

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
УКРАИНЫ**

**ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

**ПОСОБИЕ  
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ  
ПО КУРСУ «ХИМИЯ»  
СТУДЕНТАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ ЛП  
ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ**

Утверждено  
на заседании ученого  
совета ДГМА  
Протокол № 2 от 17.11.2005

**Краматорск ДГМА 2005**

**ББК 24.1**

УДК 54.07

А-18

Рецензенты:

К.С.Бурмистров, д.х.н., профессор кафедры физической химии Украинского государственного химико-технологического университета;

Поляков А.Е., к.х.н., доцент кафедры химии и охраны труда Донбасской государственной машиностроительной академии

Авдеенко А.П.

А-18 Пособие для выполнения контрольной работы по курсу «Химия» студентами специальности ЛП заочного отделения / А.П.Авдеенко, Н.И.Евграфова – Краматорск: ДГМА, 2005. – 60 с.

ISBN 966-379-026-1

Пособие для выполнения контрольной работы по курсу «Химия» студентами специальности ЛП заочного отделения содержит методику решения типичных задач по ключевым разделам курса, таблицу вариантов заданий, а также задачи для самостоятельного решения.

**ISBN 966-379-026-1**

© А.П.Авдеенко,  
Н.И.Евграфова, 2005

© ДГМА, 2005.

## 1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Инженер любой специальности должен обладать знаниями основ химии. Изучение курса химии способствует расширению эрудиции, вырабатывает навыки логического мышления, позволяет получить представление о материи и химической форме её движения, о веществе, как об одном из видов материи, о путях и закономерностях взаимопревращений веществ. Знание основ химии необходимо для успешного изучения ряда последующих научных и специальных дисциплин. Необходимо усвоить важнейшие законы и теории химии, овладеть техникой специфических химических расчетов, выработать навыки самостоятельной работы с химической литературой, навыки в обобщении знаний.

Самостоятельная работа студента заочника над курсом «Химия» завершается выполнением контрольной работы. Каждый студент выполняет вариант задания, обозначенный двумя последними цифрами номера его студенческого билета. Например, номер студенческого билета 99375, две последние цифры – 75, им соответствует вариант контрольного задания № 75. В таблице вариантов заданий следует найти строку под номером 75. В ней помещены номера задач данного варианта: 17, 39, 57, 79, 83, 120, 125 (контрольная работа № 1); 43, 61, 99, 139, 142, 164, 185 (контрольная работа № 2).

Решение задач и ответы на теоретические вопросы должны быть кратко, но чётко обоснованы, за исключением тех случаев, когда по существу вопроса такая мотивировка не требуется, например, когда нужно составить уравнение реакции или электронную формулу атома.

При решении задач нужно приводить полностью весь ход решения: сначала исходные формулы, затем математические преобразования, вычисления и ответ. Промежуточные и конечные цифровые результаты должны иметь единицы измерения.

Расчётное задание должно быть правильно и аккуратно оформлено. На титульном листе обязательно следует указать: фамилию, имя, отчество, группу, номер варианта. На первой странице вначале требуется перечислить все номера задач данного варианта. Затем привести решения всех семи задач в той последовательности, в какой они указаны в таблице вариантов. Никакие сокращения не допускаются.

Каждая задача должна быть оформлена в такой последовательности:

- 1) номер задачи, выделенный цветом или подчёркиванием;
- 2) условие задачи (полностью, без сокращений);
- 3) решения с необходимыми объяснениями, формулами, расчётами;
- 4) ответ с указанием размерности цифровых величин;
- 5) после каждой задачи надо оставить 3-4 строки для замечаний преподавателя.

В начале каждой главы приведены справочные данные и примеры решения задач, которые могут служить образцом решения и оформления работы.

Расчётное задание должно быть сдано на проверку с предъявлением студенческого билета не позже срока, указанного преподавателем. Если задание не зачтено, преподаватель возвращает его студенту с указанием ошибок и замечаний. В этом случае незачтенные задачи переделываются заново в этой же тетради и сдаются преподавателю вторично.

Студенты, не выполнившие расчётного задания и не получившие по нему зачёта, не могут быть допущены к экзамену.

## 2 ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Номер варианта	Номера задач данного варианта						
1	2						
01	1	21	41	61	81	101	121
02	2	22	42	62	82	102	122
03	3	23	43	63	83	103	123
04	4	24	44	64	84	104	124
05	5	25	45	65	85	105	125
06	6	26	46	66	86	106	126
07	7	27	47	67	87	107	127
08	8	28	48	68	88	108	128
09	9	29	49	69	89	109	129
10	10	30	50	70	90	110	130
11	11	31	51	71	91	111	131
12	12	32	52	72	92	112	132
13	13	33	53	73	93	113	133
14	14	34	54	74	94	114	134
15	15	35	55	75	95	115	135
16	16	36	56	76	96	116	136
17	17	37	57	77	97	117	137
18	18	38	58	78	98	118	138
19	19	39	59	79	99	119	139
20	20	40	60	80	100	120	140
21	1	22	43	64	85	106	127
22	2	23	44	65	86	107	128
23	3	24	45	66	87	108	129
24	4	25	46	67	88	109	130
25	5	26	47	68	89	110	131
26	6	27	48	69	90	111	132
27	7	28	49	70	91	112	133
28	8	29	50	71	92	113	134
29	9	30	51	72	93	114	135
30	10	31	52	73	94	115	136
31	11	32	53	74	95	116	137

Продолжение таблицы 1

1	2						
32	12	33	54	75	96	117	138
33	13	34	55	76	97	118	139
34	14	35	56	77	98	119	140
35	15	36	57	78	99	120	121
36	16	37	58	79	100	101	122
37	17	38	59	80	81	102	123
38	18	39	60	65	86	107	128
39	19	40	44	66	87	108	129
40	20	23	45	67	88	109	130
41	2	24	46	68	89	110	131
42	3	25	47	69	90	111	132
43	4	26	48	70	91	112	133
44	5	27	49	71	92	113	134
45	6	28	50	72	93	114	135
46	7	29	51	73	94	115	136
47	8	30	52	74	95	116	137
48	9	31	53	75	96	117	138
49	10	32	54	76	97	118	139
50	11	33	55	77	98	119	140
51	12	34	56	78	99	120	122
52	13	35	57	79	100	103	121
53	14	36	58	80	85	104	123
54	15	37	59	61	84	105	124
55	16	38	60	62	83	106	125
56	17	33	41	63	82	101	126
57	18	40	42	61	81	102	127
58	19	21	43	62	87	103	128
59	20	22	41	63	88	104	129
60	1	24	42	64	89	105	130
61	3	25	43	65	90	106	131
62	4	26	44	66	91	107	132
63	5	27	45	67	92	108	133
64	6	28	46	68	93	109	134

## Окончание таблицы 1

65	7	29	47	69	94	110	135
66	8	30	48	70	95	111	136
67	9	31	49	71	96	112	137
68	10	32	50	72	97	113	138
69	11	33	51	73	98	114	139
70	12	34	52	74	99	115	140
71	13	35	53	75	100	116	121
72	14	36	54	76	86	117	122
73	15	37	55	77	85	118	123
74	16	38	56	78	84	119	124
75	17	39	57	79	83	120	125
76	18	40	58	80	82	101	126
77	19	23	59	61	81	102	127
78	20	21	60	62	100	103	128
79	4	22	51	63	99	104	129
80	5	23	52	64	98	105	130
81	6	24	53	65	97	106	131
82	7	25	54	66	96	107	132
83	8	26	55	67	95	108	133
84	9	27	56	68	94	109	134
85	10	28	57	69	93	110	135
86	11	29	58	70	92	111	136
87	12	30	59	71	91	112	137
88	13	31	60	72	90	113	138
89	14	32	41	73	89	114	139
90	15	33	42	74	88	115	140
91	16	34	43	75	87	116	131
92	17	35	44	76	86	117	132
93	18	36	45	77	85	118	133
94	19	37	46	78	84	119	134
95	20	38	47	79	83	120	135
96	1	39	48	80	82	110	136
97	2	40	49	61	81	111	137
98	3	24	50	62	100	112	138
99	4	25	51	63	99	113	139
00	5	26	52	64	98	114	140

Таблица 2 – Варианты заданий для контрольной работы № 2

Номер варианта	Номера задач данного варианта						
1	2						
01	60	80	100	140	141	161	181
02	59	79	99	139	142	162	182
03	58	78	98	138	143	163	183
04	57	77	97	137	144	164	184
05	56	76	96	136	145	165	185
06	55	75	95	135	146	166	186
07	54	74	94	134	147	167	187
08	53	73	93	133	148	168	188
09	52	72	92	132	149	169	189
10	51	71	91	131	150	170	190
11	50	70	90	130	151	171	191
12	49	69	89	129	152	172	192
13	48	68	88	128	153	173	193
14	47	67	87	127	154	174	194
15	46	66	86	126	155	175	195
16	45	65	85	125	156	176	196
17	44	64	84	124	157	177	197
18	43	63	83	123	158	178	198
19	42	62	82	122	159	179	199
20	41	61	81	121	160	180	200
21	60	79	98	137	148	169	190
22	59	78	97	136	149	170	191
23	58	77	96	135	150	171	192
24	57	76	95	134	151	172	193
25	56	75	94	133	152	173	194
26	55	74	93	132	153	174	195
27	54	73	92	131	154	175	196
28	53	72	91	130	155	176	197
29	52	71	90	129	156	177	198
30	51	70	89	128	157	178	199
31	50	69	88	127	158	179	200



Продолжение таблицы 1

1	2						
32	49	68	87	126	159	180	181
33	48	67	85	125	160	161	182
34	47	66	85	124	141	162	183
35	46	65	84	123	142	163	184
36	45	64	83	122	143	164	185
37	44	63	82	121	144	165	186
38	43	62	81	140	145	166	187
39	42	61	98	139	146	167	188
40	41	79	97	138	147	168	189
41	57	78	96	136	148	170	190
42	56	77	95	135	149	171	191
43	55	76	94	134	150	172	192
44	54	75	93	133	151	173	193
45	53	74	92	132	152	174	194
46	52	73	91	131	153	175	195
47	51	72	90	130	154	176	196
48	50	71	89	129	155	177	197
49	49	70	88	128	156	178	198
50	48	69	87	127	157	179	199
51	47	68	86	126	158	180	200
52	46	67	85	125	159	169	182
53	45	66	84	124	160	161	183
54	44	65	83	123	141	162	184
55	43	64	82	122	143	163	185
56	42	63	81	121	142	164	186
57	41	62	99	140	144	165	187
58	60	61	98	139	145	166	188
59	59	77	95	136	146	167	189
60	58	76	94	135	147	168	190
61	57	75	93	134	148	169	191
62	56	74	92	133	149	170	192
63	55	73	91	132	150	171	193
64	54	72	90	131	151	172	194
65	53	71	89	130	152	173	195

## Окончание таблицы 2

1	2						
66	52	70	88	129	153	174	196
67	51	69	87	128	154	175	197
68	50	68	86	127	155	176	198
69	49	67	85	126	156	177	199
70	48	66	84	125	157	178	200
71	47	65	83	124	158	179	181
72	46	64	82	123	159	180	182
73	45	63	81	122	160	162	183
74	44	62	100	121	141	163	184
75	43	61	99	139	142	164	185
76	42	80	98	138	143	165	186
77	41	79	97	137	144	166	187
78	60	78	96	136	145	167	189
79	59	76	95	135	146	168	190
80	58	75	94	134	147	169	192
81	57	74	93	133	148	170	193
82	56	73	92	132	149	171	194
83	55	72	91	131	151	172	195
84	54	71	90	130	152	173	196
85	53	70	89	128	153	174	197
86	52	69	88	127	154	176	198
87	51	68	87	126	155	177	199
88	50	67	86	1252	156	178	200
89	49	66	85	124	157	180	181
90	48	65	84	123	158	161	182
91	47	64	83	122	159	162	183
92	46	65	82	121	160	163	184
93	45	64	81	140	141	164	185
94	44	63	100	139	142	165	186
95	43	62	99	138	143	167	187
96	42	75	97	137	144	168	188
97	41	79	96	136	145	169	189
98	59	77	95	135	146	170	190
99	58	76	94	134	147	171	191
00	56	74	93	133	148	172	192

## 2 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ПОНЯТИЯ ХИМИИ

**Пример 1.** Выразите в молях: а)  $6,02 \cdot 10^{21}$  молекул  $\text{CO}_2$ ; б)  $1,20 \cdot 10^{24}$  атомов кислорода; в)  $2,00 \cdot 10^{23}$  молекул воды. Чему равна молярная (молярная) масса указанных веществ?

*Решение.* Моль – это количества вещества, в котором содержится число частиц любого определённого сорта, равное постоянной Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ). Отсюда: а)  $6,02 \cdot 10^{21} - 0,01$  моль; б)  $1,20 \cdot 10^{24} - 2$  моль; в)  $2,00 \cdot 10^{23} - 1/3$  моль.

Масса моля вещества выражается в кг/моль или г/моль. Молярная (молярная) масса вещества в граммах численно равна его относительной молекулярной (атомной) массе, выраженной в атомных единицах массы (а.е.м.).

Так как молекулярные массы  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и атомная масса кислорода соответственно равны 44; 18 и 16 а.е.м., то их молярные массы равны: а) 44 г/моль, б) 18 г/моль, в) 16 г/моль.

**Пример 2.** Определите эквивалент ( $\mathcal{E}$ ) и эквивалентную массу  $m_{\mathcal{E}}$  азота, серы и хлора в соединениях  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{HCl}$ .

*Решение.* Масса вещества и количество вещества – понятия не идентичные. Масса выражается в килограммах (граммах), а количество вещества – в молях.

Эквивалент элемента ( $\mathcal{E}$ ) – это такое его количество, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. Масса 1 эквивалента элемента называется его эквивалентной массой ( $m_{\mathcal{E}}$ ). Таким образом, эквиваленты выражаются в молях, а эквивалентные массы – в граммах на моль.

В данных соединениях с 1 моль атомов водорода соединяется  $1/3$  моль азота,  $1/2$  моль серы и 1 моль хлора. Отсюда  $\mathcal{E}_{\text{N}} = 1/3$  моль,  $\mathcal{E}_{\text{S}} = 1/2$  моль,  $\mathcal{E}_{\text{Cl}} = 1$  моль. Исходя из молярных масс этих элементов, определяем их эквивалентные массы:

$$m_{\mathcal{E}(\text{N})} = 1/3 \cdot 14 = 4,67 \text{ г/моль,}$$

$$m_{\mathcal{E}(\text{S})} = 1/2 \cdot 32 = 16 \text{ г/моль,}$$

$$m_{\mathcal{E}(\text{Cl})} = 1 \cdot 35,45 = 35,45 \text{ г/моль.}$$

**Пример 3.** На восстановление 7,09 г оксида двухвалентного металла требуется 2,24 л водорода (н.у.\*). Вычислите эквивалентную массу оксида и эквивалентную массу металла. Чему равна атомная масса металла?

Решение Согласно закону эквивалентов массы (объёмы) реагирующих веществ  $m_1$  и  $m_2$  пропорциональны их эквивалентным массам (объёмам):

$$m_1/m_{Э(1)} = m_2/m_{Э(2)} \quad (1);$$

$$m_{(MeO)}/m_{Э(MeO)} = m_{H_2}/m_{Э(H_2)}. \quad (2)$$

Если одно из веществ находится в газообразном состоянии, то, как правило, его количество измеряется в объёмных единицах ( $cm^3$ , л,  $m^3$ ).

Объём, занимаемый при данных условиях молярной или эквивалентной массой газообразного вещества, называется молярным или соответственно эквивалентным объёмом этого вещества. Молярный объём любого газа при н.у.\* равен 22,4 л. Отсюда эквивалентный объём водорода ( $V_{Э(H_2)}$ ), молекула которого состоит из двух атомов, т.е. содержит два моля атомов водорода, равен  $22,4/2 = 11,2$  л.

В формуле (2) отношение  $m_{H_2}/m_{Э(H_2)}$  заменяем равным ему отношением  $V_{H_2}/V_{Э(H_2)}$ , где  $V_{H_2}$  – объём водорода,  $V_{Э(H_2)}$  – эквивалентный объём водорода.

$$m_{MeO}/m_{Э(MeO)} = V_{H_2}/V_{Э(H_2)}. \quad (3)$$

Из формулы (3) находим эквивалентную массу оксида металла  $m_{Э(MeO)}$ :

$$7,09/m_{Э(MeO)} = 2,24/11,2; m_{Э(MeO)} = (7,09 \cdot 11,2)/2,24 = 35,45 \text{ г/моль.}$$

Согласно закону эквивалентов

$$m_{Э(MeO)} = m_{Э(Me)} + m_{Э(O_2)},$$

$$\text{отсюда } m_{Э(Me)} = m_{Э(MeO)} - m_{Э(O_2)} = 35,45 - 8 = 27,45 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса металла определяется соотношением  $m_э = M/V$ , где  $m_э$  – эквивалентная масса,  $M$  – молярная масса металла,  $V$  – стехиометрическая валентность элемента;  $M = m_эV = 27,45 \cdot 2 = 54,9$  г/моль. Так как атомная масса в а.е.м. численно равна молярной массе, выражаемой в граммах на моль, то искомая атомная масса металла 54,9 а.е.м.

---

\* нормальные условия: по Международной системе единиц (СИ)  $1,013 \cdot 10^5$  Па (760 мм рт. ст. = 1 атм), температура 273 К или  $0^0C$ .

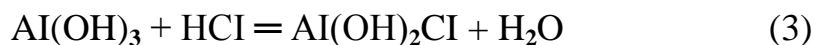
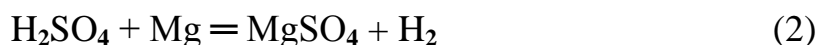
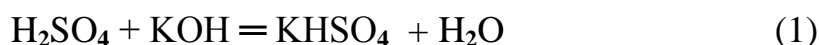
Пример 4 Сколько металла, эквивалентная масса которого 12,16 г/моль, взаимодействует с 310 см<sup>3</sup> кислорода (н.у.)?

Решение Так как молярная масса O<sub>2</sub> (32 г/моль) при н.у. занимает объём 22,4 л, то объём эквивалентной массы кислорода (8 г/моль) будет  $22,4/4 = 5,6 \text{ л} = 5600 \text{ см}^3$ .

По закону эквивалентов

$$m_{\text{Me}}/m_{\text{Э(Ме)}} = V_{\text{O}_2}/V_{\text{Э(O}_2)} \quad \text{или} \quad m_{\text{Me}}/12,16 = 310/5600, \text{ откуда } m_{\text{Me}} = 12,16 \cdot 310/5600 = 0,673 \text{ г.}$$

Пример 5\_Вычислите эквиваленты и эквивалентные массы H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и Al(OH)<sub>3</sub> в реакциях, выраженных уравнениями



Решение Эквивалент (эквивалентная масса) сложного вещества, как и эквивалент (эквивалентная масса) элемента, может иметь различные значения и зависит от того, в какую реакцию обмена вступает это вещество. Эквивалентная масса кислоты (основания) равна молярной массе (M), делённой на число атомов водорода, замещённых в данной реакции на металл (на число вступающих в реакцию гидроксильных групп). Следовательно, эквивалентная масса H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в реакции (1)  $M\text{H}_2\text{SO}_4 = 98 \text{ г/моль}$ , а в реакции (2)  $M\text{H}_2\text{SO}_4/2 = 49 \text{ г/моль}$ . Эквивалентная масса Al(OH)<sub>3</sub> в реакции (3)  $M\text{Al(OH)}_3 = 78 \text{ г/моль}$ , а в реакции (4)  $M\text{Al(OH)}_3/3 = 26 \text{ г/моль}$ .

Задачу можно решить и другим способом. Так как H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> взаимодействует с одной эквивалентной массой KOH и двумя эквивалентными массами магния, то её эквивалентная масса равна в реакции (1) M/1 г/моль и в реакции (2) M/2 г/моль. Al(OH)<sub>3</sub> взаимодействует с одной эквивалентной массой HCl и тремя эквивалентными массами HNO<sub>3</sub>, поэтому его эквивалентная масса в реакции (3) равна M/1 г/моль, в реакции (4) M/3 г/моль. Эквиваленты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в уравнениях (1) и (2) соответственно равны 1 моль и 1/2 моль;

эквиваленты  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в уравнениях (3) и (4) соответственно равны 1 и  $1/3$  моль.

Пример 6 Из 3,85 г нитрата металла получено 1,60 г его гидроксида. Вычислите эквивалентную массу металла ( $m_{\text{Э}}(\text{Me})$ ).

Решение При решении задачи следует иметь в виду: а) эквивалент (эквивалентная масса) гидроксида равен сумме эквивалентов (эквивалентных масс) металла и гидроксильной группы; б) эквивалент (эквивалентная масса) соли равен сумме эквивалентов (эквивалентных масс) металла и кислотного остатка.

Учитывая сказанное, подставляем соответствующие данные в уравнение (1) (см. пример 3):

$$\begin{aligned}3,85/1,60 &= (m_{\text{Э}}(\text{Me}) + m_{\text{Э}}(\text{NO}_3)) / (m_{\text{Э}}(\text{Me}) + m_{\text{Э}}(\text{OH}_-)); \\3,85/1,60 &= (m_{\text{Э}}(\text{Me}) + 62) / (m_{\text{Э}}(\text{Me}) + 17); \\m_{\text{Э}}(\text{Me}) &= 15 \text{ г/моль}.\end{aligned}$$

## ЗАДАНИЯ

1 Определите эквивалент и эквивалентную массу фосфора, кислорода и брома в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HBr}$ .

2 Эквивалентная масса трёхвалентного металла равна 9 г/моль. Вычислите молярную и атомную массы металла, эквивалентную массу его оксида и массовое процентное содержание кислорода в оксиде.

3 Из 1,35 г оксида металла получается 3,15 г его нитрата. Вычислите эквивалентную массу металла. Ответ: 32,5 г/моль.

4 Из 1,3 г гидроксида металла получается 2,85 г его сульфата. Вычислите эквивалентную массу металла. Ответ: 9 г/моль.

5 Оксид трёхвалентного элемента содержит 31,58% кислорода. Вычислите эквивалентную, молярную и атомную массу этого элемента.

6 Один оксид марганца содержит 22,56% кислорода, а другой – 50,50%. Вычислите эквивалентную массу и стехиометрическую валентность марганца в этих оксидах. Составьте формулы оксидов.

7 Выразите в молях: а)  $6,02 \cdot 10^{22}$  молекул  $\text{C}_2\text{H}_2$ ; б)  $1,80 \cdot 10^{24}$  атомов азота; в)  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул  $\text{NH}_3$ . Чему равна молярная масса указанных веществ?

8 Вычислите эквивалент и эквивалентную массу  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в реакциях образования: а) гидрофосфата; б) дигидрофосфата; в) ортофосфата.

9 В 2,48 г оксида одновалентного металла содержится 1,84 г металла. Вычислите эквивалентные массы металла и его оксида. Чему равна молярная и атомная массы этого металла?

10 3,04 г некоторого металла вытесняют 0,252 г водорода, 26,965 г серебра и 15,885 г меди из соединений этих элементов. Вычислите эквивалентные массы указанных металлов.

Ответ: 12,16 г/моль, 107,86 г/моль и 63,54 г/моль.

11 Оксид металла содержит 28,57% кислорода, а его фторид – 48,72% фтора. Вычислите эквивалентные массы металла и фтора.

Ответ: 20,0 г/моль, 19,0 г/моль.

12 Напишите уравнения реакций  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  с хлороводородной (соляной) кислотой, при которых образуются следующие соединения железа: а) дигидроксохлорид; б) гидроксохлорид; в) трихлорид. Вычислите эквивалент и эквивалентную массу  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в каждой из этих реакций.

13 Избытком гидроксида калия подействовали на растворы:

а) дигидрофосфата калия; б) дигидроксонитрата висмута (Ш). Напишите уравнения реакций этих веществ с КОН и определите их эквиваленты и эквивалентные массы.

14 Вещество содержит 38,0% серы и мышьяк. Эквивалентная масса серы 16,0 г/моль. Вычислите эквивалентную массу и стехиометрическую валентность мышьяка, составьте формулу данного сульфида.

15 Избытком хлороводородной (соляной) кислоты подействовали на растворы: а) гидрокарбоната кальция; б) гидроксодихлорида алюминия. Напишите уравнения реакций этих веществ с HCl и определите их эквиваленты и эквивалентные массы.

16 При окислении 16,74 г двухвалентного металла образовалось 21,54 г оксида. Вычислите эквивалентные массы металла и его оксида. Чему равны молярная и атомная массы металла?

17 При взаимодействии 3,24 г трёхвалентного металла с кислотой выделяется 4,03 л водорода (н.у.). Вычислите эквивалентную и атомную массы металла.

18 Исходя из молярной массы углерода и воды определите абсолютную массу атома углерода и молекулы воды.

Ответ:  $2,0 \cdot 10^{-23}$  г,  $3,0 \cdot 10^{-23}$  г.

19 Какой объём при н.у. занимает эквивалентная масса кислорода? Вычислите молярную и атомную массы двухвалентного металла, если на окисление 8,34 г этого металла пошло 0,68 л кислорода (н.у.).

20 На нейтрализацию 0,943 г фосфористой кислоты  $H_3PO_3$  израсходовано 1,291 г КОН. Вычислите эквивалент, эквивалентную массу и основность кислоты.

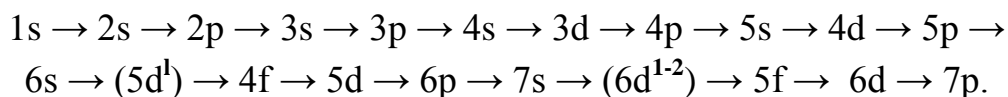
Ответ: 0,5 моль, 41 г/моль, 2.

### 3 СТРОЕНИЕ АТОМА И ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

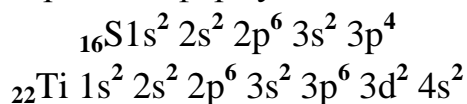
Пример 1 Составьте электронные и электронно-графические формулы атомов элементов с порядковыми номерами 16 и 22.

Решение Электронные формулы изображают распределение электронов в атоме по энергетическим уровням и подуровням (атомным орбиталям).

Электронная конфигурация обозначается группами символов  $n l^x$ , где  $n$  – главное квантовое число,  $l$  – орбитальное квантовое число (вместо него указывают соответствующее буквенное обозначение – s, p, d, f),  $x$  – число электронов на данном подуровне (орбитали). При этом следует учитывать, что электрон занимает тот энергетический подуровень, на котором он будет обладать наименьшей энергией – меньшая сумма  $n + l$  (правило Клечковского). Заполнение энергетических уровней и подуровней идёт в такой последовательности:



Так как число электронов в атоме того или иного элемента равно его порядковому номеру в таблице Д.И.Менделеева, то для элементов № 16 (сера) и №22 (титан) электронные формулы имеют вид:

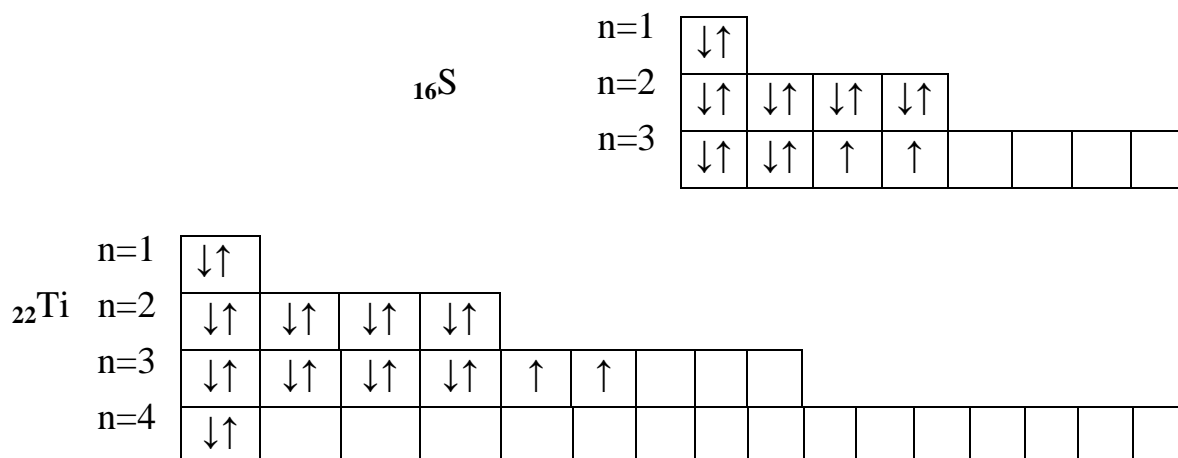


Электронно-графические схемы отражают распределение электронов атома по квантовым (энергетическим ячейкам). Ячейка обозначается в виде прямоугольника, а электроны в этих ячейках – стрелками. В каждой квантовой ячейке может быть не более двух электронов с противоположными спинами





Орбитали данного подуровня заполняются сначала по одному электрону с одинаковыми спинами, а затем по второму электрону с противоположными спинами (правило Хунда)



Пример 2 Какую высшую и низшую степени окисления проявляют мышьяк, селен и бром? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.

Решение Высшую степень окисления элемента определяет номер группы элемента периодической системы Д.И.Менделеева, в которой он находится. Низшая степень окисления определяется тем условным зарядом, который приобретает атом при присоединении того количества электронов, которое необходимо для образования устойчивой восьмиэлектронной оболочки ( $ns^2np^6$ ).

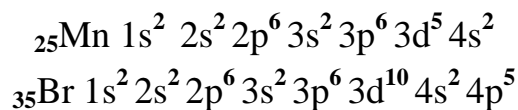
Данные элементы находятся соответственно в VA, VIA, VIIA группах и имеют структуру внешнего энергетического уровня  $s^2p^3$ ,  $s^2p^4$  и  $s^2p^5$  (таблица 3).

Таблица 3 – Степени окисления мышьяка, селена, брома

Элемент	Степень окисления		Соединения
	высшая	низшая	
As	+5	-3	$\text{H}_3\text{AsO}_4$ ; $\text{H}_3\text{As}$
Se	+6	-2	$\text{SeO}_3$ ; $\text{Na}_2\text{Se}$
Br	+7	-1	$\text{KBrO}_4$ ; $\text{KBr}$

Пример 3 У какого из элементов четвёртого периода – марганца или брома – сильнее выражены металлические свойства?

Решение Электронные формулы данных элементов



Марганец d – элемент УПВ группы, а бром – p-элемент УПА группы. На внешнем энергетическом уровне у атома марганца два электрона, а у атома брома – семь. Атомы типичных металлов характеризуются наличием небольшого числа электронов на внешнем энергетическом уровне, а следовательно, тенденцией терять эти электроны. Они обладают только восстановительными свойствами и не образуют элементарных отрицательных ионов. Элементы, атомы которых на внешнем энергетическом уровне содержат более трёх электронов, обладают определённым сродством к электрону, а следовательно, приобретают отрицательную степень окисления и даже образуют элементарные отрицательные ионы. Таким образом, марганец, как и все металлы, обладает только восстановительными свойствами, тогда как для брома, проявляющего слабые восстановительные свойства, более свойственны окислительные функции. Общей закономерностью для всех групп, содержащих p- и d- элементы, является преобладание металлических свойств у d- элементов. Следовательно, металлические свойства у марганца сильнее выражены, чем у брома.

### ЗАДАНИЯ

21 Напишите электронные формулы атомов фосфора и ванадия. Распределите электроны этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

22 Какие орбитали атома заполняются электронами раньше: 4s или 3d; 5s или 4p? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 21.

23 Составьте электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 17 и 29. У последнего происходит провал одного 4s- электрона на

3d- подуровень. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

24 Что такое изотопы? Чем можно объяснить, что у большинства элементов Периодической системы атомные массы выражаются дробным числом? Могут ли атомы разных элементов иметь одинаковую массу? Как называются подобные атомы?

25 Сколько и какие значения может принимать магнитное квантовое число  $m_l$  при орбитальном квантовом числе  $l = 0, 1, 2, \text{ и } 3$ ? Какие элементы в периодической системе носят название s-, p-, d- и f- элементов? Приведите примеры.

26 Какие значения могут принимать квантовые числа  $n, l, m_l$  и  $m_s$ , характеризующие состояние электронов в атоме? Какие значения они принимают для внешних электронов атома магния?

27 Значения какого квантового числа определяют число s-, p-, d- и f- орбиталей на энергетическом уровне? Сколько всего s-, p-, d- электронов в атоме кобальта?

28 В чём заключается принцип несовместимости Паули? Может ли быть на каком-нибудь подуровне атома  $p^7$ - или  $d^{12}$ - электронов? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 23 и укажите его валентные электроны.

29 Что такое электроотрицательность? Как изменяется электроотрицательность p-элементов в периоде; в группе Периодической системы с увеличением порядкового номера?

30 Составьте формулы оксидов и гидроксидов элементов третьего периода Периодической системы, отвечающих их высшей степени окисления. Как изменяется химический характер этих соединений при переходе от натрия к хлору?

31 У какого элемента четвертого периода – хрома или селена – сильнее выражены металлические свойства? Какой из этих элементов образует газообразное соединение с водородом? Ответ мотивируйте строением атомов хрома и селена.

32 Какую низшую степень окисления проявляют хлор, сера, азот, углерод? Почему? Составьте формулы соединений алюминия с данными элементами в этой их степени окисления. Как называются соответствующие соединения?

33 Исходя из положения металла в периодической системе дайте мотивированный ответ на вопрос: какой из двух гидроксидов более сильное основание:  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  или  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ?  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ?  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  или  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ ?

34 Почему марганец проявляет металлические свойства, а хлор неметаллические? Ответ мотивируйте строением атомов этих элементов. Напишите формулы оксидов и гидроксидов хлора и марганца.

35 Какова современная формулировка периодического закона? Объясните, почему в периодической системе элементов аргон, кобальт, теллур и торий помещены соответственно перед калием, никелем, йодом и протактинием, хотя и имеют большую атомную массу?

36 Как метод валентных связей (ВС) объясняет линейное строение молекулы  $\text{BeCl}_2$  и тетраэдрическое –  $\text{CH}_4$ ?

37 Сколько неспаренных электронов имеет атом хлора в нормальном и возбужденном состояниях? Распределите эти электроны по квантовым ячейкам. Чему равна валентность хлора, обусловленная неспаренными электронами?

38 Составьте электронные схемы строения молекул  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CCl}_4$ . В каких молекулах ковалентная связь является полярной? Как метод валентных связей (ВС) объясняет угловое строение молекулы  $\text{H}_2\text{S}$ ?

39 Что следует понимать под степенью окисления атома? Определите степень окисления атома углерода и его валентность, обусловленную числом неспаренных электронов, в соединениях  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{CO}_2$ .

40.Какие электроны атома бора участвуют в образовании ковалентных связей? Как метод валентных связей (ВС) объясняет симметричную треугольную форму молекулы  $\text{BF}_3$ ?

## 5 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Таблица 4 – Стандартные энтальпии ( теплоты) образования  $\Delta H^0_{298}$

некоторых веществ

Вещество	Состояние	$\Delta H^0_{298}$ , кДж/моль	Вещество	Состояние	$\Delta H^0_{298}$ , кДж/моль
CS <sub>2</sub>	г	+115,28	CH <sub>3</sub> OH	г	-201,17
NO	г	+90,37	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	г	-235,31
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	г	+82,93	H <sub>2</sub> O	г	-241,83
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	+52,28	H <sub>2</sub> O	ж	-285,84
H <sub>2</sub> S	г	-20,15	NH <sub>4</sub> Cl	к	-315,39
NH <sub>3</sub>	г	-46,19	CO <sub>2</sub>	г	-393,51
CH <sub>4</sub>	г	-74,85	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	-822,10
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	г	-84,67	Ca(OH) <sub>2</sub>	к	-986,50
HCl	г	-92,31	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	-1669,80
CO	г	-110,52			

Таблица 5 - Стандартные абсолютные энтропии  $S^0_{298}$  некоторых веществ

Вещество	Состояние	$S^0_{298}$ , Дж/(моль·К)	Вещество	Состо- яние	$S^0_{298}$ , Дж/(моль·К)
C	Алмаз	2,44	NH <sub>3</sub>	г	192,50
C	Графит	5,69	CO	г	197,91
S	Ромбическое	31,9	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	200,82
FeO	к	54,0	O <sub>2</sub>	г	205,03
H <sub>2</sub> O	ж	69,94	H <sub>2</sub> S	г	205,64
NH <sub>4</sub> Cl	к	94,5	NO	г	210,20
CH <sub>3</sub> OH	ж	126,8	CO <sub>2</sub>	г	213,65
H <sub>2</sub>	г	130,59	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	219,45
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к	146,4	Cl <sub>2</sub>	г	222,95
CH <sub>4</sub>	г	186,19	NO <sub>2</sub>	г	240,46
HCl	г	186,68	PCl <sub>3</sub>	г	311,66
H <sub>2</sub> O	г	188,72	PCl <sub>5</sub>	г	352,71
N <sub>2</sub>	г	191,49			

Таблица 6 - Стандартная энергия Гиббса образования  $\Delta G^0_{298}$ 

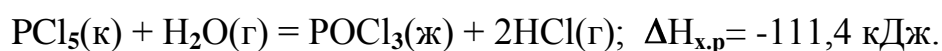
некоторых веществ

Вещество	Состояние	$\Delta G^0_{298}$ , кДж/моль	Вещество	Состояние	$\Delta G^0_{298}$ , кДж/моль
BaCO <sub>3</sub>	к	-1138,8	FeO	к	-244,3
CaCO <sub>3</sub>	к	-1128,75	H <sub>2</sub> O	ж	-237,19
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к	-1014,2	H <sub>2</sub> O	г	-228,59
BeCO <sub>3</sub>	к	-944,75	CO	г	-137,27
CaO	к	-604,2	CH <sub>4</sub>	г	-50,79
BeO	к	-581,61	NO <sub>2</sub>	г	+51,84
BaO	к	-528,4	NO	г	+86,69
CO <sub>2</sub>	г	-394,38	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	+209,20

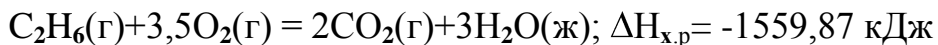
Пример 1 При взаимодействии кристаллов хлорида фосфора (V) с парами воды образуются жидкий POCl<sub>3</sub> и хлористый водород. Реакция сопровождается выделением 111,4 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение этой реакции.

Решение Уравнения реакций, в которых около символов химических соединений указываются их агрегатные состояния или кристаллическая модификация, а также численное значение тепловых эффектов, называются термохимическими. В термохимических уравнениях, если это не оговорено, указываются значения тепловых эффектов при постоянном давлении Q<sub>p</sub>, равные изменению энтальпии системы ΔH. Значение ΔH приводят обычно в правой части уравнения, отделяя его запятой или точкой с запятой. Приняты следующие сокращенные обозначения агрегатного состояния веществ: г – газообразное, ж – жидкое, к – кристаллическое. Эти символы опускаются, если агрегатное состояние вещества очевидно.

Если в результате реакции выделяется теплота, то ΔH < 0. Учитывая сказанное, составляем термохимическое уравнение данной в примере реакции:



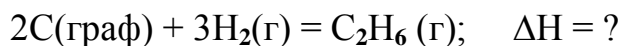
Пример 2 Реакция горения этана выражается термохимическим уравнением



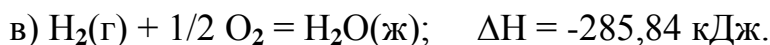
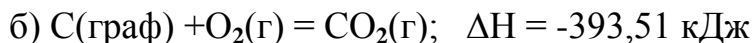
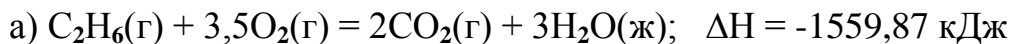
Вычислите теплоту образования этана, если известны теплоты образования  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  (табл.1).

Решение Энтальпией (теплотой) образования данного соединения называют изменение энтальпии в реакции образования 1 моль этого соединения из простых веществ, взятых в их устойчивом состоянии при данных условиях. Обычно энтальпии образования относят к стандартному состоянию, т.е. к  $25^\circ\text{C}$

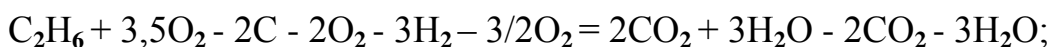
(298 К) и  $1,013 \cdot 10^5$  Па, и обозначают через  $\Delta H^0_{298}$ . Так как тепловой эффект с температурой изменяется незначительно, то здесь и в дальнейшем индексы опускаются и тепловой эффект обозначается через  $\Delta H$ . Следовательно, нужно вычислить тепловой эффект реакции, термохимическое уравнение которой имеет вид:



исходя из следующих данных



На основании закона Гесса с термохимическими уравнениями можно оперировать так же, как и с алгебраическими. Для получения искомого результата следует уравнение (б) умножить на 2, уравнение (в) – на 3, а затем сумму этих уравнений вычесть из уравнения (а):



$$\Delta H = -1559,87 + 787,02 + 857,52; \quad ; \quad \Delta H = +84,67 \text{ кДж}$$

Так как теплота образования равна теплоте разложения с обратным знаком, то  $\Delta H^{\text{обр}}\text{C}_2\text{H}_6(\text{г}) = -84,67 \text{ кДж/моль}$ . К тому же результату придем, если для решения задачи применить вывод из закона Гесса:

$$\Delta H_{\text{x,p}} = 2\Delta H\text{CO}_2 + 3\Delta H\text{H}_2\text{O} - \Delta H\text{C}_2\text{H}_6 - 3,5\Delta H\text{O}_2$$

Учитывая, что энтальпии образования простых веществ условно приняты равными нулю,

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} = 2\Delta H_{\text{CO}_2} + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{x,p}}$$

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 1559,87 = -84,67$$

$$\Delta H^{\text{обp}}\text{C}_2\text{H}_6(\text{г}) = -84,67 \text{ кДж/моль.}$$

Пример 3 Реакция горения этилового спирта выражается термохимическим уравнением:



Вычислите тепловой эффект реакции, если известно, что мольная теплота парообразования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$  равна +42,36 кДж и известны энтальпии образования:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г})$ ;  $\text{CO}_2(\text{г})$ ;  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  (табл.1).

Решение Для определения  $\Delta H$  реакции необходимо знать энтальпию образования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$ . Последнюю находим из данных задачи:

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{ж}) = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{г}); \quad \Delta H = + 42,36 \text{ кДж}$$

$$+42,36 = -235,31 - \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})}.$$

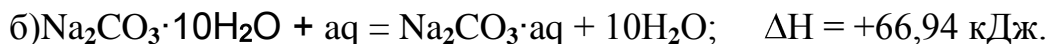
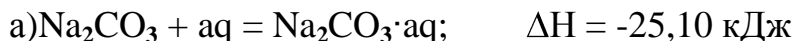
$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})} = -235,31 - 42,36 = -277,67 \text{ кДж/моль}$$

Вычисляем  $\Delta H$  реакции, применяя следствия из закона Гесса:

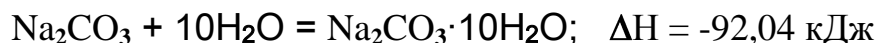
$$\Delta H_{\text{x,p}} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 277,67 = -1366,87 \text{ кДж.}$$

Пример 4 Растворение моля безводной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в достаточно большом количестве воды сопровождается выделением 25,10 кДж теплоты, тогда как при растворении кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  поглощается 66,94 кДж теплоты. Вычислите энтальпию гидратации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (теплоту образования кристаллогидрата).

Решение Составляем термохимические уравнения соответствующих реакций:



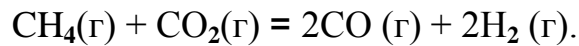
Вычитая уравнение (б) из уравнения (а) (см. пример 2), получаем ответ:



т.е. при образовании  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  выделяется 92,04 кДж теплоты.



Пример 5 Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе

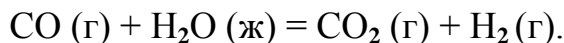


Решение Для ответа на вопрос следует вычислить  $\Delta G^0_{298}$  прямой реакции. Значения  $\Delta G^0_{298}$  соответствующих веществ даны в табл.3. Зная, что  $\Delta G$  есть функция состояния и что  $\Delta G$  для простых веществ, находящихся в устойчивых при стандартных условиях агрегатных состояниях, равны нулю, находим  $\Delta G^0_{298}$  процесса:

$$\Delta G^0_{298} = 2(-137,27) + 2(0) - (-50,79 - 394,38) = +170,63 \text{ кДж}.$$

То, что  $\Delta G^0_{298} > 0$ , указывает на невозможность самопроизвольного протекания прямой реакции при стандартных условиях.

Пример 6 На основании стандартных энтальпий образования (см. табл.1) и абсолютных стандартных энтропий веществ (табл.2) вычислите  $\Delta G^0_{298}$  реакции, протекающей по уравнению



Решение.  $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$ ;  $\Delta H$  и  $\Delta S$  – функции состояния, поэтому

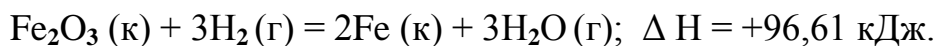
$$\Delta H^0_{\text{х,р}} = \sum \Delta H^0_{\text{прод}} - \sum \Delta H^0_{\text{исх}}; \quad \Delta S^0_{\text{х,р}} = \sum S^0_{\text{прод}} - \sum S^0_{\text{исх}}.$$

$$\Delta H^0_{\text{х,р}} = (-393,51 + 0) - (-110,52 - 285,84) = +2,85 \text{ кДж};$$

$$\Delta S^0_{\text{х,р}} = (213,65 + 130,59) - (197,91 + 69,94) = +76,39 = 0,07639 \text{ кДж/К};$$

$$\Delta G^0 = +2,85 - 298 \cdot 0,07639 = -19,91 \text{ кДж}.$$

Пример 7 Восстановление  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  водородом протекает по уравнению



Возможна ли эта реакция при стандартных условиях, если изменение энтропии  $\Delta S = 0,1387 \text{ кДж/К}$ ? При какой температуре начнется восстановление  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ?

Решение Вычисляем  $\Delta G^0$  реакции  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 96,61 - 298 \cdot 0,1387 = +55,28 \text{ кДж}$ . Так как  $\Delta G > 0$ , то прямая реакция при стандартных условиях невозможна. При этих условиях идет обратная реакция окисления железа (коррозия). Найдем температуру, при которой  $\Delta G = 0$ :

$$\Delta H = T\Delta S; \quad T = \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{96,61}{0,1387} = 696,5 \text{ К}.$$

Следовательно, при температуре  $\approx 696,5$  К начнется реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Иногда эту температуру называют температурой начала реакции.

### ЗАДАНИЯ

41 Газообразный этиловый спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (г) можно получить при взаимо-действии этилена  $\text{C}_2\text{H}_4$  (г) и водяных паров. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект.

Ответ:  $-45,76$  кДж.

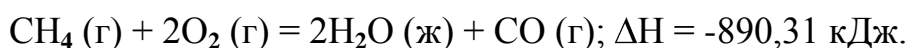
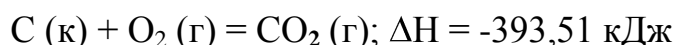
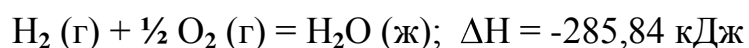
42 При взаимодействии газообразных сероводорода и диоксида углерода образуются пары воды и сероуглерода  $\text{CS}_2$  (г). Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект.

Ответ:  $+65,43$  кДж.

43 Кристаллический хлорид аммония образуется при взаимодействии газообразных аммиака и хлорида водорода. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект. Сколько теплоты выделится, если в реакции было израсходовано 10 л аммиака в пересчете на нормальные условия?

Ответ:  $78,97$  кДж.

44 Вычислите энтальпию образования метана, исходя из следующих термохимических уравнений:



Ответ:  $-74,88$  кДж.

45 Тепловой эффект реакции сгорания жидкого бензола с образованием паров воды и диоксида углерода равен  $-3135,58$  кДж. Составьте термохимическое уравнение этой реакции и вычислите энтальпию образования  $\text{C}_6\text{H}_6$  (ж).

Ответ:  $+49,03$  кДж.

46 При взаимодействии трех молей оксида азота  $\text{N}_2\text{O}$  с аммиаком образуются азот и пары воды. Тепловой эффект реакции равен  $+877,76$  кДж. Напишите термохимическое уравнение этой реакции и вычислите энтальпию образования  $\text{N}_2\text{O}$  (г).

Ответ:  $+81,55$  кДж/моль.

47 При сгорании газообразного аммиака образуются пары воды и оксид азота NO (г). Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект в расчете на 1 моль NH<sub>3</sub> (г).

Ответ: -226,18 кДж.

48 Реакция горения этилового спирта выражается термохимическим уравнением:



Вычислите тепловой эффект этой реакции, если известно, что мольная теплота парообразования CH<sub>3</sub>OH (ж) равна +37,4 кДж.

Ответ: -726,62 кДж.

49 Вычислите тепловой эффект и напишите термохимическое уравнение реакции горения 1 моль этана C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (г). В результате реакции образуются пары воды и диоксид углерода. Сколько теплоты выделится при сгорании 1 м<sup>3</sup> этана в пересчете на нормальные условия?

Ответ: 63742,86 кДж.

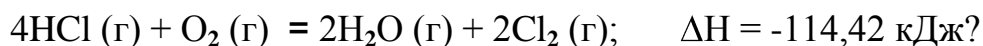
50 Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением:



Вычислите энтальпию образования NH<sub>3</sub> (г).

Ответ: -46,19 кДж/моль...

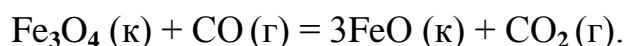
51 При какой температуре наступит равновесие системы



Хлор или кислород в этой системе является более сильным окислителем и при каких температурах?

Ответ: 891 К.

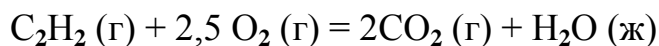
52 Восстановление Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> оксидом углерода идет по уравнению



Вычислите  $\Delta G^0_{298}$  и сделайте вывод о возможности самопроизвольного протекания этой реакции при стандартных условиях. Чему равно  $\Delta S^0_{298}$  в этом процессе?

Ответ: +24,19 кДж; +31,34 Дж/К.

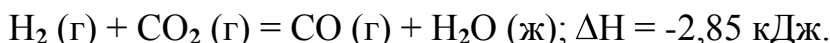
53 Реакция горения ацетилена идет по уравнению:



Вычислите  $\Delta G^0_{298}$  и  $\Delta S^0_{298}$ . Объясните уменьшение энтропии в результате этой реакции.

Ответ: -1235,15 кДж; -216,15 Дж/К.

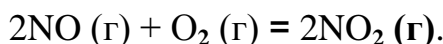
54 Чем можно объяснить, что при стандартных условиях невозможна экзотермическая реакция



Зная тепловой эффект реакции и абсолютные стандартные энтропии соответствующих веществ, определите  $\Delta G^0_{298}$  этой реакции.

Ответ: +19,91 кДж.

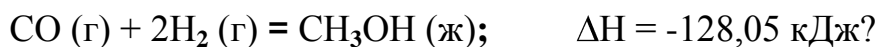
55 Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе



Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta G^0_{298}$  прямой реакции.

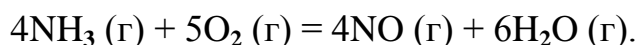
Ответ: -69,70 кДж.

56 При какой температуре наступит равновесие системы



Ответ:  $\approx 385,5 \text{ К}$ .

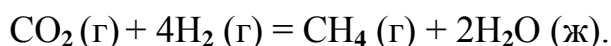
57 Определите  $\Delta G^0_{298}$  реакции, протекающей по уравнению



Вычисления сделайте на основании стандартных энтальпий образования и абсолютных стандартных энтропий соответствующих веществ. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

Ответ: -957,77 кДж.

58 На основании стандартных энтальпий образования и абсолютных стандартных энтропий соответствующих веществ вычислите  $\Delta G^0_{298}$  реакции, протекающей по уравнению



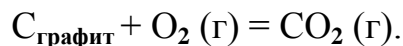
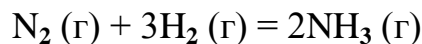
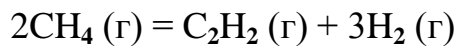
Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

Ответ: -130,89 кДж.

59 Какие из карбонатов ( $\text{BeCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{BaCO}_3$ ) можно получить при взаимодействии соответствующих оксидов с  $\text{CO}_2$ ? Какая реакция идет более энергично? Вывод сделайте, вычислив  $\Delta G^0_{298}$  реакций.

Ответ: +31,24 кДж; -130,17 кДж; -216,02 кДж.

60 Вычислите изменение энтропии для реакций, протекающих по уравнениям:



Почему в этих реакциях  $\Delta S^0_{298} > 0$ ;  $< 0$ ;  $= 0$ ?

Ответ: 220,21 Дж/К; -198,26 Дж/К; 2,93 Дж/К.

## 6 ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА И РАВНОВЕСИЕ

Пример 1 Во сколько раз изменится скорость прямой и обратной реакции в системе  $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \leftrightarrow 2\text{SO}_3(\text{г})$ , если объем газовой смеси уменьшить в три раза? В какую сторону сместится равновесие системы?

Решение Обозначим концентрации реагирующих веществ:  $[\text{SO}_2]=a$ ,  $[\text{O}_2]=b$ ,  $[\text{SO}_3]=c$ . Согласно закону действия масс скорости  $\nu$  прямой и обратной реакции до изменения объема

$$\nu_{\text{пр}} = Ka^2b; \quad \nu_{\text{обр}} = K_1c^2.$$

После уменьшения объема гомогенной системы в три раза концентрация каждого из реагирующих веществ увеличится в три раза:  $[\text{SO}_2]=3a$ ,  $[\text{O}_2]=3b$ ,  $[\text{SO}_3]=3c$ . При новых концентрациях скорости  $\nu$  прямой и обратной реакции

$$\nu'_{\text{пр}} = K(3a)^2(3b) = 27Ka^2b; \quad \nu'_{\text{обр}} = K_1(3c)^2 = 9K_1c^2.$$

Отсюда

$$\frac{\nu'_{\text{пр}}}{\nu_{\text{пр}}} = \frac{27Ka^2b}{Ka^2b} = 27; \quad \frac{\nu'_{\text{обр}}}{\nu_{\text{обр}}} = \frac{9K_1c^2}{K_1c^2} = 9.$$

Следовательно, скорость прямой реакции увеличилась в 27 раз, а обратной – только в 9 раз. Равновесие системы сместилось в сторону образования  $\text{SO}_3$ .

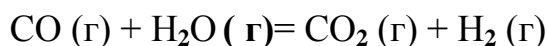
Пример 2 Вычислите, во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры от 30 до 70<sup>0</sup>С, если температурный коэффициент реакции равен 2.

Решение Зависимость скорости химической реакции от температуры определяется эмпирическим правилом Вант - Гоффа по формуле

$$v_{T_2} = v_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} ;$$
$$v_{T_2} = v_{T_1} \cdot 2^{\frac{70 - 30}{10}} = v_{T_1} \cdot 2^4 = 16v_{T_1} .$$

Следовательно, скорость реакции  $v_{T_2}$  при температуре 70<sup>0</sup>С больше скорости реакции  $v_{T_1}$  при температуре 30<sup>0</sup>С в 16 раз.

Пример 3 Константа равновесия гомогенной системы



при 850<sup>0</sup>С равна 1. Вычислите концентрации всех веществ при равновесии, если исходные концентрации:  $[\text{CO}]_{\text{исх}} = 3$  моль/л,  $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{исх}} = 2$  моль/л.

Решение При равновесии скорости прямой и обратной реакций равны, а соотношение констант этих скоростей постоянно и называется константой равновесия данной системы:

$$v_{\text{пр}} = K_1[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]; \quad v_{\text{обр}} = K_2[\text{CO}_2][\text{H}_2].$$

$$K_{\text{равн}} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} .$$

В условии задачи даны исходные концентрации, тогда как в выражение  $K_{\text{равн}}$  входят только равновесные концентрации всех веществ системы. Предположим, что к моменту равновесия концентрация  $[\text{CO}_2]_{\text{равн}} = x$  моль/л. Согласно уравнению количество образовавшегося водорода при этом будет также  $x$  моль/л. По столько же моль ( $x$  моль/л)  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$  расходуется для образования по  $x$  моль  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ . Следовательно, равновесные концентрации всех четырех веществ составят :

$$[\text{CO}_2]_{\text{равн}} = [\text{H}_2]_{\text{равн}} = x \text{ моль/л}; \quad [\text{CO}]_{\text{равн}} = (3-x) \text{ моль/л};$$

$$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{равн}} = (2-x) \text{ моль/л}.$$

Зная константу равновесия, находим значение  $x$ , а затем и искомые концентрации всех веществ:

$$I = \frac{x^2}{(3-x)(2-x)};$$

$$x^2 = 6 - 2x - 3x + x^2; \quad 5x = 6, \quad x = 1,2 \text{ моль/л.}$$

Таким образом, искомые равновесные концентрации:

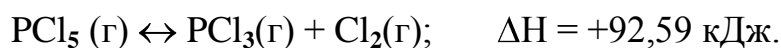
$$[\text{CO}_2]_{\text{равн}} = 1,2 \text{ моль/л;}$$

$$[\text{H}_2]_{\text{равн}} = 1,2 \text{ моль/л;}$$

$$[\text{CO}]_{\text{равн}} = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ моль/л;}$$

$$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{равн}} = 2 - 1,2 = 0,8 \text{ моль/л.}$$

Пример 4 Эндотермическая реакция разложения пентахлорида фосфора протекает по уравнению

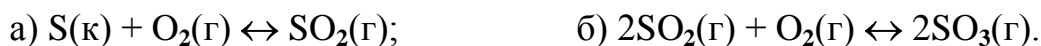


Как надо изменить: а) температуру, б) давление, в) концентрацию, чтобы сместить равновесие в сторону прямой реакции - разложения  $\text{PCl}_5$ ?

Решение Смещением или сдвигом химического равновесия называют изменение равновесных концентраций реагирующих веществ в результате изменения одного из условий реакции. Направление, в котором сместилось равновесие, определяется по принципу Ле Шателье: а) так как реакция разложения  $\text{PCl}_5$  эндотермическая ( $\Delta H > 0$ ), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции нужно повысить температуру; б) так как в данной системе разложение  $\text{PCl}_5$  ведет к увеличению объема (из одной молекулы газа образуются две газообразные молекулы), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции надо уменьшить давление; в) смещения равновесия в указанном направлении можно достигнуть как увеличением концентрации  $\text{PCl}_5$ , так и уменьшением концентрации  $\text{PCl}_3$  или  $\text{Cl}_2$ .

## ЗАДАНИЯ

61 Окисление серы и ее диоксида протекает по уравнениям:



Как изменятся скорости этих реакций, если объем каждой из систем уменьшить в четыре раза?

62 Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ . Как изменится скорость прямой реакции образования аммиака, если увеличить концентрацию водорода в три раза?

63 Реакция идет по уравнению  $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO$ . Концентрации исходных веществ до начала реакции:  $[N_2] = 0,049$  моль/л;  $[O_2] = 0,01$  моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда  $[NO] = 0,005$  моль/л. Ответ:  $[N_2] = 0,0465$  моль/л;  $[O_2] = 0,0075$  моль/л.

64 Реакция идет по уравнению  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ . Концентрации участвующих в ней веществ:  $[N_2] = 0,80$  моль/л;  $[H_2] = 1,5$  моль/л;  $[NH_3] = 0,10$  моль/л. Вычислите концентрацию водорода и аммиака, когда концентрация азота изменилась до  $[N_2] = 0,5$  моль/л. Ответ:  $[NH_3] = 0,7$  моль/л;  $[H_2] = 0,60$  моль/л

65 Реакция идет по уравнению  $H_2 + J_2 \leftrightarrow 2HJ$ . Константа скорости этой реакции при  $508^{\circ}C$  равна 0,16. Исходные концентрации реагирующих веществ:

$[H_2] = 0,04$  моль/л;  $[J_2] = 0,05$  моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и скорость ее, когда  $[H_2] = 0,03$  моль/л.

Ответ:  $3,2 \cdot 10^{-4}$ ;  $1,92 \cdot 10^{-4}$ .

66 Вычислите во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, если понизить температуру от  $120$  до  $80^{\circ}C$ . Температурный коэффициент скорости реакции 3.

67 Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры на  $60^{\circ}C$ , если температурный коэффициент скорости данной реакции 2?

68 Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при понижении температуры на  $30^{\circ}C$ , если температурный коэффициент скорости данной реакции 3?

69 Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $2SO_2 + O_2 \leftrightarrow 2SO_3$ . Как изменится скорость прямой реакции – образования  $SO_3$ , если увеличить концентрацию  $SO_2$  в три раза?

70 Напишите выражения для константы равновесия гомогенной системы  $CH_4 + CO_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$ . Как следует изменить температуру и давле-



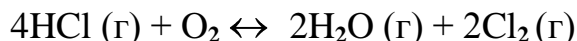
ние, чтобы повысить выход водорода? Реакция образования водорода эндотермическая.

71 Реакция идет по уравнению  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ . Концентрации исходных веществ:  $[\text{NO}] = 0,03$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,05$  моль/л. Как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию кислорода до  $0,10$  моль/л и концентрацию NO до  $0,06$  моль/л?

72 Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $\text{CO}_2 + \text{C} \leftrightarrow 2\text{CO}$ . Как изменится скорость прямой реакции – образования CO, если концентрацию  $\text{CO}_2$  уменьшить в четыре раза? Как следует изменить давление, чтобы повысить выход CO?

73 Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} (\text{г}) \leftrightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ . Как следует изменить концентрацию и давление, чтобы сместить равновесие в сторону обратной реакции – образования водных паров?

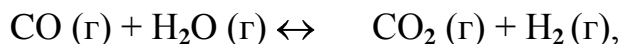
74 Равновесие гомогенной системы



установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,14$  моль/л;  $[\text{Cl}_2] = 0,14$  моль/л;  $[\text{HCl}] = 0,20$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,32$  моль/л. Вычислите исходные концентрации хлороводорода и кислорода.

Ответ:  $[\text{HCl}]_{\text{исх}} = 0,48$  моль/л;  $[\text{O}_2]_{\text{исх}} = 0,39$  моль/л.

75 Вычислите константу равновесия для гомогенной системы



если равновесные концентрации реагирующих веществ:  $[\text{CO}] = 0,004$  моль/л;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,064$  моль/л;  $[\text{CO}_2] = 0,016$  моль/л;  $[\text{H}_2] = 0,016$  моль/л.

Ответ:  $K = 1$ .

76 Константа равновесия гомогенной системы  $\text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 (\text{г})$  при некоторой температуре равна 1. Вычислите равновесные концентрации всех реагирующих веществ, если исходные концентрации:  $[\text{CO}] = 0,10$  моль/л;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,40$  моль/л.

Ответ:  $[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 0,08$  моль/л;  $[\text{CO}] = 0,02$  моль/л;  
 $[\text{H}_2\text{O}] = 0,32$  моль/л.

77 Константа равновесия гомогенной системы  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$  при температуре  $400^\circ C$  равна 0,1. Равновесные концентрации водорода и аммиака соответственно равны 0,2 и 0,08 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрацию азота.

Ответ: 8 моль/л; 8,04 моль/л.

78 При некоторой температуре равновесие гомогенной системы  $2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$  установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:  $[NO]=0,2$  моль/л;  $[O_2]=0,1$  моль/л;  $[NO_2]=0,1$  моль/л. Вычислите константу равновесия и исходную концентрацию  $[NO]$  и  $[O_2]$ .

Ответ:  $K=2,5$ ;  $[NO]=0,3$  моль/л;  $[O_2]=0,15$  моль/л.

79 Почему при изменении давления смещается равновесие системы  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$  и не смещается равновесие системы  $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO$ ? Напишите выражения для констант равновесия каждой из данных систем.

80 Исходные концентрации  $NO$  и  $Cl_2$  в гомогенной системе  $2NO + Cl_2 \leftrightarrow 2NOCl$  составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20%  $NO$ . Ответ: 0,416.

## 6 СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ

### РАСТВОРОВ

Концентрацией раствора называется количество растворенного вещества, содержащееся в определенном массовом или объемном количестве раствора или растворителя.

Пример 1 Вычислите: а) процентную ( $C\%$ ); б) молярную ( $C$ ), в) нормальную ( $C_N$ ); г) моляльную ( $C_m$ ) концентрации раствора  $H_3PO_4$ , полученного при растворении 18 г кислоты в  $282\text{ см}^3$  воды, если плотность его  $1,031\text{ г/см}^3$ . Чему равен титр ( $T$ ) этого раствора?

Решение а) массовая процентная концентрация показывает число граммов (единиц массы) вещества, содержащееся в 100 г (единиц массы) раствора.

$$C\% = 100 \frac{m}{m_{\text{р-ра}}}$$

Так как массу  $282 \text{ см}^3$  воды можно принять равной  $282 \text{ г}$ , то масса полученного раствора  $18 + 282 = 300 \text{ г}$  и, следовательно:

$$C_{\%} = \frac{100 \cdot 18}{300} = 6 \%$$

б) молярная- концентрация, или молярность, показывает число молей растворенного вещества, содержащееся в  $1 \text{ л}$  раствора.

$$C = \frac{m}{MV},$$

где:  $m$  - масса растворенного вещества, г

$M$  – молярная масса растворенного вещества, г/моль;

$V$  - объем раствора, л .

$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 97,99 \text{ г/моль}$ ;

$V = 300/1,031 = 291 \text{ мл} = 0,291 \text{ л}$  ,

$$C = \frac{18}{97,99 \cdot 0,291} = 0,63 \text{ М}$$

в) нормальная концентрация, или нормальность, показывает число эквивалентов растворенного вещества, содержащееся в  $1 \text{ л}$  раствора.

$$C_H = \frac{m}{m_3 V},$$

где  $m$  и  $m_3$  – масса и эквивалентная масса растворенного вещества соответственно г и г/моль ;

$V$  – объем раствора, л.

Так как эквивалентная масса  $\text{H}_3\text{PO}_4 = M/3 = 97,99/3 = 32,66 \text{ г/моль}$ , то

$$C_H = \frac{18}{32,66 \cdot 0,291} = 1,89 \text{ Н}$$

г) Моляльная концентрация показывает число молей растворенного вещества, содержащееся в  $1000 \text{ г}$  растворителя.

$$C_m = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot m_1},$$

где :  $m$  и  $M$  – масса и молярная масса растворенного вещества соответственно, г и г/моль;

$m_1$  – масса растворителя, г.

$$C_m = \frac{18 \cdot 1000}{97,99 \cdot 282} = 0,65 \text{ моль/кг} H_2O$$

Титром раствора называется количество граммов растворенного вещества в 1 см<sup>3</sup> (мл) раствора.

$$T = \frac{m}{V},$$

где: m - масса растворенного вещества, г;

V – объем раствора, мл.

Зная нормальность раствора и эквивалентную массу (**m<sub>э</sub>**) растворенного вещества, титр легко найти по формуле

$$T = C_N \cdot m_{\text{э}} / 1000.$$

$$T = 1,89 \cdot 32,66 / 1000 = 0,0617 \text{ г/см}^3$$

Пример 2 На нейтрализацию 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты израсходовано 25 см<sup>3</sup> 0,5 н раствора щелочи. Чему равна нормальность кислоты?

Решение Так как вещества взаимодействуют между собой в эквивалентных количествах, то растворы равной нормальности реагируют в равных объемах. При разных нормальностях объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны их нормальностям, т.е.

$$V_1/V_2 = C_{N2}/C_{N1}, \text{ или } V_1 C_{N1} = V_2 C_{N2},$$

$$50 C_{N1} = 25 \cdot 0,5, \text{ откуда } C_{N1} = 25 \cdot 0,5 / 50 = 0,25 \text{ н.}$$

Пример 3 К 1 л 10 %-го раствора КОН (пл. 1,092 г/см<sup>3</sup>) прибавили 0,5 л 5 %-го раствора КОН (пл. 1,045 г/см<sup>3</sup>). Объем смеси довели до 2 л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

Решение Масса одного литра 10 %-го раствора КОН 1092 г. В этом растворе содержится

$$1092 \cdot 10 / 100 = 109,2 \text{ г КОН.}$$

Масса 0,5 литра 5 %-го раствора 1045 · 0,5 = 522,5 г. В этом растворе содержится

$$522,5 \cdot 5 / 100 = 26,125 \text{ г КОН.}$$

В общем объеме полученного раствора (2 л) масса КОН составляет 109,2 + 26,125 = 135,325 г. Отсюда молярность этого раствора

$$C = 135,325 / 2 \cdot 56,1 = 1,2 \text{ М,}$$

где 56,1 г/моль – молярная масса КОН.

Пример 4 Какой объем 96 %-го раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , плотность которого  $1,84 \text{ г/см}^3$ , потребуется для приготовления 3 л 0,4 н раствора?

Решение Эквивалентная масса  $\text{H}_2\text{SO}_4 = M/2 = 98,08/2 = 49,04 \text{ г/моль}$ . Для приготовления 3 л 0,4 н раствора требуется  $49,04 \cdot 0,4 \cdot 3 = 58,848 \text{ г}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Масса исходного раствора составляет :  $58,848 \cdot 100/96 = 61,3 \text{ г}$ , а его объем  $61,3 / 1,84 = 33,32 \text{ мл}$ .

Следовательно, для приготовления 3 л 0,4 н раствора надо взять  $33,32 \text{ см}^3$  этой кислоты.

### ЗАДАНИЯ

81 Вычислите молярную и эквивалентную концентрации 20 %-го раствора хлорида кальция, плотность которого  $1,178 \text{ г/см}^3$ .

Ответ: 2,1 М; 4,2 н.

82 Чему равна молярность 30 %-го раствора  $\text{NaOH}$ , плотность которого  $1,328 \text{ г/см}^3$ ? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите процентную концентрацию полученного раствора.

Ответ: 9,96 н; 6,3 %.

83 К 3 л 10 %-го раствора  $\text{HNO}_3$ , плотность которого  $1,054 \text{ г/см}^3$ , прибавили 5 л 2 %-го раствора той же кислоты плотностью  $1,009 \text{ г/см}^3$ . Вычислите процентную концентрацию и молярную концентрацию полученного раствора, если считать, что его объем равен 8 л.

Ответ: 5,0 %; 0,82 м.

84 Вычислите эквивалентную и молярную концентрации 20,8 %-го раствора  $\text{HNO}_3$ , плотность которого  $1,12 \text{ г/см}^3$ . Сколько граммов кислоты содержится в 4 л этого раствора?

Ответ: 3,70 н; 4,17 м; 931,8 г.

85 Вычислите молярную, эквивалентную и молярную концентрации 16 %-го раствора хлорида алюминия, плотность которого  $1,149 \text{ г/см}^3$ .

Ответ: 1,38 М; 4,14 н; 1,43 м.

86 Сколько и какого вещества останется в избытке, если к  $75 \text{ см}^3$  0,3 н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  прибавить  $125 \text{ см}^3$  0,2 н раствора  $\text{KOH}$ ?

Ответ: 0,14 г  $\text{KOH}$ .

87 Для осаждения в виде  $\text{AgCl}$  всего серебра, содержащегося в  $100 \text{ см}^3$  раствора  $\text{AgNO}_3$ , потребовалось  $50 \text{ см}^3$   $0,2 \text{ н}$  раствора  $\text{HCl}$ . Чему равна нормальность раствора  $\text{AgNO}_3$ ? Сколько граммов  $\text{AgCl}$  выпало в осадок?

Ответ:  $0,1 \text{ н}$ ;  $1,433 \text{ г}$ .

88 Какой объем  $20,01 \%$ -го раствора  $\text{HCl}$  (плотность  $1,100 \text{ г/см}^3$ ) потребуется для приготовления  $1 \text{ л}$   $10,17 \%$ -го раствора (плотность  $1,050 \text{ г/см}^3$ )?

Ответ:  $485,38 \text{ см}^3$ .

89 Смешали  $10 \text{ см}^3$   $10 \%$ -го раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,056 \text{ г/см}^3$ ) и  $100 \text{ см}^3$   $30 \%$ -го раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,184 \text{ г/см}^3$ ). Вычислите процентную концентрацию полученного раствора.

Ответ:  $28,38 \%$ .

90 Какой объем  $50 \%$ -го раствора  $\text{KOH}$  (пл.  $1,538 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления  $3 \text{ л}$   $6 \%$ -го раствора (пл.  $1,048 \text{ г/см}^3$ )?

Ответ:  $245,5 \text{ см}^3$ .

91 Какой объем  $10 \%$ -го раствора карбоната натрия (пл.  $1,105 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления  $5 \text{ л}$   $2 \%$ -го раствора (пл.  $1,02 \text{ г/см}^3$ )?

Ответ:  $923,1 \text{ см}^3$ .

92 На нейтрализацию  $31 \text{ см}^3$   $0,16 \text{ н}$  раствора щелочи требуется  $217 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Чему равны нормальность и титр раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

Ответ:  $0,023 \text{ н}$ ;  $1,127 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ .

93 Какой объем  $0,3 \text{ н}$  раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего  $0,32 \text{ г}$   $\text{NaOH}$  в  $40 \text{ см}^3$ ?

Ответ:  $26,6 \text{ см}^3$ .

94 На нейтрализацию  $1 \text{ л}$  раствора, содержащего  $1,4 \text{ г}$   $\text{KOH}$ , требуется  $50 \text{ см}^3$  раствора кислоты. Вычислите нормальность раствора кислоты.

Ответ:  $0,53 \text{ н}$ .

95 Сколько граммов  $\text{HNO}_3$  содержалось в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось  $35 \text{ см}^3$   $0,4 \text{ н}$  раствора  $\text{NaOH}$ ? Чему равен титр раствора  $\text{NaOH}$ ?

Ответ:  $0,882 \text{ г}$ ;  $0,016 \text{ г/см}^3$ .

96 Сколько граммов  $\text{NaNO}_3$  нужно растворить в  $400 \text{ г}$  воды, чтобы приготовить  $20 \%$ -й раствор? Ответ:  $100 \text{ г}$ .

97 Смешали  $300 \text{ г}$   $20 \%$ -го раствора и  $500 \text{ г}$   $40 \%$ -го раствора  $\text{NaCl}$ . Чему равна процентная концентрация полученного раствора?

Ответ:  $32,5 \%$ .

98 Смешали 247 г 62 %-го и 145 г 18 %-го раствора серной кислоты. Какова процентная концентрация раствора после смешения? Ответ: 45,72 %.

99 Из 700 г 60 %-й серной кислоты выпариванием удалили 200 г воды. Чему равна процентная концентрация оставшегося раствора? Ответ: 84 %.

100 Из 10 кг 20 %-го раствора при охлаждении выделилось 400 г соли. Чему равна процентная концентрация охлажденного раствора? Ответ: 16,7 %.

## 7 ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Пример1 Вычислите температуры кристаллизации и кипения 2 %-го водного раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ .

Решение По закону Рауля понижение температуры кристаллизации и повышение температуры кипения раствора  $\Delta t$  по сравнению с температурами кристаллизации и кипения растворителя выражается уравнением

$$\Delta t = K \cdot \frac{m \cdot 1000}{M \cdot m_1}, \quad (4)$$

где  $K$  – криоскопическая или эбуллиоскопическая константы. Для воды они соответственно равны 1,86 и 0,52;

$m$  и  $M$  – соответственно масса растворенного вещества и его молярная масса, г и г/моль;

$m_1$  – масса растворителя, г .

Понижение температуры кристаллизации 2 %-го раствора

$$\Delta t = 1,86 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,21 \text{ град.}$$

Вода кристаллизуется при  $0^\circ C$ , следовательно, температура кристаллизации раствора  $0 - 0,21 = -0,21^\circ C$ .

Из формулы (4) повышение температуры кипения 2 %-го раствора  $C_6H_{12}O_6$

$$\Delta t = 0,52 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,06 \text{ град.}$$

Вода кипит при  $100^{\circ}\text{C}$ , следовательно, температура кипения этого раствора  $100+0,06 = 100,06^{\circ}\text{C}$ .

Пример 2 Раствор, содержащий 1,22 г бензойной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  в 100 г сероуглерода, кипит при  $46,529^{\circ}\text{C}$ . температура кипения сероуглерода  $46,3^{\circ}\text{C}$  Вычислите эбуллиоскопическую константу сероуглерода.

Решение Повышение температуры кипения  $\Delta t = 46,529 - 46,3 = 0,229$  град. Молярная масса бензойной кислоты 122 г/моль. Из формулы (1) находим эбуллиоскопическую константу:

$$K = \Delta t \cdot \frac{M \cdot m_1}{m \cdot 1000} = \frac{0,229 \cdot 122 \cdot 100}{1,22 \cdot 1000} = 2,29.$$

Пример 3 Раствор, содержащий 11,04 г глицерина в 800 г воды, кристаллизуется при  $-0,279^{\circ}\text{C}$ . Вычислите молярную массу глицерина.

Решение Температура кристаллизации чистой воды  $0^{\circ}\text{C}$ , следовательно, понижение температуры кристаллизации  $\Delta t = 0 - (-0,279) = 0,279^{\circ}$ .

Вычисляем молярную массу глицерина:

$$M = K \frac{m \cdot 1000}{m_1 \cdot \Delta t} = 1,86 \frac{11,04 \cdot 1000}{800 \cdot 0,279} = 92 \text{ г / моль}.$$

## ЗАДАНИЯ

101 Раствор, содержащий 0,512 г неэлектролита в 100 г бензола, кристаллизуется при  $5,296^{\circ}\text{C}$ . Температура кристаллизации бензола  $5,5^{\circ}\text{C}$ . Криоскопическая константа 5,1. Вычислите молярную массу растворенного вещества.

Ответ: 128 г/моль.

102 Вычислите процентную концентрацию водного раствора сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , зная температуру кристаллизации раствора ( $-0,93^{\circ}\text{C}$ ). Криоскопическая константа воды 1,86.

Ответ: 14,6 %.

103 Вычислите температуру кристаллизации раствора мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , содержащего 5 г мочевины в 150 г воды. Криоскопическая константа воды 1,86.

Ответ:  $-1,03^{\circ}\text{C}$ .



104 Раствор, содержащий 3,04 г камфоры  $C_{10}H_{16}O$  в 100 г бензола, кипит при  $80,714^{\circ}C$ . Температура кипения бензола  $80,2^{\circ}C$ . Вычислите эбуллиоскопическую константу бензола.

105 Вычислите процентную концентрацию водного раствора глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,39^{\circ}C$ . Эбуллиоскопическая константа воды 0,52.

Ответ: 6,45 %.

106 Вычислите молярную массу неэлектролита, зная, что раствор, содержащий 2,25 г этого вещества в 250 г воды, кристаллизуется при  $-0,279^{\circ}C$ . Криоскопическая константа воды 1,86.

Ответ: 60 г/моль.

107 Вычислите температуру кипения 5 %-го раствора нафталина  $C_{10}H_8$  в бензоле. Температура кипения бензола  $80,2^{\circ}C$ . Эбуллиоскопическая константа его 2,57 .

Ответ:  $81,25^{\circ}C$ .

108 Раствор, содержащий 25,65 г некоторого неэлектролита в 300 г воды, кристаллизуется при  $-0,465^{\circ}C$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды 1,86 .

Ответ: 342 г/моль.

109 Вычислите криоскопическую константу уксусной кислоты, зная, что раствор, содержащий 3,56 г антрацена  $C_{14}H_{10}$  в 100 г уксусной кислоты, кристаллизуется при  $15,718^{\circ}C$ . Температура кристаллизации уксусной кислоты  $16,65^{\circ}C$ .

110 Равные массовые количества камфоры  $C_{10}H_{16}O$  и нафталина  $C_{10}H_8$  растворены в одинаковых количествах бензола. Какой из растворов кипит при более высокой температуре?

111 Температура кристаллизации раствора, содержащего 66,3 г некоторого неэлектролита в 500 г воды, равна  $-0,558^{\circ}C$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды 1,86 .

Ответ: 442 г/моль.

112 Сколько граммов анилина  $C_6H_5NH_2$  следует растворить в 50 г этилового эфира, чтобы температура кипения раствора была выше температуры кипения этилового эфира на  $0,53^{\circ}$ ? . Эбуллиоскопическая константа этилового эфира 2,12 .

Ответ: 1,16 г.

113 Вычислите температуру кристаллизации 2 %-го раствора этилового спирта  $C_2H_5OH$ , зная, что криоскопическая константа воды 1,86.

Ответ:  $-0,82^{\circ}C$ .

114 Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 75 г воды, чтобы температура кристаллизации понизилась на  $0,465^{\circ}C$ ? Криоскопическая константа воды 1,86 .

Ответ: 1,12 г.

115 Вычислите процентную концентрацию водного раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,26^{\circ}C$ . Эбуллиоскопическая константа воды 0,52 .

Ответ: 8,25 %.

116 Сколько граммов фенола  $C_6H_5OH$  следует растворить в 125 г бензола, чтобы температура кристаллизации раствора была ниже температуры кристаллизации бензола на  $1,7^{\circ}$ ? Криоскопическая константа бензола 5,1.

Ответ: 3,91 г.

117 Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 250 г воды, чтобы температура кипения повысилась на  $0,26^{\circ}C$ ? Эбуллиоскопическая константа воды 0,52 .

Ответ: 7,5 г.

118 При растворении 2,3 г некоторого неэлектролита в 125 г воды температура кристаллизации понижается на  $0,372^{\circ}$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды 1,86.

Ответ: 92 г/моль.

119 Вычислите температуру кипения 15 %-го водного раствора пропилового спирта  $C_3H_7OH$ , зная, что эбуллиоскопическая константа воды 0,52 .

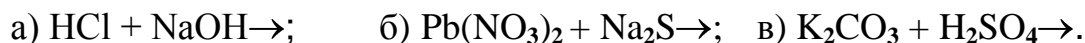
Ответ:  $101,52^{\circ}C$ .

120 Вычислите процентную концентрацию водного раствора метанола  $CH_3OH$ , температура кристаллизации которого  $-2,79^{\circ}C$ . Криоскопическая константа воды 1,86 .

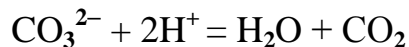
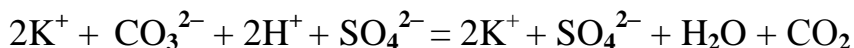
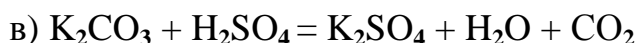
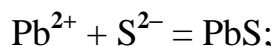
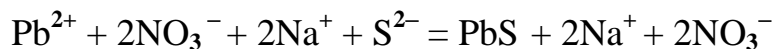
Ответ: 4,58 %.

## 8 ИОНООБМЕННЫЕ РЕАКЦИИ

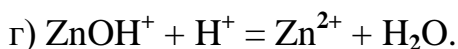
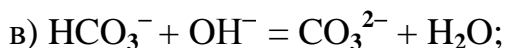
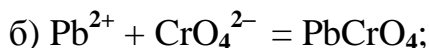
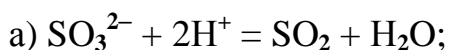
Пример 1 Написать ионно-молекулярные уравнения реакций:



Решение Вначале записываются полные молекулярные уравнения реакций, затем полные ионные и сокращенные уравнения. При этом необходимо учитывать, что сильные электролиты изображаются в виде ионов, а слабые электролиты, а также нерастворимые и газообразные вещества записываются как единое целое.

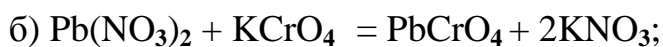
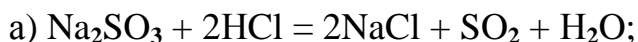


Пример 2 Составьте молекулярные уравнения реакций, которым соответствуют следующие ионно-молекулярные уравнения:



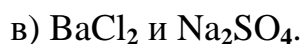
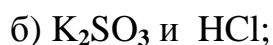
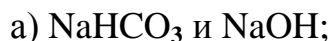
В левой части данных ионно-молекулярных уравнений указаны свободные ионы, которые образуются при диссоциации растворимых сильных электролитов, следовательно, при составлении молекулярных уравнений следует исходить из соответствующих растворимых сильных электролитов.

Например:

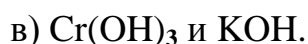
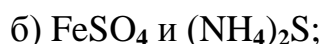


## ЗАДАНИЯ

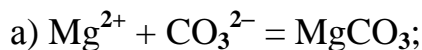
121 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:



122 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

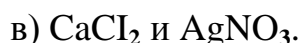
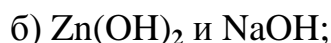
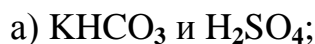


123 Составьте по три молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:

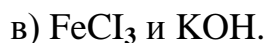
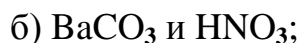
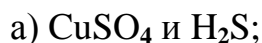


124 Какое из веществ:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  – будет взаимодействовать с гидроксидом калия? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

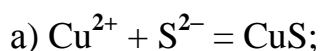
125 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между :



126 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:



127 Составьте по три молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



128 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

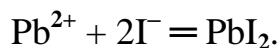
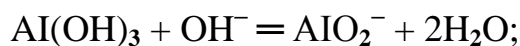
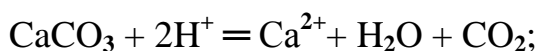
а)  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  и  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{BeSO}_4$  и  $\text{KOH}$ ; в)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

129 Какое из веществ  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  будет взаимодействовать с раствором серной кислоты? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

130 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

а)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{NaI}$ ; б)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KI}$ ; в)  $\text{CdSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ .

131 Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:

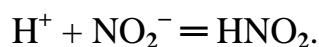
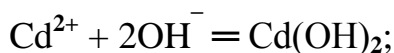
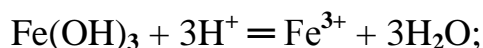


132 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

а)  $\text{Be}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ ; б)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  и  $\text{HNO}_3$ ; в)  $\text{ZnOHNO}_3$  и  $\text{HNO}_3$ .

133 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

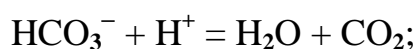
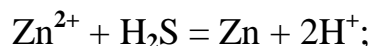
а)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{CaCl}_2$ ; б)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{BaCl}_2$ ; в)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{KOH}$ . 134 Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



135 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

а)  $\text{CdS}$  и  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и  $\text{CoCl}_2$ .

136 Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



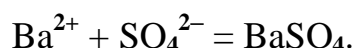
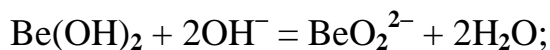
137 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

а)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; б)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; в)  $\text{CH}_3\text{COONa}$  и  $\text{HCl}$ .

138 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между:

а)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{KOH}$ ; б)  $\text{NiSO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ; в)  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{HNO}_3$ .

139 Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



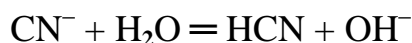
140 Какое из веществ:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Be}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KHCO}_3$  – будет взаимодействовать с раствором гидроксида натрия. Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

## 9 ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

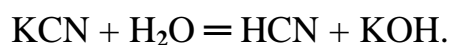
Пример 1 Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей: а)  $\text{KCN}$ , б)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , в)  $\text{ZnSO}_4$ . Определите реакцию среды в растворах этих солей.

Решение а) Цианид калия  $\text{KCN}$  – соль слабой одноосновной кислоты  $\text{HCN}$  и сильного основания  $\text{KOH}$ . При растворении в воде молекулы  $\text{KCN}$  полностью диссоциируют на катионы  $\text{K}^+$  и анионы  $\text{CN}^-$ . Катионы  $\text{K}^+$  не могут связывать ионы  $\text{OH}^-$  воды, так как  $\text{KOH}$  сильный электролит.

Анионы же  $\text{CN}^-$  связывают ионы  $\text{H}^+$  воды, образуя молекулы слабого электролита  $\text{HCN}$ . Соль гидролизуеться, как говорят, по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



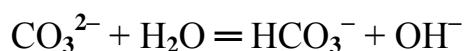
или в молекулярной форме



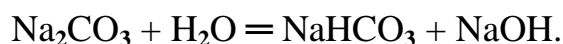
В результате гидролиза в растворе появляется некоторый избыток ионов  $\text{OH}^-$ , поэтому раствор  $\text{KCN}$  имеет щелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ).

б) Карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – соль слабой многоосновной кислоты и сильного основания. В этом случае анионы соли  $\text{CO}_3^{2-}$ , связывая катионы

водорода из воды, образуют анионы кислой соли  $\text{HCO}_3^-$ , а не молекулы  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , так как ионы  $\text{HCO}_3^-$  диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . В обычных условиях гидролиз идёт по первой ступени. Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза

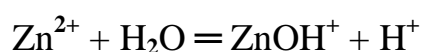


Или в молекулярной форме

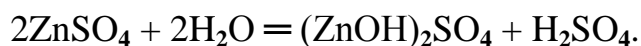


В растворе появляется избыток ионов  $\text{OH}^-$ , поэтому раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  имеет щелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ).

в) Сульфат цинка  $\text{ZnSO}_4$  – соль слабого многокислотного основания  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и сильной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . В этом случае катионы  $\text{Zn}^{2+}$  связывают гидроксильные ионы воды, образуя катионы основной соли  $\text{ZnOH}^+$ . Образования молекул  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  не происходит, так как ионы  $\text{ZnOH}^+$  диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . В обычных условиях гидролиз идёт по первой ступени. Соль гидролизуется по катиону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



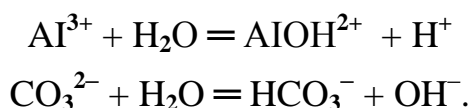
Или в молекулярной форме



В растворе появляется избыток ионов водорода, поэтому раствор  $\text{ZnSO}_4$  имеет кислую реакцию ( $\text{pH} < 7$ ).

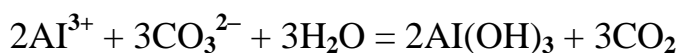
Пример 2 Какие продукты образуются при смешивании растворов  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ? Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения реакций.

Решение Соль  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  гидролизуется по катиону, а  $\text{K}_2\text{CO}_3$  по аниону:

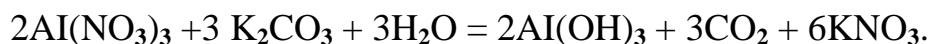


Если растворы солей находятся в одном сосуде, то идёт взаимное усиление гидролиза каждой из них, ибо ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  образуют молекулу слабого электролита  $\text{H}_2\text{O}$ . При этом гидролитическое равновесие сдвигается вправо

и гидролиз каждой из взятых солей идёт до конца с образованием  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{CO}_2(\text{H}_2\text{CO}_3)$ . Ионно-молекулярное уравнение



молекулярное уравнение



## ЗАДАНИЯ

141 Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения совместного гидролиза, происходящего при смешивании растворов  $\text{K}_2\text{S}$  и  $\text{CrCl}_3$ . Каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца.

142 Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы солей  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

143 Какие из солей  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KCl}$  подвергаются гидролизу? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

144 При смешивании растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца. Выразите этот совместный гидролиз ионно-молекулярным и молекулярным уравнениями.

145 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{CH}_3\text{COOK}$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы этих солей?

146 Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы солей  $\text{Li}_2\text{S}$ ,  $\text{AlCO}_3$ ,  $\text{NiSO}_4$ ? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

147 Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CoCl}_2$ . Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы этих солей?

148 Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнение гидролиза соли, раствор которой имеет: а) щелочную реакцию; б) кислую реакцию.



149 Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

150 Составьте ионные и молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{SnCl}_2$ . Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы этих солей?

151 Какие из солей  $\text{RbCl}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

152 При смешивании растворов  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$  выпадает осадок основной соли  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  и выделяется  $\text{CO}_2$ . Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения происходящего гидролиза.

153 Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы этих солей?

154 При смешивании растворов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца. Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения происходящего совместного гидролиза.

155 Какие из солей  $\text{NaBr}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CoCl}_2$  подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей

156 Какие из солей  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaCN}$  подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

157 Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения совместного гидролиза, происходящего при смешивании раствора  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ? Каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца.

158 Какое значение pH ( $>7<$ ) имеют растворы следующих солей:  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ?

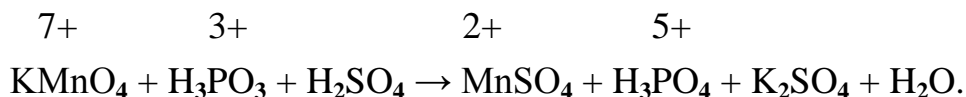
Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей.

159 Какие из солей:  $K_2CO_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $K_2SO_4$ ,  $ZnCl_2$  подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

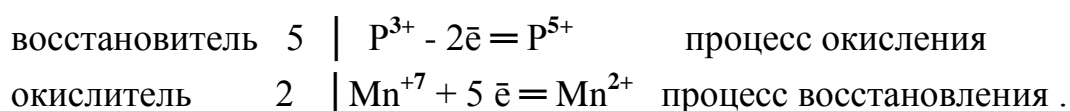
160 При смешивании растворов  $Al_2(SO_4)_3$  и  $Na_2S$  каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца. Выразите этот совместный гидролиз ионно-молекулярным и молекулярным уравнениями.

## 10 ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

Пример Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, идущей по схеме:



Решение Если в условии задачи даны как исходные вещества, так и продукты их взаимодействия, то написание уравнения реакции сводится, как правило, к нахождению и расстановке коэффициентов. Коэффициенты определяют методом электронного баланса с помощью электронных уравнений. Вычисляем, как изменяют свою степень окисления восстановитель и окислитель, и отражаем это в электронных уравнениях:

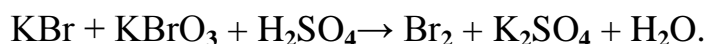


Общее число электронов, отданных восстановлением, должно быть равно числу электронов, которое присоединяет окислитель. Общее наименьшее кратное для отданных и принятых электронов 10. Разделив это число на 5, получаем коэффициент 2 для окислителя и продукта его восстановления. Коэффициенты перед веществами, атомы которых не меняют свою степень окисления, находят подбором. Уравнение реакции будет иметь вид

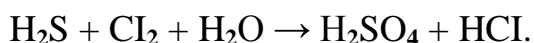
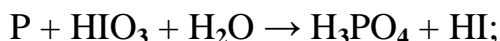


## ЗАДАНИЯ

161 Исходя из степени окисления хлора в соединениях  $\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:

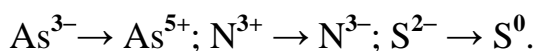


162 Реакции выражаются схемами:

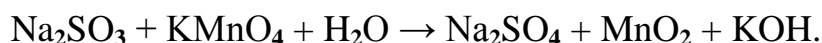


Составьте электронные уравнения. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций. Для каждой реакции укажите, какое вещество является окислителем, какое восстановителем; какое вещество окисляется, какое – восстанавливается.

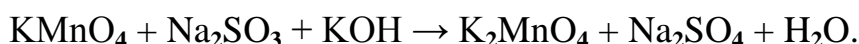
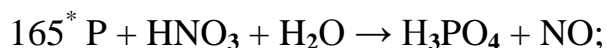
163 Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс – окисление или восстановление – происходит при следующих превращениях:



На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



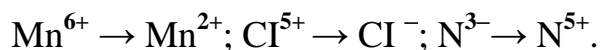
164 Исходя из степени окисления фосфора в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



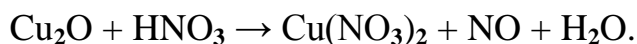
---

\* См. условие задачи 162

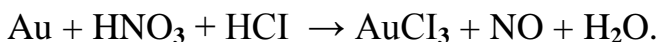
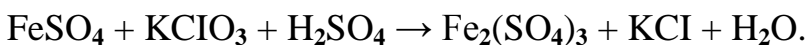
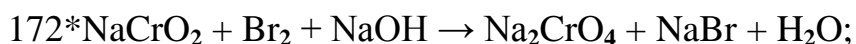
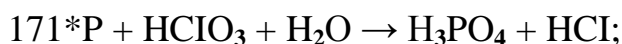
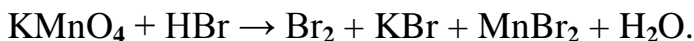
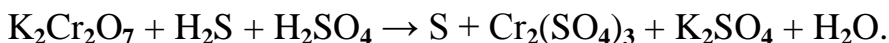
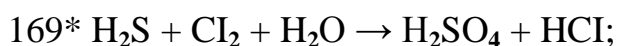
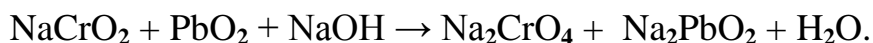
166 Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс – окисления или восстановление – происходит при следующих превращениях:



На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



168 Исходя из степени окисления хрома, йода и серы в соединениях  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{KI}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений реакций расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме

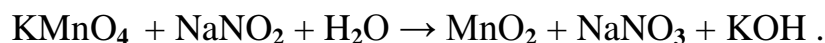
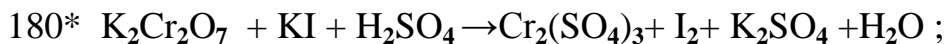
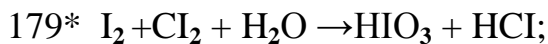
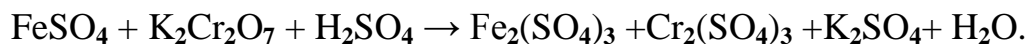
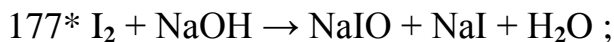
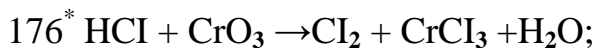


175 Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а)  $\text{NH}_3$  и  $\text{KMnO}_4$ ; б)  $\text{HNO}_2$  и  $\text{HI}$ ; в)  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{Se}$ ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:



---

\* См. условие задачи 162



---

\* См. условие задачи 162

## 11 ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ И ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИЕ СИЛЫ

Пример 1 Магниевую пластинку опустили в раствор его соли. При этом электродный потенциал магния оказался равен  $-2,41$  В. Вычислите концентрацию ионов магния в молях на литр.

Решение\_Подобные задачи решаются на основании уравнения Нернста:

$$E = E^0 + \frac{0,058}{n} \lg C$$

где  $E^0$  – стандартный электродный потенциал;

$n$  – число электронов, принимающих участие в процессе;

$C$  – концентрация (при точных вычислениях - активность) гидратированных ионов металла в растворе, моль/л:

$$-2,41 = -2,37 + \frac{0,058}{2} \lg C$$

$$-0,04 = 0,029 \lg C$$

$$\lg C = -\frac{0,04}{0,029} = -1,3793 = \bar{2},6207$$

$$C_{\text{Mg}^{2+}} = 4,17 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

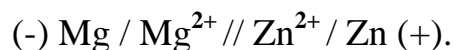
---

Таблица 7 - Стандартные электродные потенциалы  $E^{\circ}$  некоторых металлов  
(ряд напряжений)

Электрод	$E^{\circ}$ , В	Электрод	$E^{\circ}$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	-3,045	Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,403
Rb <sup>+</sup> /Rb	-2,925	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,277
K <sup>+</sup> /K	-2,924	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,25
Cs <sup>+</sup> /Cs	-2,923	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,136
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,90	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,127
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2,87	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0,037
Na <sup>+</sup> /Na	-2,714	2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	-0,000
Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2,37	Sb <sup>3+</sup> /Sb	+0,20
Al <sup>3+</sup> /Al	-1,70	Bi <sup>3+</sup> /B	+0,215
Ti <sup>2+</sup> /Ti	-1,603	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+0,34
Zr <sup>4+</sup> /Zr	-1,58	Cu <sup>+</sup> /Cu	+0,52
Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,18	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	+0,79
V <sup>2+</sup> /V	-1,18	Ag <sup>+</sup> /Ag	+0,80
Cr <sup>2+</sup> /Cr	-0,913	Hg <sup>2+</sup> /Hg	+0,85
Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0,763	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+1,19
Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,74	Au <sup>3+</sup> /Au	+1,50
Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,44	Au <sup>+</sup> /Au	+1,70

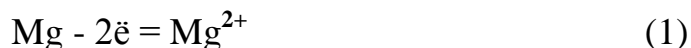
Пример 2 Составьте схему гальванического элемента, в котором электродами являются магниевая и цинковая пластинки, опущенные в растворы их ионов с активной концентрацией 1 моль/л. Какой металл является анодом, какой катодом? Напишите уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей в этом гальваническом элементе, и вычислите его ЭДС.

Решение Схема данного гальванического элемента



Вертикальная черта обозначает поверхность раздела между металлом и раствором, а две черты – границу раздела двух жидких фаз – пористую перегородку (или соединительную трубку, заполненную раствором элек-

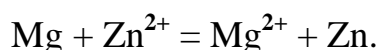
тролита). Магний имеет меньший потенциал (-2,37 В) и является анодом, на котором протекает процесс окисления:



Цинк, потенциал которого – 0,763 В, - катод, т.е. электрод, на котором протекает процесс восстановления:



Уравнение окислительно-восстановительной реакции, характеризующее работу данного гальванического элемента, можно получить, сложив электронные уравнения анодного (1) и катодного (2) процессов:



Для определения электродвижущей силы – ЭДС гальванического элемента из потенциала катода следует вычесть потенциал анода. Так как концентрация ионов в растворе равна 1 моль/л, то ЭДС элемента равна разности стандартных потенциалов двух его электродов:

$$\text{ЭДС} = E^{\circ}_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} - E^{\circ}_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -0,763 - (-2,37) = 1,607 \text{ В}.$$

## ЗАДАНИЯ

181 В два сосуда с голубым раствором медного купороса поместили: в первый цинковую пластинку, а во второй – серебряную.

В каком сосуде окраска раствора постепенно исчезает? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующей реакции.

182 Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса цинковой пластинки при взаимодействии её с растворами: а)  $\text{CuSO}_4$ ; б)  $\text{MgSO}_4$ ; в)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

183 При какой концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  (в моль/л) потенциал цинкового электрода будет на 0,015 В меньше его стандартного электродного потенциала.

Ответ: 0,30 моль/л.

184 Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса кадмиевой пластинки при взаимодействии её с растворами: а)  $\text{AgNO}_3$ ; б)  $\text{ZnSO}_4$ ; в)  $\text{NiSO}_4$ . Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

185 Марганцевый электрод в растворе его соли имеет потенциал – 1,23 В. Вычислите концентрацию ионов  $Mn^{2+}$  (в моль/л).

Ответ:  $1,89 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

186 Потенциал серебряного электрода в растворе  $AgNO_3$  составил 95% от величины его стандартного электродного потенциала. Чему равна концентрация ионов  $Ag^+$  (в моль/л)?

Ответ: 0,20 моль/л.

187 Никелевый и кобальтовый электроды опущены соответственно в растворы  $Ni(NO_3)_2$  и  $Co(NO_3)_2$ . В каком соотношении должна быть концентрация ионов этих металлов, чтобы потенциалы обоих электродов были одинаковыми?

Ответ:  $C_{Ni^{2+}} : C_{Co^{2+}} \approx 0,117$ .

188 Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых медь была бы катодом, а в другом – анодом. Напишите для каждого из этих элементов электронные уравнения реакций, протекающих на катоде и на аноде.

189 При какой концентрации ионов  $Cu^{2+}$  (в моль/л) значение потенциала медного электрода становится равным стандартному потенциалу водородного элемента?

Ответ:  $1,89 \cdot 10^{-12}$  моль/л.

190 Какой гальванический элемент называется концентрационным? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из серебряных электродов, опущенных - первый в 0,01 н, а второй – в 0,1 н растворы  $AgNO_3$ .

Ответ: 0,058 В.

191 При каком условии будет работать гальванический элемент, электроды которого сделаны из одного и того же металла? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, в котором один никелевый электрод находится в 0,001 М растворе, а другой такой же электрод – в 0,01 М растворе сульфата никеля.

Ответ: 0,029 В.

192 Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из свинцовой и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $[Pb^{2+}] = [Mg^{2+}] = 0,01$  моль/л.. Изменится ли ЭДС этого



элемента, если концентрацию каждого из ионов увеличить в одинаковое число раз?

Ответ: 2,244 В.

193 Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых никель является катодом, а в другом – анодом. Напишите для каждого из этих элементов электронные уравнения реакций, протекающих на катоде и на аноде.

194 Железная и серебряная пластины соединены внешним проводником и погружены в раствор серной кислоты. Составьте схему данного гальванического элемента и напишите электронные уравнения процессов, происходящих на аноде и на катоде.

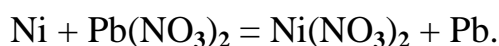
195 Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из пластин кадмия и магния, опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $[Mg^{2+}] = [Cd^{2+}] = 1$  моль/л. Изменится ли величина ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л.

Ответ: 1,967 В.

196 Составьте схему гальванического элемента, состоящего из пластин цинка и железа, погруженных в растворы их солей. Напишите электронные уравнения процессов, протекающих на аноде и на катоде. Какой концентрации надо было бы взять ионы железа (в моль/л), чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если  $[Zn^{2+}] = 0,001$  моль/л?

Ответ:  $7,3 \cdot 10^{-15}$  моль/л.

197 Составьте схему гальванического элемента в основе которого лежит реакция, протекающая по уравнению



Напишите электронные уравнения анодного и катодного процессов. Вычислите ЭДС этого элемента, если  $[Ni^{2+}] = 0,01$  моль/л,  $[Pb^{2+}] = 0,0001$  моль/л.

Ответ: 0,066 В.

198. Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке свинцового аккумулятора?

199. Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке кадмий - никелевого аккумулятора?

200. Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке железо - никелевого аккумулятора?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глинка Н.Л. Общая химия. – Л. : Химия, 1988. – 719с.
- 2 Лучинский Т.П. Курс химии. – М. : Высш. шк., 1985. – 322с.
- 3 Глинка Н.Л. Сборник задач по общей химии. – Л. : Химия, 1988. – 268 с.
- 4 Авдеенко А.П. Химия и неорганическая химия. Ч. 1. – Киев, 1993 –235 с..
- 5 Поляков О.Е. Посібник – довідник до лекційних курсів “Хімія” і “Неорганічна хімія”. Ч.2. –Київ ІСДО, 1994 –172 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Общие указания .....	3
Таблица 1 – варианты заданий для контрольной работы № 1	5
Таблица 2 – варианты заданий для контрольной работы № 2	8
2 Основные законы и понятия химии .....	11
3 Строение атома и периодический закон .....	16
4 Химическая термодинамика .....	21
5 Химическая кинетика и равновесие .....	29
6 Способы выражения концентрации растворов .....	34
7 Законы идеальных растворов .....	39
8 Ионнообменные реакции .....	43
9 Гидролиз солей .....	46
10 Окислительно-восстановительные реакции .....	50
11 Электродный потенциал и электродвижущие силы .....	53
Список рекомендуемой литературы .....	58

Авдеенко Анатолий Петрович ,  
Евграфова Наталья Ивановна,

**ПОСОБИЕ**  
**ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**  
**ПО КУРСУ «ХИМИЯ»**  
**СТУДЕНТАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ ЛП**  
**ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ)**

Редактор: Хахина Нелли Александровна

---

Подп. в печать	Формат 60 x 90/16
Ризографическая печать	Усл. печ. л. 3,75    Уч.-изд. л.2,72
Тираж 80 экз.	Заказ № 278

---

ДГМА, 84313, Краматорск, ул.Шкадинова, 72