

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения»
СахИЖТ – филиал ДВГУПС в г. Южно-Сахалинске

ХИМИЯ

*Учебно-методическое пособие по выполнению контрольной работы № 1
Текстовое электронное издание локального распространения*

Составитель – Панов А.Г.- ст. преп.
каф. «Нефтегазовое дело, химия и экология»

Южно-Сахалинск
2021

УДК
ББК
Х

Рецензент –

Химия. Учебно-методическое пособие по выполнению контрольной работы / сост. Панов, А.Г. (электронное издание локального распространения) – Южно-Сахалинск, 2021. – 59 с.

Методическое пособие разработано в соответствии с программой дисциплины «Химия», утвержденной Министерством образования и науки РФ в 2009 г.

Даны тематика изучаемого раздела, основная и дополнительная литература, варианты заданий и методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Химия».

Предназначено для студентов Института интегрированных форм обучения специальностей «Электроэнергетика и электротехника» и «Наземно-транспортные технологические системы» (на базе СПО).

УДК
ББК

© СахИЖТ, 2021

Оглавление

Общие методические указания	4
Литература.....	4
Методические указания по правилам выполнения и оформления контрольной работы	5
Таблица вариантов контрольных заданий.....	5
Контрольные задания Примеры решения задач	
1. Строение атома	8
2. Энергетика химических процессов	11
3. Направленность химических процессов	16
4. Химическая кинетика и равновесие	19
5. Способы выражения концентрации раствора	24
6. Свойства растворов	28
7. Комплексные соединения	30
8. Равновесие в гетерогенных системах. Коллоидные системы (растворы)	35
9. Ионно-молекулярные реакции обмена. Гидролиз солей	38
10. Окислительно-восстановительные реакции	43
11. Электродные потенциалы. Гальванические элементы	49
12. Коррозия и защита металлов	53
13. Жесткость воды и методы ее устранения	56
14. Химия элементов IV группы. Органические полимеры и материалы	57

Общие методические указания.

Основной вид учебных занятий студентов заочного обучения – самостоятельная работа над учебным материалом. В курсе химии она складывается из следующих элементов: посещение лекционных занятий в рамках установочной сессии; изучение дисциплины по учебникам и учебным пособиям; индивидуальные консультации; выполнение контрольной работы; выполнение лабораторных работ и представление отчетов по ним; сдача экзамена (или зачета) по всему курсу. Данное пособие составлено для студентов специальностей «Строительство», «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», «Эксплуатация железных дорог» и других технических специальностей, изучающих химию.

Настоящее методическое пособие составлено в соответствии с действующей программой и призвано помочь студентам заочного обучения при самостоятельном изучении курса. Каждый студент должен выполнить контрольную работу *своего* варианта, состоящую из 15 заданий. Номер варианта определяется *по двум последним цифрам номера студенческого билета*. Например, номер студенческого билета К12-СТР(Б)-538, две последние цифры 38, им соответствует вариант контрольного задания 38. К выполнению контрольной работы рекомендуется приступить только тогда, когда будет усвоена необходимая часть курса и проработаны методические указания к решению типовых задач по соответствующей теме, приведенные в данном пособии.

Рекомендуемая основная и дополнительная литература

1. Глинка Н. Л. Общая химия. В 2 ч. Ч 1: учебник для академического бакалавриата / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова – 19-е изд., перераб. и доп.– М.: Изд. Юрайт, 2016. -364с.
2. Глинка Н. Л. Общая химия. В 2 ч. Ч 2: учебник для академического бакалавриата / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова – 19-е изд., перераб. и доп.– М.: Изд. Юрайт, 2016. - 380с.
3. Глинка Н. Л. Задачи и упражнения по общей химии бакалавриата : учеб.-практ. пособие / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова – 14-е изд.– М.: Изд. Юрайт, 2015. -236 с.
4. Глинка Н. Л. Практикум по общей химии: учеб. пособие для академического бакалавриата / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова, О.В. Нестеровой. – М.: Изд. Юрайт, 2016. -248 с.
5. Коровин Н. В. Общая химия. – М.: Высш. шк., 2005 (и последующие года издания). -558с.
6. Задачи и упражнения по общей химии. /Под ред. Н. В. Коровина. М.: Высш. шк., 2005 (и последующие года издания). -255с.
7. Качественный и количественный анализ веществ: уч.-методич. пособие по выполнению лаб. работ / автор-составитель А.Г. Панов. – Ю.-Сахалинск: изд-во СахИЖТ – филиал ДВГУПС в г. Южно-Сахалинске, 2014. – 47с.

8. Малова Ю. Г. Основные разделы общей химии : метод. указания по выполнению лабораторных работ / Ю.Г. Малова. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 28 с.

Методические указания к написанию и оформлению контрольной работы по химии.

Контрольная работа по химии должна быть оформлена в соответствии с требованиями:

Необходимо заполнить титульный лист в соответствии с требованиями (*только в печатном виде*). В титульном листе необходимо указать № своей зачетной книжки и № варианта своей контрольной работы (номер работы определяется по двум последним цифрам номера своей зачетной книжки).

В начале контрольной работы необходимо указать номера всех контрольных заданий своего варианта (таблица вариантов контрольных заданий приведена выше). *Работа, выполненная не по своему варианту, преподавателем не рассматривается и не засчитывается как сделанная.*

Задания следует выполнять в том порядке, в каком они предлагаются в данном пособии. Перед началом выполнения каждого задания необходимо привести условия задания в том виде, в каком они изложены в методическом пособии. *Без представленного условия работа не принимается и не засчитывается как выполненная.*

При решении задач нужно приводить весь ход решения: от использованной формулы до подстановки данных. Решение задач в контрольной работе должны быть коротко, но четко обоснованы, за исключением тех случаев, когда по существу вопроса такая мотивировка не требуется, например, когда нужно составить электронную формулу атома, написать уравнение реакции и т.п. **Список литературы не требуется.**

Работу следует выполнять *только в формате А4 с одной стороны, текст в печатном виде* (при этом *уравнения реакций и формулы могут быть вписаны в текст в рукописном виде*). Работа должна быть датирована, подписана студентом и представлена на рецензирование не позднее чем за 2 недели до начала текущей сессии.

Контрольная работа, выполненная *не в соответствии с данными требованиями, преподавателем не рассматривается и не засчитывается как сданная.* Если контрольная работа не зачтена, то ее нужно доработать в соответствии с указаниями рецензента (возможно сделать исправления замечаний в рукописном виде) и представить на повторное рассмотрение вместе с не зачтенной работой. Исправления следует вносить на дополнительных листах, а не в рецензированном тексте

Таблица вариантов контрольных заданий

Номер варианта	Номера задач													
	01	1	26	65	66	93	116	140	154	175	201	229	264	270
02	2	27	64	67	107	117	139	155	174	216	232	262	266	277
03	3	28	63	68	108	118	138	156	173	202	228	265	267	278

04	4	29	62	69	109	120	137	157	172	217	233	250	268	279
05	5	30	61	70	110	121	136	158	171	203	227	246	269	280
06	6	31	60	71	103	122	135	159	192	218	234	263	275	281
07	7	32	59	72	104	123	134	160	193	204	244	247	274	282
08	8	33	58	73	105	124	133	161	194	219	226	254	273	283
09	9	34	57	74	106	125	132	162	195	205	231	248	272	284
10	10	35	56	75	99	126	131	163	190	220	243	264	271	285
11	11	36	55	76	100	127	150	164	191	206	230	249	268	286
12	12	37	54	77	101	128	149	165	189	221	235	256	268	287
13	13	38	53	78	102	129	148	166	188	207	245	251	275	288
14	14	39	52	79	95	130	147	167	187	222	236	257	267	289
15	15	40	51	80	96	111	146	168	179	208	229	252	266	290
16	16	41	52	81	97	112	145	169	180	223	230	255	274	291
17	17	42	65	82	98	113	144	170	181	209	240	253	273	292
18	18	43	64	83	91	114	143	151	186	224	234	260	272	293
19	19	44	63	84	92	115	142	152	185	210	229	254	271	294
20	20	45	62	85	93	111	141	153	184	225	242	261	270	295
21	21	46	61	86	94	112	142	159	177	211	237	255	269	295
22	22	47	60	87	109	113	141	160	176	196	228	259	267	294
23	23	48	59	88	110	114	144	151	178	212	237	256	275	293
24	24	49	58	89	106	115	143	152	182	197	232	258	274	292
25	25	50	57	90	107	116	146	153	183	213	227	257	273	291
26	1	27	56	67	108	117	145	154	177	198	241	251	272	290
27	2	28	55	68	103	118	148	155	176	214	233	258	271	289
28	3	29	51	69	104	119	147	158	178	199	226	252	270	288
29	4	30	53	70	105	120	150	157	180	215	227	259	269	287
30	5	31	54	71	100	121	149	156	179	200	238	263	268	286
31	6	32	58	72	101	122	132	165	181	210	245	260	266	285
32	7	33	57	73	102	123	131	164	182	207	230	253	275	284
33	8	34	56	74	97	124	134	163	183	209	226	261	274	283
34	9	35	55	75	98	125	133	162	185	208	244	262	273	282
35	10	36	54	76	99	126	136	161	184	201	236	261	272	281
36	11	37	53	77	94	127	135	170	187	210	239	250	271	280
37	12	38	52	78	95	128	138	169	186	200	243	251	270	279
38	13	39	51	79	96	129	137	168	188	209	238	258	269	278
39	14	40	65	80	91	130	140	167	190	202	240	259	268	277
40	15	41	64	81	92	119	139	166	189	199	242	262	267	276
41	16	42	63	82	93	117	131	156	191	202	245	260	275	284
42	17	43	62	83	109	118	132	157	192	201	235	263	274	285
43	18	44	61	84	110	119	133	158	194	203	241	256	273	288
44	19	45	60	85	107	120	134	159	193	198	244	264	272	289
45	20	46	59	86	108	121	135	160	171	205	231	257	271	278
46	21	47	65	87	105	122	137	161	172	203	240	265	270	279
47	22	48	64	88	106	123	136	162	174	204	239	250	269	290
48	23	49	63	89	103	124	138	163	173	197	228	254	268	291
49	24	50	62	90	104	125	139	164	175	196	239	246	267	280
50	25	26	61	66	101	126	140	165	174	204	241	255	266	281
51	1	28	60	68	102	127	142	166	171	205	242	247	266	292
52	2	29	59	69	99	128	141	167	177	208	238	253	267	293

53	3	30	58	70	96	129	143	168	178	207	243	248	268	282
54	4	31	57	71	97	130	144	169	179	206	241	252	269	283
55	5	32	56	72	98	111	145	170	180	206	242	249	270	294
56	6	33	55	73	100	112	147	151	181	217	243	253	271	295
57	7	34	54	74	91	113	146	152	182	216	244	265	272	276
58	8	35	53	75	93	114	148	153	183	219	230	254	273	277
59	9	36	52	76	94	115	149	154	184	207	237	246	274	286
60	10	37	51	77	95	116	150	155	185	225	229	255	275	287
61	11	38	54	78	92	117	136	155	186	215	231	247	268	292
62	12	39	53	79	100	118	134	154	187	214	248	256	269	293
63	13	40	52	80	101	119	133	153	188	208	232	248	272	294
64	14	41	51	81	102	120	132	152	189	218	247	252	273	295
65	15	42	60	82	103	121	131	151	190	213	233	249	266	286
66	16	43	59	83	104	122	150	170	191	212	240	257	267	287
67	17	44	58	84	105	123	149	169	192	209	234	250	270	288
68	18	45	57	85	106	124	148	168	193	224	239	251	271	289
69	19	46	56	86	107	125	147	167	194	211	235	258	274	290
70	20	47	55	87	108	126	146	166	195	222	231	261	275	291
71	21	48	65	88	109	127	145	165	171	210	232	262	271	281
72	22	49	64	89	110	128	144	164	172	221	233	259	272	282
73	23	50	63	90	91	129	143	163	173	220	234	263	273	283
74	24	26	62	66	92	130	142	162	174	224	235	247	274	284
75	25	27	61	67	94	111	141	161	175	211	238	264	275	285
76	1	29	60	69	95	112	140	160	177	223	236	249	266	276
77	2	30	54	70	96	113	139	159	176	196	237	260	267	277
78	3	31	53	71	97	114	138	158	179	223	230	265	268	278
79	4	32	52	72	98	115	137	157	178	212	231	248	269	279
80	5	33	51	73	99	116	135	156	181	222	236	246	270	280
81	6	34	55	74	110	117	134	156	180	197	237	261	270	295
82	7	35	56	75	109	118	133	157	183	225	238	259	269	294
83	8	36	57	76	108	119	132	158	182	213	239	258	268	292
84	9	37	58	77	107	120	131	159	185	221	240	260	267	293
85	10	38	59	78	106	121	150	160	184	206	229	262	266	291
86	11	39	65	79	105	122	149	161	186	202	236	255	275	290
87	12	40	64	80	104	123	148	162	187	214	228	257	274	278
88	13	41	63	81	103	124	147	163	189	198	235	249	273	279
89	14	42	62	82	102	125	146	164	188	205	227	256	272	277
90	15	43	61	83	101	126	145	165	191	220	241	263	271	276
91	16	44	60	84	100	127	144	166	190	215	242	254	271	276
92	17	45	59	85	99	128	143	155	192	204	243	248	272	295
93	18	46	58	86	98	129	142	154	193	199	244	253	275	277
94	19	47	57	87	97	130	141	153	195	201	245	264	274	294
95	20	48	56	88	96	111	140	152	194	216	234	252	273	291
96	21	49	55	89	95	112	139	151	174	219	226	247	266	278
97	22	50	54	90	94	113	138	170	175	200	233	250	267	293
98	23	26	53	66	93	114	137	169	171	203	245	246	268	280
99	24	27	52	67	92	115	136	168	172	217	232	251	269	279
00	25	28	51	68	91	116	135	167	173	218	226	265	270	292

Контрольные задания

1. Строение атома. Примеры решения задач

Пример 1.1. Запишите электронную конфигурацию ионов Fe^{3+} и S^{2-} .

Решение. Электронная конфигурация атома железа ${}_{26}\text{Fe}$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$. Если атом железа отдаст три электрона, он превратится в ион: $\text{Fe}^0 - 3e \rightarrow \text{Fe}^{3+}$. В первую очередь атом отдает электроны с более высокого энергетического уровня и подуровня. Электронная конфигурация ионов Fe^{3+} имеет вид $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^0$. Электронная конфигурация атома серы ${}_{16}\text{S}$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$. Приняв два электрона $\text{S}^0 + 2e \rightarrow \text{S}^{2-}$, атом серы превращается в ион S^{2-} , электронная конфигурация которого $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Пример 1.2. Составьте электронные формулы атома элемента с порядковым номером 22. Покажите распределение электронов этого атома по квантовым (энергетическим) ячейкам.

Решение. Порядковый номер 22 в периодической системе соответствует титану (Ti). Следовательно, положительный заряд ядра равен +22 и столько же электронов в атоме титана. Поскольку титан находится в 4 периоде, электроны располагаются на 4-х энергетических уровнях следующим образом: ${}_{22}\text{Ti}$ 2e, 8e, 10e, 2e. Запись электронной конфигурации атома титана по уровням и подуровням имеет вид: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$.

В соответствии с правилом Хунда электроны на d -подуровне у атома титана

располагаются следующим образом: $\begin{array}{c} 3d \\ \boxed{\downarrow\downarrow} \boxed{\cdot} \boxed{\cdot} \boxed{\cdot} \end{array}$.

На предвнешнем энергетическом уровне атома титана содержится три свободные d -орбитали.

Пример 1.3. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше $5d$ или $6s$; $4f$ или $6p$?

Решение. Последовательность заполнения орбиталей осуществляется в соответствии с правилом Клечковского и определяется суммой $(n+l)$. Для подуровня $5d$ сумма $(n+l)$ равна $(5+2) = 7$, для подуровня $6s$ $(6+0) = 6$. В первую очередь заполняются орбитали с меньшей энергией, следовательно, вначале заполняется $6s$, потом $5d$. Для подуровней $4f$ и $6p$ сумма $(n+l)$ одинакова $(4+3) = 7$ и $(6+1) = 7$. При одинаковом значении суммы $(n+l)$ раньше заполняется подуровень с меньшим n , следовательно, $4f$.

Пример 1.4. Возможно ли наличие в атоме двух электронов с одинаковыми значениями трех квантовых чисел: l , m_l , m_s ? Приведите примеры.

Решение. Да, возможно, т.к. это не противоречит принципу Паули. Два электрона, характеризующиеся одинаковыми значениями трех квантовых чисел l , m_l , m_s , должны отличаться главным квантовым числом n . Например, в атоме фтора, электронная конфигурация которого $1s^2 2s^2 2p^5$, для электронов $1s^1$ и $2s^1$ квантовые числа будут иметь следующие значения:

$$\begin{array}{ll} \text{Для } 1s^1 & n = 1, l = 0, ml = 0, ms = \frac{1}{2}. \\ \text{Для } 2s^1 & n = 2, l = 0, ml = 0, ms = \frac{1}{2}. \end{array}$$

Пример 1.5. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны состояния $3p^3$.

Решение. Изобразим графически распределение электронов состояния



Каждый электрон в атоме характеризуется набором четырех квантовых чисел: n , l , m_l , m_s . Главное квантовое число n обозначается арабской цифрой. Для указанных электронов главное квантовое число n равно 3. Электроны находятся на p -подуровне, следовательно, для всех трех электронов $l=1$. Три электрона находятся на разных орбиталях, которые ориентированы по трем разным направлениям. Ориентацию AO в пространстве определяет магнитное квантовое число m_l , значение которого зависит от орбитального квантового числа l . Если $l=1$, m_l принимает значение $-1, 0, 1$ (значение m_l указано под каждой орбиталью). Спиновое квантовое число m_s принимает значения $+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$. Таким образом, электроны состояния $3p^3$ характеризуются следующими квантовыми числами:

$$\begin{array}{l} n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = \frac{1}{2} \text{ (или } -\frac{1}{2}\text{)} \\ n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = \frac{1}{2} \text{ (или } -\frac{1}{2}\text{)} \\ n = 3, l = 1, m_l = 1, m_s = \frac{1}{2} \text{ (или } -\frac{1}{2}\text{)} \end{array}$$

Контрольные вопросы.

1. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 17 и 23. Покажите распределение валентных электронов этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

2. Среди приведенных ниже электронных конфигураций укажите невозможные и объясните причину невозможности их реализации: а) $1p^3$; б) $3p^6$; в) $3s^2$; г) $2s^2$; д) $2d^5$; е) $5d^2$; ж) $3f^{12}$; з) $2p^4$; и) $3p^7$. Напишите электронную конфигурацию атома элемента с порядковым номером 34.

3. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше: $4d$ или $5s$; $6s$ или $5p$? Почему? Напишите электронную формулу атома элемента с порядковым номером 43.

4. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 24 и 47, учитывая, что у первого происходит «провал» одного s -электрона на 3-й подуровень. Чему равен максимальный спин d -электронов у атомов первого и p -электронов у атомов второго элемента?

5. В чем заключается принцип Паули? Может ли на подуровне p находиться 8, а на подуровне d 13 электронов? Почему? Напишите электронную конфигурацию атома элемента с порядковым номером 51 и укажите его

валентные электроны.

6. Назовите элементы, внешний энергетический уровень атомов которых выражается электронной конфигурацией np^5 . Напишите полную электронную конфигурацию 4 атома из этих элементов и укажите их электронное семейство.

7. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 15 и 46. Чему равен максимальный спин p -электронов у атомов первого и d -электронов у атомов второго элемента?

8. Квантовые числа для электронов внешнего энергетического уровня атомов некоторых элементов имеют следующие значения: $n = 4$; $l = 0$; $m_l = 0$; $m_s = \pm 1/2$. Напишите электронные формулы атомов этих элементов и определите, сколько свободных $3d$ -орбиталей содержит каждый из них.

9. Какое максимальное число электронов могут занимать s -, p -, d - и f -орбитали данного энергетического уровня? Почему? Напишите электронную формулу атома элемента с порядковым номером 49.

10. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 11 и 26. Распределите электроны этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

11. Запишите электронные конфигурации нейтральных атомов по заданным электронным конфигурациям ионов: а) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$ (Zn^{2+}); б) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^0$ (Fe^{3+}); в) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$ (Xe^{2-}); г) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0$ (Ca^{2+}). Укажите символы и названия элементов, для которых приведены электронные конфигурации.

12. Покажите графически распределение электронов в атомах с конфигурацией d^4 в основном состоянии. Определите суммарное значение m_s четырех электронов. Напишите электронную конфигурацию атома элемента с порядковым номером 45 и укажите его валентные электроны.

13. Напишите электронные конфигурации атомов элементов с порядковыми номерами 13 и 27. Чему равен максимальный спин p -электронов у атомов первого и d -электронов у атомов второго элемента?

14. Какие из электронных конфигураций, отражающих строение невозбужденного атома некоторого элемента, неверны: а) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3$; б) $1s^2 2s^2 2p^4$; в) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^1$; г) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$; д) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3f^2$? Почему? Атомам каких элементов отвечают правильно составленные электронные конфигурации?

15. Какие значения могут принимать квантовые числа n , l , m_l и m_s , характеризующие состояние электрона в атоме? Какие значения они принимают для внешних электронов атома бария? Напишите электронную конфигурацию его атома.

16. Напишите электронные конфигурации атомов элементов с порядковыми номерами 14 и 40. Сколько свободных d -орбиталей содержится на предвнешнем уровне последнего элемента?

17. Какие значения могут принимать квантовые числа n , l , m_l и m_s , характеризующие состояние электронов в атоме? Какие значения они принимают для валентных электронов атома ниобия? Напишите электронную конфигурацию

его атома.

18. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше: $3d$ или $4s$; $5p$ или $4d$? Почему? Запишите электронную конфигурацию атома элемента с порядковым номером 48.

19. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 12 и 28. Сколько свободных $3d$ -орбиталей в атомах этих элементов?

20. Возможно ли наличие в атоме двух электронов с одинаковыми значениями трех квантовых чисел: n , m_l и m_s ? Сколько и какие значения может принимать магнитное квантовое число m_l при орбитальном числе $l = 0, 1, 2$ и 3 ? Приведите примеры. Напишите электронную конфигурацию атома элемента с порядковым номером 33 и укажите его валентные электроны.

21. Внешний энергетический уровень атома выражается конфигурацией $5s^25p^2$. Напишите его полную электронную конфигурацию. Какой это элемент? Сколько свободных p -орбиталей содержится на внешнем энергетическом уровне этого элемента?

22. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 25 и 52. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

23. На основании электронных конфигураций атомов серы и брома охарактеризуйте их валентные возможности в основном и возбужденном состояниях.

24. Сколько электронов содержит атом, если следующий электрон должен сделать выбор между $5p$ и $4d$ АО? Какую из них и почему он предпочтет? Атом какого элемента при этом образуется? Напишите его электронную конфигурацию в основном и возбужденном состояниях.

25. Составьте электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 18 и 42, учитывая, что у последнего происходит «провал» одного $5s$ -электрона на $4d$ -подуровень. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

2. Энергетика и направление химических процессов. Примеры решения задач

При решении задач этого раздела следует пользоваться табл. 1 Приложения к КР №№1 и 2.

Пример 2.1. Реакция горения этилового спирта выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект реакции, если известно, что молярная теплота парообразования $C_2H_5OH(ж)$ равна $+42,36$ кДж, а теплоты образования $C_2H_5OH(г)$, $CO_2(г)$, $H_2O(ж)$ (см. табл. 1 приложения).

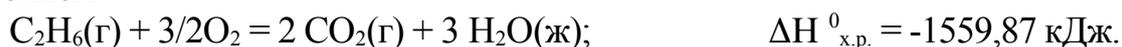
Решение. Для определения $\Delta H^0_{\text{x.p.}}$ реакции необходимо знать теплоту образования $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$. Последнюю находим из данных:

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) &= \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г}); & \Delta H^0_{\text{x.p.}} &= +42,36 \text{ кДж} \\ +42,36 &= -235,31 - \Delta H^0_{\text{x.p.}} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}); \\ \Delta H^0_{\text{x.p.}} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) &= -235,31 - 42,36 = -277,67 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Вычисляем $\Delta H^0_{\text{x.p.}}$ реакции, применяя следствия из закона Гесса:

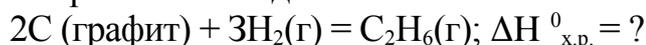
$$\Delta H^0_{\text{x.p.}} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 277,67 = -1366,87 \text{ кДж.}$$

Пример 2.2. Реакция горения этана выражается термохимическим уравнением

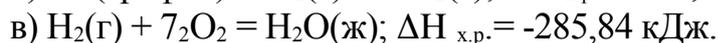
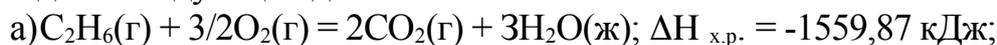


Вычислите теплоту образования этана, если известны теплоты образования $\text{CO}_2(\text{г})$ и $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ (см. табл. 1 Приложения к КР № 1 и 2).

Решение. Определяем 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 вычислить из уравнения (а):

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_6 + 3/2\text{O}_2 - 2\text{C} - 2\text{O}_2 - 3\text{H}_2 - 3/2\text{O}_2 &= 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} - 2\text{CO}_2 - 3\text{H}_2\text{O} \\ \Delta H &= -1559,87 - 2(-393,51) - 3(-285,84) = +84,67 \text{ кДж}; \\ \Delta H &= -1559,87 + 787,02 + 857,52; \quad \text{C}_2\text{H}_6 = 2\text{C} + 3\text{H}_2; \\ \Delta H &= +84,67 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Так как теплота образования равна теплоте разложения с обратным знаком, то $\Delta H^0_{\text{x.p.}} = -84,67 \text{ кДж}$. К тому же результату придем, если для решения задачи применить вывод из закона Гесса:

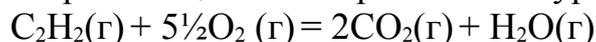
$$\Delta H_{\text{x.p.}} = 2\Delta H_{\text{CO}_2} + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - (\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} + 3/2 \Delta H_{\text{O}_2})$$

Учитывая, что теплоты образования простых веществ условно приняты равными нулю

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} &= 2\Delta H_{\text{CO}_2} + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{x.p.}} \\ \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} &= 2(-393,51) + 3(-285,84) + 1559,87 = -84,67 \text{ кДж}; \end{aligned}$$

Пример 2.3. Вычислите тепловой эффект и напишите термохимическое уравнение реакции горения ацетилена, в результате которой образуются пары воды и диоксид углерода. Сколько теплоты выделится при сгорании 10 л ацетилена (н.у.)?

Решение. Реакция горения ацетилена протекает по уравнению:

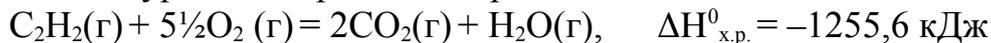


Пользуясь следствием из закона Гесса и справочными данными из табл.1, вычисляем тепловой эффект этой реакции:

$$\Delta H^0_{\text{x.p.}} = (2\Delta_f H^0_{\text{CO}_2} + \Delta_f H^0_{\text{H}_2\text{O}}) - (\Delta_f H^0_{\text{C}_2\text{H}_2} + 5\frac{1}{2}\Delta_f H^0_{\text{O}_2})$$

$$\Delta H^0_{\text{x.p.}} = [2(-393,5) + (-241,8)] - (226,8 + 5\frac{1}{2} \cdot 0) = -1255,6 \text{ кДж}$$

Термохимическое уравнение реакции горения ацетилена имеет вид:

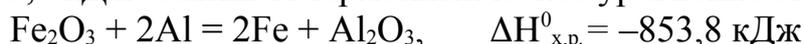


Тепловой эффект обычно относят к одному моллю вещества. Следовательно, при сжигании 1 моль C_2H_2 выделяется 1255,6 кДж. Однако, по условию задачи сжигается 10 л ацетилена, что составляет $10 / 22,4 = 0,446$ моль C_2H_2 , где 22,4 л/моль – мольный объем любого газа при нормальных условиях. Таким образом, при сгорании 0,446 моль (10 л) C_2H_2 выделится $0,446 \cdot (-1255,6) = -560$ кДж теплоты.

Пример 2.4. Реакция идет по уравнению $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$.

При восстановлении 48 г Fe_2O_3 выделяется 256,1 кДж теплоты. Вычислите тепловой эффект реакции и стандартную энтальпию образования Fe_2O_3 .

Решение. Число молей Fe_2O_3 , содержащихся в 48 г Fe_2O_3 , составляет: $n = 48 / 160 = 0,3$ моль, где 160 г/моль – молярная масса Fe_2O_3 . Так как тепловой эффект относят к 1 моль вещества, то тепловой эффект данной реакции равен – $256,1 / 0,3 = -853,7$ кДж. Запишем термохимическое уравнение этой реакции



Формула для расчета теплового эффекта данной реакции имеет вид:

$$\Delta H^0_{\text{x.p.}} = (2\Delta_f H^0_{\text{Fe}} + \Delta_f H^0_{\text{Al}_2\text{O}_3}) - (\Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 2\Delta_f H^0_{\text{Al}}), \text{ отсюда находим } \Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2\Delta_f H^0_{\text{Fe}} + \Delta_f H^0_{\text{Al}_2\text{O}_3} - 2\Delta_f H^0_{\text{Al}} - \Delta H^0_{\text{x.p.}}$$

После подстановки справочных данных из табл.1 приложения получаем

$$\Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 \cdot 0 - 1676 - 2 \cdot 0 + 853,8 = -822,2 \text{ кДж/моль}$$

Таким образом, тепловой эффект реакции равен –853,8 кДж, а $\Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ составляет –822,2 кДж/моль.

Пример 2.5. Исходя из термохимических уравнений



рассчитайте значение стандартной энтальпии реакции образования $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$.

Решение. Запишем уравнение реакции, тепловой эффект которой необходимо определить: $\text{H}_2(\text{г}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{ж}), \quad \Delta H^0_{(4)} = ? \quad (4)$

В уравнения (1), (2), (3) входят H_2O_2 (ж) и H_2O (г), которые не входят в уравнение (4). Чтобы исключить их из уравнений (1), (2), (3), умножим уравнение (3) на 2 и сложим все три уравнения:



После преобразования уравнения (5) и деления его на 2 получаем искомое уравнение (4). Аналогичные действия проделаем с тепловыми эффектами:

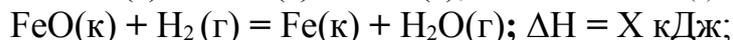
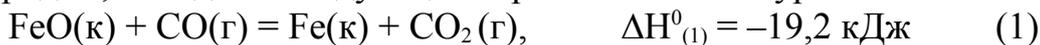
$$\frac{\Delta H^0(1) + \Delta H^0(2) + \Delta H^0(3) \cdot 2}{2} = \Delta H^0(4)$$

В результате получаем:
$$\frac{-187-297-44 \cdot 2}{2} = -286 \text{ кДж};$$
 т.е. $\Delta_f H^0_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})} = -286 \text{ кДж/моль}.$

Контрольные вопросы.

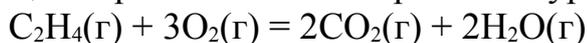
26. Вычислите, сколько теплоты выделится при сгорании 165 л (н.у.) ацетилена, если продуктами сгорания являются диоксид углерода и пары воды.

27. Вычислите тепловой эффект реакции восстановления 10 т оксида железа (II) водородом, исходя из следующих термохимических уравнений:



28. При взаимодействии 6,3 г железа с серой выделилось 11,31 кДж теплоты. Вычислите теплоту образования сульфида железа FeS.

29. Реакция горения этилена выражается уравнением

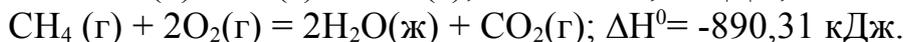
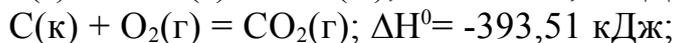


При сгорании 1 л C_2H_4 (н.у.) выделяется 59,06 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования этилена.

30. Вычислите тепловой эффект и напишите термохимическое уравнение реакции между $\text{CO}(\text{г})$ и $\text{H}_2(\text{г})$, в результате которой образуются $\text{CH}_4(\text{г})$ и $\text{H}_2\text{O}(\text{г})$. Сколько теплоты выделится в этой реакции, если получено 67,2 л метана в пересчете на нормальные условия?

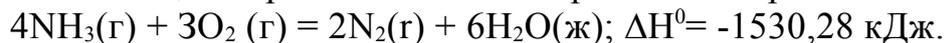
31. Вычислите, сколько теплоты выделится при сгорании 165 л (н.у.) ацетилена C_2H_2 , если продуктами сгорания являются диоксид углерода и пары воды?

32. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования метана? Вычислите теплоту образования 20 м³ метана, исходя из следующих термохимических уравнений:



33. При взаимодействии газообразных сероводорода и диоксида углерода образуются пары воды и сероуглерод $\text{CS}_2(\text{г})$. Напишите термохимическое уравнение этой реакции и вычислите тепловой эффект образования 10 л сероуглерода.

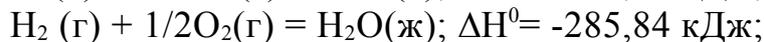
34. Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением



Вычислите теплоту образования 5 л $\text{NH}_3(\text{г})$.

35. При восстановлении 25,4 г оксида меди (II) углем (с образованием CO) поглощается 16,48 кДж энергии. Определите стандартную энтальпию образования CuO .

36. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования гидроксида кальция? Вычислите теплоту образования 20 кг гидроксида кальция, исходя из следующих термохимических уравнений:



37. При сгорании 1 л ацетилен (н.у) выделяется 56,053 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции, в результате которой образуются пары воды и диоксида углерода. Вычислите теплоту образования $\text{C}_2\text{H}_2(\text{г})$.

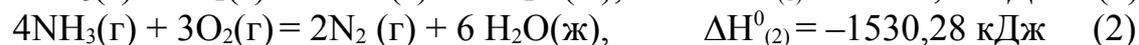
38. Вычислите тепловой эффект и напишите термохимическое уравнение реакции горения 1 моль этана $\text{C}_2\text{H}_6(\text{г})$, в результате которой образуются пары воды и диоксид углерода. Сколько теплоты выделится при сгорании 1 м³ этана в пересчете на нормальные условия?

39. При сгорании газообразного аммиака образуются пары воды и оксид азота. Сколько теплоты выделится при этой реакции, если получено 44,8 л NO в пересчете на нормальные условия?

40. Тепловой эффект реакции сгорания жидкого бензола с образованием паров воды и диоксида углерода равен -3135,58 кДж. Составьте термохимическое уравнение этой реакции и вычислите теплоту образования 10 л $\text{C}_6\text{H}_6(\text{ж})$.

41. При сгорании 23г жидкого этилового спирта выделилось 617,42 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции, в результате которой образуются пары воды и диоксид углерода. Вычислите теплоту образования $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH(ж)}$.

42. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования NO? Вычислите стандартную энтальпию образования NO из простых веществ, исходя из следующих термохимических уравнений:



Сколько теплоты выделится при образовании 5 м³ NO?

43. Газообразный этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ можно получить при взаимодействии этилена $\text{C}_2\text{H}_4(\text{г})$ и водяных паров. Вычислите тепловой эффект этой реакции и напишите термохимическое уравнение. Сколько теплоты выделится, если в реакции было израсходовано 100 л этилена (н.у.)?

44. Вычислите, какое количество теплоты выделилось при восстановлении Fe_2O_3 металлическим алюминием, если было получено 335,1 г железа.

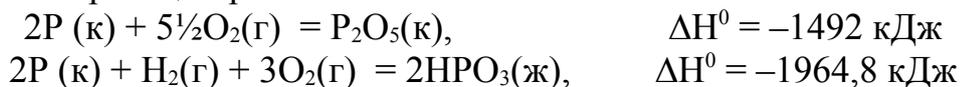
45 Реакция горения бензола выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект этой реакции, если известно, что молярная теплота парообразования бензола равна +33,9 кДж.

46. При растворении 16 г CaC_2 в воде выделяется 31,27 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования Ca(OH)_2 .

47. Определите количество теплоты, выделившейся при взаимодействии 50 г фосфорного ангидрида с водой по реакции $\text{P}_2\text{O}_5(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = 2\text{HPO}_3(\text{ж})$, если тепловые эффекты реакции равны

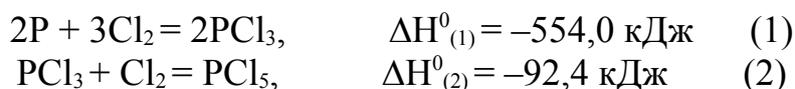


48. Реакция горения метилового спирта выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект этой реакции, если известно, что молярная теплота парообразования $\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})$ равна +37,4 кДж.

49. Определите стандартную энтальпию образования 200 г пентахлорида фосфора из простых веществ, исходя из следующих термохимических уравнений:

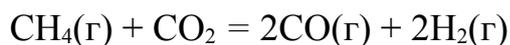


50. Кристаллический хлорид аммония образуется при взаимодействии газообразных аммиака и хлороводорода. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, предварительно вычислив ее тепловой эффект. Сколько теплоты выделится, если в реакции было израсходовано 10 л аммиака в пересчете на нормальные условия?

3. Направленность химических процессов. Примеры решения задач.

При решении задач этого раздела следует пользоваться табл. 1-3 приложения.

Пример 3.1. Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе



Решение. Вычислим ΔG прямой реакции. (Значения ΔG соответствующих веществ приведены в табл. 6.) Зная, что ΔG есть функция состояния и что ΔG для простых веществ, находящихся в устойчивых при стандартных условиях агрегатных состояниях, равны нулю, находим ΔG процесса:

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

То, что $\Delta G > 0$, указывает на невозможность самопроизвольного протекания прямой реакции при $T = 298 \text{ }^\circ\text{К}$ и давлении взятых газов равном $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст. = 1 атм).

Пример 3.2. Определите температуру, при которой установится равновесие в системе $\text{CaCO}_3(\text{к}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$.

Решение. Для определения температуры, при которой установится

$$\frac{\Delta H^0_{x.p.}}{\Delta S^0_{x.p.}}$$

равновесие, воспользуемся уравнением: $T_{\text{равн.}} = \frac{\Delta H^0_{x.p.}}{\Delta S^0_{x.p.}}$. Для этого сначала вычисляем $\Delta H^0_{x.p.}$ и $\Delta S^0_{x.p.}$ по формулам:

$$\Delta H^0_{x.p.} = (\Delta_f H^0_{\text{CaO}} + \Delta_f H^0_{\text{CO}_2}) - \Delta_f H^0_{\text{CaCO}_3},$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = (S^0_{\text{CaO}} + S^0_{\text{CO}_2}) - S^0_{\text{CaCO}_3}$$

Используя справочные данные из табл. 1, получаем

$$\Delta H^0_{x.p.} = [-635,5 + (-393,5)] - (-1207,1) = 178,1 \text{ кДж},$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = (39,7 + 213,7) - 92,9 = 160,5 \text{ Дж/К или } 0,1605 \text{ кДж/К}$$

Отсюда, температура, при которой устанавливается равновесие:

$$T_{\text{равн.}} = 178,1 / 0,1605 = 1109,5^0 \text{ К}$$

Пример 3.3. Вычислите $\Delta H^0_{x.p.}$, $\Delta S^0_{x.p.}$ и ΔG^0_T реакции, протекающей по уравнению: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{C}(\text{к}) = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{CO}(\text{г})$.

Возможна ли реакция восстановления Fe_2O_3 углеродом при температуре 298 и 1000⁰ К? Зависимостью $\Delta H^0_{x.p.}$ и $\Delta S^0_{x.p.}$ от температуры пренебречь.

Решение. Вычисляем $\Delta H^0_{x.p.}$ и $\Delta S^0_{x.p.}$.

$$\Delta H^0_{x.p.} = (3\Delta_f H^0_{\text{CO}} + 2\Delta_f H^0_{\text{Fe}}) - (\Delta_f H^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 3\Delta_f H^0_{\text{C}})$$

$$\Delta H^0_{x.p.} = [3(-110,5) + 2 \cdot 0] - [-822,2 + 3 \cdot 0] = -331,5 + 822,2 = +490,7 \text{ кДж};$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = (2S^0_{\text{Fe}} + 3S^0_{\text{CO}}) - (S^0_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 3S^0_{\text{C}})$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = (2 \cdot 27,2 + 3 \cdot 197,5) - (89,9 + 3 \cdot 5,7) = 539,9 \text{ Дж/К или } 0,540 \text{ кДж/}^0\text{К}$$

Энергию Гиббса при соответствующих температурах находим из соотношения

$$\Delta G^0_{x.p.} = \Delta H^0_{x.p.} - T\Delta S^0_{x.p.}$$

$$\Delta G^0_{298} = 490,7 - 298 \cdot 0,540 = +329,8 \text{ кДж}$$

$$\Delta G^0_{1000} = 490,7 - 1000 \cdot 0,540 = -49,3 \text{ кДж}$$

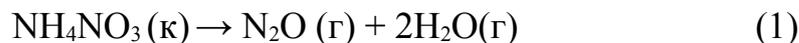
Так как $\Delta G^0_{298} > 0$, а $\Delta G^0_{1000} < 0$, то восстановление Fe_2O_3 углеродом возможно при 1000⁰К и невозможно при 298⁰К.

Контрольные вопросы

51. Уменьшается или увеличивается энтропия при переходах: а) из воды в пар; б) графита в алмаз? Почему? Вычислите $\Delta G^0_{x.p.}$ для каждого превращения. Сделайте вывод о количественном изменении энтропии при фазовых и аллотропических превращениях.

52. Какие из карбонатов: BeCO_3 , CaCO_3 или BaCO_3 — можно получить при взаимодействии соответствующих оксидов с CO_2 ? Какая реакция идет наиболее энергично? Сделайте вывод, вычислив ΔG^0_{298} реакций.

53. Какой из двух процессов разложения нитрата аммония наиболее вероятен при 298К?



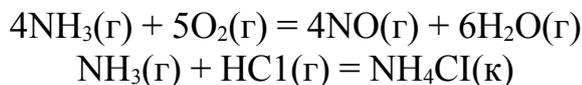
Ответ обоснуйте, рассчитав $\Delta G^0_{x.p.}$

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



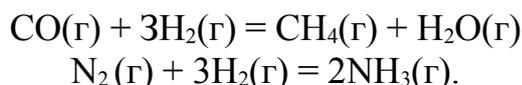
Зная тепловой эффект реакции и абсолютные стандартные энтропии соответствующих веществ, определите ΔG_{298}^0 этой реакции.

55. Исходя из стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий соответствующих веществ, вычислите реакции, протекающей по уравнениям:



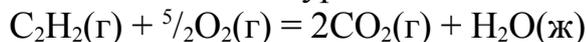
Может ли эта реакция при стандартных условиях идти самопроизвольно?

56. На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ вычислите ΔG_{298}^0 реакций, протекающих по уравнениям:



Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

57. Реакция горения ацетилена идет по уравнению:



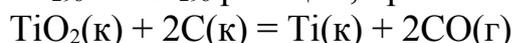
Вычислите ΔG_{298}^0 и ΔS_{298}^0 реакции. Объясните уменьшение энтропии в результате этой реакции.

58. При какой температуре наступит равновесие системы



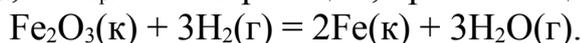
Хлор или кислород в этой системе является более сильным окислителем и при какой температуре?

59. Вычислите ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 и ΔG_{298}^0 реакции, протекающей по уравнению



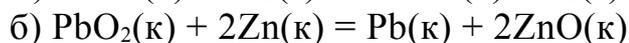
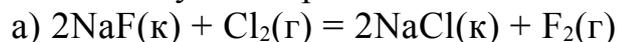
Возможна ли реакция восстановления TiO_2 углеродом при 1000 и 3000 К?

60. Вычислите $\Delta H_{\text{х.р.}}^0$, $\Delta S_{\text{х.р.}}^0$ и ΔG_{T}^0 реакции, протекающей по уравнению



Возможна ли реакция восстановления Fe_2O_3 водородом при температурах 500 и 1500 К? Зависимостью $\Delta H_{\text{х.р.}}^0$, $\Delta S_{\text{х.р.}}^0$ от температуры пренебречь.

61. Вычислите ΔG_{298}^0 для следующих реакций:



Можно ли получить фтор по реакции (а) и восстановить PbO_2 цинком по реакции (б).

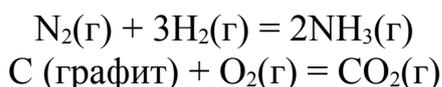
62. Вычислите значения $\Delta G_{\text{х.р.}}^0$ следующих реакций восстановления оксида железа (III)



Протекание какой из этих реакций наиболее вероятно ?

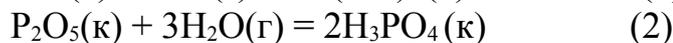
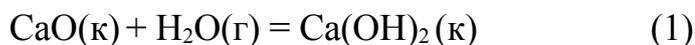
63. Вычислите изменения энтропии для реакций, протекающих по уравнениям:





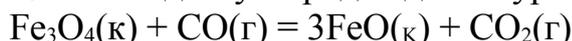
Почему в этих реакциях $0 > \Delta S_{298}^0 > 0$.

64. Рассчитайте энергию Гиббса химических реакций, протекающих по уравнениям:



и определите, какой из двух оксидов CaO или P₂O₅ при стандартных условиях лучше поглощает водяные пары.

65. Восстановление Fe₃O₄ оксидом углерода идет по уравнению:



Вычислите ΔG_{298}^0 и сделайте вывод о возможности самопроизвольного протекания этой реакции при стандартных условиях. Чему равна ΔS_{298}^0 в этом процессе? При какой температуре начнется реакция восстановления Fe₃O₄?

4. Химическая кинетика и равновесие. Примеры решения задач

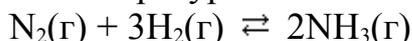
Пример 4.1. При 323⁰ К некоторая реакция заканчивается за 30 с. Определите, как изменится скорость реакции и время ее протекания при 283⁰ К, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

Решение. По правилу Вант-Гоффа находим, во сколько раз изменится скорость реакции:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 2^{\frac{283 - 323}{10}} = 2^{-4} = \frac{1}{16}$$

Скорость реакции уменьшается в 16 раз. Скорость реакции и время ее протекания связаны обратно пропорциональной зависимостью. Следовательно, время протекания данной реакции увеличится в 16 раз и составит $30 \cdot 16 = 480\text{с} = 8 \text{ мин}$.

Пример 4.2. При некоторой температуре в системе



равновесные концентрации составляли (моль/л): [N₂] = 1,5; [H₂] = 1,7; [NH₃] = 2,6. Вычислите константу равновесия этой реакции и исходные концентрации азота и водорода.

Решение. Константа равновесия данной реакции выражается уравнением

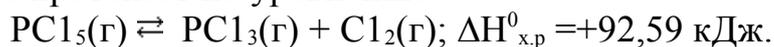
$$K_C = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} \quad \text{Подставляя данные задачи, получаем} \quad K_C = \frac{(2,6)^2}{1,5 \cdot (1,7)^3} = 0,92$$

Исходные концентрации азота и водорода находим на основе уравнения реакции. Согласно уравнению реакции на образование 2 моль NH₃ расходуется 1 моль N₂. По условию задачи образовалось 2,6 моль NH₃, на что израсходовалось

1,3 моль N_2 . Учитывая равновесную концентрацию азота, находим его исходную концентрацию $C_{N_2} = 1,5 + 1,3 = 2,8$ моль/л.

По уравнению реакции на образование 2 моль NH_3 необходимо 3 моль H_2 , а для получения 2,6 моль NH_3 требуется $3 \cdot 2,6 / 2 = 3,9$ моль H_2 . Исходная концентрация водорода равна $C_{H_2} = 1,7 + 3,9 = 5,6$ моль/л. Таким образом, $K_C = 0,92$, исходные концентрации составляли $C_{N_2} = 2,8$ моль/л, $C_{H_2} = 5,6$ моль/л.

Пример 4.3. 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 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 PCl_5 эндотермическая ($\Delta H_{x.p}^0 > 0$), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции нужно повысить температуру; б) так как в данной системе разложение 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 PCl_5 , так и уменьшением концентрации PCl_3 или Cl_2 .

Пример 4.4. Реакция между веществами А и В выражается уравнением $2A + B = D$. Начальные концентрации составляют: $C_A = 5$ моль/л, $C_B = 3,5$ моль/л. Константа скорости равна 0,4. Вычислите скорость реакции в начальный момент и в тот момент, когда в реакционной смеси останется 60% вещества А.

Решение. По закону действия масс $v = kC_A^2C_B$. В начальный момент скорость $v_1 = 0,4 \cdot 5^2 \cdot 3,5 = 35$. По истечении некоторого времени в реакционной смеси останется 60% вещества А, т. е. концентрация вещества А станет равной $5 \cdot 0,6 = 3$ моль/л. Значит, концентрация А уменьшилась на $5 - 3 = 2$ моль/л. Так как А и В взаимодействуют между собой в соотношении 2:1, то концентрация вещества В уменьшилась на 1 моль и стала равной $3,5 - 1 = 2,5$ моль/л. Следовательно, $v_2 = 0,4 \cdot 3^2 \cdot 2,5 = 9$.

Пример 4.5. Реакция протекает по уравнению $A + B \rightleftharpoons D + F$. Определите равновесные концентрации реагирующих веществ, если исходные концентрации веществ А и В соответственно равны 2 и 1,2 моль/л, а константа равновесия реакции $K_C = 1$.

Решение. Так как все вещества в данной реакции реагируют в одинаковых соотношениях, обозначим изменение концентрации всех реагирующих веществ через x . К моменту установления равновесия образовалось x моль D и x моль F и

соответственно $[D] = x$; $[F] = x$. По уравнению реакции на столько же уменьшились концентрации А и В, т. е. $[A] = 2 - x$; $[B] = 1,2 - x$. Подставим равновесные концентрации в выражение константы равновесия

$$K_C = \frac{[D][F]}{[A][B]}; \quad 1 = \frac{x \cdot x}{(2-x)(1,2-x)}; \quad x = 0,75.$$

Отсюда равновесные концентрации равны: $[D] = 0,75$ моль/л; $[F] = 0,75$ моль/л; $[A] = 2 - 0,75 = 1,25$ моль/л; $[B] = 1,2 - 0,75 = 0,45$ моль/л.

Пример 4.6. Реакция протекает по уравнению $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$. В каком направлении сместится химическое равновесие, если объем системы уменьшить в 3 раза?

Решение. В начальный момент времени скорости прямой и обратной реакции были следующие: $v_{пр} = \kappa_1 C_{SO_2}^2 C_{O_2}$ $v_{обр} = \kappa_2 C_{SO_3}^2$.

При уменьшении объема в 3 раза концентрации всех веществ увеличатся в 3 раза. После увеличения концентрации скорость прямой реакции стала

$$v_{пр} = \kappa_1 \cdot (3 C_{SO_2})^2 \cdot (3 C_{O_2}) = \kappa_1 \cdot 9 C_{SO_2}^2 \cdot 3 C_{O_2} = 27 \kappa_1 C_{SO_2}^2 C_{O_2}, \text{ т. е. возросла в}$$

27 раз; а скорость обратной $v_{обр} = \kappa_2 \cdot (3 C_{SO_3})^2 = \kappa_2 \cdot 9 C_{SO_3}^2 = 9 \kappa_2 C_{SO_3}^2$, т. е. возросла в 9 раз. Следовательно, равновесие сместится в сторону прямой реакции (вправо).

Пример 4.7. Как изменятся скорости прямой и обратной реакции, если в системе $2NO(г) + O_2(г) \rightleftharpoons 2NO_2(г)$ уменьшить давление в 2 раза? Произойдет ли при этом смещение равновесия? Если да, то в какую сторону?

Решение. До уменьшения давления выражения для скорости прямой и обратной реакции имели вид: $v_{пр} = \kappa_1 C_{NO}^2 C_{O_2}$ $v_{обр} = \kappa_2 C_{NO_2}^2$

При уменьшении давления в 2 раза концентрации всех реагирующих веществ уменьшаются в 2 раза, так как общий объем системы увеличивается в 2 раза.

Тогда

$$v'_{пр} = \kappa_1 \left(\frac{1}{2} C_{NO}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2} C_{O_2}\right) = \frac{1}{8} \kappa_1 C_{NO}^2 C_{O_2} \quad v'_{обр} = \kappa_2 \left(\frac{1}{2} C_{NO_2}\right)^2 = \frac{1}{4} \kappa_2 C_{NO_2}^2.$$

В результате уменьшения давления скорость прямой реакции уменьшилась в 8 раз, а скорость обратной в 4 раза. Таким образом, скорость обратной реакции будет в 2 раза больше, чем прямой и смещение равновесия произойдет в сторону обратной реакции, т. е. в сторону разложения NO_2 .

Пример 4.8. Объемный состав реакционной газовой смеси в момент равновесия для реакции $2A \rightleftharpoons 2B + D$ был следующий: 89% А; 7% В; 4% D. Найдите K_p и K_C для этой реакции, если общее давление в системе при температуре 900 К равно 10^5 Па.

Решение. Для реакции, протекающих между газами, при вычислении константы равновесия удобно пользоваться парциальными давлениями реагирующих веществ. Парциальным давлением газа в смеси называется давление, которое производил бы этот газ, занимая при тех же физических условиях объем всей газовой смеси. Общее давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов.

Для данной реакции парциальные давления составляют $P_A=0,89 \cdot 10^5$ Па, $P_B=0,07 \cdot 10^5$ Па, $P_D=0,04 \cdot 10^5$ Па. Подставляем эти значения в выражение константы равновесия:

$$K_p = \frac{P_B^2 P_D}{P_A^2} = \frac{(0,07 \cdot 10^5)^2 \cdot 0,04 \cdot 10^5}{(0,89 \cdot 10^5)^2} = 24,74$$

K_C рассчитываем по уравнению: $K_p = K_C \cdot (RT)^{\nu}$. Так как для данной реакции

$$\Delta \nu = 3 - 2 = 1, \text{ то } K_C = \frac{K_p}{RT} = \frac{24,74}{8,314 \cdot 900} = 0,0033 = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

Таким образом, $K_p = 24,74$; $K_C = 3,3 \cdot 10^{-3}$.

Пример 4.9. В какую сторону сместится химическое равновесие реакции

$A + B \rightleftharpoons D$, если повысить температуру на 30° ? Температурные коэффициенты скорости прямой и обратной реакции соответственно равны 2 и 3.

Решение. При повышении температуры на 30° скорость прямой реакции

$$\frac{v_{2\text{пр}}}{v_{1\text{пр}}} = \gamma_{10}^{\frac{\Delta T}{10}} = 2^3 = 8$$

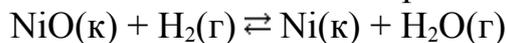
возрастет в _____ раз, а скорость обратной в _____ раз.

$$\frac{v_{2\text{обр.}}}{v_{1\text{обр.}}} = \gamma_{10}^{\frac{\Delta T}{10}} = 3^3 = 27$$

раз. Так как скорость обратной реакции возросла в 27 раз, а скорость прямой в 8 раз, то равновесие этой реакции при повышении температуры сместится в сторону обратной реакции (влево).

Контрольные вопросы

66. В начальный момент протекания реакции



концентрации были равны (моль/л): $C_{\text{H}_2} = 0,5$; $C_{\text{H}_2\text{O}} = 1,7$. Рассчитайте равновесные концентрации газообразных веществ, если $K_C = 5,66$.

67. Константа равновесия реакции $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ равна 0,16 при 375 К. Равновесная концентрация NO_2 равна 0,09 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрацию N_2O_4 . Какая часть (в %) N_2O_4 разложилась к моменту наступления равновесия?

68. Рассчитайте равновесные концентрации газообразных веществ в гетерогенной системе $\text{FeO(к)} + \text{CO(г)} \rightleftharpoons \text{Fe(к)} + \text{CO}_2(\text{г})$, если начальная концентрация CO составляла 2 моль/л, константа равновесия $K_C=0,6$.

69. При нагревании диоксида азота в закрытом сосуде до некоторой температуры равновесие реакции $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{O}_2$ установилось при следующих концентрациях: $[\text{NO}_2] = 0,4$ моль/л; $[\text{NO}] = 1$ моль/л; $[\text{O}_2] = 0,5$ моль/л. Вычислите константу равновесия для этой температуры и исходную концентрацию диоксида азота.

70. Используя справочные данные табл. 1 приложения, рассчитайте ΔH^0 реакции, протекающей по уравнению $2\text{NO}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$ и определите, в какую сторону сместится равновесие при охлаждении системы.

71. Рассчитайте равновесную концентрацию O_3 и константу равновесия в реакции $3\text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{г})$, если начальная масса O_2 равна 24 г, а равновесная концентрация O_2 равна 0,6 моль/л.

72. Реакция идет по уравнению $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$. Концентрации участвующих в ней веществ (моль/л): $[\text{N}_2] = 0,80$; $[\text{H}_2] = 1,5$; $[\text{NH}_3] = 0,10$. Вычислите концентрацию водорода и аммиака, когда $[\text{N}_2] = 0,5$ моль/л.

73. В закрытом сосуде установилось равновесие $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Исходные концентрации оксида углерода и паров воды были соответственно равны 0,8 моль/л. Вычислите равновесные концентрации CO , H_2O и H_2 , если равновесная концентрация CO_2 равна 0,3 моль/л. Рассчитайте константу равновесия.

74. Реакция идет по уравнению $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$. Концентрации исходных веществ до начала реакции были $[\text{N}_2] = 0,049$ моль/л, $[\text{O}_2] = 0,01$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ, когда $[\text{NO}] = 0,005$ моль/л.

75. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы

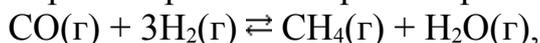
$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3.$$

Как изменится скорость прямой реакции, если увеличить концентрацию водорода в 3 раза?

76. При состоянии равновесия системы $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ концентрации веществ были (моль/л): $[\text{N}_2] = 0,3$; $[\text{H}_2] = 0,9$; $[\text{NH}_3] = 0,4$. Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакции, если давление увеличить в 4 раза. В каком направлении сместится равновесие?

77. В гомогенной системе $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$ равновесные концентрации реагирующих веществ (моль/л) $[\text{CO}] = 0,2$; $[\text{Cl}_2] = 0,3$; $[\text{COCl}_2] = 1,2$. Вычислите константу равновесия системы и исходные концентрации Cl_2 и CO .

78. Как изменится скорость прямой и обратной реакции в системе



если концентрации исходных веществ и продуктов реакции уменьшить в 3 раза? В каком направлении сместится равновесие?

79. Реакция идет по уравнению $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$. Константа скорости этой реакции при некоторой температуре равна 0,16. Исходные концентрации реагирующих веществ (моль/л) $[\text{H}_2] = 0,04$; $[\text{I}_2] = 0,05$. Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость при $[\text{H}_2] = 0,03$ моль/л.

80. Вычислите константу равновесия для гомогенной системы

$\text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г})$, если равновесные концентрации реагирующих веществ (моль/л): $[\text{CO}]_{\text{р}} = 0,004$; $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{р}} = 0,064$; $[\text{CO}_2]_{\text{р}} = 0,016$.. Чему равны исходные концентрации воды и CO?

81. Почему при изменении давления смещается равновесие системы $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ и не смещается равновесие системы $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$? Ответ мотивируйте на основании расчета скорости прямой и обратной реакций в этих системах до и после изменения давления. Напишите выражения для констант равновесия каждой из данных систем.

82. В реакторе при некоторой температуре протекает реакция $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. Определите константу равновесия, если в начальный момент $C_{\text{H}_2} = 2,15$ моль/л, $C_{\text{CO}_2} = 1,25$ моль/л, а к моменту равновесия прореагировало 60% начального количества CO_2 .

83. При 80°C некоторая реакция заканчивается за 10 мин. Принимая температурный коэффициент скорости реакции равным 2, рассчитайте, через какое время закончится эта реакция, если проводить ее при 60°C ; при 150°C .

84. Константа равновесия гомогенной системы $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ при некоторой температуре равна 0,1. Равновесные концентрации водорода и аммиака соответственно равны 0,2 и 0,8 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрацию азота.

85. При некоторой температуре равновесие гомогенной системы $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л): $[\text{NO}]_{\text{р}} = 0,2$; $[\text{O}_2]_{\text{р}} = 0,1$; $[\text{NO}_2]_{\text{р}} = 0,1$ моль. Вычислите константу равновесия и исходную концентрацию NO и O_2 .

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

87. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 30° , время протекания реакции увеличилось в 64 раза?

88. При 100°C некоторая реакция заканчивается за 10 мин. Принимая температурный коэффициент скорости реакции равным 3, рассчитайте, через какое время закончится эта реакция, если проводить ее при 60°C ; при 150°C .

89. Константа скорости реакции разложения N_2O , протекающей по уравнению $2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ равна $5 \cdot 10^{-4}$. Начальная концентрация N_2O равна 6,0 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость, когда разложится 50% N_2O .

90. Исходные концентрации $[\text{NO}]_{\text{исх}}$ и $[\text{Cl}_2]_{\text{исх}}$ в гомогенной системе $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$ составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20% NO.

5. Способы выражения концентрации раствора. Примеры решения задач

Концентрацией раствора называется содержание растворенного вещества в определенной массе или известном объеме раствора или растворителя.

Пример 5.1. Вычислите а) массовую (процентную) концентрацию ($\omega, \%$), б) молярную концентрацию (c_m), в) молярную концентрацию эквивалента (c_n), г) моляльную (c_m) концентрацию раствора H_3PO_4 , полученного при растворении 18 г кислоты в 282 см^3 воды, если плотность полученного раствора равна $1,031 \text{ г/см}^3$. Чему равен титр T этого раствора?

Решение: а) Массовая концентрация показывает число граммов (единиц массы) вещества, содержащееся в 100 г (единиц массы) раствора. Так как массу 282 см^3 воды можно принять равной 282 г, то масса полученного раствора

$$18 + 282 = 300 \text{ г}$$

$$\text{и, следовательно: } \frac{300-18}{100-c, \%}$$

$$\text{Поэтому } C\% = \frac{100 \cdot 18}{300}$$

б) молярная (мольно-объемная) концентрация показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Масса 1 л раствора равна ($m = \rho \cdot V$) 1031 г. Массу кислоты в литре раствора находим из соотношения

$$\frac{300-18}{1031-x} = \frac{1031 \cdot 18}{x=300} = 61,86$$

Молярную концентрацию раствора получим делением числа граммов H_3PO_4 в 1 л раствора на молярную массу H_3PO_4 (97,99 г/моль):

$$c_m = 61,86/97,99 = 0,63 \text{ М.}$$

в) молярная концентрация эквивалента (или нормальность) показывает число эквивалентов растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Так как эквивалентная масса $H_3PO_4 = M/3 = 97,99/3 = 32,66 \text{ г/моль}$, то

$$C_n = 61,86/32,66 = 1,89 \text{ н.};$$

г) моляльная концентрация (или моляльность) показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1000 г растворителя. Массу H_3PO_4 в 1000 г растворителя находим из соотношения

$$\frac{282-18}{1000-x} = \frac{1000 \cdot 18}{x=282} = 63,83$$

$$\text{Отсюда } c_m = 63,83/97,99 = 0,65 \text{ м.}$$

Титром раствора называют число граммов растворенного вещества в 1 см^3 (мл) раствора. Так как в 1 л раствора содержится 61,86 г кислоты, то

$$T = 61,86/1000 = 0,06186 \text{ г/см}^3.$$

Зная молярную концентрацию эквивалента и молярную массу эквивалента (m_e) растворенного вещества, титр также легко найти по формуле

$$T = C_n m_3 / 1000.$$

Пример 5.2. Какой объем 96%-ной кислоты плотностью 1,84 г/см³ потребуется для приготовления 3 л 0,4 н. раствора?

Решение. Эквивалентная масса $H_2SO_4 = M/2 = 98,08/2 = 49,04$ г/моль. Для приготовления 3 л 0,4 н. раствора требуется $49,04 \cdot 0,4 \cdot 3 = 58,848$ г H_2SO_4 . Масса 1 см³ 96%-ной кислоты 1,84 г. В этом растворе содержится $1,84 \cdot 96/100 = 1,766$ г (H_2SO_4). Следовательно, для приготовления 3 л 0,4 н. раствора надо взять $58,848 : 1,766 = 33,32$ см³ этой кислоты.

Пример 5.3. На нейтрализацию 50 см³ раствора кислоты израсходовано 25 см³ 0,5 н. раствора щелочи. Чему равна молярная концентрация эквивалентов кислоты?

Решение. Так как вещества взаимодействуют между собой в эквивалентных соотношениях, то растворы равной молярной концентрации эквивалентов реагируют в равных объемах. При разных молярных концентрациях эквивалентов объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны их нормальностям, т.е.

$$V_1 C_{H1} = V_2 C_{H2}$$

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

Пример 5.4. К 1 л 10%-ного раствора КОН (пл. 1,092 г/см³) прибавили 0,5 л 5%-ного раствора КОН (пл. 1,045 г/см³). Объем смеси довели до 2 л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

Решение. Масса одного литра 10%-ного раствора КОН равна 1092 г. В этом растворе содержится $1092 \cdot 10/100 = 109,2$ г КОН.

Масса 0,5 л 5%-ного раствора $1045 \cdot 0,5 = 522,5$ г. В этом растворе содержится $522,5 \cdot 5/100 = 26,125$ г КОН.

В общем объеме полученного раствора (2 л) содержание КОН составляет $109,2 + 26,125 = 135,325$ г. Отсюда молярная концентрация раствора:

$$c_m = 135,325 / (2 \cdot 56,1) = 1,2 \text{ М, где } 56,1 \text{ г/моль — молярная масса КОН.}$$

Контрольные вопросы

91. К 3 л 10%-ного раствора HNO_3 плотностью 1,054 г/см³ прибавили 5 л 2%-ного раствора той же кислоты плотностью 1,009 г/см³. Вычислите массовую (процентную) и молярную концентрации полученного раствора, объем которого равен 8 л.

92. Вычислите молярную концентрацию эквивалента, молярную и моляльную концентрации 16%-ного раствора хлорида алюминия плотностью 1,149 г/см³.

93. Для осаждения в виде соли всего серебра, содержащегося в 100 см³ раствора $AgNO_3$, потребуется 50 см³ 0,2 н. раствора HCl . Какова молярная

концентрация эквивалента раствора AgNO_3 ? Какая масса AgCl выпала в осадок?

94. Смешали 300 г 20%-ного раствора и 500 г 40%-ного раствора NaCl . Вычислите мольную долю, массовую (процентную) и молярную концентрации полученного раствора.

95. Вычислите молярную концентрацию (молярность) и молярную концентрацию эквивалента (нормальность) 20%-ного раствора хлорида кальция плотностью $1,178 \text{ г/см}^3$.

96. Чему равна молярная концентрация эквивалента 30%-ного раствора NaOH плотностью $1,328 \text{ г/см}^3$? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора.

97. Вычислите нормальность и молярность 20,8%-ного раствора HNO_3 плотностью $1,12 \text{ г/см}^3$. Сколько граммов кислоты содержится в 4 л этого раствора?

98. Смешали 247 г 62%-ного и 145 г 18%-ного раствора серной кислоты. Какова массовая доля полученного раствора? Чему равна молярная концентрация полученного раствора (возможными изменениями объема при смешивании пренебречь)?

99. Из 700 г 60%-ной серной кислоты выпариванием удалили 200 г воды. Чему равна массовая доля оставшегося раствора? Чему равна молярная концентрация полученного раствора?

100. Какой объем 0,3 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г NaOH в 40 см^3 ?

101. Смешали 10 см^3 10%-ного раствора HNO_3 (пл. $1,056 \text{ г/см}^3$) и 100 см^3 30%-ного раствора HNO_3 (пл. $1,184 \text{ г/см}^3$). Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора. Чему равна молярная концентрация полученного раствора?

102. Какая масса HNO_3 содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось 35 см^3 0,4 н. раствора NaOH ? Каков титр раствора NaOH ?

103. На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г KOH , требуется 50 см^3 раствора кислоты. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора кислоты.

104. Из 10 кг 20%-ного раствора при охлаждении выделилось 400 г соли. Чему равна массовая доля охлажденного раствора? Чему равна молярная концентрация полученного раствора?

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

106. Какую массу NaNO_3 нужно растворить в 400 г воды, чтобы приготовить 20%-ный раствор?

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

108. На нейтрализацию 31 см^3 0,16 н. раствора щелочи требуется 217 см^3 раствора H_2SO_4 ? Чему равны молярная концентрация эквивалента и титр раствора H_2SO_4 ?

109. Какой объем 20,01%-ного раствора HCl (пл. 1,100 г/см³) требуется для приготовления 1 л 10,17%-ного раствора (пл. 1,050 г/см³)?

110. Сколько и какого вещества останется в избытке, если к 75 см³ 0,3 н. раствора H₂SO₄ прибавить 125 см³ 0,2 н. раствора KOH?

6. Свойства растворов. Примеры решения задач

При решении данных задач можно воспользоваться Таблицей 2 Приложения к КР № 1 и 2.

Пример 6.1. Вычислите температуры кристаллизации и кипения 2%-ного водного раствора глюкозы.

Решение. По закону Рауля понижение температуры кристаллизации и повышение температуры кипения раствора (Δt) по сравнению с температурами кристаллизации и кипения растворителя выражаются уравнением:

$$\Delta t = K \frac{m \cdot 1000}{M m_1}$$

где K — криоскопическая или эбулиоскопическая константа. Для воды они соответственно равны 1,86 и 0,52; m и M — соответственно масса растворенного вещества и его молярная масса; m_1 — масса растворителя.

Понижение температуры кристаллизации 2%-ного раствора C₆H₁₂O₆ находим по формуле (1):

$$\Delta t = 1,86 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,21^\circ$$

Вода кристаллизуется при 0⁰ С, следовательно, температура кристаллизации раствора 0 - 0,21 = - 0,21⁰С.

По формуле (1) находим и повышение температуры кипения 2%-ного раствора:

$$\Delta t = 0,52 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,06^\circ$$

Вода кипит при 100⁰С, следовательно, температура кипения этого раствора 100 + 0,06 = 100,06⁰С.

Пример 6.2. Раствор, содержащий 11,04 г глицерина в 800 г воды, кристаллизуется при -0,279⁰С. Вычислите молярную массу глицерина.

Решение. Температура кристаллизации чистой воды 0⁰С, следовательно, понижение температуры кристаллизации $\Delta T = 0 - (-0,279) = 0,279$. Масса глицерина m (г), приходящаяся на 1000 г воды, равна:

$$m = \frac{11,04 \cdot 1000}{800} = 13,8 \text{ г}$$

Подставляя в уравнение $M = K \frac{m}{\Delta t}$ числовые значения, вычисляем молярную массу

$$\text{глицерина: } M = \frac{1,86 \cdot 13,8}{0,279} = 92 \text{ г/моль}$$

Пример 6.3. Раствор, содержащий 1,22 г бензойной кислоты C_6H_5COOH в 100 г сероуглерода, кипит при $46,529^\circ C$. Температура кипения сероуглерода $46,3^\circ C$. Вычислите эбулиоскопическую константу сероуглерода.

Решение. Повышение температуры кипения $\Delta T = 46,529 - 46,3 = 0,229$. Молярная масса бензойной кислоты 122 г/моль. По формуле (1) находим эбулиоскопическую константу:

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

Пример 6.4. Вычислите массовую долю (%) водного раствора мочевины $(NH_3)_2CO_3$ зная, что температура кристаллизации этого раствора равна $-0,465^\circ C$.

Решение. Температура кристаллизации чистой воды $0^\circ C$, следовательно $\Delta T = 0 - (-0,465) = +0,465^\circ$. Молярная масса мочевины 60 г/моль. Находим массу m (г) растворенного вещества, приходящуюся на 1000 г воды, по формуле (2)

$$m = \frac{\Delta T M}{K} = \frac{0,465 \cdot 60}{1,86} = 15 \text{ г.}$$

Общая масса раствора, содержащего 15 г мочевины, составляет $1000 + 15 = 1015$ г. Процентное содержание мочевины в данном растворе находим из соотношения

В 1015 г раствора – 15 г вещества

В 100 г раствора – x г вещества

$x = 1,48\%$

Контрольные вопросы

111. 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 эбулиоскопическую константу бензола.

112. Вычислите температуру кристаллизации раствора мочевины $(NH_2)_2CO$, содержащего 5 г мочевины в 150 г воды. Криоскопическая константа воды 1,86.

113. Вычислите массовую долю (%) водного раствора глицерина $C_3H_5(OH)_3$, зная, что этот раствор кипит при $100,39^\circ C$. Эбулиоскопическая константа воды 0,52.

114. 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.

115. Вычислите массовую долю (%) водного раствора глюкозы $C_6H_{12}O_6$, зная, что этот раствор кипит при $100,26^\circ C$. Эбулиоскопическая константа воды 0,52

116. 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.

117. Вычислите массовую долю (%) водного раствора метанола CH_3OH , температура кристаллизации которого $-2,79^\circ\text{C}$. Криоскопическая константа воды 1,86.

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.

119. 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 для бензола 5,1. Вычислите молярную массу растворенного вещества.

120. Вычислите криоскопическую константу уксусной кислоты, зная, что раствор, содержащий 4,25 г антрацена $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ в 100 г уксусной кислоты, кристаллизуется при $15,718^\circ\text{C}$. Температура кристаллизации уксусной кислоты $16,65^\circ\text{C}$.

121. Вычислите температуру кристаллизации 2%-ного раствора этилового спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Криоскопическая константа воды 1,86.

122. Какую массу анилина $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ следует растворить в 50 г этилового эфира, чтобы температура кипения раствора была выше температуры кипения этилового эфира на $0,53^\circ$. Эбулиоскопическая константа этилового эфира 2,12.

123. Сколько граммов мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ следует растворить в 250 г воды, чтобы температура кипения повысилась на $0,26^\circ$? Эбулиоскопическая константа воды 0,52.

124. Вычислите температуру кипения 15%-ного водного раствора пропилового спирта $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$. Эбулиоскопическая константа воды 0,52.

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

126. Сколько граммов фенола $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ следует растворить в 125 г бензола, чтобы температура кристаллизации раствора была ниже температуры кристаллизации бензола на $1,7^\circ$? Криоскопическая константа бензола 5,1.

127. Вычислите массовую долю (%) водного раствора сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, зная, что температура кристаллизации раствора $-0,93^\circ\text{C}$. Криоскопическая константа воды 1,86.

128. Сколько граммов мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ следует растворить в 75 г воды, чтобы температура кристаллизации понизилась на $0,465^\circ$? Криоскопическая константа воды 1,86.

129. При растворении 4,86 г серы в 60 г бензола температура кипения его повысилась на $0,81^\circ$. Сколько атомов содержит молекула серы в этом растворе. Эбулиоскопическая константа бензола $2,57^\circ$.

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

7. Комплексные соединения. Примеры решения задач

Пример 7.1. Определите заряд комплексного иона, координационное число (к.ч.) и степень окисления комплексообразователя в соединениях: а) $K_4[Fe(CN)_6]$; б) $Na[Ag(NO_2)_2]$; в) $K_2[MoF_8]$; г) $[Cr(H_2O)_2(NH_3)_3Cl]Cl_2$.

Решение. Заряд комплексного иона равен заряду внешней сферы, но противоположен ему по знаку. Координационное число комплексообразователя равно числу лигандов, координированных вокруг него. Степень окисления комплексообразователя определяется так же, как степень окисления атома в любом соединении, исходя из того, что сумма степеней окисления всех атомов в молекуле равна нулю. Заряды нейтральных молекул (H_2O , NH_3) равны нулю. Заряды кислотных остатков определяют из формул соответствующих кислот. Отсюда:

Таблица 7.1

	Заряд иона	К/ч	Степень окисления
А	-4	6	+2
Б	-1	2	+1
В	-2	8	+6
Г	+2	6	+3

Пример 7.2. Напишите выражение для константы нестойкости комплекса $[Fe(CN)_6]^{4-}$.

Решение. Если комплексная соль гексацианоферрат (II) калия, являясь сильным электролитом, в водном растворе необратимо диссоциирует на ионы внешней и внутренней сфер $K_4[Fe(CN)_6] = 4K^+ + [Fe(CN)_6]^{4-}$ то комплексный ион диссоциирует обратимо и в незначительной степени на составляющие его частицы:



Обратимый процесс характеризуется своей константой равновесия, которая в данном случае называется константой нестойкости (K_H) комплекса:

$$K_H = \frac{[Fe^{2+}][CN^-]^6}{[[Fe(CN)_6]^{4-}]}$$

Чем меньше K_H , тем более прочен данный комплекс.

Пример 7.3 Растворы простых солей кадмия образуют с щелочами осадок гидроксида кадмия $Cd(OH)_2$, а с сероводородом – осадок сульфида кадмия CdS . Чем объяснить, что при добавлении щёлочи к 0,05M раствору $K_2[Cd(CN)_4]$, содержащему 0,1 моль/л KCN , осадок не образуется, тогда как при пропускании через этот раствор сероводорода выпадает осадок CdS ?

Константу нестойкости иона $[Cd(CN)_4]^{2-}$ принять равной $7,8 \cdot 10^{-18}$.

Решение.

Из условий образования осадков $Cd(OH)_2$ и CdS следует:

$$[Cd^{2+}][OH^-]^2 > PP_{Cd(OH)_2} = 4,5 \cdot 10^{-15}$$

$$[Cd^{2+}][S^{2-}] > PP_{Cd(OH)_2} = 8 \cdot 10^{-27}$$

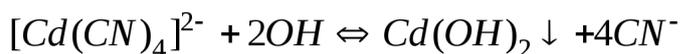
Учтём, что в растворе комплексной соли концентрацию ионов Cd^{2+} можно аппроксимировать уравнением:

$$[Cd^{2+}] = \frac{K_{нест} [Cd(CN)_4^{2-}]}{[CN^-]^4} = \frac{7,8 \cdot 10^{-18} \cdot 0,05}{(0,1)^4} = 3,9 \cdot 10^{-15} \text{ моль/л.}$$

А) Концентрация ионов OH^- , достаточная для осаждения гидроксида кадмия, может быть определена из неравенства:

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{PP_{Cd(OH)_2}}{[Cd^{2+}]}} = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-15}}{3,9 \cdot 10^{-15}}} \approx 1 \text{ моль/л}$$

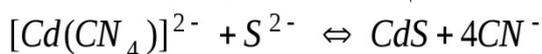
Следовательно, в рассматриваемой системе при концентрациях ионов OH^- меньших, чем 1 моль/л, равновесие смещено в сторону образования комплексного иона.



Б) Условие образования осадка сульфида кадмия из заданного раствора тетрацианокадмата калия отражает неравенство:

$$[S^{2-}] = \frac{PP_{CdS}}{[Cd^{2+}]} = \frac{8,0 \cdot 10^{-27}}{3,9 \cdot 10^{-15}} \approx 2 \cdot 10^{-12}$$

Таким образом, даже при малых концентрациях сульфид-иона равновесие практически полностью смещено в сторону образования сульфида кадмия.



Контрольные вопросы

131. Из сочетания частиц Cr^{3+} , H_2O , Cl^- и K^+ можно составить семь координационных формул комплексных соединений хрома одна из которых $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$. Составьте формулы других шести соединений, дайте названия этим комплексным солям и напишите уравнения их диссоциации в водных растворах.

132. Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число комплексообразователя в соединениях $[Cu(NH_3)_4]SO_4$, $K_2[PtCl_6]$, $K[Ag(CN)_2]$. Дайте названия этим комплексным солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

133. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений платины (записать предложенные частицы согласно

номенклатуре ИЮПАК): $\text{PtCl}_4 \cdot 6\text{NH}_3$; $\text{PtCl}_4 \cdot 4\text{NH}_3$; $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{NH}_3$. Координационное число платины (IV) равно шести. Дайте названия этим комплексным солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнение диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из соединений является комплексным неэлектролитом?

134. Определите заряд следующих комплексных ионов: $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_3]$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$, $[\text{Ni}(\text{CN})_4]$, если комплексообразователями являются Cr^{3+} , Pt^{2+} , Ni^{2+} . Напишите формулы комплексных соединений, содержащих эти ионы. Дайте названия этим комплексным солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

135. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений кобальта (записать предложенные частицы согласно номенклатуре ИЮПАК): $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$; $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$; $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$. Координационное число кобальта (III) равно шести. Дайте названия этим комплексным солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

136. Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число сурьмы в соединениях $\text{Rb}[\text{SbBr}_6]$; $\text{K}[\text{SbCl}_6]$; $\text{Na}[\text{Sb}(\text{SO}_4)_2]$. Дайте названия этим комплексным солям. Как диссоциируют эти соединения в водных растворах? Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать.

137. При прибавлении раствора KCN к раствору $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ образуется растворимое комплексное соединение $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$. Напишите молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакции. Дайте названия этим комплексным солям. Константа нестойкости какого иона, $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ или $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$, больше? Почему? Напишите уравнения диссоциации этих комплексных солей в водных растворах.

138. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений серебра: $\text{AgCl} \cdot 2\text{NH}_3$; $\text{AgCN} \cdot \text{KCN}$; $\text{AgNO}_2 \cdot \text{NaNO}_2$. Координационное число серебра равно двум. Дайте названия этим комплексным солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

139. Хлорид серебра растворяется в растворах аммиака и тиосульфата натрия. Дайте этому объяснение и напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций. Какой из образовавшихся комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Дайте названия этим комплексным солям.

140. Определите, чему равен заряд следующих комплексных ионов: $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]$, $[\text{HgBr}_4]$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, если комплексообразователями являются Cr^{3+} , Hg^{2+} , Fe^{3+} . Напишите формулы соединений, содержащих эти комплексные

ионы. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах. Дайте названия комплексным солям.

141. Напишите уравнения диссоциации солей $K_3[Fe(CN)_6]$ и $NH_4Fe(SO_4)_2$ в водном растворе. К каждой из них прилили раствор щелочи. В каком случае выпадает осадок гидроксида железа (III)? Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций. Дать названия предложенным солям. Какие комплексные соединения называют двойными солями?

142. Из сочетания частиц Co^{3+} , NH_3 , NO_2^- и K^+ можно составить семь координационных формул комплексных соединений кобальта, одна из которых $[Co(NH_3)_6](NO_2)_3$. Составьте формулы других шести соединений и напишите уравнения их диссоциации в водных растворах. Определите, какая комплексная соль кобальта (содержащая в качестве лигандов только NH_3 , или только NO_2^-) будет более устойчива. Ответ аргументировать. Дайте названия этим двум солям.

143. Напишите выражения для констант нестойкости комплексных ионов $[Ag(NH_3)_2]^+$, $[Fe(CN)_6]^{4-}$, $[PtCl_6]^{2-}$. Чему равны степень окисления и координационное число комплексообразователей в этих ионах? Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Почему? Напишите уравнения диссоциации солей, содержащих данные комплексные ионы в водных растворах. Дайте названия комплексным солям.

144. Напишите выражения для констант нестойкости следующих комплексных ионов: $[Ag(CN)_2]^-$, $[Ag(NH_3)_2]^+$, $[Ag(SCN)_2]^-$. Зная, что они соответственно равны $1,0 \cdot 10^{-21}$, $6,8 \cdot 10^{-8}$, $2,0 \cdot 10^{-11}$. Какой из предложенных комплексных ионов более устойчив? В каком растворе, содержащем эти ионы, при равной молярной концентрации ионов Ag^+ больше. Напишите уравнения диссоциации солей, содержащих данные комплексные ионы в водных растворах. Дайте названия комплексным солям.

145. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений платины (II), координационное число которой равно четырем: $PtCl_2 \cdot 3NH_3$; $PtCl_2 \cdot NH_3 \cdot KCl$; $PtCl_2 \cdot 2NH_3$. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Дайте названия комплексным солям. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из соединений является комплексным неэлектролитом?

146. Константы нестойкости комплексных ионов $[Co(NH_3)_6]^{3+}$, $[Fe(CN)_6]^{4-}$, $[Fe(CN)_6]^{3-}$ соответственно равны $6,2 \cdot 10^{-36}$, $1,0 \cdot 10^{-37}$, $1,0 \cdot 10^{-44}$. Какой из этих ионов является более прочным? Напишите выражения для констант нестойкости указанных комплексных ионов и формулы соединений, содержащих эти ионы. Напишите уравнения диссоциации солей, содержащих эти комплексные ионы в водных растворах. Дайте названия комплексным солям.

147. Какие комплексные соединения называют двойными солями? Напишите уравнения диссоциации солей $K_4[Fe(CN)_6]$ и $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ в

водном растворе. В каком случае выпадает осадок гидроксида железа (II), если к каждой из них прилить раствор щелочи? Дайте названия предложенным солям. Напишите молекулярное и ионно-молекулярное уравнения данной реакции.

148. Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число комплексообразователя в соединениях $K_4[Fe(CN)_6]$, $K_4[TiCl_6]$, $K_2[HgI_4]$. Дайте названия этим солям. Как диссоциируют эти соединения в водных растворах? Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать.

149. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений кобальта: $3NaNO_2 \cdot Co(NO_2)_3$; $CoCl_3 \cdot 3NH_3 \cdot 2H_2O$; $2KNO_2 \cdot NH_3 \cdot Co(NO_2)_3$. Координационное число кобальта (III) равно шести. Дайте названия этим солям. Какой из предложенных комплексных ионов будет более устойчивым? Ответ аргументировать. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

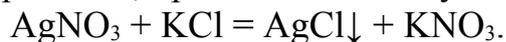
150. Константы нестойкости комплексных ионов $[Co(CN)_4]^{2-}$, $[Hg(CN)_4]^{2-}$, $[Cd(CN)_4]^{2-}$ соответственно равны $8 \cdot 10^{-20}$; $4 \cdot 10^{-41}$, $1,4 \cdot 10^{-17}$. В каком растворе, содержащем эти ионы, при равной молярной концентрации ионов CN^- больше?

Напишите уравнения диссоциации солей, содержащих данные ионы в водных растворах. Дайте названия этим солям.

8. Равновесие в гетерогенных системах. Коллоидные системы (растворы)

Удобно сначала усвоить написание схемы строения мицеллы для золя, полученного по реакции обмена. При этом необходимо:

1. Записать уравнение реакции, приводящее к получению золя, например:



2. Установить состав ядра коллоидной частицы. Это вещество, образующее осадок — $AgCl$; хлористое серебро имеет ионную кристаллическую решетку, состоит из ионов Ag^+ и Cl^- . Состав ядра — $mAgCl$ (m — несколько, некоторое число).

3. Установить, какое из веществ находится в избытке. Как правило, в условии получения золя указаны концентрации и количества сливаемых растворов. Например, 10 мл 0,01 н раствора $AgNO_3$ и 5 мл 0,01 н раствора KCl . В избытке — $AgNO_3$.

4. Сравнить ионы вещества, находящиеся в растворе в избытке, с ионами, входящими в состав ядра. ядро — Ag^+Cl^- , вещество в избытке — $Ag^+NO_3^-$. Одноименные или близкие по химической природе ионы могут быть ионами-стабилизаторами (потенциалоопределяющими ионами), ионы-стабилизаторы в данном случае Ag^+

5. Записать выделенные две части мицеллы — ядро, состоящее из агрегата и слоя потенциалопределяющих ионов. В нашем случае это $[m \text{ AgCl}] n \text{ Ag}^+$.

6. Обратит внимание на заряд образующейся системы, в данном случае — положительный.

7. Выбрать противоионы. Это тоже ионы вещества, находящиеся в избытке. В данном случае AgNO_3 дает:

Ag^+	NO_3^-
Потенциалопределяющие ионы	противоионы

Продолжить схему строения мицеллы, записав слой противоионов. Противоионы взаимодействуют со слоем потенциалопределяющих ионов кулоновскими силами. Поэтому число этих ионов ($n - x$) несколько меньше количества потенциалопределяющих ионов (n).

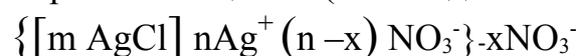
9. Зафиксировать знак заряда записанной вами системы — коллоидной частицы

$[m \text{ AgCl}]$ агрегат ядра - незаряжен
 $n \text{ Ag}^+$ положительно заряженный слой
 $(n - x) \text{ NO}_3^-$ отрицательно заряженный слой

Поскольку $n > (n - x)$, то вся система заряжена положительно.

10. Завершить запись мицеллы, указав диффузный слой, который состоит из остальных противоионов.

Строение мицеллы (коллоидной частицы)



Строение мицеллы (коллоидной частицы) — при другом веществе, взятом в избытке:

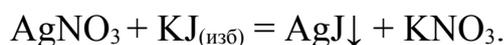


Таблица 11.2

Часть частицы	Название
$\{ [m \text{ AgJ}] n \text{ J}^- (n - x) \text{ K}^+ \} \cdot x \text{ K}^+$	мицелла
$\{ [m \text{ AgJ}] n \text{ J}^- (n - x) \text{ K}^+ \}$	гранула
$[m \text{ AgJ}]$	агрегат
$[m \text{ AgJ}] n \text{ J}^-$	ядро
$n \text{ J}^-$	слой потенциалопределяющих ионов
$(n - x) \text{ K}^+$	адсорбционный слой противоионов
$x \text{ K}^+$	диффузионный слой противоионов

Контрольные вопросы

151. Хлорид бария реагирует с избытком раствора сульфата калия. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

152. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации.

Приведите названия всех слоев мицеллы (0,01 н KI и 0,001 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

153. Раствор нитрата серебра реагирует с избытком раствора иодида калия. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

154. Избыток раствора бромида бария реагирует с раствором серной кислоты. Запишите уравнение реакции, составьте формулу мицеллы, образующуюся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

155. Что такое диализ? ультрафильтрация? Опишите методы очистки коллоидных систем. Подчеркните свойства коллоидных систем, на которых основаны эти методы.

156. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации. Приведите названия всех слоев мицеллы (0,0004 н RbBr и 0,01 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

157. Избыток раствора нитрата серебра реагирует с раствором бромида лития. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

158. Очистка зелей: диализ и электродиализ. Ультрафильтрация – основа мембранных технологий. Написать уравнение реакции и мицеллу золя сульфида марганца (реакция обмена между сероводородом и хлоридом марганца), если в избытке хлорид марганца.

159. Избыток раствора бромида бария реагирует с раствором сульфата натрия. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

160. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации. Приведите названия всех слоев мицеллы (0,001 н LiI и 0,05 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

161. Избыток раствора иодида бария реагирует с ортофосфата калия. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

162. Коагуляция зелей. Факторы, вызывающие коагуляцию. Количественные характеристики процесса коагуляции. Какие ионы будут наилучшим образом вызывать коагуляцию золя гидроксида железа (III)? Записать строение мицеллы данного золя с противоионами в виде нитрат-аниона.

163. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации.

Приведите названия всех слоев мицеллы (0,01 н KCl и 0,001 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

164. Электрокинетические явления. Электроосмос и электрофорез, их использование. Написать уравнение реакции и формулу мицеллы золя сульфида цинка (реакция обмена между сульфатом цинка и сероводородом), если в избытке сероводород.

165. 0,0005 н раствор RbBr реагирует в равном объеме с 0,01 н раствором AgNO₃. Привести расчет избытка вещества. Записать уравнение данной реакции. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

166. Понятие об агрегативной и кинетической устойчивости коллоидных растворов. Написать уравнение реакции образования и формулу мицеллы золя иодида свинца (II) (реакция обмена между нитратом свинца (II) и иодидом калия), если в избытке иодид калия.

167. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации. Приведите названия всех слоев мицеллы (0,001 н NaBr 0,01 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

168. В равных объемах 0,01 н LiI реагирует с 0,005 н раствором AgNO₃. Записать уравнение данной реакции. Привести расчет избытка вещества. Составить формулу мицеллы, образующейся при прохождении данной реакции. Какой электролит обладает наилучшим коагулирующим эффектом для данной коллоидной системы?

169. Написать уравнение реакции образования и формулу мицеллы золя, образовавшегося в ходе реакции обмена между 0,01 н раствором нитратом свинца (II) и 0,005 н раствором иодидом калия равных объемов. Приведите названия всех слоев мицеллы. В каком направлении будет перемещаться данная коллоидная частица в постоянном электрическом поле?

170. Напишите уравнение реакции и формулу мицеллы, полученной сливанием равных объемов электролитов указанной ниже концентрации. Приведите названия всех слоев мицеллы (0,01 н RbBr 0,0005 н AgNO₃). Привести расчет избытка вещества.

9. Ионно-молекулярные реакции обмена. Гидролиз солей. Примеры решения задач

Таблица растворимости есть в Приложении к КР № 1 и 2.

Пример 9.1. Напишите ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия между водными растворами следующих веществ: а) HCl и NaOH; б) Pb(NO₃)₂ и Na₂S; в) NaClO и HNO₃; г) K₂CO₃ и H₂SO₄; д) CH₃COOH и NaOH.

Решение.

Запишем уравнения взаимодействия указанных веществ в молекулярном виде:

- а) $\text{HCl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- б) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{PbS} + 2\text{NaNO}_3$
- в) $\text{NaClO} + \text{HNO}_3 = \text{NaNO}_3 + \text{HClO}$
- г) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- д) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$

Отметим, что взаимодействие этих веществ возможно, ибо в результате происходит связывание ионов с образованием слабых электролитов (H_2O , HClO), осадка (PbS), газа (CO_2).

В реакции (д) два слабых электролита, но так как реакции идут в сторону большего связывания ионов и вода — более слабый электролит, чем уксусная кислота, то равновесие реакции смещено в сторону образования воды. Исключив одинаковые ионы из обеих частей равенства: а) Na^+ и Cl^- ; б) Na^+ и NO_3^- ; в) Na^+ и NO_3^- ; г) K^+ и SO_4^{2-} ; д) Na^+ , получим ионно-молекулярные уравнения этих реакций:

- а) $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{PbS}$
- б) $\text{ClO}^- + \text{H}^+ = \text{HClO}$
- г) $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- д) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$

Пример 9.2. Составьте молекулярные уравнения реакций, которым соответствуют следующие ионно-молекулярные уравнения:

- а) $\text{Pb}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} = \text{PbCrO}_4 \downarrow$
- б) $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ = \text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$
- г) $\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{OH}^- = \text{PO}_4^{3-} + 3\text{H}_2\text{O}$
- д) $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- е) $\text{ZnOH}^+ + \text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$

Решение.

В левой и правой частях 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:

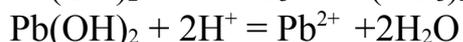
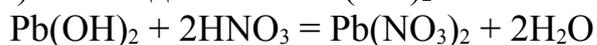
- а) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 = \text{PbCrO}_4 \downarrow + 2\text{KNO}_3$
- б) $\text{Na}_2\text{SO}_3 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} = \text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- г) $\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{NaOH} = \text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
- д) $\text{KHCO}_3 + \text{KOH} = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- е) $\text{ZnOHCl} + \text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Пример 9.3. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, подтверждающие амфотерный характер гидроксида свинца.

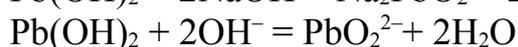
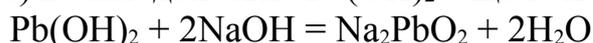
Решение.

Амфотерные электролиты могут диссоциировать по типу кислоты и основания, поэтому $\text{Pb}(\text{OH})_2$ может взаимодействовать как с кислотой, так и с щелочью, образуя соответствующие соли:

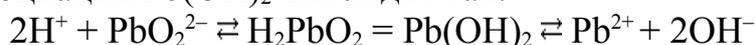
а) взаимодействие $\text{Pb}(\text{OH})_2$ с кислотой



б) взаимодействие $\text{Pb}(\text{OH})_2$ с щелочью



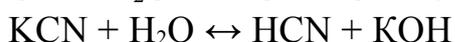
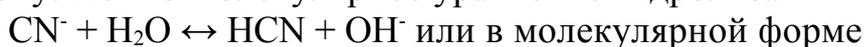
В случае (а) $\text{Pb}(\text{OH})_2$ выполняет роль основания, поставляя в раствор гидроксид-ионы для образования молекул воды. В случае (б) $\text{Pb}(\text{OH})_2$ выполняет роль кислоты ($\text{Pb}(\text{OH})_2 = \text{H}_2\text{PbO}_2$), поставляя в раствор катионы водорода. Схема диссоциации $\text{Pb}(\text{OH})_2$ выглядит так:



Пример 9.4. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей: а) KCN; б) Na_2CO_3 ; в) ZnSO_4 , г) $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Определите реакцию среды растворов этих солей.

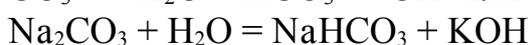
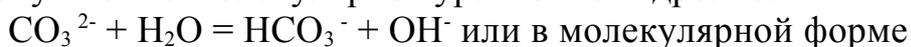
Решение,

а) Цианид калия KCN — соль слабой одноосновной кислоты (см. табл. I приложения) HCN и сильного основания KOH. При растворении в воде молекулы KCN полностью диссоциируют на катионы K^+ и анионы CN^- . Катионы K^+ не могут связывать ионы OH^- воды, так как KOH — сильный электролит. Анионы же CN^- связывают ионы H^+ воды, образуя молекулы слабого электролита HCN (цианистой кислоты). Соль гидролизуеться по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



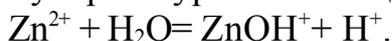
В результате гидролиза в растворе появляется некоторый избыток ионов OH^- , поэтому раствор KCN имеет щелочную реакцию ($\text{pH} > 7$).

б) Карбонат натрия Na_2CO_3 — соль слабой многоосновной кислоты и сильного основания. В этом случае анионы соли CO_3^{2-} , связывая водородные ионы воды, образуют анионы кислой соли HCO_3^- , а не молекулы H_2CO_3 , так как ионы HCO_3^- диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы H_2CO_3 . В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуеться по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



В растворе появляется избыток ионов OH^- , поэтому раствор Na_2CO_3 имеет щелочную реакцию ($\text{pH} > 7$).

в) Сульфат цинка $ZnSO_4$ — соль слабого многокислотного основания $Zn(OH)_2$ и сильной кислоты H_2SO_4 . В этом случае катионы Zn^{2+} связывают гидроксильные ионы воды, образуя катионы основной соли $ZnOH^+$. Образование молекул $Zn(OH)_2$ не происходит, так как ионы $ZnOH^+$ диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы $Zn(OH)_2$. В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по катиону. Ионно—молекулярное уравнение гидролиза

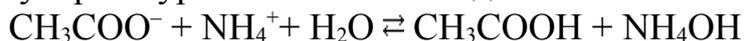


или в молекулярной форме



В растворе появляется избыток ионов водорода, поэтому раствор $ZnSO_4$ имеет кислую реакцию ($pH < 7$).

г) Ацетат аммония — соль слабой кислоты и слабого основания. При растворении в воде ацетат аммония диссоциирует на ионы NH_4^+ и анионы CH_3COO^- . Так как NH_4OH — слабый электролит, катионы NH_4^+ связывают анионы OH^- , образуя слабое основание. Ионы CH_3COO^- , связываясь с катионами H^+ воды, образуют слабую кислоту CH_3COOH . Гидролиз идет по катиону слабого основания и аниону слабой кислоты. Сокращенное (и полное) ионно—молекулярное уравнение имеет вид:



Гидроксид аммония при образовании неустойчив и разлагается на аммиак и воду



молекулярное уравнение:

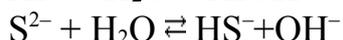
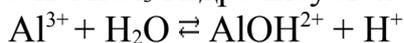


В растворе появляются ионы водорода практически полностью связываются ацетат-ионами, а гидроксид-ионы, связываясь с катионом водорода из катиона аммония превращаются снова в молекулу воды. Поэтому раствор CH_3COONH_4 имеет почти нейтральную реакцию ($pH \approx 7$).

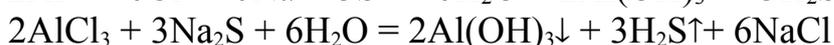
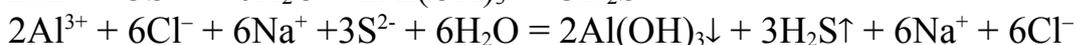
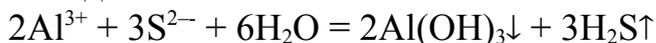
Пример 9.5. Какие продукты получатся при смешивании растворов а) $AlCl_3$ и Na_2S ? б) $Al(NO_3)_3$ и K_2CO_3 ? Составьте ионно—молекулярные и молекулярные уравнения реакций.

Решение.

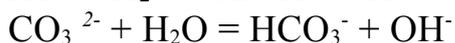
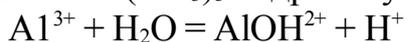
А) Соль $AlCl_3$ гидролизуется по катиону, Na_2S — по аниону:



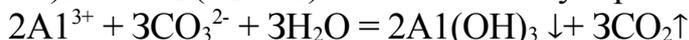
Образующиеся ионы H^+ и OH^- связываются в молекулы слабого электролита H_2O , сдвигая гидролитическое равновесие вправо. Гидролиз идет до конца с образованием $Al(OH)_3$ и H_2S . Ионно—молекулярные и молекулярные уравнения имеют вид:



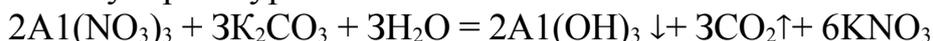
Б) Соль $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ гидролизуеться по катиону, а K_2CO_3 — по аниону:



Если растворы этих солей находятся в одном сосуде, то идет взаимное усиление гидролиза каждой из них, ибо ионы H^+ и OH^- образуют молекулу слабого электролита H_2O . При этом гидролитическое равновесие сдвигается вправо и гидролиз каждой из взятых солей идет до конца с образованием $\text{Al}(\text{OH})_3$ и CO_2 (H_2CO_3). Ионно-молекулярное уравнение:

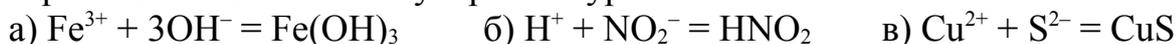


молекулярное уравнение:



Контрольные вопросы

171. Составьте по два молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



172. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей CH_3COOK , KI , ZnSO_4 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, NH_4Cl . Какое значение pH ($7 < \text{pH} < 7$) имеют растворы этих солей?

173. Смешивают попарно растворы: а) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и Na_2SO_4 ; б) BaCl_2 и K_2SO_4 ; в) NaHCO_3 и NaOH ; г) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и HCl . В каких из приведенных случаев реакции практически пойдут до конца? Составьте для этих реакций молекулярные и ионно-молекулярные уравнения. Укажите цвет фенолфталеина в 3 растворе?

174. Смешивают попарно растворы: а) KOH и $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; б) Li_2CO_3 и HCl ; в) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и KCl ; г) NH_4Cl и KOH . В каких случаях реакции практически пойдут до конца? Представьте их в молекулярном и ионно-молекулярном виде.

175. Подберите по два уравнения в молекулярном виде к каждому из ионно-молекулярных уравнений: а) $\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2^+ + 2\text{H}^+$



176. Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнение гидролиза FeCl_3 . К раствору добавили следующие вещества: а) HCl ; б) KOH ; в) ZnCl_2 ; г) Na_2CO_3 . В каких случаях гидролиз хлорида железа (III) усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

177. Какие из приведенных солей: Na_2SO_3 , CH_3COONa , KBr , AlCl_3 , NH_4NO_2 подвергаются гидролизу по катиону, по аниону, по катиону и аниону? Укажите pH среды, составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

178. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а) K_2SO_3 и HCl ; б) CH_3COOH и KOH ; в) Na_2HPO_4 и NaOH ; г) $\text{Al}(\text{OH})_3$ и KOH .

179. Смешивают попарно растворы: а) K_2SO_3 и HCl ; б) Na_2SO_4 и KCl ; в) CH_3COONa и HNO_3 ; г) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и избыток KOH . В каких из приведенных

случаев реакции практически пойдут до конца? Составьте для этих реакций молекулярные и ионно-молекулярные уравнения.

180. К раствору $Al_2(SO_4)_3$ добавили следующие вещества: а) H_2SO_4 ; б) KOH ; в) Na_2SO_3 ; г) $ZnSO_4$. В каких случаях гидролиз сульфата алюминия усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

181. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу: $NaCN$ или $NaClO$; $MgCl_2$ или $ZnCl_2$? Почему? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

182. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а) CH_3COONa и H_2SO_4 ; б) NH_4Cl и $NaOH$; в) $Ba(OH)_2$ и K_2CrO_4 ; г) $CaCl_2$ и Na_3PO_4 .

183. Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнение гидролиза $Cr_2(SO_4)_3$. К раствору добавили следующие вещества: а) H_2SO_4 ; б) KOH . В каком случае гидролиз сульфата хрома усилится? Почему?

184. Какие из веществ будут взаимодействовать с гидроксидом калия: $Ba(OH)_2$, $Zn(OH)_2$, $FeCl_3$, H_3PO_4 ? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

185. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а) K_2S и $CuSO_4$; б) $AgNO_3$ и NH_4Cl ; в) Na_2SiO_3 и H_3PO_4 ; г) $CaCO_3$ и HNO_3 . В какой цвет будет окрашен метиловый оранжевый в этих растворах?

186. Какие из приведенных солей: KCN , $MgCl_2$, $Cr(NO_3)_3$, KNO_3 , $ZnSO_4$ подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей, укажите реакцию среды. В какой цвет будет окрашен лакмус в этих растворах?

187. Подберите по два уравнения в молекулярном виде к каждому из ионно-молекулярных уравнений: а) $Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons AlOH^{2+} + H^+$



188. Какие из перечисленных ниже солей подвергаются гидролизу: $NaCN$, KNO_3 , $CuCl_2$, NH_4CH_3COO , $LiBr$? Для каждой из гидролизующихся солей напишите уравнение гидролиза в ионно-молекулярном и молекулярном виде, укажите реакцию среды ее водного раствора.

189. Какое значение pH ($7 < pH < 7$) имеют растворы солей Na_2S , CH_3COONa , $AlCl_3$, $Pb(NO_3)_2$, $NiSO_4$? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

190. К раствору Na_2CO_3 добавили следующие вещества: а) HCl ; б) $NaOH$; в) $Cu(NO_3)_2$; г) K_2S . В каких случаях гидролиз карбоната натрия усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

191. Какие из солей KI , $Cu(NO_3)_2$, KNO_2 , NH_4CN , $CrCl_3$ подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей, укажите реакцию среды.

192. Составьте по два молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями: а) $\text{OH}^- + \text{HS}^- = \text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-}$
б) $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ в) $\text{OH}^- + \text{NH}_4^+ = \text{NH}_4\text{OH}$

193. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу: Na_2CO_3 или Na_2SO_3 ; FeCl_3 или FeCl_2 ? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

194. Какое значение pH ($7 < \text{pH} < 7$) имеют растворы солей Na_3PO_4 , K_2S , Cs_2CO_3 , CuSO_4 , NaCl ? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

195. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а) K_2S и H_2SO_4 ; б) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ и K_3PO_4 ; в) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и HNO_3 ; г) AgNO_3 и SnCl_2 . В какой цвет будет окрашен метиловый оранжевый в этих растворах?

10. Окислительно-восстановительные реакции. Примеры решения задач

Пример 10.1. Исходя из степени окисления (я) азота, серы и марганца в соединениях NH_3 , HNO_2 , HNO_3 , H_2S , H_2SO_3 , H_2SO_4 , MnO_2 и KMnO_4 , определите, какие из них могут быть только восстановителями, только окислителями и какие проявляют как окислительные, так и восстановительные свойства.

Решение.

Степень окисления азота в указанных соединениях соответственно равна: -3 (низшая), +3 (промежуточная), +5 (высшая); n(S) соответственно равна: -2 (низшая), +4 (промежуточная), +6 (высшая); n(Mn) соответственно равна: +4 (промежуточная), +7 (высшая). Отсюда: NH_3 , H_2S — только восстановители; HNO_3 , H_2SO_4 , KMnO_4 — только окислители; HNO_2 , H_2SO_3 , MnO_2 — окислители и восстановители.

Пример 10.2. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между следующими веществами: а) H_2S и HI ; б) MnO_2 и HCl ; в) H_2SO_3 и HClO_4 ? г) MnO_2 и NaBiO_3 ? д) H_2SO_4 и HClO_4 ?

Решение.

а) в H_2S с.о.(S) = -2; в HI с.о.(I) = -1. Так как и сера, и иод находятся в своей низшей степени окисления, то оба вещества проявляют только восстановительные свойства и взаимодействовать друг с другом не могут (реакция между ними невозможна);

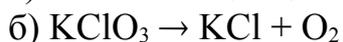
б) в MnO_2 с.о. (Mn) = +4 (промежуточная); в HCl с.о. (Cl) = -1 (низшая). Следовательно, взаимодействие этих веществ возможно, причем MnO_2 является окислителем, а HCl будет восстановителем;

в) в H_2SO_3 с.о.(S) = +4 (промежуточная); в HClO_4 с.о.(Cl) = +7 (высшая). Взятые вещества могут взаимодействовать, H_2SO_3 в этом случае будет проявлять восстановительные свойства;

г) в MnO_2 с.о. (Mn) = +4 (промежуточная); NaBiO_3 с.о. (Bi) = +5 (высшая). Взятые вещества могут взаимодействовать. MnO_2 проявляет свойства восстановителя.

д) в H_2SO_4 с.о.(S) = +6; в HClO_4 с.о.(Cl) = +7. Так как и сера, и хлор находятся в своей высшей степени окисления, то оба вещества проявляют только свойства окислителя и взаимодействовать друг с другом не могут (реакция между ними невозможна).

Пример 10.3. Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций, идущие по схемам:



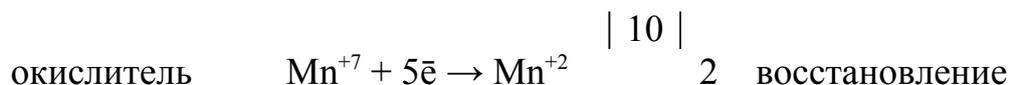
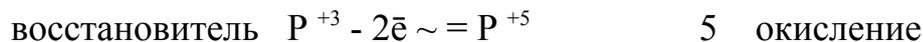
На основании электронных или электронно-ионных уравнений расставьте коэффициенты. Определите тип реакции, окислитель и восстановитель для каждой реакции.

Решение.

а) Определяем степени окисления тех элементов, которые ее изменяют:

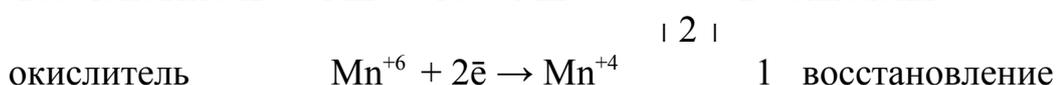
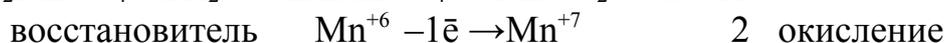
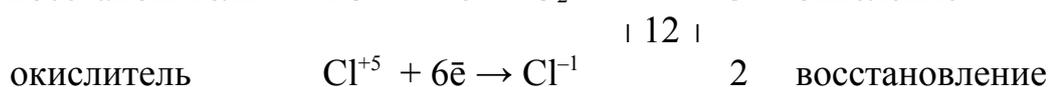
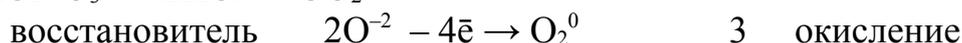
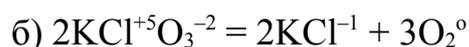


Составляем электронные уравнения процессов окисления и восстановления, определяем окислитель и восстановитель:



Уравниваем реакцию методом электронного баланса, суть которого заключается в том, что *общее число электронов, отданных восстановителем, равно числу электронов, принятых окислителем*. Находим общее наименьшее кратное для отданных и принятых электронов. В приведенной реакции оно равно 10. Разделив это число на 5, получаем коэффициент 2 для окислителя и продукта его восстановления, а при делении 10 на 2 получаем коэффициент 5 для восстановителя и продукта его окисления. Коэффициенты перед веществами, атомы которых не меняют свои степени окисления, находим подбором.

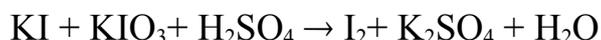
Уравнение реакции будет иметь вид:



Как видно из представленных уравнений в реакции (а) окислитель и восстановитель – разные элементы в молекулах двух разных веществ, значит, данная реакция относится к типу **межмолекулярных окислительно-восстановительных реакций**. В реакции (б) окислитель – хлор и восстановитель – кислород содержатся в одной молекуле – реакция **внутримолекулярная**. В реакции (в) роль окислителя и восстановителя выполняет марганец, следовательно, это реакция **диспропорционирования**.

Контрольные вопросы

196. Исходя из степени окисления серы в веществах: S, H₂S, Na₂SO₃, H₂SO₄, определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какие могут быть и окислителем и восстановителем. Почему? На основании электронных уравнений подберите коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

197. Реакции выражаются схемами:



Составьте электронные уравнения, расставьте коэффициенты, определите окислитель и восстановитель в каждой реакции. К какому типу относится каждая из приведенных реакций?

198. См. условие задания 197.



199. См. условие задания 197.



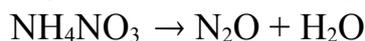
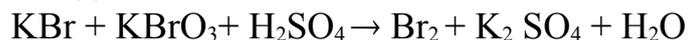
200. См. условие задания 197.



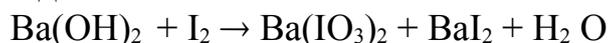
201. См. условие задания 197.



202. См. условие задания 197.



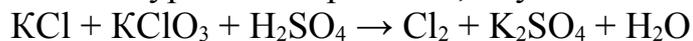
203. См. условие задания 197.



204. См. условие задания 197.



205. Исходя из степени окисления хлора в соединениях HCl , HClO , HClO_3 , 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



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

206. Исходя из степени окисления железа, определите, какое из веществ может быть только восстановителем, только окислителем и какое – и окислителем и восстановителем: FeSO_4 , Fe_2O_3 , K_2FeO_4 . Почему? На основании электронных уравнений подберите коэффициенты для веществ в уравнении реакции, идущей по схеме:



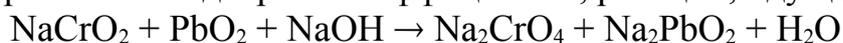
Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

207. Исходя из степени окисления хрома, иода и серы в соединениях $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KI и H_2SO_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



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

208. Могут ли протекать окислительно-восстановительные реакции между веществами: а) Cl_2 и H_2S ; б) KBr и KBrO_3 ; в) HI и NH_3 ? Почему? На основании электронных уравнений подберите коэффициенты, реакции, идущей по схеме:

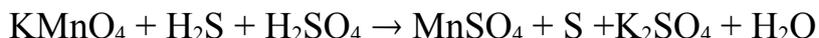


Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

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



Реакция выражается схемой:



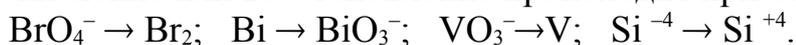
Определите окислитель и восстановитель, на основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции. Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

210. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а) H_2S и Br_2 ; б) HI и HIO_3 ; в) KMnO_4 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

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



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



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

212. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а) PH_3 и HBr ; б) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и H_3PO_3 ; в) HNO_3 и H_2S ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

213. Могут ли идти окислительно-восстановительные реакции между следующими веществами а) PbO_2 и KBiO_3 ; б) H_2S и H_2SO_3 ; в) H_2SO_3 и HClO_4 ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

214. Исходя из степени окисления фосфора в соединениях PH_3 , H_3PO_4 , H_3PO_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



Определите тип окислительно-восстановительной реакции.

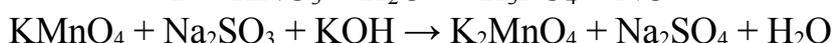
215. Реакции выражаются схемами:



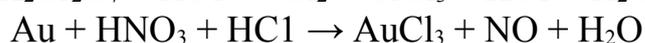
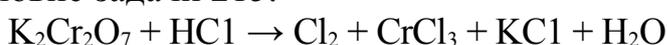
Составьте электронные уравнения, подберите коэффициенты, укажите, какое вещество в каждой реакции является окислителем, какое восстановителем.

Определите тип окислительно-восстановительных реакций.

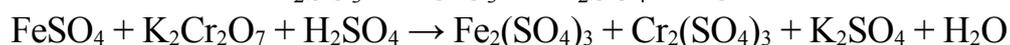
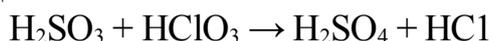
216. См. условие задачи 215.



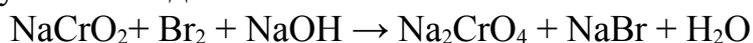
217. См. условие задачи 215.



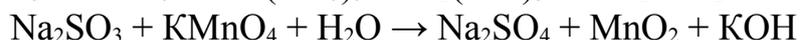
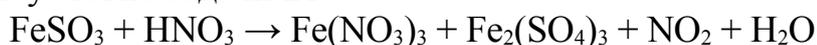
218. См. условие задачи 215.



219. См. условие задачи 215.



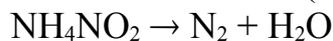
220. См. условие задачи 215.



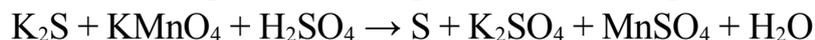
221. См. условие задания 215.



222. См. условие задачи 215.



223. См. условие задачи 215.



224. См. условие задачи 215.



225. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а) NH_3 и KMnO_4 ; б) HNO_2 и HI ; в) HCl и H_2Se ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



Укажите, какое вещество в реакции является окислителем, а какое - восстановителем.

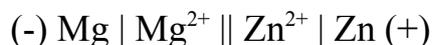
11. Электродные потенциалы. Гальванические элементы. Примеры решения задач

При решении задач этого раздела см. табл. 11.1.

Пример 11.1. 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



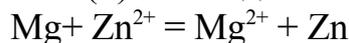
Вертикальная линейка обозначает поверхность раздела между металлом и раствором, а две линейки — границу раздела двух жидких фаз — пористую перегородку (или соединительную трубку, заполненную раствором электролита). Магний (табл.11.1) имеет меньший потенциал (-2,37 В) и является анодом, на котором протекает окислительный процесс:



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



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



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

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

Пример 11.2. Рассчитайте ЭДС элемента $\text{Cd}|\text{Cd}^{2+}||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ при концентрации ионов Cu^{2+} и Cd^{2+} , равных соответственно 0,1 и 0,01 моль/л.

Решение.

Используя уравнения Нернста и данные табл. 11.1, рассчитываем электродные потенциалы кадмия и меди:

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = 0,337 + 0,0295 \cdot (-1) = 0,3075 \text{ В}$$

$$\varphi_{\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}} = \varphi_{\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-2} = -0,403 + 0,0295 \cdot (-2) = -0,462 \text{ В}$$

Так как $\varphi_{\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}} < \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}$, то токообразующей в этом гальваническом элементе является реакция $\text{Cd}^0 + \text{Cu}^{2+} = \text{Cd}^{2+} + \text{Cu}^0$. Рассчитываем ЭДС элемента

$$E = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - \varphi_{\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}} = 0,3075 - (-0,462) = 0,77 \text{ В.}$$

Пример 11.3. Определите ЭДС концентрационного медного элемента с концентрациями ионов меди, равными 10^{-1} моль/л у одного электрода и 10^{-3} моль/л у другого при 298 К.

Решение.

Схема такого гальванического элемента $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$. По уравнению Нернста рассчитываем потенциалы двух медных электродов.

Для первого электрода:

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = 0,337 + 0,0295 \cdot (-1) = 0,3075 \text{ В}$$

Для второго электрода:

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-3} = 0,337 + 0,0295 \cdot (-3) = 0,2485 \text{ В}$$

Первый электрод с большим значением потенциала в данном элементе является катодом, второй – анодом. ЭДС рассчитываем по формуле:

$$E = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}} = 0,3075 - 0,2485 = 0,059 \text{ В.}$$

Таблица 11.1.

Стандартные электродные потенциалы (φ^0) при 25°C
и электродные реакции для некоторых металлов

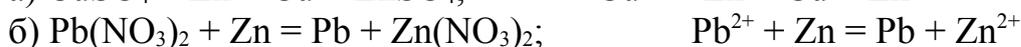
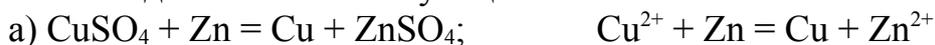
Электрод	Электродная реакция	φ^0 , В	Электрод	Электродная реакция	φ^0 , В
Li^+/Li	$\text{Li}^+ + \bar{e} = \text{Li}$	-3,045	Cd^{2+}/Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cd}$	-0,403

Rb ⁺ /Rb	Rb ⁺ + e ⁻ = Rb	-2,925	Co ²⁺ /Co	Co ²⁺ + 2e ⁻ = Co	-0,277
K ⁺ /K	K ⁺ + e ⁻ = K	-2,924	Ni ²⁺ /Ni	Ni ²⁺ + 2e ⁻ = Ni	-0,250
Cs ⁺ /Cs	Cs ⁺ + e ⁻ = Cs	-2,923	Sn ²⁺ /Sn	Sn ²⁺ + 2e ⁻ = Sn	-0,136
Ba ²⁺ /Ba	Ba ²⁺ + 2e ⁻ = Ba	-2,906	Pb ²⁺ /Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻ = Pb	-0,126
Ca ²⁺ /Ca	Ca ²⁺ + 2e ⁻ = Ca	-2,866	Fe ³⁺ /Fe	Fe ³⁺ + 3e ⁻ = Fe	-0,036
Na ⁺ /Na	Na ⁺ + e ⁻ = Na	-2,714	2H ⁺ /H ₂	2H ⁺ + 2e ⁻ = H ₂	0,000
Mg ²⁺ /Mg	Mg ²⁺ + 2e ⁻ = Mg	-2,363	Bi ³⁺ /Bi	Bi ³⁺ + 3e ⁻ = Bi	+0,215
Al ³⁺ /Al	Al ³⁺ + 3e ⁻ = Al	-1,662	Cu ²⁺ /Cu	Cu ²⁺ + 2e ⁻ = Cu	+0,337
Ti ²⁺ /Ti	Ti ²⁺ + 2e ⁻ = Ti	-1,628	Ag ⁺ /Ag	Ag ⁺ + e ⁻ = Ag	+0,799
Mn ²⁺ /Mn	Mn ²⁺ + 2e ⁻ = Mn	-1,180	Hg ²⁺ /Hg	Hg ²⁺ + 2e ⁻ = Hg	+0,854
Zn ²⁺ /Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻ = Zn	-0,763	Pt ²⁺ /Pt	Pt ²⁺ + 2e ⁻ = Pt	+1,190
Cr ³⁺ /Cr	Cr ³⁺ + 3e ⁻ = Cr	-0,744	Au ³⁺ /Au	Au ³⁺ + 3e ⁻ = Au	+1,498
Fe ²⁺ /Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻ = Fe	-0,440	Au ⁺ /Au	Au ⁺ + e ⁻ = Au	+1,691

Пример 11.4. Как изменится масса цинковой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а) CuSO₄; б) MgSO₄; в) Pb(NO₃)₂? Почему? Составьте молекулярные и ионные уравнения соответствующих реакций.

Решение.

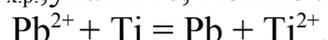
В соответствии с положением ряду напряжений (табл. 11.1) ионы меди и свинца по отношению к цинку будут проявлять окислительную активность. При контакте с растворами CuSO₄ и Pb(NO₃)₂ будут протекать реакции растворения цинка и осаждения соответствующего металла:



Один моль эквивалентов цинка (32,69 г/моль) будет замещаться на один моль эквивалентов меди (31,77 г/моль) или свинца (103,6 г/моль). Учитывая молярные массы эквивалентов этих элементов, в растворе CuSO₄ масса цинковой пластины будет незначительно уменьшаться, а в растворе Pb(NO₃)₂ – заметно увеличиваться.

Стандартный потенциал магния имеет меньшее значение, чем потенциал цинка (табл. 11.1). Это означает, что ионы магния не могут окислять цинковую пластинку. Поведение цинка в таком растворе аналогично окислению цинковой пластинки в воде: $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$. Протекание такого процесса приведет к малозаметному снижению массы цинковой пластинки.

Пример 11.5. Исходя из значений стандартных электродных потенциалов и $\Delta G_{\text{х.р.}}^0$, укажите, можно ли в гальваническом элементе осуществить реакцию



Составьте схему гальванического элемента, напишите уравнения электродных реакций.

Решение.

В соответствии с предложенным уравнением реакции схему гальванического элемента можно представить следующим образом:

(-)Ti|Ti²⁺||Pb²⁺|Pb(+). Уравнения электродных реакций имеют вид:



на катоде: $\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Pb}^0$

Рассчитываем стандартное значение ЭДС:

$$E^0 = \varphi_{\text{к}}^0 - \varphi_{\text{а}}^0 = \varphi_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}}^0 - \varphi_{\text{Ti}^{2+}/\text{Ti}}^0 = -0,126 - (-1,628) = 1,502 \text{ В.}$$

Энергию Гиббса рассчитываем по уравнению

$$\Delta G^0 = -nE^0F = -2 \cdot 1,502 \cdot 96500 = -289,9 \text{ кДж.}$$

Так как $\Delta G^0 < 0$, токообразующая реакция возможна.

Контрольные вопросы

226. Каково значение ЭДС элемента, состоящего из медного и свинцового электродов, погруженных в растворы солей этих металлов с концентрациями их ионов 1 моль/л? Изменится или нет ЭДС этого элемента и почему, если концентрации ионов металлов будут составлять 0.001 моль/л? Составьте уравнения электродных и токообразующей реакций. Приведите схему гальванического элемента.

227. Имеется гальванический элемент, в котором протекает реакция:

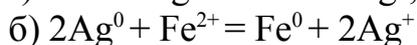
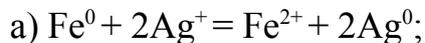
$\text{Ni} + \text{Cu}^{2+} = \text{Cu} + \text{Ni}^{2+}$. Составьте схему такого элемента, уравнения электродных процессов и определите, как изменяется величина ЭДС при: а) увеличении концентрации ионов Cu^{2+} ; б) увеличении концентрации ионов Ni^{2+} ? Ответ обоснуйте.

228. Вычислите ЭДС концентрационного элемента, состоящего из электродов цинка, опущенных в растворы ZnSO_4 с концентрацией ионов цинка 10^{-2} и 10^{-3} моль/л.

229. Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса цинковой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а) CuSO_4 ; б) MgSO_4 ; в) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

230. Исходя из величин стандартных электродных потенциалов, рассчитайте значения ЭДС и ΔG^0 и сделайте вывод о возможности протекания реакции в прямом направлении: $\text{Cu} + 2 \text{Ag}^+ \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2 \text{Ag}$.

231. Электродные потенциалы железа и серебра соответственно равны $-0,44$ В и $+0,799$ В. Какая реакция самопроизвольно протекает в железно-серебряном гальваническом элементе?



Ответ обоснуйте, рассчитав энергию Гиббса каждой из приведенных реакций.

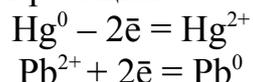
232. Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых оловянная пластинка была бы катодом, а в другом анодом. Напишите для каждого из этих элементов уравнения электродных (катодных и анодных) процессов и токообразующих реакций. Рассчитайте стандартную ЭДС этих элементов.

233. В два сосуда с голубым раствором медного купороса поместили в первый цинковую пластинку, а во второй серебряную. В каком сосуде цвет раствора постепенно пропадает? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующей реакции.

234. Составьте схему гальванического элемента, состоящего из кадмиевого и никелевого электродов, погруженных в 1М раствор их солей. Напишите для каждого из этих элементов электронные уравнения реакций, протекающих на катоде и на аноде. Определить ЭДС для данного гальванического элемента. Как изменится ЭДС этого элемента, если концентрацию соли возле катода уменьшить в 2 раза.

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

236. Исходя из величин стандартных электродных потенциалов, рассчитайте значения ЭДС и ΔG^0 и определите, будет ли работать гальванический элемент, в котором на электродах протекают реакции:



237. Чему равна величина ЭДС цинкового концентрационного элемента, составленного из двух цинковых электродов, опущенных в растворы с концентрациями ионов Zn^{2+} , равными 10^{-2} и 10^{-6} моль/л? Приведите схему такого элемента и реакции, протекающие на электродах при его работе.

238. После нахождения в растворах каких из приведенных солей масса кадмиевой пластинки увеличится или уменьшится: а) $MgCl_2$; б) $Hg(NO_3)_2$; в) $CuSO_4$; г) $AgNO_3$; д) $CaCl_2$? Ответ обоснуйте.

239. Составьте схему гальванического элемента, в основе работы которого лежит реакция: $Ni + Pb(NO_3)_2 = Ni(NO_3)_2 + Pb$. Напишите уравнения электродных (катодных и анодных) процессов.

Вычислите ЭДС этого элемента, если $C_{Ni^{2+}} = 0,01$ моль/л, а $C_{Pb^{2+}} = 0,0001$ моль/л.

240. Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых цинк – отрицательный электрод, а в другом – положительный. Приведите уравнения токообразующих реакций и электродных процессов.

241. Составьте схему, напишите уравнения токообразующей и электродных реакций для гальванического элемента, у которого один из электродов – кобальтовый ($C_{Co^{2+}} = 10^{-1}$ моль/л), а другой – стандартный водородный. Рассчитайте ЭДС элемента при 298 К. Как изменится ЭДС, если концентрация ионов Co^{2+} уменьшить в 10 раз?

242. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов, и вычислите ЭДС медно - кадмиевого гальванического элемента, в котором $[Cd^{2+}] = 0,8$ моль/л, а $[Cu^{2+}] = 0,01$ моль/л.

243. Как изменится масса хромовой пластинки после нахождения в растворах солей: а) $CuSO_4$; б) $MgCl_2$; в) $AgNO_3$; д) $CaCl_2$? Ответ обоснуйте.

244. 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 значение ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л?

245. 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 (+2) (моль/л), чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если $[Zn^{2+}] = 0,001$ моль/л?

12. Коррозия и защита металлов. Примеры решений и задания

Пример 12.1. Как происходит коррозия цинка, находящегося в контакте с кадмием в нейтральном и кислом растворах. Приведите схемы образующихся при этом гальванических элементов. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?

Решение.

Цинк имеет более отрицательный потенциал (-0,763В), чем кадмий (-0,403В), поэтому он является анодом, а кадмий катодом.

Анодный процесс: $Zn^0 - 2e = Zn^{2+}$

Катодный процесс:

в кислой среде $2H^+ + 2e = H_2$

в нейтральной среде $1/2O_2 + H_2O + 2e = 2OH^-$

Схема образующегося гальванического элемента во влажном воздухе:



Схема образующегося гальванического элемента в кислом растворе:



В кислой среде на поверхности кадмия выделяется газообразный водород. В раствор переходят ионы Zn^{2+} .

Так как ионы Zn^{2+} с гидроксильной группой образуют нерастворимый гидроксид, то продуктом коррозии во влажной среде будет $Zn(OH)_2$.

Пример 12.2. Хром находится в контакте с медью. Какой из металлов будет окисляться при коррозии, если эта пара металлов попадает в кислую среду (HCl)? Приведите уравнения анодного и катодного процессов, схему образующегося гальванического элемента. Каков состав продуктов коррозии?

Решение.

По положению в ряду напряжений металлов видно, что хром более активный металл ($\varphi_{Cr^{3+}/Cr}^0 = -0,744$ В), чем медь ($\varphi_{Cu^{2+}/Cu}^0 = 0,337$ В). В образованной гальванической паре Cr – анод, он окисляется, а Cu – катод, на ее поверхности выделяется (восстанавливается) водород из HCl.

Анодный процесс: $Cr - 3e = Cr^{3+}$

Катодный процесс в кислой среде: $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$

Схема гальванического элемента: $(-)Cr | Cr^{3+} | HCl | H_2 | Cu (+)$

Появляющиеся ионы Cr^{3+} образуют с хлорид - анионами (из HCl) растворимое соединение – $CrCl_3$, на поверхности меди выделяется H_2 .

Контрольные вопросы

246. Как происходит атмосферная коррозия луженого и оцинкованного

железа при нарушении покрытия? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

247. Почему химически чистое железо более стойко против коррозии, чем техническое железо? Как происходит коррозия луженого и оцинкованного железа при нарушении покрытия во влажном воздухе и в кислой среде? Составьте уравнения анодного и катодного процессов. Приведите схемы образующихся гальванических элементов.

248. Какой металл целесообразнее выбрать для протекторной защиты железного изделия: цинк, никель или кобальт? Почему? Составьте уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии таких изделий. Каков состав продуктов коррозии?

249. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие — анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в хлороводородной (соляной) кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

250. Хромовую пластинку и пластинку из хрома, частично покрытую серебром, поместили в раствор соляной кислоты. В каком случае процесс коррозии хрома протекает более интенсивно? Почему? Приведите уравнения соответствующих процессов.

251. Какие металлы могут быть использованы в качестве анодного покрытия сплава Zn-Cd? Приведите уравнения анодного и катодного процессов при коррозии такого сплава во влажном воздухе в отсутствие анодного покрытия.

252. Какой металл целесообразней выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии. Каков состав продуктов коррозии?

253. Какие из перечисленных металлов могут быть использованы для протекторной защиты железного изделия в присутствии электролита, содержащего растворенный кислород в нейтральной среде: алюминий, хром, серебро, кадмий? Приведите уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии таких изделий. Каков состав продуктов коррозии?

254. Как происходит атмосферная коррозия луженого железа и луженой меди при нарушении покрытия? Составьте электронные уравнения соответствующих анодных и катодных процессов.

255. Две железные пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластинок быстрее образуется ржавчина? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этих пластинок. Каков состав продуктов коррозии железа?

256. Если пластинку из чистого цинка опустить в разбавленную кислоту, то начавшееся выделение водорода вскоре почти прекращается. Однако при прикосновении к цинку медной палочкой на последней начинается бурное выделение водорода. Дайте этому объяснение, составив

электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнения протекающей химической реакции.

257. В раствор хлороводородной (соляной) кислоты поместили цинковую пластинку и цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка происходит интенсивнее? Ответ мотивируйте, составив электронные уравнения соответствующих процессов.

258. Приведите по одному примеру катодного и анодного покрытия для кобальта. Составьте уравнения катодных и анодных процессов во влажном воздухе и в растворе соляной кислоты при нарушении целостности покрытия.

259. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары магний — никель. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

260. Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако, если к медной пластинке, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой, то на меди начинается бурное выделение водорода. Дайте этому объяснение, составив электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

261. Изделие из алюминия склепано медью. Какой из металлов будет подвергаться коррозии с водородной деполяризацией, если эти металлы попадут в кислую среду (HCl)? Составьте уравнения происходящих при этом процессов, приведите схему образующегося гальванического элемента. Определите продукты коррозии.

262. Составьте уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары магний — свинец. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

263. Медное изделие покрыли серебром. К какому типу относится такое покрытие — к анодному или катодному? Составьте уравнения электродных процессов коррозии этого изделия при нарушении целостности покрытия во влажном воздухе и в растворе азотной кислоты. Приведите схемы образующихся при этом гальванических элементов.

264. Железное изделие покрыли кадмием. Какое это покрытие — анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в хлороводородной (соляной) кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

265. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии? Приведите пример протекторной защиты железа в электролите, содержащем растворенный кислород. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

13. Жесткость воды и методы ее устранения

Пример 9.1. Вычислите жесткость воды, зная, что в 500 л ее содержится 202,5 г $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Решение. В 1 л воды содержится $202,5 : 500 = 0,405$ г $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, что составляет $0,405 : 81 = 0,005$ эквивалентных масс или 5 мэкв/л (81 г/моль – эквивалентная масса $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Следовательно, жесткость воды 5 мэкв.

Пример 9.2. Какую массу соды надо добавить к 500 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 5 мэкв?

Решение. В 500 л воды содержится $500 \cdot 5 = 2\,500$ мэкв солей, обуславливающих жесткость воды. Для устранения жесткости следует прибавить $2\,500 \cdot 53 = 132\,500$ мг = 132,5 г соды (53 г/моль – эквивалентная масса Na_2CO_3).

Пример 9.3. Вычислите карбонатную жесткость воды, зная, что на титрование 100 см³ этой воды, содержащей гидрокарбонат кальция, потребовалось 6,25 см³ 0,08 н раствора HCl.

Решение. Вычисляем нормальность раствора гидрокарбоната кальция. Обозначив число эквивалентов растворенного вещества в 1 л раствора, т.е. нормальность, через x , составляем пропорцию

$$6,25 / 100 = x / 0,08$$

$$x = 0,005 \text{ н.}$$

Таким образом, в 1 л исследуемой воды содержится $0,005 \cdot 1\,000 = 5$ мэкв гидрокарбоната кальция или 5 мэкв Ca^{2+} -ионов. Карбонатная жесткость воды 5 мэкв.

Контрольные вопросы

266. Вычислите карбонатную жесткость воды, зная, что для реакции с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 200 см³ воды, требуется 15 см³ 0,08 н раствора HCl.

267. В 1 л воды содержится ионов магния 36,47 мг и ионов кальция 50,1 мг. Чему равна жесткость этой воды?

268. Вычислите жесткость воды, зная, что в 1 м³ воды содержится 140 г сульфата магния.

269. Вода, содержащая только сульфат магния, имеет жесткость 7 мэкв. Какая масса сульфата магния содержится в 300 л этой воды?

270. Жесткость воды, в которой растворен только гидрокарбонат кальция, равна 4 мэкв. Какой объем 0,1 н раствора HCl потребуются для реакции с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 75 см³ этой воды?

271. Чему равна жесткость воды, если для ее устранения к 50 л воды потребовалось прибавить 21,2 г карбоната натрия?

272. Какую массу гидроксида кальция надо прибавить к 275 л воды, чтобы устранить ее карбонатную жесткость, равную 5,5 мэкв?

273. Какая масса CaSO_4 содержится в 200 л воды, если жесткость, обуславливаемая этой солью, равна 8 мэкв?

274. К 100 л жесткой воды прибавили 12,95 г гидроксида кальция. Насколько понизилась карбонатная жесткость?

275. Чему равна общая жесткость воды, если на титрование 100,00 мл. ее израсходовали 12,15 мл. 0,1022 н. раствора трилона Б(ЭДТА). Является ли эта вода жесткой или мягкой?

14. Химия элементов IV группы. Органические полимеры и материалы

Строение, классификация и свойства органических соединений. Углеводороды и их производные. Состав и свойства органического топлива. Химия полимеров. Методы получения полимеров. Зависимость свойств полимеров от состава и структуры. Химия полимерных конструкционных материалов.

276. Дать общую характеристику предельным углеводородам (алканам). Виды продуктов, полученных из алканов и их получение. Тепловые эффекты при сжигании различных видов топлива, их влияние на окружающую среду.

277. Как можно получить винилхлорид, имея карбид кальция, хлорид натрия, серную кислоту и воду? Напишите уравнения соответствующих реакций. Составьте схему полимеризации винилхлорида. Фреоны, их классификация, получение. Напишите уравнения соответствующих реакций. Основные физико-химические свойства ПВХ и фреонов, их применение и влияние на окружающую среду.

278. Дать общую характеристику этиленовым углеводородам (олефинам или алкенам). Приведите примеры. Какая общая формула выражает состав этих углеводородов? Какие химические реакции наиболее характерны для них? Составьте схему получения полиэтилена. Его основные свойства и применение.

279. Дать общую характеристику ацетиленовым углеводородам (алкинам). Как из метана получить ацетилен, затем винилацетилен, а из последнего хлоропена? Свойства и применение хлоропрена, его влияние на окружающую среду.

280. Дать общую характеристику диеновым углеводородам (диолефинам или алкадиенам). Приведите примеры. Какая общая формула выражает состав этих углеводородов? Составьте схему полимеризации бутадиена (дивинила). Свойства и применение дивинила.

281. Дать характеристику предельным одноатомным спиртам. Напишите уравнение реакции дегидратации пропилового спирта. Составьте схему полимеризации полученного углеводорода. Какими свойствами этот полимер обладает, где используется.

282. Дать общую характеристику предельным многоатомным спиртам. Напишите уравнения реакций получения полимеров на их основе. Какими свойствами они обладают, где их применяют.

283. Дать общую характеристику альдегидам. Что такое формалин? Какое свойство альдегидов лежит в основе реакции «серебряного зеркала»? Почему муравьиная кислота, отличие от других одноосновных карбоновых кислот,

способна вступать в данную реакцию. Запишите уравнение этой реакции, укажите условия ее протекания. Составьте схему получения фенолформальдегидной смолы. Свойства и применение фенолформальдегида, его влияние на окружающую среду.

284. Дать общую характеристику одноосновным карбоновым кислотам. Напишите структурную формулу акриловой (простейшей непредельной одноосновной карбоновой) кислоты и уравнение реакции взаимодействия этой кислоты с метиловым спиртом. Напишите структурную формулу образовавшегося продукта, составьте схему его полимеризации. Какими свойствами он обладает, где его применяют.

285. Дать общую характеристику аминам. Составьте схему поликонденсации адипиновой кислоты и гексаметилендиамина. Назовите образовавшийся полимер. Какими свойствами он обладает, где его применяют.

286. Дать общую характеристику аминокислотам. Напишите формулу простейшей аминокислоты. Составьте схему поликонденсации аминокaproновой кислоты. Как называют образующийся при этом полимер? Какими свойствами они обладают, где их применяют.

287. Что такое полимеризация, поликонденсация? Чем отличаются друг от друга эти реакции? Дать классификацию полимеров. Состав пластмасс, свойства пластмасс, зависящие от их состава.

288. Какие соединения называют кремнийорганическими? Приведите примеры, реакции получения. Укажите важнейшие свойства кремнийорганических полимеров. Как влияет на свойства кремнийорганических полимеров увеличение числа органических радикалов, связанных с атомом кремния? Их основные свойства и применение.

289. Какие полимеры называют стереорегулярными? Приведите примеры. Чем объясняется более высокая температура плавления и большая механическая прочность стереорегулярных полимеров по сравнению с нерегулярными?

290. Какие полимеры называются термопластичными, термореактивными? Их основные свойства и применение. Укажите три состояния полимеров. Чем характеризуется переход из одного состояния в другое?

291. Полимером какого непредельного углеводорода является натуральный каучук. Составьте схему его образования, напишите структурную формулу его мономера. Чем по строению и свойствам различаются каучук, гуттаперча и резина? Что такое вулканизация?

292. Как получают в промышленности стирол? Приведите схему его полимеризации. Его основные свойства и применение. Изобразите с помощью схем линейную и трехмерную структуры полимеров.

293. Дать общую характеристику ароматическим углеводородам. Напишите уравнения реакции получения ацетиленов из неорганического вещества и превращения его в ароматический углеводород. При взаимодействии какого вещества с ацетиленом образуется акрилонитрил? Составьте схему полимеризации акрилонитрила. Его основные свойства и применение.

294. Получение органических веществ из неорганических соединений. Как из карбида кальция и воды, применив реакцию Кучерова, получить уксусный альдегид, затем уксусную кислоту и винилацетат. Напишите уравнения соответствующих реакций. Составьте схему полимеризации винилацетата.

295. Элементарноорганические и неорганические полимеры: примеры, формулы мономеров, свойства и применение. Какие реакции называют реакциями сополимеризации, их характерные особенности. Составьте схему сополимеризации изопрена и изобутилена.