\text{S}) = 0,17$ $\phi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{Mn}^{2+}) = 1,51$
994	$4\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 4\text{Zn} + 10\text{HNO}_3$	$\phi^0(\text{Zn}^{+2}/\text{Zn}) = -0,763$ $\phi^0(\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+) = 0,87$
995	$2\text{KMnO}_4 + 2\text{KCl} \leftrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{K}_2\text{MnO}_4$	$\phi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\phi^0(\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_4^{2-}) = 0,56$
996	$2\text{NaCl} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \leftrightarrow 2\text{FeSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	$\phi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\phi^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77$
997	$\text{KClO}_3 + 5\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH}$	$\phi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\phi^0(\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2) = 1,46$
998	$\text{Cl}_2 + 2\text{KOH} \leftrightarrow \text{KClO} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$	$\phi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\phi^0(\text{ClO}^{2-}/\text{Cl}_2) = 0,4$
999	$14\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 2\text{CrCl}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$	$\phi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\phi^0(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}) = 1,333$
1000	$\text{MnO}_2 + 2\text{Br}_2 + 4\text{HBr} \leftrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\phi^0(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1,09$ $\phi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}) = 1,23$

№ п/п	Уравнение реакции	φ^0 , В
1001	$2\text{MnCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{MnO}_2 + 4\text{HCl}$	$\varphi^0(\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}) = 1,51$ $\varphi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{3+}) = 0,95$
1002	$\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \leftrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,799$ $\varphi^0(\text{NO}_3^- / \text{NO}_2) = 0,88$
1003	$5\text{HCl} + \text{HClO}_3 \leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,359$ $\varphi^0(\text{ClO}_3^- / \text{Cl}_2) = 1,47$
1004	$2\text{KI} + 2\text{KNO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO} + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0,536$ $\varphi^0(\text{NO}_2^- / \text{NO}) = 1,0$
1005	$2\text{KMnO}_4 + 2\text{KCl} \leftrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{K}_2\text{MnO}_4$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_4^{2-}) = 0,56$

6.2. Процессы в гальваническом элементе

В задачах 1006 – 1029 вычислите ЭДС и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ реакции, протекающей в гальваническом элементе, который образован металлами, погруженными в растворы собственных солей с известными относительными активностями ионов a . Составьте схему гальванического элемента, напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции.

№ п/п	Металл	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me})$, В	a	№ п/п	Металл	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me})$, В	a
1006	Al Zn	-1,662 -0,763	0,003 0,0004	1010	Cd Cu	-0,403 +0,337	0,02 0,006
1007	Be Ni	-1,847 -0,250	0,01 0,0004	1011	Pb Cu	-0,126 +0,337	0,0008 0,04
1008	Zn Ag	-0,763 +0,799	0,002 0,001	1012	Be Cu	-1,847 +0,337	0,004 0,01
1009	Fe Sn	-0,440 -0,136	0,02 0,0004	1013	Fe Ni	-0,440 -0,250	0,006 0,02

Окончание таблицы

№ п/п	Металл	$\phi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me})$, В	a	№ п/п	Металл	$\phi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me})$, В	a
1014	Co Cr	-0,277 -0,744	0,004 0,03	1022	Cu Sn	+0,337 -0,136	0,005 0,006
1015	Zn Ag	-0,763 +0,799	0,005 0,001	1023	Zn Pb	-0,763 -0,126	0,001 0,004
1016	Mg Ni	-2,37 -0,25	0,0005 0,005	1024	Sn Ag	-0,136 +0,799	0,008 0,005
1017	Be Ni	-1,847 -0,250	0,0002 0,006	1025	Au Al	+1,498 -1,662	0,006 0,006
1018	Mn Al	-1,180 -1,662	0,02 0,001	1026	Mn Ni	-1,180 -0,250	0,0004 0,008
1019	Cu Ag	+0,337 +0,799	0,0008 0,003	1027	Al Cu	-1,662 +0,337	0,007 0,007
1020	Cd Pb	-0,403 -0,126	0,04 0,004	1028	Tl Pb	-0,336 -0,126	0,004 0,003
1021	Au Ag	+1,498 +0,799	0,003 0,02	1029	Al Cu	-1,662 +0,337	0,0008 0,005

В задачах 1030–1041 вычислите ЭДС и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ процесса, протекающего в концентрационном гальваническом элементе, образованном одинаковыми металлическими электродами, погруженными в растворы своих солей с разными концентрациями ионов и разными степенями диссоциации. Составьте схему элемента, напишите уравнения электродных процессов, укажите направление переноса электронов во внешней цепи.

№ п/п	Электрод	$\phi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me})$, В	Электролиты			
			C_1 , моль/л	a_1	C_2 , моль/л	a_2
1030	Cd^{2+}/Cd	-0,403	0,004	0,85	0,012	0,70
1031	Cu^{2+}/Cu	+0,337	0,006	0,90	0,010	0,86
1032	Sn^{2+}/Sn	-0,136	0,042	0,70	0,030	0,84
1033	Co^{2+}/Co	-0,277	0,008	0,88	0,004	0,95
1034	Ni^{2+}/Ni	-0,250	0,012	0,94	0,008	0,98
1035	Al^{3+}/Al	-1,662	0,006	0,99	0,008	0,88
1036	Cu^{+}/Cu	+0,521	0,007	0,87	0,001	0,98

№ п/п	Электрод	$\phi^0(Me^{z+}/Me)$, В	Электролит			
			C_1 , моль/л	a_1	C_2 , моль/л	a_2
1037	Hg^{2+}/Hg	+0,854	0,005	0,62	0,001	0,78
1038	Be^{2+}/Be	-1,847	0,004	0,82	0,006	0,78
1039	Tl^+/Tl	-0,336	0,008	0,88	0,005	0,92
1040	Ag^+/Ag	+0,799	0,006	0,84	0,009	0,80
1041	Mn^{2+}/Mn	-1,180	0,050	0,86	0,008	0,92

В задачах 1042 – 1061 по известной ЭДС гальванического элемента, составленного из указанных металлических электродов, погруженных в растворы своих солей, определите потенциал электрода, находящегося в электролите с неизвестной относительной активностью ионов a , а также значение активности. Составьте схему элемента, напишите уравнения процессов, протекающих на электродах.

№ п/п	Электрод	$\phi^0(Me^{z+}/Me)$, В	a	ЭДС, В
1042	Al	-1,662	0,001	0,899
	Zn	-0,763	?	
1043	Be	-1,847	?	1,438
	Ni	-0,250	0,0001	
1044	Zn	-0,763	0,002	1,464
	Ag	+0,799	?	
1045	Fe	-0,440	?	0,254
	Sn	-0,136	0,0004	
1046	Cd	-0,403	0,02	0,702
	Cu	+0,337	?	
1047	Pb	-0,126	?	0,484
	Cu	+0,337	0,04	
1048	Be	-1,847	?	2,199
	Cu	+0,337	0,01	
1049	Fe	-0,440	0,006	0,181
	Ni	-0,250	?	
1050	Co	-0,277	?	0,447
	Cr	-0,744	0,003	
1051	Zn	-0,763	?	1,455
	Ag	+0,799	0,001	

№ п/п	Электрод	φ^0 (Ме e^{z+} /Ме), В	a	ЭДС, В
1052	Mn	-1,180	0,02	0,482
	Al	-1,662	?	
1053	Cu	+0,337	?	0,355
	Ag	+0,799	0,003	
1054	Cd	-0,403	0,04	0,277
	Pb	-0,126	?	
1055	Au	+1,498	0,003	0,571
	Ag	+0,799	?	
1056	Cu	+0,337	?	0,468
	Sn	-0,136	0,006	
1057	Zn	-0,763	?	0,557
	Pb	-0,126	0,004	
1058	Sn	-0,136	0,008	0,761
	Ag	+0,799	?	
1059	Au	+1,498	?	3,153
	Al	-1,662	0,006	
1060	Mn	-1,180	0,0004	0,959
	Ni	-0,250	?	
1061	Al	-1,662	0,006	1,972
	Cu	+0,337	?	

6.3. Процессы при электролизе

В задачах 1062 – 1079 определите количества веществ (масса, объем), выделяющихся на инертных электродах, при пропускании через водный раствор электролита тока известного значения в течение определенного времени. Напишите уравнения электродных процессов. Электролиз проводится при стандартном давлении и температуре 298 К.

№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин	№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин
1062	NaCl	2,0	60,0	1067	SnCl ₂	4,6	60,0
1063	KOH	3,5	40,0	1068	BeI ₂	3,5	60,0
1064	H ₂ SO ₄	6,5	30,0	1069	Cu(NO ₃) ₂	2,5	90,0
1065	Cd(NO ₃) ₂	1,5	120,0	1070	HCl	6,8	35,0
1066	Mg(OH) ₂	2,5	75,0	1071	CuCl ₂	5,5	30,0

Окончание таблицы

№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин	№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин
1072	AgNO ₃	7,8	45,0	1076	AlCl ₃	8,5	85,0
1073	CoSO ₄	10,2	90,0	1077	Tl ₂ SO ₄	9,5	25,0
1074	KCl	25,0	15,0	1078	NiSO ₄	10,5	25,0
1075	FeSO ₄	1,7	90,0	1079	HNO ₃	4,5	50,0

В задачах 1080 – 1092 определите изменение массы растворимого анода при пропускании тока через электролит. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах, и суммарное уравнение реакции.

№ п/п	Электролит	Электроды		Режим электролиза		
		Анод	Катод	Ток, А	Время, ч	Выход по току
1080	NiSO ₄	Ni	Pt	25,0	2,5	0,85
1081	Cd(NO ₃) ₂	Cd	C	4,5	1,5	0,75
1082	CuCl ₂	Cu	Cu	12,5	3,0	0,97
1083	SnCl ₂	Sn	Pt	2,5	1,5	0,80
1084	AlCl ₃	Al	Pt	100,0	4,5	0,87
1085	NiCl ₂	Ni	C	36,0	2,6	0,88
1086	CdSO ₄	Cd	Cd	5,7	3,5	0,86
1087	SnSO ₄	Sn	C	7,5	2,2	0,85
1088	Cu(NO ₃) ₂	Cu	Pt	23,0	1,8	0,98
1089	AgNO ₃	Ag	Ag	30,0	2,0	0,90
1090	CuSO ₄	Cu	C	250	3,5	0,87
1091	Co(NO ₃) ₂	Co	Pt	30,0	0,5	0,76
1092	H ₂ [AuCl ₄]	Au	C	120	1,5	0,55

В задачах 1093 – 1102 определите время, необходимое для получения известной массы металла электролизом расплава гидроксида этого металла при заданных токе и выходе по току. Напишите процессы, протекающие на платиновых электродах.

№ п/п	Металл	Масса металла, г	Ток, А	Выход по току, %
1093	Na	500	2500	40,0
1094	Li	750	3000	35,0
1095	Rb	1000	2500	45,0

№ п/п	Металл	Масса металла, г	Ток, А	Выход по току, %
1096	Cs	350	2000	50,0
1097	Ba	500	2500	35,0
1098	K	1000	3500	70,0
1099	Be	2000	3000	60,0
1100	Mg	2500	2500	55,0
1101	Al	500	3000	70,0
1102	Ca	500	2500	45,0

В задачах 1103 – 1112 определите значение тока, необходимого для получения известной массы металла электролизом водного раствора электролита. Напишите уравнения процессов, протекающих на инертных электродах. Рассчитайте электрохимический эквивалент металла.

№ п/п	Электролит	Масса металла, г	Время, мин	Выход по току, %
1103	AgNO ₃	5,00	25,0	95,0
1104	CuSO ₄	4,50	30,0	97,0
1105	NiCl ₂	6,00	35,0	85,0
1106	Au(NO ₃) ₃	3,50	20,0	94,0
1107	SnCl ₂	5,00	25,0	85,0
1108	ZnSO ₄	10,0	35,0	70,0
1109	Cd(NO ₃) ₂	5,5	30,0	80,0
1110	Co(NO ₃) ₂	2,5	25,0	85,0
1111	Pb(NO ₃) ₂	4,5	20,0	80,0
1112	FeSO ₄	2,5	20,0	85,0

6.4. Электрохимическая коррозия металлов

В задачах 1113 – 1130 определите возможность коррозии металла при стандартном давлении и температуре 298 К в аэрированном водном растворе с указанным значением pH. Составьте схему коррозионного элемента, напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции. Рассчитайте ЭДС элемента и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ коррозионного процесса.

Примите относительную активность ионов корродирующего металла равной 10^{-6} .

№ п/п	Металл	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	pH	№ п/п	Металл	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	pH
1113	Al	-1,662	7,2	1122	Cu	+0,337	6,5
1114	Mg	-2,366	6,5	1123	Co	-0,277	8,3
1115	Fe	-0,440	7,5	1124	Be	-1,847	6,8
1116	Sn	-0,136	8,4	1125	Pb	-0,126	7,1
1117	Ag	+0,799	7,4	1126	Fe	-0,440	6,3
1118	Cr	-0,744	7,0	1127	Au	+1,498	5,5
1119	Sn	-0,136	8,6	1128	Ni	-0,250	5,8
1120	Cu	+0,337	7,6	1129	Mn	-1,17	7,0
1121	Cd	-0,403	8,1	1130	Pt	+1,19	7,0

В задачах 1131 – 1142 определите, какой металл подвергается контактной коррозии при стандартном давлении и температуре 298 К в деаэрированном растворе с указанным значением pH и известной относительной активностью a ионов корродирующего металла. Напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции. Рассчитайте ЭДС коррозионного элемента и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ коррозионного процесса.

№ п/п	Контактирующие металлы				pH	a
	Me ₁	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	Me ₂	φ^0 (Me^{z+}/Me), В		
1131	Al	-1,662	Fe	-0,440	7,8	0,0046
1132	Zn	-0,763	Cd	-0,403	8,6	0,0005
1133	Fe	-0,440	Zn	-0,763	7,0	0,0077
1134	Sn	-0,136	Mg	-2,366	6,2	0,0003
1135	Ni	-0,256	Ag	+0,799	5,7	0,0025
1136	Cu	+0,337	Sn	-0,136	5,2	0,0008
1137	Ag	+0,799	Ni	-0,256	4,8	0,0013
1138	Pb	-0,126	Al	-1,662	8,8	0,0006
1139	Fe	-0,440	Sn	-0,136	7,0	0,0018
1140	Mg	-2,366	Cu	+0,337	6,5	0,0056
1141	Mg	-2,366	Fe	-0,440	6,0	0,0055
1142	Cu	+0,337	Ag	+0,799	6,8	0,0063

В задачах 1143–1157 определите, к какому типу относится покрытие, нанесенное на сталь (потенциал стали примите равным стандартному потенциалу железа $\varphi_{(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe})}^0 = -0,440 \text{ В}$). Напишите уравнения процессов, возникающих в случае разрушения покрытия: а) в морской воде, pH = 8; б) в воде системы отопления (деаэрированная среда). В какой среде коррозия протекает интенсивнее? Ответ подтвердите расчетом ЭДС коррозионного элемента, приняв активность ионов корродирующего металла равной 10^{-6} .

№ п/п	Покрытие	φ^0 (Me ^{Z+} /Me), В	№ п/п	Покрытие	φ^0 (Me ^{Z+} /Me), В
1143	Sn	-0,136	1151	Co	-0,277
1144	Zn	-0,763	1152	Cd	-0,403
1145	Cr	-0,744	1153	Mg	-2,366
1146	Be	-1,847	1154	Ti	-1,630
1147	Mo	-0,204	1155	Mn	-1,175
1148	Cu	+0,336	1156	Zr	-1,539
1149	Ni	-0,256	1157	Pb	-0,126
1150	Al	-1,662			

В задачах 1158–1166 определите время, необходимое для нанесения металлического покрытия на железо электрохимическим способом. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах в водных растворах электролитов.

№ п/п	Металл покрытия	Плотность металла, кг/м ³	Толщина покрытия, мкм	Плотность тока, А/дм ²	Выход по току, %	Электролит
1158	Cu	8 960	6,5	2,0	85,0	Na[Cu(CN) ₂]
1159	Zn	7 133	4,5	2,0	74,0	Na ₂ [Zn(CN) ₄] CdSO ₄
1160	Cd	8 650	10,0	1,5	90,0	Pb[BF ₄] NiSO ₄
1161	Pb	11 350	8,6	2,0	80,0	K ₂ [Cu(CN) ₄] Na ₂ [TaCl ₅] Cr ₂ (SO ₄) ₃
1162	Ni	8 902	5,5	1,5	78,0	K ₃ [IrCl ₆]
1163	Cu	8 960	3,0	1,0	70,0	
1164	Ta	16 690	4,0	2,0	75,0	
1165	Cr	7 200	3,8	1,8	72,0	
1166	Ir	22 560	4,5	2,0	80,0	

В задачах 1167–1175 определите толщину металлического покрытия, нанесенного электрохимическим способом на железо. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах в водных растворах электролитов.

№ п/п	Металл покрытия	Плотность металла, кг/м ³	Плотность тока, А/дм ²	Время электролиза, мин	Выход по току, %	Электролит
1167	Cu	8960	1,0	25,0	75,0	Na[Cu(CN) ₂]
1168	Zn	7133	2,0	45,0	81,0	Na ₂ [Zn(CN) ₄] CdSO ₄
1169	Cd	8650	1,8	20,0	89,0	Pb[BF ₄]
1170	Pb	11350	2,0	60,0	91,0	NiSO ₄
1171	Ni	8902	1,5	45,0	79,0	K ₂ [NbF ₅]
1172	Nb	8580	2,0	20,0	90,0	Sn(NO ₃) ₂
1173	Sn	5750	1,5	15,0	89,0	H ₂ [TiF ₆]
1174	Ti	4540	2,0	25,0	91,0	K ₃ [IrCl ₆]
1175	Ir	22560	2.0	20,0	90,0	

ЛИТЕРАТУРА

Ермолаева В.И., Двуличанская Н.Н. Теоретические основы неорганической химии. Методические указания к решению задач по курсу «Неорганическая химия». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 61 с.

Задачи и упражнения по общей химии / Б.И. Адамсон, О.Н. Гончарук, В.Н. Камышова и др.; под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2006. 255 с.

Задачи по общей и неорганической химии: учеб. пособие / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева; под ред. Р.А. Лидина. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2004. 383с.

Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. 10-е изд., испр. и допол. СПб.: Иван Федоров, 2003. 240 с.

Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ. М.: Химия, 1987. 320 с.

Методические указания к выполнению домашнего задания по базовому курсу химии. Ч. 1 / В.И. Ермолаева, О.И. Романко, А.Д. Смирнов, В.А. Батюк. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 40 с.

Методические указания к выполнению домашнего задания по базовому курсу химии. Ч. 2 / В.И. Ермолаева, О.И. Романко, А.Д. Смирнов, В.А. Батюк. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 41 с.

Химия: учебник / А.А. Гуров, Ф.З. Бадаев, Л.П. Овчаренко, В.Н. Шаповал. 3-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 784 с.

Термодинамические свойства веществ

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
Al _(к)	0,0	28,3	0,0
Al ₂ O _{3(к)}	-1675	57	-1582
As _(к)	0,0	36	0,0
As ₂ O _{3(к)}	-666	117	-588
As ₂ O _{5(к)}	-925	105	-782
AsF _{3(г)}	-921	289	-906
AsF _{5(г)}	-1238	353	-1181
Ar _(г)	0,0	150,8	0,0
Ag _(к)	0,0	43	0,0
Au _(к)	0,0	48	0,0
Be _(к)	0,0	10	0,0
C _(графит)	0,0	5,74	0,0
CO _(г)	-110	197	-137
CO _{2(г)}	-393	214	-395
CS _{2(ж)}	88	151	64
COF _{2(г)}	-635	258	-619
CaO _(к)	-635	40	-604
Ca(OH) _{2(к)}	-985	83	-897
CaCO _{3(к)}	-1207	92	-1128
Co _(к)	0,0	30	0,0
Cu _(к)	0,0	33	0,0
Cr _(к)	0,0	24	0,0
CuCl _(к)	-136	87	-119
CrCl _{2(к)}	-393	115	-356
CrCl _{3(к)}	-516	123	-446
CrF _{2(к)}	-754	84	-711
Ce ₂ O _{3(к)}	-1801	143	-1708
Cl _(г)	122	165	106
Cl _{2(г)}	0,0	223	0,0
Cl ₂ F _{6(г)}	-326	562	-246
Fe _(к)	0,0	27	0,0
FeO _(к)	-264	59	-251
Fe ₂ O _{3(к)}	-824	87	-742
Fe ₃ O _{4(к)}	-1117	151	-1012

Продолжение таблицы

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
F _(г)	79	159	62
F _{2(г)}	0,0	203	0,0
Ge _(к)	0,0	42	0,0
GeO _{2(к)}	-580	40	-522
GeCl _{4(г)}	-495	348	-457
H _(г)	218	115	203
H _{2(г)}	0,0	131	0,0
H ₂ O _(ж)	-286	70	-238
H ₂ O _(г)	-242	189	-228
HCl _(г)	-92	187	-951
H ₂ S _(г)	-21	206	-34
HF _(г)	-271	174	-273
Hg ₂ Br _{2(к)}	-207	218	-181
He _(г)	0,0	126	0,0
Ir _(к)	0,0	35	0,0
Ir ₂ S _{3(к)}	-245	97	-224
Kr _(г)	0,0	164	0,0
Mn _(к)	0,0	32	0,0
MnO _(к)	-385	60	-363
MnO _{2(к)}	-520	53	-465
MgO _(к)	-601	27	-569
Mg(OH) _{2(к)}	-925	63	-834
Mo _(к)	0,0	29	0,0
MoO _{2(к)}	-585	46	-534
Mo ₂ C _(к)	18	82	12
N _(г)	473	153	456
N _{2(г)}	0,0	192	0,0
N ₂ O _(г)	82	220	104
NO _(г)	91	211	87
NO _{2(г)}	33	240	51
N ₂ O _{4(г)}	9	304	98
NH _{3(г)}	-46	192	-16
NH ₄ Cl _(к)	-315	95	-203
Ne _(г)	0,0	146	0,0
Ni _(к)	0,0	30	0,0
NiO _(к)	-240	38	-212
Ni(OH) _{2(к)}	-544	80	-459

Продолжение таблицы

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
O _(г)	249	161	232
O _{2(г)}	0,0	205	0,0
PCl _{5(г)}	-375	364	-305
PCl _{3(г)}	-287	312	-268
Pb _(к)	0,0	65	0,0
PbO _(к)	-217	69	-183
PbO _{2(к)}	-277	72	-218
PbS _(к)	-101	91	-99
Pt _(к)	0,0	42	0,0
Rh _(к)	0,0	29	0,0
S _(к)	0,0	32	0,0
S _{2(г)}	128	228	79
SO _{2(г)}	-297	248	-300
SO ₂ Cl _{2(г)}	-364	312	-320
SO _{3(г)}	-396	257	-371
Si _(к)	0,0	19	0,0
SiO _{2(к)}	-859	42	-805
Sn _(к)	0,0	52	0,0
Sb _(к)	0,0	46	0,0
W _(к)	0,0	33	0,0
WO _{3(г)}	-293	287	-277
WO _{3(к)}	-843	76	-764
Zn _(к)	0,0	42	0,0
ZrCl _{2(г)}	-326	308	-340
CH _{4(г)}	-75	186	-51
C ₂ H _{2(г)}	309	244	297
C ₂ H _{4(г)}	55	232	68
C ₂ H _{6(г)}	-85	230	—
C ₂ H ₆ O _(г)	-277	161	—
C ₃ H _{6(г)}	20	227	—
C ₃ H _{8(г)}	-104	270	—
C ₄ H _{8(г)}	1,7	307,4	—
CH ₂ O _(г)	-116	219	—
C ₆ H ₅ NO _{2(ж)}	16	224	—
C ₅ H ₅ N _(ж)	100	178	—
CH ₄ N ₂ O _(к)	-333	105	—
C ₁₀ H _{8(к)}	78	167	—

Окончание таблицы

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
CH ₄ O _(ж)	-239	127	—
C ₃ H ₆ O _(ж)	-277	161	—
C ₄ H _{10(г)}	-126	310	—
CH ₃ COOH _(ж)	-484	160	—
C ₂ H ₅ OH _(ж)	-277	161	—
C ₆ H _{6(г)}	83	269	—
C ₆ H _{12(г)}	-42	403	—
HCOOH _(г)	-377	252	—
COCl _{2(г)}	-220	28	—
CCl _{4(г)}	-103	310	—
CH ₃ Cl _(г)	-82	233	—
CF ₂ Cl _{2(г)}	-486	301	—
C ₂ F _{4(г)}	-659	300	—