



Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Башкирский государственный аграрный университет»

Кафедра ТММП и химии

Б1.О.17 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Методические указания для выполнения расчетно-графической работы

Направление подготовки (специальность)
19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания

Профиль подготовки
Технология организации ресторанного дела

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Уфа 2024

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета пищевых технологий
(протокол № 8 от «21» марта 2024 г.)

Составитель: к.х.н., доцент Чернышенко Ю.Н.

Ответственный выпуск

Заведующий кафедрой ТММП и химии д. биол. н., проф. Миронова И.В.

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическая химия является одной из основных химических дисциплин, преподаваемых в вузах, связанных с пищевыми производствами. Методы качественного и количественного анализа используют для технохимического контроля сырья, полуфабрикатов и готовой продукции пищевой промышленности. Каждому специалисту, работающему в этой области, необходимо овладеть теоретическими знаниями важнейших методов анализа и умением производить вычисления, связанные с приготовлением растворов и получением результатов анализа. Выполнение домашнего задания по данным методическим указаниям поможет справиться с этой задачей. Разделы заданий, в которых необходимо производить вычисления, кроме контрольных заданий содержат также несколько примеров решений, облегчающих выполнение заданий.

РГР предназначена для закрепления и углубления знаний по дисциплине, а также приобретения навыков практического решения задач по основным темам аналитической химии и физико-химических методов анализа. Знания и навыки, полученные в процессе выполнения РГР, в дальнейшем послужат основой для выполнения расчетов в выпускной квалификационной работе. Вариант РГР выбирается в соответствии с двумя последними цифрами номера зачетной книжки.

Номера вопросов для выполнения ргр по аналитической химии

№	Номера заданий, вопросов							
00	1	21	43	59	79	99	119	139
01	2	22	44	60	80	100	120	140
02	3	23	45	61	81	101	121	141
03	4	24	46	62	82	102	122	142
04	5	25	47	63	83	103	123	143
05	6	26	48	64	84	104	124	144
06	7	27	49	65	85	105	125	145
07	8	28	50	66	86	106	126	146
08	9	29	51	67	87	107	127	147
09	10	30	52	68	88	108	128	148
10	11	31	53	69	89	109	129	149
11	12	32	54	70	90	110	130	150
12	13	33	55	71	91	111	131	151
13	14	34	56	72	92	112	132	152
14	15	35	57	73	93	113	133	153
15	16	36	58	74	94	114	134	154
16	17	37	43	75	95	115	135	155
17	18	38	44	76	96	116	136	156
18	19	39	45	77	97	117	137	157
19	20	40	46	78	98	118	138	158
20	1	41	47	59	85	99	136	155
21	2	42	48	60	86	100	137	156
22	3	21	49	61	87	110	138	157

23	4	22	50	62	88	111	119	158
24	5	23	51	63	89	112	120	139
25	6	24	52	64	80	113	121	140
26	7	25	53	65	81	114	122	141
27	8	26	54	66	82	115	123	142
28	9	27	55	67	83	99	124	143
29	10	28	56	68	84	100	125	144
30	11	29	57	69	85	101	126	145
31	12	30	58	70	86	102	127	146
32	13	31	43	71	87	103	128	147
33	14	32	44	72	88	104	129	148
34	15	33	45	73	89	105	130	149
35	16	34	46	74	92	106	131	150
36	17	35	47	75	93	107	132	151
37	18	36	48	76	94	108	133	152
38	19	37	49	77	95	109	134	153
39	20	38	50	78	96	110	135	154
40	1	39	51	59	97	111	136	155
41	2	40	52	60	98	112	137	156
42	3	41	53	61	79	113	138	157
43	4	42	54	62	80	114	123	158
44	5	21	55	63	81	115	124	151
45	6	22	56	64	82	116	125	152
46	7	23	57	65	83	117	126	139
47	8	24	58	66	84	118	119	140
48	9	25	43	67	85	110	120	141
49	10	26	44	68	86	111	121	142
50	11	27	45	69	87	112	122	143
51	12	28	46	70	88	113	123	144
52	13	29	47	71	89	114	124	145
53	14	30	48	72	88	115	125	146
54	15	31	49	73	89	99	126	147
55	16	32	50	74	92	100	127	148
56	17	33	51	75	93	101	128	149
57	18	34	52	76	94	102	129	150
58	19	35	53	77	90	103	130	151
59	20	36	54	78	91	104	131	152
60	1	37	55	59	92	105	132	153
61	2	38	56	60	93	106	133	154
62	3	39	57	61	94	99	134	155
63	4	40	58	62	95	100	135	156
64	5	41	43	63	96	101	136	157
65	6	42	44	64	97	102	137	158

66	7	21	45	65	98	103	138	153
67	8	22	46	66	82	104	119	154
68	9	23	47	67	83	105	120	139
69	10	24	48	68	90	106	121	140
70	11	25	49	69	91	107	122	141
71	12	26	50	70	92	108	123	142
72	13	27	51	71	93	109	124	143
73	14	28	52	72	94	110	125	144
74	15	29	53	73	95	111	126	145
75	16	30	54	74	96	112	127	146
76	17	31	55	75	97	113	128	147
77	18	32	56	76	98	114	129	148
78	19	33	57	77	79	115	130	149
79	20	34	58	78	80	116	131	150
80	1	35	43	59	81	117	132	151
81	2	36	44	60	82	118	133	152
82	3	37	45	61	83	99	134	153
83	4	38	46	62	84	100	135	154
84	5	39	47	63	85	101	136	155
85	6	40	48	64	86	102	137	156
86	7	41	49	65	87	103	138	157
87	8	42	50	66	88	104	119	158
88	9	21	51	67	89	105	120	149
89	10	22	52	68	93	106	121	150
90	11	23	53	69	94	107	122	139
91	12	24	54	70	95	108	123	140
92	13	25	55	71	96	109	124	141
93	14	26	56	72	97	110	125	142
94	15	27	57	73	98	111	126	143
95	16	28	58	74	79	112	127	144
96	17	29	43	75	80	113	128	145
97	18	30	44	76	81	114	129	146
98	19	31	45	77	82	115	130	147
99	20	32	46	78	83	116	131	148

1. Анализ сухой соли

Дана сухая соль: проиллюстрировать возможности открытия указанных **катиона** и **аниона** соли, используя качественные реакции их обнаружения (действие общего, группового и специфического реагентов) в молекулярном и ионно-сокращенном виде. Охарактеризовать условия проведения, аналитический эффект каждой реакции и указать названия применяемых реактивов и образующегося соединения.

Сухая соль:

1. NH_4I .
2. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.
3. MnCl_2 .
4. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$.
5. BaCl_2 .
6. NH_4Br .
7. KCl .
8. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
9. FeSO_4 .
10. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.
11. NH_4NO_3 .
12. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.
13. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.
14. K_2CO_3 .
15. $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.
16. $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.
17. ZnCl_2 .
18. MnCl_2 .
19. AlCl_3 .
20. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

2. Гравиметрический анализ

Гравиметрический анализ – это метод количественного анализа, основанный на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, выделяемых в химически чистом состоянии или в виде соответствующих соединений точно известного постоянного состава.

Таким образом, при гравиметрическом анализе из навески вещества или образца получают осадок или остаток, который взвешивают.

В пищевой промышленности гравиметрический метод анализа используют для определения зольности и влажности, как сырья, так и готовой продукции.

Гравиметрические методы делят на три группы: методы выделения, методы отгонки и методы осаждения. Наибольшее практическое применение из них получили методы осаждения.

При прокаливании многие осадки изменяют свой состав. Поэтому в гравиметрическом анализе различают осаждаемую и гравиметрическую (весовую) формы осадка. Каждая из них должна соответствовать определенным требованиям. По структуре осаждаемая форма может быть кристаллической или аморфной. Это зависит от индивидуальных свойств анализируемых веществ и условий осаждения. Предпочтение имеют крупнокристаллические осадки.

Для получения точных и надежных результатов анализа важное значение в гравиметрии имеет правильный выбор осадителя-реагента. Осадитель должен быть летучим веществом, образовывать малорастворимый осадок, реагировать только с определяемым ионом. Его берут, как правило, в 1,5 раза больше, чем рассчитано по уравнению реакции, чтобы достигнуть полноты осаждения.

Прежде, чем приступить к выполнению гравиметрического анализа, необходимо провести расчет массы навески определяемого вещества (ОВ) и объема осадителя (РВ). Вычисления основываются на практически найденной оптимальной массе весовой формы m (ВФ): для кристаллических осадков она равняется 0,5 г, для аморфных – 0,1 г.

Массу навески рассчитывают по формуле:

$$m(OB) = \frac{a \cdot M(OB) \cdot m(B\Phi)}{b \cdot M(B\Phi)}$$

где a – стехиометрический коэффициент в уравнении реакции перед определяемым веществом;

b – Стехиометрический коэффициент в уравнении реакции перед соединением весовой формы;

m (ВФ) – практически найденный коэффициент, равный оптимальной массе весовой формы.

Объем осадителя рассчитывают по формуле:

$$V(PB) = \frac{1,5 \cdot m(OB) \cdot b \cdot M(PB) \cdot 100}{a \cdot M(OB) \cdot \omega(PB) \cdot \rho(PB)}$$

Расчеты по обеим формулам носят ориентировочный характер. Поэтому полученные значения $m(OB)$ и $V(PB)$ округляют до 0,1.

Пример 1. Каково содержание оксида кальция в известняке, если при определении кальция из навески 0,4000 г получено 0,4340 г сульфата кальция?

Решение. Находим стехиометрические соотношения: $CaO \rightarrow CaSO_4$

Находим гравиметрический фактор:

$$F \frac{M_r(\text{CaO})}{M_r(\text{CaSO}_4)} = \frac{56,08}{136,14} = 0,4119$$

Рассчитываем содержание оксида кальция в известняке.

$$\omega(\text{CaO}) = \frac{0,4340 \cdot 0,4119}{0,4000} \cdot 100 = 44,69\%$$

Пример 2. Для анализа взяли 0,1534 г технического сульфата натрия и после обработки его хлоридом бария получили 0,2233 г сульфата бария. Рассчитайте массовую долю сульфата натрия во влажной и сухой навеске соли, если влажность составляет 4,25 %.

Решение. Определяем массу сульфата натрия по полученному осадку сульфата бария:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m(\text{BaSO}_4) \cdot F \frac{M_r(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M_r(\text{BaSO}_4)}$$

Определяем массовую долю сульфата во влажной навеске:

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{вл}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{нав})_{\text{вл}}} \cdot 100 = \frac{m(\text{BaSO}_4) M_r(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot 100}{M_r(\text{BaSO}_4) \cdot m(\text{нав})_{\text{вл}}} = \frac{0,2233 \cdot 142,0 \cdot 100}{233,4 \cdot 0,1534} = 88,56\%$$

Определяем массовую долю сульфата в сухой навеске:

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{сух}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{нав})_{\text{сух}}} \cdot 100 = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot 100 \cdot 100}{m(\text{нав})_{\text{вл}} \cdot 100 - \omega(\text{H}_2\text{O}) \cdot 100} = \frac{88,56 \cdot 100}{100 - 4,25} = 92,49\%$$

Контрольные задания

21. Из навески суперфосфата массой 0,5302 г, содержащего 14,50% влаги, получили 0,3240 г прокаленного осадка $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Вычислить массовую долю (%) P_2O_5 во влажном и абсолютно сухом суперфосфате.

22. Для определения кремния в чугунах взяли навеску 3,0000 г и получили после прокаливания осадок SiO_2 массой 0,2115 г. Вычислите массовую долю кремния в чугунах.

23. Рассчитайте массовую долю оксида алюминия в образце, если из навески массой 0,4593 г получено 0,4002 г ортофосфата алюминия.

24. Рассчитайте массовую долю железа в образце, если из навески массой 0,9521 г получено 0,1486 г оксида железа (III).

25. Рассчитайте массовую долю сульфата натрия в образце, если из навески массой 0,4002 г получено 0,3575 г сульфата бария.

26. Рассчитайте массовую долю цинка в препарате, если из навески массой 0,3241 г получено 0,1822 г $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

27. Рассчитайте массовую долю никеля в образце соли, если из навески массой 0,3863 г получено 0,1543 г диметилглиоксимата никеля $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$.

28. Рассчитайте массовую долю ортофосфата натрия в образце, если из навески массой 0,5624 г получено 0,4206 г $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

29. Из навески массой 0,3130 г, состоящей из смеси сульфатов натрия и калия, получено 0,4668 г сульфата бария. Определите массовую долю сульфат-ионов в данной смеси.

30. Из навески массой 0,2120 г, состоящей из смеси сульфата и нитрата калия, получено 0,4204 г гексахлороплатината (IV) калия. Определите массовую долю калия в данной смеси.

31. Рассчитайте массовую долю алюминия в образце, если из навески массой 0,4593 г получено 0,1002 г оксида алюминия.

32. Рассчитайте массовую долю оксида хрома (III) в образце, если из навески массой 0,9521 г получено 0,3486 г хромата бария.

33. Рассчитайте массовую долю фосфора в образце, если из навески массой 0,4002 г получено 0,3575 г пиррофосфата магния $Mg_2P_2O_7$.

34. Рассчитайте массовую долю хлорида никеля в образце, если из навески массой 0,3456 г получено 0,2345 г диметилглиоксимата никеля $Ni(C_4H_7N_2O_2)_2$.

35. Вычислить число молекул воды в кристаллогидрате хлорида магния, если из навески его массой 0,5000 г. получается 0,2738 г $Mg_2P_2O_7$.

36. Вычислить массовую долю (%) Fe_3O_4 , если из навески руды массой 0,5000 г получили 0,3989 г Fe_2O_3 .

37. Вычислить массовую долю (%) FeO в образце технического железного купороса, если из навески массой 0,9200 г в результате анализа получили 0,2545 г Fe_2O_3 . Вычислить массовую долю (%) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ в исследуемом образце.

38. Из навески криолита массой 0,4525 г получили 0,0809 г Al_2O_3 . Вычислить массовую долю (%) Na_3AlF_6 в криолите.

39. Вычислить массовую долю (%) Co в сплаве, если из навески образца массой 0,2100 г после осаждения кобальта а-нитрозо-б-нафтолом получили прокаленный осадок Co_3O_4 массой 0,1012 г.

40. Из навески глины 0,5340 г. после соответствующей обработки получено 0,2345 г CaO . Рассчитать массовую долю $CaCO_3$ в глине.

41. Сколько процентов $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ содержит проба технического сульфата магния; если из его навески 0,4085 г. получено 0,1800 г. $Mg_2P_2O_7$?

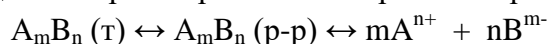
42. Вычислить массовую долю меди в образце руды, если из 0,4320 г. пробы получено 0,1985 г. $Cu(SCN)_2$.

3. Динамическое равновесие в гетерогенных системах.

Произведение растворимости

При осаждении или растворении веществ образуется гетерогенная система, состоящая из двух фаз – насыщенного раствора малорастворимого вещества и его осадка. Между раствором и осадком устанавливается динамическое равновесие, которое определяется двумя процессами – осаждением и растворением. Состояние равновесия системы – раствор – осадок описывают правилом произведения растворимости, которое применимо только к насыщенным растворам малорастворимых веществ.

Согласно закону действия масс, при установившемся равновесии в насыщенном водном растворе при данной температуре и давлении, произведение концентраций ионов, составляющих осадок, остается постоянным и называется произведением растворимости. В общем случае для малорастворимого электролита характерен следующий обратимый процесс:



Тогда:

$$ПР (A_mB_n) = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n = const$$

Осадок выпадает в том случае, если произведение концентраций ионов больше произведения растворимости:

$$[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n > ПР (A_mB_n)$$

Если $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n < ПР (A_mB_n)$, то осадок не выпадает; не выпадает осадок и в том случае, если эти величины равны. Зная величину произведения растворимости, можно рассчитать растворимость осадка по общей формуле:

$$P(A_mB_n) = \sqrt[m+n]{ПР(A_mB_n) / m^m n^n} \quad \text{моль} / \text{дм}^3$$

Растворимость осадка состава АВ вычисляют по уравнению:

$$P(AB) = \sqrt{PP(AB)} \quad \text{моль / дм}^3$$

Растворимость осадка состава A_2B или AB_2 рассчитывают по формуле

$$P(A_2B) = \sqrt{PP(A_2B) / 4} \quad \text{моль / дм}^3$$

Растворимость осадка уменьшается в присутствии электролита, содержащего небольшое количество одноименного иона. В присутствии постороннего электролита в растворе создается определенная ионная сила, способствующая увеличению растворимости осадка. Особенно это заметно, если $PP(A_mB_n) > 1 \cdot 10^{-10}$ или $P(A_mB_n) > 1 \cdot 10^{-5}$ г/л.

Пример 1. Вычислите произведение растворимости гидроксида магния в воде, если растворимость его в 1 л равна 0,020 г.

Решение. 1. Записываем выражение произведения растворимости $Mg(OH)_2$:

$$PP(Mg(OH)_2) = [Mg^{2+}] \cdot [OH^-]^2$$

2. Рассчитываем молярные концентрации ионов магния и гидроксид-ионов, исходя из растворимости $Mg(OH)_2$

$$C(Mg(OH)_2) = \frac{m}{M(Mg(OH)_2) \cdot V} = \frac{0,012}{58,34 \cdot 1} = 2,06 \cdot 10^{-4} \quad \text{моль/л}$$

При растворении $Mg(OH)_2 \leftrightarrow Mg^{2+} + 2OH^-$ из одной молекулы образуется один ион магния и два гидроксид-иона, следовательно, их концентрации равны:

$$[Mg^{2+}] = [Mg(OH)_2] = 2,06 \cdot 10^{-4} \quad \text{моль/л};$$

$$[OH^-] = 2 [Mg(OH)_2] = 2 \cdot 2,06 \cdot 10^{-4} = 4,12 \cdot 10^{-4} \quad \text{моль/л}.$$

1. Рассчитываем значение произведения растворимости:

$$PP(Mg(OH)_2) = [Mg^{2+}] [OH^-]^2 = 2,06 \cdot 10^{-4} (4,12 \cdot 10^{-4})^2 = 35 \cdot 10^{-12} = 3,5 \cdot 10^{-11}.$$

Пример 2. Вычислите растворимость $PbCl_2$ в г/л в воде, если $PP(PbCl_2) = 2,4 \cdot 10^{-4}$.

Решение. 1. Записываем процесс растворения малорастворимого электролита: $PbCl_2 \leftrightarrow Pb^{2+} + 2Cl^-$

2. Молярные концентрации соли и ионов обозначаем через x :

$$[PbCl] = x; \quad [Pb^{2+}] = x; \quad [Cl^-] = 2x; \quad x=P.$$

3. Подставляем молярные концентрации ионов в уравнение произведения растворимости:

$$PP_{PbCl_2} = [Pb^{2+}] \cdot [Cl^-]^2 = 2,4 \cdot 10^{-4} = x(2x)^2 = 4x^3;$$

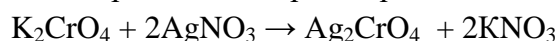
$$x = 3 \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^{-4}}{4}} = 3,9 \cdot 10^{-2} \quad \text{моль / дм}^3$$

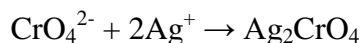
$M(PbCl_2) = 278,13$ г/моль; отсюда его растворимость (P) равна:

$$P(PbCl_2) = 3,9 \cdot 10^{-2} \cdot 278,13 = 10,86 \text{ г/л}.$$

Пример 3. Выпадет ли осадок хромата серебра, если смешать 30 мл раствора хромата калия $C(K_2CrO_4) = 0,003$ моль/л и 20 мл раствора нитрата серебра, $C(AgNO_3) = 0,0002$ моль/л, если $PP(Ag_2CrO_4) = 1 \cdot 10^{-12}$?

Решение. 1. Записываем уравнение химической реакции в ионно-молекулярном виде и выражение произведения растворимости:





$$\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$$

Чтобы ответить на вопрос задачи необходимо вычислить произведение концентраций ионов, образующих осадок, и сравнить его с величиной произведения растворимости.

Рассчитываем реальные концентрации ионов, которые уменьшались по сравнению с первоначальными в результате увеличения общего объема после смешивания растворов.

$$[\text{CrO}_4^{2-}] = [\text{K}_2\text{CrO}_4] = \frac{C(\text{K}_2\text{CrO}_4) \cdot V(\text{K}_2\text{CrO}_4)}{V(\text{K}_2\text{CrO}_4) + V(\text{AgNO}_3)}$$

$$[\text{CrO}_4^{2-}] = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{50} = 1,8 \cdot 10^{-3} \quad \text{моль} / \text{дм}^3$$

Аналогично вычисляем концентрацию ионов серебра:

$$[\text{Ag}^+] = [\text{AgNO}_3] = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 20}{50} = 8 \cdot 10^{-3} \quad \text{моль} / \text{дм}^3$$

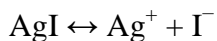
Рассчитываем произведение реальных концентраций ионов и сравниваем с величиной произведения растворимости:

$$[\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}] = (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 1,22 \cdot 10^{-11}$$

Ввиду того, что величина произведения концентраций ионов превышает произведение растворимости, $1,22 \cdot 10^{-11} > 1 \cdot 10^{-12}$, осадок хромата серебра выпадет.

Пример 4. В 1 л воды при 25°C растворяется $2,865 \cdot 10^{-6}$ г AgI. Вычислить произведение растворимости этой соли.

Решение. Равновесие в гетерогенной системе описывается уравнением:



тв.фаза насыщ.р-р

$$\text{ПР}_{\text{AgI}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{I}^-]$$

Вычисляем растворимость иодида серебра в молях на литр:

$$M(\text{AgI}) = 234,8 \text{ г/моль}$$

$$[\text{AgI}] = \frac{2,865 \cdot 10^{-6}}{234,8} = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

При диссоциации одного моль иодида серебра образуется по 1 моль ионов серебра и иодид-ионов. Следовательно, их концентрации равны:

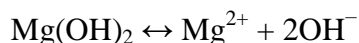
$$[\text{AgI}] = [\text{Ag}^+] = [\text{I}^-] = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

Подставим их значения в выражение произведения растворимости:

$$\text{ПР}_{\text{AgI}} = 1,22 \cdot 10^{-8} \cdot 1,22 \cdot 10^{-8} = 1,5 \cdot 10^{-16}$$

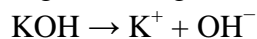
Пример 5. Выпадет ли осадок, если слить равные объемы растворов хлорида магния и гидроксида калия концентрация которых $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л?

Решение. Известно, что осадок начинает образовываться когда произведение концентраций ионов в растворе (ИП) достигнет величины произведения растворимости (ПР), т.е. при условии $\text{ИП} > \text{ПР}$. Если же $\text{ИП} < \text{ПР}$, то осадок не образуется. Поэтому следует найти ИП и сравнить его с ПР.



$$\text{ПР} = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 1,2 \cdot 10^{-11}$$

Хлорид магния и гидроксид калия – сильные электролиты. Поэтому концентрация ионов в растворе будет равна C_M . Однако, следует учесть то, что растворы при сливании разбавляются, по условию задачи – в два раза.



$$[\text{Mg}^{2+}] = 1 \cdot 10^{-4} / 2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$[\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-4} / 2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$\text{ИП} = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 5 \cdot 10^{-5} \cdot (5 \cdot 10^{-5})^2 = 1,25 \cdot 10^{-13}$$

$$1,25 \cdot 10^{-13} < 1,2 \cdot 10^{-11}, \text{ т.е. } \text{ИП} < \text{ПР}, \text{ осадок не образуется.}$$

Контрольные задания

43. Выпадет ли осадок бромида серебра, если смешать равные объемы растворов нитрата серебра и бромида калия, концентрации которых одинаковы, $C(\text{AgNO}_3) = C(\text{KBr}) = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л ?

44. Выпадет ли осадок карбоната кальция, если к 50 мл раствора хлорида кальция, $C(\text{CaCl}_2) = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л, добавить 100 мл раствора карбоната натрия, $C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л ?

45. Выпадет ли осадок хлорида ртути (I) Hg_2Cl_2 , если к 80 мл раствора нитрата ртути (I), $C(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2) = 1,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л, добавить 40 мл раствора хлорида натрия, $C(\text{NaCl}) = 2,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л?

46. Выпадет ли осадок хлорида свинца при сливании равных объемов 0,1 М растворов нитрата свинца и хлорида натрия?

47. Выпадет ли осадок хлорида серебра, если к 10 мл 0,01 М раствора нитрата серебра прибавить 10 мл 0,01 М раствор хлорида натрия?

48. Выпадет ли осадок гидроксида марганца (II) при сливании 5 мл 0,02 М раствора хлорида марганца (II) и 20 мл 0,005 М раствора гидроксида натрия?

49. Выпадет ли осадок при сливании равных объемов 0,001 М раствора нитрата железа (III) и 0,01 М гидроксида калия?

50. Выпадет ли осадок гидроксида марганца (II) при сливании 5 мл 0,02 М раствора хлорида марганца (II) и 20 мл 0,005 М раствора гидроксида натрия?

51. Образуется ли осадок гидроксида магния, если к 20 мл 0,20 М хлорида магния, прибавить 10 мл 2,0 М аммиака?

52. Может ли образоваться осадок $\text{Mg}(\text{OH})_2$, если смешать равные объемы 0,5 М MgCl_2 и 0,1 М раствора NH_4OH ?

53. Образуется ли осадок гидроксида марганца, если к 20 мл 0,20 М раствора хлорида марганца прилить 10 мл 1,0 М раствора NaOH ?

54. Выпадет ли осадок хромата серебра, если смешать 30,0 мл раствора хромата калия $c(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 0,0030$ моль/л и 20,0 мл раствора нитрата серебра, $c(\text{AgNO}_3) = 0,0002$ моль/л, если $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1 \cdot 10^{-12}$?

55. Будет ли выпадать осадок при сливании равных объемов 0,01 М растворов CaCl_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$?

56. Образуется ли осадок при смешении 20 мл $5,0 \cdot 10^{-3}$ М раствора KIO_3 и 5,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ М раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$?

57. Произведение растворимости $\text{Mg}(\text{OH})_2$ равно $1,2 \cdot 10^{-11}$. Выпадет ли осадок $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при действии на 0,2 н. раствор MgSO_4 равным объемом 0,2 н. раствора NH_4OH ?

58. Смешано 50 мл раствора AgNO_3 (концентрация 0,1 М) и 100 мл раствора NaCl (концентрация 0,5 М). Определите выпадет ли осадок?

4. Приготовление растворов заданной концентрации

Нормальность (C_N) раствора - число моль-эквивалентов вещества, содержащихся в 1 л раствора

$$C_N = \frac{m \cdot 1000}{V \cdot M_{\text{э}}},$$

где m - навеска вещества, г;

$M_{\text{э}}$ – молярная масса эквивалента;

n - число моль;

V - объем, мл.

Если $V=1\text{л}$, то $N \cdot V=a$

Молярность (C_M) – число моль растворенного вещества в 1л раствора

$$C_M = \frac{m \cdot 1000}{V \cdot M},$$

где M – молярная масса растворенного вещества. раствора

Формула для перехода от процентной концентрации (ω) к нормальной (C_N):

$$C_N = \frac{\omega \cdot 10 \cdot \rho}{M_{\text{э}}},$$

где ω – процентная концентрация;

$M_{\text{э}}$ – молярная масса эквивалента;

ρ – плотность, г/мл.

Формула для перехода от процентной концентрации к молярной (C_M):

$$C_M = \frac{\omega \cdot 10 \cdot \rho}{M},$$

где M – молярная масса.

Пример 1. Сколько граммов КОН необходимо взять для приготовления 1,5 л 0,02 н раствора?

Решение: $C_N = n / V = (m / M_{\text{э}}) / V \Leftrightarrow m = C_N \cdot M_{\text{э}} \cdot V$

(V – объем в литрах)

$M_{\text{э}}(\text{KOH}) = M/I = 56 \text{ г/ моль}$

$m(\text{KOH}) = 56,11 \cdot 0,02 \cdot 1,5 = 1,68 \text{ г}$

Пример 2. Сколько миллилитров 8 н раствора NaOH необходимо взять для приготовления 1 л 0,25 н раствора?

Решение: $C_N(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = V'(\text{NaOH}) \cdot C_N'(\text{NaOH})$

$V(\text{NaOH}) = C_N'(\text{NaOH}) \cdot V'(\text{NaOH}) / C_N(\text{NaOH})$

Контрольные задания

59. а) Сколько мл раствора фосфорной кислоты с $\omega = 96 \%$ и $\rho = 1,85 \text{ г/мл}$ необходимо взять для приготовления 1 л раствора с $C_N(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6 \text{ моль-экв/л}$?

б) Какую навеску гидроксида натрия, содержащего 5% примесей, необходимо взять для приготовления 0,5 л раствора с молярной концентрацией, равной 0,5 моль/л?

60. а) Какой объем раствора карбоната натрия с $\omega = 17,7 \%$ и $\rho = 1,19 \text{ г/мл}$ необходимо взять для приготовления 250 мл раствора с концентрацией $C_N(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \text{ моль-экв/л}$?

б) Сколько граммов щавелевой кислоты необходимо взять для приготовления 100 мл раствора с $C_N(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,2000 \text{ моль-экв/л}$?

61. а) Какой объем раствора уксусной кислоты с $\omega = 99 \%$ и $\rho = 1,05 \text{ г/мл}$ необходимо взять для приготовления 500 мл раствора с концентрацией $\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 9 \%$ и $\rho = 1,01$

г/мл?

б) Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 5 л раствора с концентрацией $C_H(\text{KMnO}_4)=0,03$ моль-экв/л?

62. а) Сколько граммов тетрабората натрия (буры) необходимо взять для приготовления 200 мл раствора с концентрацией $C_H(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)=0,1$ моль-экв/л?

б) Какой объем 25%-ного раствора аммиака ($\rho=0,9$ г/мл) нужно взять, чтобы приготовить 1 л раствора с концентрацией $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 1\%$ и $\rho = 0,99$ г/мл

63. Сколько граммов тиосульфата натрия необходимо взять для приготовления 3 л раствора с $C_M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,05$ моль/л?

б) Какой объем раствора уксусной кислоты с массовой долей, равной 40% и $\rho = 1,05$ г/мл нужно взять для приготовления 500 мл раствора с концентрацией $C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,5$ моль/л?

64. а) Сколько граммов нитрата ртути (I) необходимо взять для приготовления 5 л раствора с концентрацией $C(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2)= 0,02$ моль/л?

б) Какой объем раствора серной кислоты с массовой долей, равной 90% и плотностью, равной 1,813 г/мл, потребуется для приготовления 4 л раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4)= 0,02$ моль-экв/л?

65. а) Сколько граммов трилона Б (ЭДТА) необходимо взять для приготовления 4 л раствора с концентрацией $C_H(\text{ЭДТА})=0,1$ моль-экв/л?

б) Какой объем раствора азотной кислоты с $\omega = 63\%$ и $\rho = 1,38$ г/мл необходимо взять для приготовления 2 л раствора с концентрацией $C_H(\text{HNO}_3)=0,25$ моль-экв/л?

66. а) Какую навеску хлорида натрия, содержащего 5% влаги, необходимо взять для приготовления 1 л раствора с массовой долей, равной 10%? Плотность раствора принять равной единице.

б) Какой объем раствора иодоводородной кислоты с $\omega = 55\%$ и $\rho = 1,66$ г/мл необходимо взять для приготовления 200 мл раствора с концентрацией $C_H(\text{HI}) = 1$ моль-экв/л?

67. а) Какую навеску дихромата калия необходимо взять для приготовления 1 л раствора с $T(\text{K}_2\text{CrO}_7) = 0,002450$ г/мл?

б) Какой объем раствора серной кислоты с $\omega = 95,6\%$ и $\rho = 1,83$ г/мл необходимо взять для приготовления 1,5 л раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4)= 0,5$ моль-экв/л?

68. а) Сколько граммов сульфата магния необходимо взять для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента, равной 0,05 моль/л?

б) Сколько мл хлороводородной кислоты ($\omega = 24,25\%$ и $\rho = 1,12$ г/мл) нужно взять для приготовления 5 л раствора с концентрацией $C_H(\text{HCl})=0,01$ моль/л?

69. а) Какой объем 28,2% хлороводородной кислоты ($d=1,14$ г/мл) нужно взять для приготовления 1,00 л раствора с концентрацией $C(\text{HCl}) = 0,100$ моль/л?

б) Какую навеску гидроксида натрия необходимо взять для приготовления 0,7 л раствора с молярной концентрацией, равной 0,1 моль/л?

70. а) Какой объем раствора 12,1% гидроксида натрия ($\rho=1,110$ г/мл) нужно взять для приготовления 2,00 л раствора с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 0,100$ моль/л?

б) Сколько граммов щавелевой кислоты необходимо взять для приготовления 300 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента равной 0,5 моль-экв/л?

71. а) Какой объем раствора 46,3% серной кислоты ($\rho=1,360$ г/мл) нужно взять для приготовления 200 мл раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,10$ моль/л?

б) Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 100 мл рас-

твора с концентрацией $C_H(\text{KMnO}_4)=0,1$ моль-экв/л?

72. а) Какой объем раствора 8,89% гидроксида натрия ($\rho=1,080$ г/мл) нужно взять для приготовления 500 мл раствора с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 0,100$ моль/л?

б) Сколько граммов тетрабората натрия (буря) необходимо взять для приготовления 1 л раствора с концентрацией $C_H(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)=0,05$ моль-экв/л?

73. а) Какой объем раствора 62,0% серной кислоты ($\rho=1,520$ г/мл) нужно взять для приготовления 1,00 л раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,10$ моль/л?

б) Сколько граммов тиосульфата натрия необходимо взять для приготовления 400 мл раствора с концентрацией $C_M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,8$ моль/л?

74. а) Какой объем 25,5% азотной кислоты ($\rho=1,15$ г/мл) нужно взять для приготовления 500 мл раствора с концентрацией $C(\text{HNO}_3) = 0,100$ моль/л?

б) Сколько граммов нитрата ртути (I) необходимо взять для приготовления 350 мл раствора с концентрацией $C(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2)= 1$ моль/л?

75. а) Какой объем раствора 52,5% серной кислоты ($\rho=1,420$ г/мл) требуется для приготовления 2,00 л раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,10$ моль/л?

б) Сколько граммов трилона Б (ЭДТА) необходимо взять для приготовления 4 л раствора с концентрацией $C_H(\text{ЭДТА})=0,1$ моль-экв/л?

76. а) Какой объем раствора 60,2% серной кислоты ($\rho=1,50$ г/мл) нужно взять для приготовления 1,00 л раствора с концентрацией $C_H(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,00$ моль/л?

б) Какую навеску хлорида натрия, содержащего 7% влаги, необходимо взять для приготовления 1 л раствора с массовой долей, равной 30%? Плотность раствора принять равной единице.

77. а) Какой объем 32,9% азотной кислоты ($\rho=1,20$ г/мл) нужно взять для приготовления 1,00 л раствора с $C(\text{HNO}_3) = 1,00$ моль/л?

б) Какую навеску дихромата калия необходимо взять для приготовления 500 мл раствора с $T(\text{K}_2\text{CrO}_7) = 0,018264$ г/мл?

78. а) Какой объем 27,2% хлороводородной кислоты ($\rho=1,135$ г/мл) нужно взять для приготовления 0,50 л раствора с концентрацией $C(\text{HCl}) = 1,0$ моль/л?

б) Сколько граммов сульфата магния необходимо взять для приготовления 1 л раствора с молярной концентрацией, равной 0,05 моль/л?

5. Расчеты в титриметрических методах анализа.

Закон эквивалентов

Основное расчетное уравнение химического анализа

$$C_{\text{HA}} V_{\text{A}} = C_{\text{HB}} V_{\text{B}}$$

В момент эквивалентности химических реакций произведение нормальных концентраций на объемы растворов реагирующих веществ равны друг другу.

Титр – масса вещества (в граммах) содержащаяся в 1 мл данного раствора:

$$T = \frac{m}{V} = \frac{C_M \cdot M}{1000},$$

где Т- титр, г/мл.

Способы выполнения титриметрического анализа

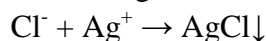
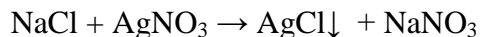
Существует три способа проведения титриметрического анализа: прямое титрование, титрование заместителя и обратное или титрование по остатку. При расчете результатов анализа необходимо учитывать как способ подготовки пробы, так и способ титрования.

1. Способ **прямого** титрования заключается в том, что к раствору определяемого вещества (ОВ) небольшими порциями добавляют до точки эквивалентности раствор рабочего

вещества (РВ). Выражение закона эквивалентов будет иметь вид.

$$\nu\left(\frac{1}{Z^*} OB\right) = \nu\left(\frac{1}{Z^*} PB\right)$$

Например, при определении содержания хлоридов раствор хлорида натрия (ОВ) титруют нитратом серебра (РВ) до точки эквивалентности. В основе анализа лежит химическая реакция:



Выражение закона эквивалентов записывают следующим образом:

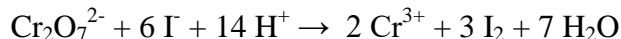
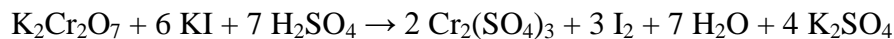
$$\nu\left(\frac{1}{Z^*} \text{NaCl}\right) = \nu\left(\frac{1}{Z^*} \text{AgNO}_3\right)$$

2. При **заместительном** титровании к определяемому веществу добавляют вспомогательный реагент, который, вступая в реакцию с определяемым веществом, образует эквивалентное количество нового вещества – заместителя. Выделившийся заместитель титруют рабочим веществом.

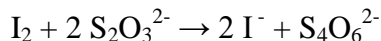
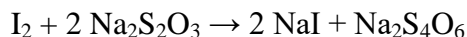
$$\nu\left(\frac{1}{Z^*} OB\right) = \nu\left(\frac{1}{Z^*} \text{Зам.}\right) = \nu\left(\frac{1}{Z^*} PB\right)$$

Другими словами, расчеты результатов анализа при заместительном титровании аналогичны расчетам при прямом титровании. Например, при йодометрическом определении содержания дихромата калия к раствору дихромата калия (ОВ) добавляют вспомогательный реагент – иодид калия. В результате реакции образуется эквивалентное количество заместителя – свободного иода (Зам.), который титруют рабочим веществом – тиосульфатом натрия.

В основе анализа методом заместительного титрования лежат две химические реакции. Первая реакция соответствует образованию заместителя определяемого вещества:



Вторая реакция соответствует титрованию заместителя рабочим раствором:



Уравнение закона эквивалентов при заместительном титровании записывают в следующем виде:

$$\nu\left(\frac{1}{6} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \nu\left(\frac{1}{2} \text{I}_2\right) = \nu\left(\frac{1}{1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\right) \quad \text{или}$$

$$\nu\left(\frac{1}{6} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \nu\left(\frac{1}{1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\right)$$

3. Способ **обратного** титрования заключается в том, что к раствору определяемого вещества добавляют точно измеренный объем первого рабочего вещества (раствора) (РВ₁), взятого в избытке.

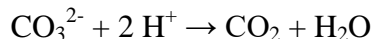
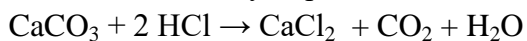
После химического взаимодействия между определяемым веществом и первым рабочим раствором остается избыток первого рабочего раствора, который оттитровывают вторым рабочим раствором (РВ₂). Выражение закона эквивалентов записывают следующим образом:

$$\nu\left(\frac{1}{Z^*} OB\right) = \nu\left(\frac{1}{Z^*} \text{РВ}_1\right) - \nu\left(\frac{1}{Z^*} \text{РВ}_2\right)$$

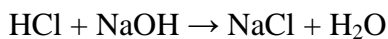
Например, при определении содержания карбоната кальция методом обратного титрования к навеске карбоната кальция добавляют заведомо избыточное количество хлороводородной кислоты (РВ₁). Одна часть хлороводородной кислоты вступает в химическую реакцию с карбонатом кальция (ОВ). А другая часть остается в растворе в избытке (остатке), который

титруют вторым рабочим раствором – гидроксидом натрия (РВ₂).

При обратном титровании протекают две химические реакции. Первая реакция отражает взаимодействие между определяемым веществом и первым рабочим раствором:



Вторая реакция отражает взаимодействие между избытком первого рабочего раствора и вторым рабочим раствором:



Закон эквивалентов, используемый для расчетов в данной задаче, будет выражен следующим образом:

$$\nu\left(\frac{1}{2} \text{CaCO}_3\right) = \nu\left(\frac{1}{1} \text{HCl}\right) - \nu\left(\frac{1}{1} \text{NaOH}\right)$$

Контрольные задания

79. Навеска кальцита 1,5780 г растворена в 50,00 мл соляной кислоты (Т=0,04000). По окончании реакции раствор переведен в мерную колбу на 500,0 мл и доведен до метки. На титрование 50,00 мл полученного раствора расходуется 23,45 мл раствора NaOH (Т=0,00400). Вычислить массовое содержание CaCO_3 в образце (в %).

80. Навеску фосфорной кислоты массой 0,1182 г растворили в воде и на ее титрование по фенолфталеину израсходовали 22,18 мл 0,1 М NaOH. Определить массовую долю (в %) фосфорной кислоты.

81. В мерной колбе емкостью 250 мл растворили 0,7112 г х.ч. оксалата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Какой объем перманганата калия, титр которого 0,001420 г/мл, пойдет на титрование 25,00 мл полученного раствора оксалата аммония? (Среда кислая).

82. Из 1,4500 г технического Na_2SO_3 приготовили 200,0 мл раствора. На титрование 20,00 мл его израсходовано 16,20 мл 0,0124 н раствора йода. Определите процентное содержание Na_2SO_3 в образце?

83. Навеску 2,5 г технического хлорида натрия растворили в 500 мл воды. На титрование 10 мл полученного раствора затратили 16,85 мл 0,0005 н раствора нитрата серебра. Каково процентное содержание хлорида натрия в образце?

84. В мерной колбе емкостью 250,0 мл растворена навеска 1,4425 г технического нитрита натрия. На титрование 20,00 мл этого раствора израсходовано 25,00 мл раствора KMnO_4 с титром 0,001520 г/мл. Определите процентное содержание NaNO_2 в образце.

85. Сколько процентов сульфата железа (II) содержит образец технического железного купороса, если навеска его 7,1500 г растворена в мерной колбе емкостью 250 мл и на титрование 25 мл этого раствора расходуется 24,48 мл 0,0986 N раствора KMnO_4 ?

86. Какова массовая доля железа в железной проволоке, если после растворения 0,1400 г проволоки в серной кислоте без доступа воздуха на титрование полученного раствора израсходовано 24,00 мл раствора перманганата калия, $C\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = 0,1000$ моль/л?

87. К 20,00 мл раствора сульфата меди (II) CuSO_4 прибавили иодид калия и хлороводородную кислоту. На титрование выделившегося йода израсходовано 15,99 мл раствора тиосульфата натрия, $C\left(\frac{1}{1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\right) = 0,0100$ моль/л. Сколько граммов сульфата меди содержится в 1 л раствора?

88. Определите массовую долю HNO_3 в концентрированной азотной кислоте, если после растворения 9,0000 г ее в мерной колбе вместимостью 1 л, на титрование 25,00 мл раство-

ра гидроксида натрия, $C(\frac{1}{1} NaOH) = 0,1035$ моль/л, израсходовано 24,99 мл полученного раствора HNO_3 .

89. Навеску влажного образца равную 0,5130 г, содержащую оксид железа (II) растворили в серной кислоте и оттитровали 20,00 мл раствора перманганата калия ($K = 1,1000$ к $C(\frac{1}{5} KMnO_4) = 0,1000$ моль/л). Вычислите массовую долю оксида железа в образце.

90. Чему равны нормальность и титр HNO_3 , если на титрование 20,00 мл его израсходовано 15 мл 0,1200 н. раствора $NaOH$?

91. Сколько граммов H_2SO_4 содержится в 5 л раствора, если на титрование 25,00 мл этого раствора израсходовано 22,50 мл 0,0950 н. раствора KOH ?

92. Чему равны нормальность и титр растворов KOH , если 26,00 мл его израсходовано на титрование навески 0,1560 г х.ч. (двухосновной) янтарной кислоты?

93. Сколько процентов $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ содержит данный препарат щавелевой кислоты, если на титрование навески 0,1500 г его, растворенной в произвольном объеме воды, израсходовано 25,60 мл 0,0900 н. раствора KOH ?

94. Определить массовую долю (%) алюминия в сплаве, если после растворения навески массой 0,6500 г его и удаления мешающих элементов объем раствора довели до 250,0 мл, к 20,00 мл этого раствора добавили Na_2Mg ЭДТА и оттитровали 15,18 мл 0,05023 М ЭДТА.

95. Рассчитайте содержание $NaCl$ (мг/мл) в рассоле, если на титрование 30,00 мл рассола потребовалось 15,60 мл 0,1000 М раствора $AgNO_3$.

96. Вычислить нормальность и титр раствора H_2SO_4 , если на титрование навески 50,00 мл раствора Na_2CO_3 , полученного растворением навески его 0,5000 г в мерной колбе емкостью 200 мл, с метиловым оранжевым расходуется 24,00 мл раствора H_2SO_4 .

97. Вычислить нормальность и титр раствора KOH , если на титрование навески 0,1495 г. $H_2C_4H_4O_2$, растворенной в произвольном объеме воды израсходовано 25,20 мл его.

98. Сколько процентов HNO_3 содержит концентрированная азотная кислота, если после растворения 9,7770 г в мерной колбе емкостью 1 л на титрование 25,00 мл 0,1040 н. раствора $NaOH$ израсходовано 25,45 мл полученного раствора HNO_3 ?

6. Жесткость воды

Жесткость воды делится на:

1) временную (карбонатную, устранимую) - определяется содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния. Устраняется при кипячении.

$$Ж_{вр} = m(Ca(OH)_2) / M_{Э} Ca(OH)_2 \cdot V$$

2) постоянную – определяется содержанием в воде сульфатов и хлоридов кальция и магния. Она определяется методом обратного титрования.

$$Ж_{пост} = m(Na_2CO_3) / M_{Э} (Na_2CO_3) \cdot V$$

Общая жесткость воды равна сумме временной и постоянной жесткости. Она выражается суммой миллиграмм-эквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 1 л воды (мг-экв./л). Один мг-экв. жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л Ca^{+2} или 12,16 мг/л Mg^{+2} .

$$Ж_{общ.} = m_1 / (Э_1 V) + m_2 / (Э_2 V) + m_3 / (Э_3 V) \dots$$

Пример 1. Определить временную жесткость воды, если на титрование 200,0 мл ее израсходовали 5,50 мл 0,1015 н. раствора HCl .

Решение: Временную жесткость определяем по формуле:

$$Ж_{вр.} = \frac{V_{HCl} \cdot C_{HCl} \cdot 1000}{V_{H_2O}} (\text{ммоль} - \text{экв} / \text{л})$$

$$Ж_{вр.} = \frac{5,50 \cdot 0,1015 \cdot 1000}{200} = 2,79 (\text{ммоль} - \text{экв} / \text{л}).$$

Пример 2. Для анализа взяли 100 мл воды. На титрование пошло 8,8 мл 0,048 н. раствора трилона Б. Определить общую жесткость воды.

Решение: $Ж_{об} = \frac{C_{H_{TP}} \cdot V_{TP}}{V(H_2O)} \cdot 1000$

$$Ж_{об} = \frac{8,8 \cdot 0,048 \cdot 1000}{100} = 4,22 (\text{ммоль} - \text{экв} / \text{л}).$$

Пример 3. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,25 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

Решение. Определяем эквивалентные массы солей, обуславливающих жесткость воды:

$$Ca(HCO_3)_2 M_{\text{Э}} = M / 2 = 162,11 / 2 = 81,05 \text{ г/моль}$$

$$Mg(HCO_3)_2 M_{\text{Э}} = M / 2 = 146,34 / 2 = 73,17 \text{ г/моль}$$

$$CaCl_2 M_{\text{Э}} = M / 2 = 110,99 / 2 = 55,49 \text{ г/моль}$$

$$MgCl_2 M_{\text{Э}} = M / 2 = 95,21 / 2 = 47,60 \text{ г/моль}$$

Общая жесткость воды равна сумме временной и постоянной жесткости и обуславливается содержанием в ней солей, придающих ей жесткость; она равна:

$$Ж_{\text{общ.}} = m_1 / (M_{\text{Э} 1} V) + m_2 / (M_{\text{Э} 2} V) + m_3 / (M_{\text{Э} 3} V) = 16,20 / (81,05 \times 0,25) + 2,92 / (73,17 \times 0,25) + 11,10 / (55,49 \times 0,25) + 9,50 / (47,60 \times 0,25) = 2,56 \text{ мг-экв./л}$$

Пример 4. Сколько граммов сульфата кальция содержится в 1 м³ воды, если ее жесткость, обусловленная присутствием этой соли, равна 4 мг-экв /л?

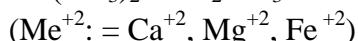
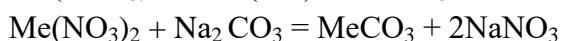
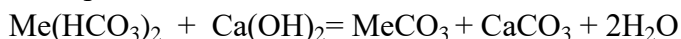
Решение: $M(CaSO_4) = 136,14 \text{ г/моль}; M_{\text{Э}} = 136,14 / 2 = 68,07 \text{ г/моль}.$

В 1 м³ воды жесткостью 4 мг-экв/л содержится

$$4 \times 1000 = 4000 \text{ мг-экв, или } 4000 \times 68,07 = 272280 \text{ мг} = 272,280 \text{ г } CaSO_4.$$

Пример 5. Определение временной и постоянной жесткости воды по количеству реагентов, необходимых для устранения жесткости. Для устранения общей жесткости по известково-содовому методу к 50 л воды добавлено 7,4 г Ca(OH)₂ и 5,3 г Na₂CO₃. Рассчитайте временную и постоянную жесткость воды.

Решение. Добавление к воде Ca(OH)₂ может устранить временную жесткость, а добавление Na₂CO₃ - постоянную. При добавлении этих реагентов к воде происходят следующие химические реакции:



$$Ж_{вр} = m(Ca(OH)_2) / M_{\text{Э}} Ca(OH)_2 \cdot V$$

$$Ж_{\text{пост}} = m(Na_2CO_3) / M_{\text{Э}} (Na_2CO_3) \cdot V$$

$$M_{\text{Э}} Ca(OH)_2 = M / 2 = 74,09 / 2 = 37,04 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{Э}} Na_2CO_3 = M / 2 = 106 / 2 = 53 \text{ г/моль}$$

$$Ж_{вр} = 7400 / (37,04 \times 50) = 4 \text{ мг-экв./л}$$

$$Ж_{\text{пост}} = 5300 / (53 \times 50) = 2 \text{ мг-экв /л}$$

$$Ж_{\text{общ}} = Ж_{вр} + Ж_{\text{пост}} = 4 + 2 = 6 \text{ мг-экв /л (вода средней жесткости).}$$

Контрольные задания

99. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,20 л воды содержится 15,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 10,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

100. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,30 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

101. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,25 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 3,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 8,50 мг хлорида магния.

102. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,20 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния

103. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,50 л воды содержится 18,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,00 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

104. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,35 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 10,10 мг хлорида кальция и 10,50 мг хлорида магния.

105. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,20 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 10,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

106. Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,15 л воды содержится 15,20 мг гидрокарбоната кальция, 3,92 мг гидрокарбоната магния, 12,10 мг хлорида кальция и 10,50 мг хлорида магния.

107. Определите жесткость воды, если к 50 мл воды добавлено 25,00 мл 0,0500 N раствора комплексона III и на титрование избытка его израсходовано 20,00 мл 0,0500 н раствора сульфата магния.

108. Чему равна карбонатная жесткость воды, если на титрование 100мл её израсходовано 5,00мл 0,0900 н раствора HCl.

109. Какую массу Na_3PO_4 надо прибавить к 500 л воды, чтобы устранить ее карбонатную жесткость, равную 5 ммоль/л?

110. Какую массу карбоната натрия надо прибавить к 400 л воды, чтобы устранить жесткость, равную 3 ммоль/л?

111. В 220 л воды содержится 11 г сульфата магния. Чему равна жесткость этой воды?

112. Жесткость воды, в которой растворен только гидрокарбонат кальция, равна 4 ммоль/л. Какой объем 0,1 н. раствора HCl потребуется для реакции с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 75 мл этой воды?

113. Вода, содержащая только гидрокарбонат магния, имеет жесткость 3,5 ммоль/л. Какая масса гидрокарбоната магния содержится в 200 л этой воды?

114. К 1м³ жесткой воды прибавили 132,5 г карбоната натрия. Насколько понизилась жесткость?

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

116. Какая масса CaSO_4 содержится в 200 л воды, если жесткость, обуславливаемая этой

солью, равна 8 ммоль/л?

117. Вода, содержащая только гидрокарбонат кальция, имеет жесткость 9 ммоль/л. Какая масса гидрокарбоната кальция содержится в 500 л воды?

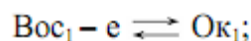
118. Какую массу карбоната натрия надо прибавить к 0,1 м³ воды, чтобы устранить жесткость, равную 4 ммоль/л?

7. Окислительно-восстановительные реакции.

В редоксометрии используются реакции окисления – восстановления, связанные с переходом электронов от одного иона (молекулы) к другому.

Окислитель – вещество, атомы которого принимают электроны, превращается в ионы с более низкой степенью окисления (процесс восстановления).

Восстановитель – вещество, атомы которого отдают электроны, превращается в ионы с более высокой степенью окисления (процесс окисления). Следует говорить не об отдельном окислителе или восстановителе, а об окислительно-восстановительных системах:



Для того чтобы в приведенных схемах реакция протекала слева направо, необходимо, чтобы Вос1 был более сильным восстановителем, чем образованная из Ок2 его сопряженная форма Вос2. Согласно всему сказанному Ок1/Вос1, Ок2/Вос2, являются соответственно окислительно-восстановительными системами.

Представить направление окислительно-восстановительной реакции можно, только зная количественную характеристику относительной силы окислительно-восстановительной системы. Такой характеристикой является величина окислительно-восстановительного потенциала.

Значение окислительно-восстановительного потенциала зависит от величины стандартного окислительно-восстановительного потенциала E° концентрации и реакции среды. Эта зависимость выражается уравнением Нернста:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ок}]}{[\text{Вос}]},$$

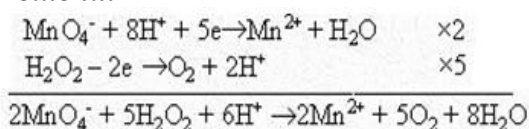
где E° – стандартный окислительно-восстановительный потенциал; R – газовая постоянная (8,313 Дж/(моль · К); T – абсолютная температура, К; F – число Фарадея (96 500 кулон/г-экв); n – число электронов (теряемых или получаемых).

Если подставить числовые значения констант и от натурального перейти к десятичному, то для комнатной температуры (20 °C) получим:

$$E = E^\circ + \frac{0,058}{n} \lg \frac{[\text{Ок}]}{[\text{Вос}]}.$$

Пример 1. Составить уравнение реакции между перманганат-ионом и пероксидом водорода в кислой среде электронно-ионным методом.

Решени.



Пример 2. Можно ли в кислой среде действием дихромата калия окислить: а) Fe^{2+} до Fe^{3+} ; б) Mn^{2+} до MnO_4^- ?

Решение. Для решения вопроса необходимо сравнить стандартные окислительно-восстановительные потенциалы окислительно-восстановительных систем. Более сильным окислителем будет окисленная форма той системы стандартный окислительно-восстановительный потенциал, которой больше.

$$E^0_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}} = 1,33\text{В}$$

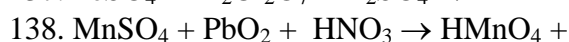
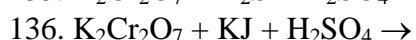
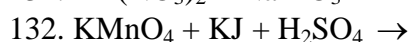
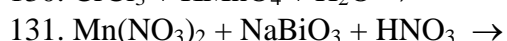
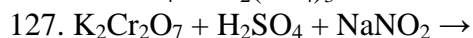
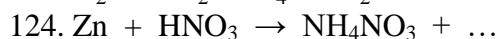
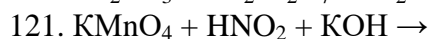
$$E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,77\text{В}$$

$$E^0_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = 1,51\text{В}$$

Потенциал системы $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$, больше, чем потенциал системы $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ и меньше, чем потенциал системы $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$, следовательно, Fe^{2+} можно окислить до Fe^{3+} действием дихромата калия, а Mn^{2+} до MnO_4^- не окисляется.

Контрольные задания.

Задание 1. Расставить коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методом полуреакций. Определить молярную массу эквивалента окислителя и восстановителя в реакциях:



Задание 2.

139. На окисление 25 мл 0,02 н раствора соли Мора требуется 40 мл раствора перманганата калия. Определите эквивалентную концентрацию и титр раствора перманганата калия.

140. Какой объем 0,02 н раствора перманганата калия требуется для окисления 0,1 моль-экв соли Мора? Составьте уравнение реакции, протекающей при данном случае титрования.

141. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов раствора перманганата калия и титр перманганата калия по железу, если на титрование навески 0,1228 г химически чистой щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ расходуется 30,0 мл раствора перманганата калия.

142. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов рабочего раствора перманганата калия и его титр, если на титрование 10 мл этого раствора израсходовано 9,5 мл 0,1514 н

раствора щавелевой кислоты.

143. Навеска 2,440 г технического сульфита натрия растворена в мерной колбе емкостью 250 мл. К 25 мл этого раствора добавили 50 мл 0,1 н раствора йода, избыток которого оттитровали 30 мл 0,1 н раствора тиосульфата натрия. Найдите массовую долю сульфита натрия в образце.

144. Определите молярную концентрацию эквивалентов раствора йода и его титр, если на титрование 23 мл йода пошло 10,67 мл 0,056 н раствора тиосульфата натрия.

145. Определите молярную концентрацию эквивалентов и титр раствора перманганата калия, если 38,5 г перманганата калия растворили в колбе и довели объем до 250 мл (среда кислая).

146. Какой объем 0,02 н раствора перманганата калия достаточен для окисления 0,112 г железа, содержащегося в соли Мора?

147. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов перекиси водорода, если на титрование 9,5 мл раствора израсходовано 15 мл 0,13 н раствора KMnO_4 . Составьте соответствующее уравнение реакции.

148. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов и титр перманганата калия, если на титрование 0,1 моль-экв раствора щавелевой кислоты израсходовано 15 мл раствора KMnO_4 . Составьте уравнение соответствующей реакции.

149. 2,5 г пероксида водорода разбавили водой до 200 мл. На титрование 5,0 мл полученного раствора в кислой среде пошло 20 мл 0,05 н. раствора калия перманганата. Какова массовая доля H_2O_2 в исходном концентрированном растворе?

150. На титрование 25 мл 0,05 н. раствора KMnO_4 в кислой среде пошло 10,2 мл раствора натрия нитрита. Вычислите массу натрия нитрита, содержащегося в 100 мл раствора.

151. Определить массовую долю олова (II) в бронзе, если на титрование раствора, полученного из 0,8245 г бронзы, израсходовано 12,75 мл 0,05 н раствора йода.

152. К 25,0 мл бромной воды прибавили избыток раствора иодида калия. На титрование выделившегося йода израсходовано 20,00 мл 0,1 н раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Определить содержание Br_2 в 1 литре бромной воды.

153. Вычислить содержание Cl_2 в 1 литре хлорной воды, если к 25,0 мл хлорной воды прибавили раствор иодида калия и на титрование выделившегося йода израсходовали 20,00 мл 0,05 н раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

154. Вычислить %-ное содержание воды в кристаллогидрате $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, если известно, что на титрование навески щавелевой кислоты массой 0,0342 г израсходовано 15,40 мл 0,035 н раствора KMnO_4 .

155. Навеску сплава растворили без доступа воздуха в серной кислоте. Образовавшуюся соль FeSO_4 оттитровали 13,40 мл раствора KBrO_3 с титром 0,002783 г/мл. Сколько граммов железа (II) содержалось в навеске сплава?

156. Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора KMnO_4 , если на титрование навески соли FeSO_4 массой 0,1000 г, содержащей 0,1% индифферентных примесей, израсходовано 14,50 мл раствора KMnO_4 . Титрование вели в сернокислой среде.

157. Определить %-ное содержание воды в кристаллогидрате соли Мора $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, если на титрование навески массой 0,4250 г затрачено 25,50 мл 0,05 н раствора KMnO_4 ?

158. Вычислить массовую долю (%) серы в стали, если сера из навески образца в 3,1640 г после соответствующей обработки превращена в H_2S , который окислили 5,0 мл 0,0352 н раствора I_2 , а избыток последнего оттитровали 3,84 мл 0,05 н раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Библиографический список

1. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. - 447 с.
2. Васильев А.М. Сборник задач по аналитической химии. – М.: ГосХимИздат, 1985, 275 с.
3. Курс аналитической химии [Текст] : учебник / И. К. Цитович. - Изд. 9-е, стер. - СПб. ; М.; Краснодар : Лань, 2007. - 495 с.
4. Практикум по аналитической химии и физико-химическим методам анализа [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. Н. Чернышенко, Э. И. Ярмухамедова, С. В. Сакаева ; Министерство сельского хозяйства РФ, Башкирский государственный аграрный университет. - Уфа : Башкирский ГАУ, 2017. - 132 с. - Библиогр.: с. 131 <http://biblio.bsau.ru/metodic/66970.pdf>
5. Коренман Я.И. Практикум по аналитической химии, Анализ пищевых продуктов [Текст]: учеб. пособие/ Я.И. Коренман, Р.П. Лисицкая.- Воронеж. гос.технол.акад.,2002.
6. Васильев, В.П. Аналитическая химия [Текст]: учебник для студ. вузов, обучающихся по химико-технологическим спец.: в 2 кн.: рек.М-вом образования РФ/В.П. Васильев.-7-е изд., стер.- М.: Дрофа, 2009 - .- (Высшее образование).- ISBN 978-5-358-06605-2.
Кн.2: Физико-химические методы анализа. - 2009.-201 с. - Библиогр.: с. 365.- Предм. указ.: с. 371-375.- ISBN 978-5-358

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Произведения растворимости (ПР) некоторых малорастворимых
электролитов при 25⁰С

Формула вещества	ПР	Формула вещества	ПР
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	Hg ₂ Cl ₂	$1,3 \cdot 10^{-18}$
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	Hg ₂ I ₂	$4,5 \cdot 10^{-29}$
Ag ₂ CrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-12}$	MgCO ₃	$2,1 \cdot 10^{-5}$
BaC ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-7}$	Mg(OH) ₂	$6,0 \cdot 10^{-10}$
BaSO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
CaCO ₃	$3,8 \cdot 10^{-9}$	PbI ₂	$1,1 \cdot 10^{-9}$
CaC ₂ O ₄	$2,3 \cdot 10^{-9}$	SrC ₂ O ₄	$1,6 \cdot 10^{-7}$