

**Министерство Здравоохранения Республики Молдова
Государственный Университет Медицины и Фармации
„Николае Тестемицану”**

Фармацевтический Факультет

Кафедра общей химии

Г. В. БУДУ, С. В. МЕЛЬНИК

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
В ЗАДАЧАХ И ТЕСТАХ**

**учебное пособие для студентов
фармацевтического факультета**

CHIȘINĂU – 2014

Учебник включает задачи и тесты, необходимые для обучения студентов основам качественного и количественного химического анализа и состоит из 13 разделов, которые содержат теоретические предпосылки, типовые задачи с алгоритмами решения, задачи для самостоятельного решения, а также тесты с одним и несколькими правильными ответами, способствующие глубокому изучению материала по аналитической химии.

Предназначен для студентов фармацевтического факультета, а также для других факультетов, где изучают курс аналитической химии.

ВВЕДЕНИЕ

Химический синтез и анализ, являются основами изготовления лекарственных веществ, поэтому при подготовке фармацевтов большое внимание уделяется теоретическому и практическому изучению аналитической химии. Одной из составных частей курса аналитической химии в высшей школе является решение задач и тестов, без которых нельзя обучить студента основам качественного и количественного химического анализа. Умение давать правильные ответы на вопросы и решать задачи служит свидетельством глубокого изучения материала.

Предлагаемый учебник «Аналитическая химия в задачах и тестах» состоит из двух глав: первая глава, состоящая из 9 разделов, включает теоретические основы и задачи по качественному химическому анализу, во второй главе - 4 раздела - приведены теория и задачи количественного химического анализа. Каждый раздел, за исключением первого, содержит теоретические предпосылки, типовые задачи, алгоритмы их решения, задачи для самостоятельного решения, а также тесты с одним и несколькими правильными ответами, способствующие глубокому изучению материала по аналитической химии.

Представленные в данной работе задачи (93 решенные задачи и 299 задач для самостоятельного решения) и тесты (240 тестов с одним и 246 тестов с несколькими правильными ответами) полностью соответствуют программе по аналитической химии для студентов фармацевтического факультета и имеют своей целью помочь студентам освоить теоретические основы химического анализа и приобрести навыки расчетов результатов анализа.

В приложении приведены ответы к тестам, некоторые расчетные формулы. Значения необходимых констант (K_a , K_b , ПР и др.) и сокращенный вариант таблицы логарифмов.

ГЛАВА I КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

1. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРОВ, СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НИМИ

$$\omega(A) = \frac{m(A) \cdot 100}{m(p - p.A)} \quad (1.1)$$

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(A)} = \frac{m(A)}{M(A) \cdot V(A)} = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{M(A)} \quad (1.2)$$

$$c(\frac{1}{z}A) = \frac{n(\frac{1}{z}A)}{V(A)} = \frac{m(A)}{M(\frac{1}{z}A) \cdot V(A)} = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{M(\frac{1}{z}A)} \quad (1.3)$$

$$c(\frac{1}{z}A) = \frac{c(A) \cdot M(A)}{M(\frac{1}{z}A)} = z \cdot c(A) \quad (1.4)$$

где:

A – растворенное вещество;

$\omega(A)$ – массовая доля компонента A в данном растворе;

$m(p - p.A)$ – масса раствора вещества A , г;

$V(A)$ – объем раствора вещества A , л;

$n(A)$ – количество вещества компонента A , моль;

$M(A)$ – молярная масса вещества A , г/моль;

$c(A)$ – молярная концентрация раствора вещества A , моль/л;

$n(\frac{1}{z}A)$ – количество вещества эквивалента вещества A , моль;

$M(\frac{1}{z}A)$ – молярная масса эквивалента вещества A , г/моль;

$c(\frac{1}{z}A)$ – молярная концентрация эквивалента вещества A , моль/л;

$\frac{1}{z}$ – фактор эквивалентности;

z – число эквивалентности;

ρ – плотность раствора, г/мл.

2. АКТИВНОСТЬ ИОНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ. ИОННАЯ СИЛА РАСТВОРОВ

Опыт показывает, что сильные электролиты не подчиняются закону действующих масс: их константы диссоциации не являются постоянными величинами при различных концентрациях, а определяемые степени диссоциации являются лишь кажущимися в том смысле, что они не отвечают действительным степеням распада соответствующих молекул на ионы.

Это явление объясняет теория сильных электролитов. Согласно этой теории сильные электролиты в водных растворах обычно полностью диссоциированы. В этом случае концентрация ионов в растворе сравнительно большая. Между противоположно заряженными ионами действуют электростатические силы притяжения. В результате каждый ион окружается «ионной атмосферой», состоящей из ионов противоположного заряда, что уменьшает его подвижность.

Межионные силы влияют на все свойства электролита. Они понижают активность ионов, и последние в реакциях проявляют себя так, будто их концентрация меньше действительной концентрации, определяемой аналитически.

Для учета этого влияния введен термин активность « a », называемый также эффективной концентрацией или активной концентрацией. *Активностью иона называется его концентрация, соответственно которой он действует в конкретной химической реакции.*

Активность и концентрация ионов связаны между собой уравнением:

$$a = f \cdot c, \quad (2.1)$$

где: f – коэффициент активности иона;

a – активность иона (его эффективная концентрация), концентрация иона согласно которой он проявляет себя в растворе.

Коэффициент активности определяется опытным путем, как правило, он меньше 1. Если $f \leq 1$, то действия ионов стеснены и $a \leq c$. Если же $f = 1$, то движения ионов не стеснены и $a = c$. Это имеет место в сильно разбавленных растворах сильных электролитов.

Коэффициент активности данного иона определяется *ионной силой раствора*. Ионная сила раствора (I) равна полусумме произведений молярных концентраций (c) всех присутствующих ионов на квадраты их зарядов (z):

$$I = \frac{1}{2}(c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + \dots + c_n z_n^2), \quad (2.2)$$

Значения “ f ” в очень разбавленных растворах рассчитывают с помощью формулы, выведенной Дебаем и Хюккелем:

$$\lg f = -0,5z^2 \sqrt{I} \quad (2.3)$$

Для растворов, в которых $I > 0,01$, значение “ f ” ионов рассчитывают с помощью более сложных формул.

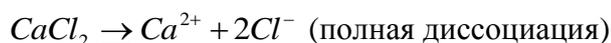
Ионная сила раствора характеризует интенсивность электрического поля ионов в растворе. С увеличением ионной силы раствора величина коэффициентов активности ионов уменьшается. Разбавленные растворы с одинаковой ионной силой имеют одинаковый коэффициент активности данного иона. На практике обычно применяют средние значения коэффициентов активностей, которые для ионов разных зарядов приведены в справочниках по аналитической химии. Сокращенный вариант этой таблицы включен в приложение 1.

Для того чтобы рассчитать активность иона в растворе, в начале определяют ионную силу (формула 2.2), затем находят коэффициент активности в соответствующей таблице (приложение 1) или рассчитывают по формуле 2.3, а затем применяют формулу 2.1.

Примеры решения задач

Пример 1: Рассчитать активность ионов кальция в растворе хлорида кальция с $c(\text{CaCl}_2) = 0,01$ моль/л.

Решение:



Таким образом, в растворе присутствуют ионы Ca^{2+} и Cl^- .

$$c_1 = c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{CaCl}_2);$$

$$c_2 = c(\text{Cl}^-) = 2 \cdot c(\text{CaCl}_2) = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ моль / л.}$$

$$I = \frac{1}{2}(c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2) = \frac{1}{2}(0,01 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 1^2) = 0,03$$

В таблице (приложение 1) находим среднее значение коэффициента активности для двухвалентного иона при ионной силе $I = 0,025$ (самая близкая величина к рассчитанной), а именно $f = 0,555$.

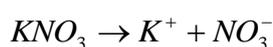
Из выражения 2.1 получим:

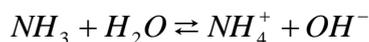
$$a(\text{Ca}^{2+}) = f \cdot c = 0,555 \cdot 0,01 = 0,00555 \text{ моль / л}$$

Пример 2: В 1 литре раствора содержится 1,7 г NH_3 и 1,011 г KNO_3 . Рассчитать $a(\text{K}^+)$.

Решение:

Нитрат калия полностью распадается на ионы, тогда как аммиак очень незначительно:





Таким образом, раствор практически содержит только ионы: K^+ и NO_3^-

$$c(K^+) = c(NO_3^-) = c(KNO_3) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{1,011}{101,1 \cdot 1} = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$I = \frac{1}{2}(c(K^+) \cdot z_{K^+}^2 + c(NO_3^-) \cdot z_{NO_3^-}^2) = \frac{1}{2}(0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 1^2) = 0,01$$

В таблице находим значение коэффициента активности для одновалентного иона при этой ионной силе - 0,899.

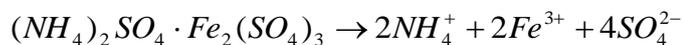
Для таких разбавленных растворов “ f ” можно вычислить также и по формуле 2.3. Получим аналогичный результат 0,899.

$$a(K^+) = f \cdot c = 0,899 \cdot 0,01 = 0,0089 \text{ моль/л}$$

Пример 3: Вычислить активность ионов в растворе, содержащем в 1 литре 0,001 моль $(NH_4)_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3$.

Решение:

Данное вещество представляет собой соль, которая полностью диссоциирует в растворе, образуя три типа ионов:



$$c_1 = c(NH_4^+) = 2 \cdot c(\text{соль}) = 2 \cdot 0,001 = 0,002 \text{ моль/л}; \quad z_1 = 1$$

$$c_2 = c(Fe^{3+}) = 2 \cdot c(\text{соль}) = 0,002 \text{ моль/л}; \quad z_2 = 3$$

$$c_3 = c(SO_4^{2-}) = 4 \cdot c(\text{соль}) = 4 \cdot 0,001 = 0,004 \text{ моль/л}; \quad z_3 = 2$$

$$I = \frac{1}{2}(c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + c_3 z_3^2) = \frac{1}{2}(0,002 \cdot 1^2 + 0,002 \cdot 3^2 + 0,004 \cdot 2^2) = 0,018$$

В таблице (приложение 1) находим для $I = 0,025$ (самое близкое значение ионной силы к рассчитанной):

$$f_{NH_4^+} = 0,85; \quad f_{SO_4^{2-}} = 0,555; \quad f_{Fe^{3+}} = 0,325;$$

$$a(NH_4^+) = f \cdot c = 0,85 \cdot 0,002 = 0,00170 \text{ моль/л};$$

$$a(\text{SO}_4^{2-}) = f \cdot c = 0,555 \cdot 0,004 = 0,00222 \text{ моль/л};$$

$$a(\text{Fe}^{3+}) = f \cdot c = 0,325 \cdot 0,002 = 0,000650 \text{ моль/л};$$

Пример 4: В 100 мл раствора содержится 0,119 г KBr и 0,111 г CaCl_2 . Рассчитать $a(\text{Br}^-)$ в этом растворе.

Решение:

В результате полной ионизации данных солей, раствор содержит ионы: K^+ , Br^- , Ca^{2+} и Cl^- .

$$c(\text{KBr}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,119}{119 \cdot 0,1} = 0,01 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{CaCl}_2) = \frac{0,111}{111 \cdot 0,1} = 0,01 \text{ моль/л}.$$

$$c_1 = c(\text{K}^+) = c(\text{KBr}) = 0,01 \text{ моль/л}; \quad z_1 = 1$$

$$c_2 = c(\text{Br}^-) = c(\text{KBr}) = 0,01 \text{ моль/л}; \quad z_2 = 1$$

$$c_3 = c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{CaCl}_2) = 0,01 \text{ моль/л}; \quad z_3 = 2$$

$$c_4 = c(\text{Cl}^-) = 2 \cdot c(\text{CaCl}_2) = 0,02 \text{ моль/л}; \quad z_4 = 1$$

$$I = \frac{1}{2} (c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + c_3 z_3^2 + c_4 z_4^2) = \frac{1}{2} (0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 1^2) = 0,04$$

В таблице (приложение 1) находим для $I = 0,05$ (самое близкое значение ионной силы к рассчитанной): $f_{\text{Br}^-} = 0,84$. Тогда $a(\text{Br}^-) = f \cdot c = 0,84 \cdot 0,01 = 0,0084 \text{ моль/л}$.

Пример 5: Вычислить ионную силу раствора сульфата натрия, если молярная концентрация эквивалента сульфата натрия равна 0,10 моль/л.

Решение:

Вычислим молярную концентрацию данного раствора, используя формулу 1.4.

$$c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4)}{2} = \frac{0,10}{2} = 0,05 \text{ моль/л};$$

$$c_1 = c(\text{Na}^+) = 2 \cdot c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ моль/л}; \quad z_1 = 1$$

$$c_2 = c(\text{SO}_4^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,05 \text{ моль/л}; \quad z_2 = 2$$

$$I = \frac{1}{2}(c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2) = \frac{1}{2}(0,10 \cdot 1^2 + 0,05 \cdot 2^2) = 0,15$$

Задачи для самостоятельного решения:

2-1. Вычислить ионную силу раствора хлорида кальция с молярной концентрацией 0,05 моль/л.

Ответ: 0,15.

2-2. В 500 мл раствора содержится 0,073 г Cl_2 и 0,119 г KBr . Вычислить ионную силу этого раствора.

Ответ: 0,002.

2-3. Вычислить активность ионов натрия в растворе хлорида натрия с молярной концентрацией 0,01 моль/л.

Ответ: 0,00899.

2-4. Вычислить активность ионов кальция в растворе нитрата кальция с молярной концентрацией равной 0,002 моль/л.

Ответ: 0,001488 моль/л.

2-5. В 1 литре раствора содержится 0,01 моль K_2SO_4 и 0,01 моль $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Вычислить ионную силу этого раствора.

Ответ: 0,18.

2-6. Вычислить активность ионов железа(II) в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ с молярной концентрацией 0,002 моль/л.

Ответ: 0,00134 моль/л

2-7. В 100 мл раствора содержится 0,164 г нитрата кальция. Вычислить активность нитрат - анионов.

Ответ: 0,0170 моль/л.

2-8. Рассчитать активность сульфат - анионов в растворе сульфата магния с молярной концентрацией эквивалента равной 0,02 моль/л.

Ответ: 0,0050 моль/л.

2-9. В 1 литре раствора содержится 1,4 г KOH и 0,01 моль Ba(OH)₂. Рассчитать активность OH⁻ - анионов.

Ответ: 0,0378 моль/л.

2-10. Смешали равные объемы растворов (NH₄)₂SO₄, NH₄Cl и NH₃ с одинаковой молярной концентрацией равной 0,06 моль/л. Рассчитать ионную силу этого раствора.

Ответ: 0,08.

2-11. В 1 литре раствора содержится 0,02 моль K₂SO₄ и 0,01 моль KCl. Рассчитать активность сульфат - анионов.

Ответ: 0,01 моль/л.

2-12. В 500 мл раствора содержится 0,22 г CO₂ и 1,06 г Na₂CO₃. Рассчитать ионную силу этого раствора.

Ответ: 0,06.

3. РАВНОВЕСИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ

В любом водном растворе произведение концентраций ионов водорода и гидроксид ионов является постоянной величиной, называемой *ионным произведением* воды. Эта константа обозначается K_w и при 22⁰C имеет численное значение 10^{-14} . Её можно получить применив закон действующих масс к процессу диссоциации (автопротолиза) воды.

$$c(H^+) \cdot c(OH^-) = K_w = 10^{-14} \quad (3.1)$$

При логарифмировании этого выражения со знаком минус, получим:

$$-\lg c(H^+) - \lg c(OH^-) = -\lg K_w = 14 \text{ или}$$

$$pH + pOH = pK_w = 14 \quad (3.2)$$

Десятичный логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, называется *водородным показателем* и обозначается pH . Аналогично концентрацию OH^- -ионов можно выразить через показатель гидроксид ионов pOH . Понятие pH удобно применять для характеристики среды (кислотности либо основности) растворов:

В нейтральной среде: $c(H^+) = c(OH^-) = 10^{-7}$ моль/л; $pH = pOH = 7$;

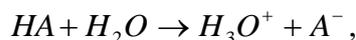
В кислой среде: $c(H^+) > 10^{-7}$, $pH < 7$, $c(OH^-) < 10^{-7}$, $pOH > 7$;

В щелочной среде: $c(H^+) < 10^{-7}$, $pH > 7$, $c(OH^-) > 10^{-7}$, $pOH < 7$

Для характеристики среды любого водного раствора достаточно знать значение $c(H^+)$ или pH , поэтому в практике химического анализа часто вычисляют эти величины для анализируемого раствора. В зависимости от природы кислот и оснований в исследуемом растворе, используют различные способы вычисления $c(H^+)$ и pH .

3.1 Расчет $c(H^+)$ и pH водных растворов сильных кислот и оснований

Запишем уравнение реакции полной диссоциации сильной одноосновной кислоты HA .



или в сокращенной форме:



Считая, что коэффициент активности примерно равен единице, можно записать:

$$a(H^+) \cong c(H^+) = c(HA) \text{ и } pH = -\lg c(H^+) = -\lg c(HA) \quad (3.3)$$

Аналогично для сильных одноокислотных оснований $MeOH$:

$$a(OH^-) \cong c(OH^-) = c(MeOH) \text{ и } pOH = -\lg c(OH^-) = -\lg c(MeOH) \quad (3.4)$$

$pH = 14 - pOH$ (см. выражение 3.2).

Примеры решения задач

Пример 1: Вычислите pH раствора хлороводородной кислоты с $c(HCl) = 0,01$ моль/л.

Решение:

$$c(H^+) = c(HCl) = 0,01 \text{ моль/л}; \quad pH = -\lg c(H^+) = -\lg 0,01 = 2$$

Пример 2: Вычислите pH 0,001 молярного раствора гидроксида калия.

Решение:

$$c(\text{OH}^-) = c(\text{KOH}) = 0,001 \text{ моль/л}; \quad p\text{OH} = -\lg c(\text{OH}^-) = 3;$$

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH} = 14 - 3 = 11.$$

Для более точных расчетов необходимо учитывать и коэффициенты активности. В этом случае $p\text{H}$ и $p\text{OH}$ обозначаются следующим образом: $p_a\text{H}$ и $p_a\text{OH}$.

Пример 3: Вычислите $p_a\text{H}$ 0,01 молярного раствора хлороводородной кислоты.

Решение:

$$a(\text{H}^+) = f \cdot c(\text{H}^+) = f \cdot c(\text{HCl}); \quad p_a\text{H} = -\lg a(\text{H}^+)$$

Уравнение полной диссоциации: $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$

Вычислим ионную силу раствора, зная, что в растворе присутствуют ионы H^+ и Cl^- :

$$c(\text{H}^+) = c(\text{Cl}^-) = 0,01 \text{ моль/л};$$

$$I = \frac{1}{2}(c(\text{H}^+) \cdot z^2 + c(\text{Cl}^-) \cdot z^2) = \frac{1}{2}(0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 1^2) = 0,01.$$

В таблице (приложение 1) находим для одновалентных ионов: $f = 0,899$. Таким образом, $a(\text{H}^+) = 0,899 \cdot 0,01 = 0,00899$; $p_a\text{H} = -\lg a(\text{H}^+) = -\lg 0,00899 = 2,05$ (сравните с результатом, полученным в примере 1).

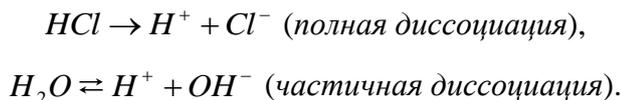
Аналогичным образом вычисляют $p_a\text{OH}$ для растворов сильных оснований, а затем $p_a\text{H} = 14 - p_a\text{OH}$.

Такой способ расчета $p\text{H}$ применяют только в случае, когда в анализируемом растворе отсутствуют другие источники ионов водорода или когда ими можно пренебречь. Например, для водных растворов сильных кислот и оснований с $c \geq 10^{-4}$ моль/л, ионами H^+ , полученными при диссоциации воды, можно пренебречь. Тогда как для более разбавленных растворов необходимо учитывать и диссоциацию воды. Вычисление $p\text{H}$ в таких случаях осуществляется с помощью уравнения электронейтральности. Условие электронейтральности предполагает равенство числа положительных и отрицательных зарядов в единице объема.

Пример 4: Вычислить $p\text{H}$ раствора хлороводородной кислоты, если молярная концентрация хлороводорода равна 10^{-8} моль/л.

Решение:

В растворе происходят следующие реакции:



Уравнение электронейтральности: $c(H^+) = c(Cl^-) + c(OH^-)$, где $c(H^+)$ – суммарная концентрация ионов водорода (полученных в обоих процессах диссоциации);

$$c(Cl^-) = c(HCl), \text{ тогда } c(OH^-) = c(H^+) - c(Cl^-) = c(H^+) - c(HCl).$$

Уравнение ионного произведения воды:

$$K_w = c(H^+) \cdot c(OH^-) = c(H^+) \cdot (c(H^+) - c(HCl))$$

$$\text{или } c^2(H^+) - c(HCl) \cdot c(H^+) - K_w = 0.$$

$$c^2(H^+) - 10^{-8} \cdot c(H^+) - 10^{-14} = 0$$

Решив это квадратное уравнение (см. приложение 2) получим:

$$c(H^+) = \frac{10^{-8} \pm \sqrt{10^{-16} + 4 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1,05 \cdot 10^{-7} \text{ моль / л;}$$

$$pH = -\lg(1,05 \cdot 10^{-7}) = 6,98.$$

Без учета диссоциации воды мы бы получили абсурдный результат $pH = 8,00$.

Для сильных двухосновных кислот и сильных двухкислотных оснований: $c(H^+) \cong 2 \cdot c(H_2A)$ и $c(OH^-) \cong 2 \cdot c(Me(OH)_2)$.

Для более точных расчетов при вычислении $c(H^+)$ или концентрации других ионов в растворе сильных многоосновных кислот и сильных многокислотных оснований, учитывается наличие нескольких ступеней диссоциации, а также то, что только по первой ступени вещество полностью диссоциирует.

Пример 5: Вычислить pH раствора серной кислоты, если молярная концентрация эквивалента серной кислоты равна 0,02 моль/л.

Решение:

В начале вычислим молярную концентрацию серной кислоты (см. формулу 1.4):

$$c(H_2SO_4) = c(\frac{1}{2} H_2SO_4) / 2 = 0,02 / 2 = 0,01 \text{ моль / л}$$

$$c(H^+) \cong 2 \cdot c(H_2SO_4) \cong 2 \cdot 0,01 \cong 0,02 \text{ моль / л; } pH \cong -\lg 0,02 \cong 1,70$$

Для более точного вычисления $c(H^+)$, запишем уравнения диссоциации:



$$K_a^{HSO_4^-} = \frac{c(H^+)c(SO_4^{2-})}{c'(HSO_4^-)} - \text{константа диссоциации аниона } HSO_4^-.$$

В таблице (приложение 3) находим значение $K_a^{HSO_4^-} = 0,0115$.

Из первого уравнения диссоциации серной кислоты получим: $c_1(H^+) = c(HSO_4^-) = c(H_2SO_4) = 0,01$
 $x = c_2(H^+)$ – концентрация ионов водорода, которая образуется в результате неполной диссоциации ионов HSO_4^- .

$$c'(HSO_4^-) = c(HSO_4^-) - c_2(H^+) = c(H_2SO_4) - x = 0,01 - x$$

$$c(SO_4^{2-}) = c_2(H^+) = x;$$

$$c(H^+) = c_1(H^+) + c_2(H^+) = c(H_2SO_4) + x = 0,01 + x$$

Подставив эти значения в выражение для $K_a^{HSO_4^-}$, получим:

$$0,0115 = \frac{(0,01 + x)x}{0,01 - x}; \quad x^2 + 0,0215x - 1,15 \cdot 10^{-4} = 0$$

Решаем это квадратное уравнение (см. приложение 2):

$$x = \frac{-0,0215 + \sqrt{0,0215^2 + 4 \cdot 1,15 \cdot 10^{-4}}}{2} = 4,4 \cdot 10^{-3} = c_2(H^+)$$

$$c(H^+) = 0,01 + 0,0044 = 0,0144 \text{ моль/л}; \quad pH = -\lg 0,0144 = 1,84.$$

Пример 6: Вычислить pH раствора гидроксида лития, если $\omega(LiOH) = 0,15\%$ (плотность раствора равна 1).

Решение:

Вычислим молярную концентрацию раствора $LiOH$ (см. формулу 1.2).

$$c(LiOH) = \frac{\omega(LiOH) \cdot 10 \cdot \rho}{M(LiOH)} = \frac{0,015 \cdot 10 \cdot 1}{24} = 0,0625 \text{ моль/л};$$

$$c(OH^-) = c(LiOH) = 0,0625 \text{ моль/л};$$

$$pOH = -\lg c(OH^-) = -\lg 0,0625 = 1,20;$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 1,2 = 12,8.$$

Задачи для самостоятельного решения

3-1. Вычислить pH и p_aH 0,025 молярного раствора гидроксида натрия.

$$\text{Ответ: } pH = 12,40; \quad p_aH = 12,33.$$

3-2. pH данного водного раствора равен 5,30. Рассчитать $c(H^+)$.

$$\text{Ответ: } 5,01 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

3-3. Вычислить pH раствора, содержащего 7,3 г/л HCl .

$$\text{Ответ: } 0,70.$$

3-4. В 100 мл раствора, содержится 0,074 г $Ca(OH)_2$. Рассчитать $c(OH^-)$, $c(H^+)$, $c(CaOH^+)$ и pH данного раствора.

$$\text{Ответ: } c(OH^-) = 0,017 \text{ моль/л; } c(H^+) = 5,88 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л;}$$

$$c(CaOH^+) = 0,003 \text{ моль/л; } pH = 12,23.$$

3-5. Рассчитать pH раствора гидроксида бария с молярной концентрацией эквивалента равной 0,01 моль/л.

$$\text{Ответ: } pH \cong 12.$$

3-6. В 500 мл раствора содержится 6,30 г HNO_3 . Вычислить pH и p_aH этого раствора.

$$\text{Ответ: } pH = 0,70; \quad p_aH = 0,80.$$

3-7. В двух литрах серной кислоты содержится 39,2 г H_2SO_4 . Вычислить $c(H^+)$, $c(HSO_4^-)$ и $c(SO_4^{2-})$ в этом растворе.

$$\text{Ответ: } c(H^+) = 0,2102 \text{ моль/л; } c(HSO_4^-) = 0,1898 \text{ моль/л; } c(SO_4^{2-}) = 0,0102 \text{ моль/л.}$$

3-8. В одном литре водного раствора азотной кислоты содержится 10^{-9} моль HNO_3 . Вычислить pH этого раствора.

$$\text{Ответ: } pH = 7,00.$$

3-9. Вычислить $a(H^+)$ в 0,1 молярном растворе HCl .

$$\text{Ответ: } 0,081 \text{ моль/л.}$$

3-10. В 500 мл раствора содержится 2,8 г KOH . Вычислить pH и p_aH этого раствора.

$$\text{Ответ: } pH = 13,00; \quad p_aH = 12,91.$$

3-11. Вычислить pH раствора HCl , если $\omega(HCl) = 0,1\%$ (плотность раствора равна 1 г/мл).

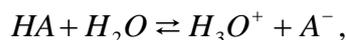
Ответ: $pH = 1,56$.

3-12. К 1750 мл воды добавили 2 г 5% раствора HCl . Вычислить pH этого раствора.

Ответ: $pH = 2,80$.

3.2. Расчет $c(H^+)$ и pH водных растворов слабых кислот и слабых оснований

Слабые кислоты и слабые основания диссоциируют в водных растворах только частично. В водном растворе одноосновной кислоты HA существует следующее равновесие:



или в сокращенной форме: $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$.

Для этого процесса запишем выражение для константы диссоциации (константы кислотности):

$$K_a = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)} = \frac{c^2(H^+)}{c_0(HA) - c(H^+)} \quad (3.5)$$

$$\text{или } c^2(H^+) + K_a \cdot c(H^+) - K_a \cdot c_0(HA) = 0, \quad (3.6)$$

где, c и $c_0(HA)$ соответственно равновесная и начальная концентрации кислоты HA .

Решаем квадратное уравнение 3.6:

$$c(H^+) = \frac{-K_a + \sqrt{K_a^2 + 4K_a c_0(HA)}}{2} \quad (3.7)$$

Если $c(H^+) \ll c_0(HA)$, тогда $c_0(HA) - c(H^+) \cong c_0(HA)$ и решение уравнения 3.5 упрощается:

$$c(H^+) = c(A^-) \cong \sqrt{K_a c_0(HA)} \quad (3.8)$$

или в логарифмической форме:

$$-\lg c(H^+) = pH = \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} \lg c_0(HA) \quad (3.9)$$

Формулы 3.8 и 3.9 применяют только тогда, когда выполняется условие $\alpha \leq 0,05$ (т.е. $\leq 5\%$) или когда $c_0(HA) / K_a \geq 400$.

Пусть вычисление $c(H^+)$ допустимо с ошибкой в 5% (или меньше). Тогда $c(H^+) \leq 0,05 \cdot c_0(HA)$ и после введения этого выражения в формулу 3.5 получим: $c_0(HA) / K_a \geq 400$. Следовательно, если концентрация слабой кислоты по меньшей мере в 400 раз больше, чем константа диссоциации, тогда $c_0(HA) - c(H^+) \cong c_0(HA)$ и выражение 3.5 упрощается до формулы 3.8, а ошибка, в этом случае, будет составлять не более 5%.

Для кислот с $\alpha \geq 0,05$ или $c_0(HA) / K_a \leq 400$, $c(H^+)$ вычисляется, используя выражение 3.7.

Концентрация ионов водорода может быть вычислена и по методу последовательных приближений:

$$c(H^+) = \sqrt{K_a(c_0(HA) - c^I(H^+))} \quad (3.10)$$

Выражение 3.10 получается из 3.5. Значение $c^I(H^+)$ в первом приближении определяется по формуле 3.8, затем вычисляется $c(H^+)$ по 3.10.

Для получения более точного результата необходимо сделать несколько приближений (чаще всего достаточно два).

Аналогичным образом выводим формулу для вычисления концентрации ионов OH^- и pOH в водном растворе слабых одноосновных оснований B .



$$K_b = \frac{c(OH^-) \cdot c(BH^+)}{c(B)} = \frac{c^2(OH^-)}{c_0(B) - c(OH^-)}, \quad (3.11)$$

где, K_b - константа диссоциации основания B (константа основности).

$$c^2(OH^-) + K_b \cdot c(OH^-) - K_b \cdot c_0(B) = 0 \quad (3.12)$$

$$c(OH^-) = \frac{-K_b + \sqrt{K_b^2 + 4K_b c_0(B)}}{2} \quad (3.13)$$

Если $c(OH^-) \ll c_0(B)$, тогда $c_0(B) - c(OH^-) \cong c_0(B)$ и выражение 3.11 примет упрощенный вид:

$$K_b \cong c^2(OH^-) / c_0(B) \text{ и } c(OH^-) \cong \sqrt{K_b \cdot c_0(B)} \quad (3.14)$$

Или в логарифмической форме:

$$pOH = -\lg c(OH^-) = \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \lg c_0(B),$$

$$\text{а } pH = 14 - pOH = 14 - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} \lg c_0(B) \quad (3.15)$$

Формула для расчета $c(OH^-)$ по методу последовательных приближений (второе приближение для не очень слабых оснований, $\alpha \geq 5\%$):

$$c(OH^-) = \sqrt{K_b(c_0(B) - c^I(OH^-))} \quad (3.16)$$

Концентрации ионов в растворах слабых кислот и слабых оснований могут быть рассчитаны также из следующих выражений:

$$\alpha = \frac{c(H^+)}{c_0(HA)} = \frac{c(A^-)}{c_0(HA)}, \quad (3.17)$$

$$\alpha = \frac{c(OH^-)}{c_0(B)} = \frac{c(BH^+)}{c_0(B)}, \quad (3.18)$$

которые характерны для равновесий: $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$ и $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$

Соотношение между K , c и α для слабых электролитов выражается формулой:

$$K = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha} \quad (3.19)$$

$$\text{или если } \alpha \leq 5\% : K \cong c\alpha^2 \quad (3.20)$$

При вычислении $c(H^+)$ и pH в растворах слабых многоосновных кислот или слабых многокислотных оснований, чаще всего, принимают во внимание только первую ступень диссоциации соответствующего электролита, а формулы для расчета аналогичны тем, которые установлены для слабых одноосновных кислот или слабых однокислотных оснований. Таким образом, в соответствующих формулах K представляет собой константу диссоциации кислоты (или основания) по первой ступени, не принимая во внимание диссоциацию по следующим ступеням.

Аналогичным образом поступают и в случае, когда в растворе присутствуют две кислоты (или два основания) и одна из них во много раз сильнее чем другая (не принимают во внимание присутствие более слабого электролита).

В том случае, когда сила слабых электролитов не сильно отличается, учитывают диссоциацию обоих электролитов.

Пусть анализируемый раствор содержит две кислоты HA_1 и HA_2 . Если они не очень слабые, тогда не учитывая диссоциацию воды, записываем уравнение электронейтральности:

$$c(H^+) = c(A_1^-) + c(A_2^-).$$

Находим равновесные концентрации $c(A_1^-)$ и $c(A_2^-)$ из соответствующих выражений констант кислотности.

$$c(A_1^-) = \frac{K_a^{HA_1} c(HA_1)}{c(H^+)}; c(A_2^-) = \frac{K_a^{HA_2} c(HA_2)}{c(H^+)}.$$

Подставив эти выражения в формулу электронейтральности, получаем:

$$c(H^+) = \frac{K_a^{HA_1} c(HA_1)}{c(H^+)} + \frac{K_a^{HA_2} c(HA_2)}{c(H^+)},$$

$$\text{или} \quad c(H^+) = \sqrt{K_a^{HA_1} c(HA_1) + K_a^{HA_2} c(HA_2)} \quad (3.21)$$

Для смеси n кислот:

$$c(H^+) = \sqrt{K_a^{HA_1} c(HA_1) + K_a^{HA_2} c(HA_2) + \dots + K_a^{HA_n} c(HA_n)} \quad (3.22)$$

Аналогичным способом получаем выражение для расчета $c(OH^-)$ для смеси оснований B_1 и B_2 :

$$c(OH^-) = \sqrt{K_b^{B_1} c(B_1) + K_b^{B_2} c(B_2)} \quad (3.23)$$

Константы диссоциации кислот и оснований, необходимые для решения задач, включены в таблицу приложения 3.

Примеры решения задач

Пример 1: Вычислить $c(H^+)$ в 0,1 молярном растворе уксусной кислоты.

Решение:

Обоснуем выбор расчетной формулы:

$c(CH_3COOH)/K_a = 0,1/1,74 \cdot 10^{-5} = 5747 \gg 400$. Значит, следует применить формулу 3.8:

$$c(H^+) = \sqrt{K_a c_0(CH_3COOH)} = \sqrt{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Правильность выбора именно этой формулы также может быть доказана, вычислением степени диссоциации кислоты по формуле 3.20: $K_a = c\alpha^2 / (1 - \alpha) \cong c\alpha^2$ (закон разбавления Оствальда).

$$\alpha \cong \sqrt{\frac{K_a}{c}} \cong \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{0,1}} = 0,0132 \text{ или } 1,32\%.$$

Так как, $\alpha \leq 5\%$, то для расчета $c(H^+)$ следует применить выражение 3.8.

Пример 2: Вычислить pH 0,1 молярного раствора цианистоводородной кислоты.

Решение:

$c(HCN)/K_a = 0,1/5 \cdot 10^{-10} = 2 \cdot 10^8 \gg 400$. Значит, используем формулу 3.9.

$$pH = \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} \lg c(HCN) = 9,30/2 - \frac{1}{2} \lg 0,1 = 5,15.$$

Пример 3: Вычислить pH 0,01 молярного раствора фтороводородной кислоты.

Точное решение:

$\frac{c(HF)}{K_a} = \frac{0,01}{6,2 \cdot 10^{-4}} = 16 \ll 400$. Это означает, что $c(H^+)$ нельзя вычислить по формуле 3.8,

поскольку ошибка превысит 5%. В этом случае лучше применить выражение 3.7.

$$c(H^+) = \frac{-K_a + \sqrt{K_a^2 + 4K_a \cdot c_0(HF)}}{2} = \frac{-6,2 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(6,2 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \cdot 6,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01}}{2} = 2,16 \cdot 10^{-3};$$

$$pH = -\lg(2,16 \cdot 10^{-3}) = 2,66.$$

Приблизительное решение (метод последовательных приближений):

Согласно формуле 3.8:

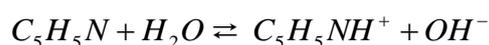
$$c^I(H^+) \cong \sqrt{K_a \cdot c} = \sqrt{6,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01} = 0,0025 \text{ моль/л.}$$

Подставив это выражение в 3.10 получим:

$$c(H^+) = \sqrt{K_a \cdot (c_0(HF) - c^I(H^+))} = \sqrt{6,2 \cdot 10^{-4} \cdot (0,01 - 0,0025)} = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Пример 4: Вычислить pH 0,01 молярного раствора пиридина.

Решение:



$$\frac{c(\text{пиридин})}{K_b} = \frac{0,01}{1,5 \cdot 10^{-9}} = 6,67 \cdot 10^7 \gg 400, \text{ т.е. } \alpha \leq 5\% \text{ и для вычисления } pH \text{ воспользуемся}$$

формулой 3.15:

$$pH = 14 - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} \lg c_0(\text{пиридин}) = 14 - 8,82/2 + \frac{1}{2} \lg 0,01 = 8,40$$

Пример 5: Вычислить $c(H^+)$ и pH раствора щавелевой кислоты с $c(H_2C_2O_4) = 0,15 \text{ моль/л.}$

Решение:

Щавелевая кислота представляет собой слабую двухосновную кислоту. В таблице (см. приложение 3) находим $K_{a1} = 5,6 \cdot 10^{-2}$ и $K_{a2} = 5,4 \cdot 10^{-5}$. Поскольку K_{a1} представляет собой довольно большую величину, $\alpha \geq 5\%$, вычисляют $c(H^+)$ по формуле 3.7 (где $K_a = K_{a1}$) или используют метод последовательных приближений.

$$c(H^+) = \frac{-K_{a1} + \sqrt{K_{a1}^2 + 4K_{a1} \cdot c_0(H_2C_2O_4)}}{2} = \frac{-0,056 + \sqrt{0,056^2 + 4 \cdot 0,056 \cdot 0,15}}{2} = 0,0678 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg 0,0678 = 1,17.$$

Пример 6: Вычислить $c(H^+)$ 0,1 молярного раствора $HCOOH$ и константу диссоциации муравьиной кислоты, если известно, что степень диссоциации кислоты равна 4,2%.

Решение:

Из закона разбавления Оствальда следует:

$$K = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha} = \frac{0,1 \cdot 0,042^2}{1-0,042} = 1,8 \cdot 10^{-4}.$$

Для вычисления $c(H^+)$ используем выражение 3.17:

$$\alpha = \frac{c(H^+)}{c_0(HCOOH)};$$

$$c(H^+) = c_0(HCOOH) \cdot \alpha = 0,1 \cdot 0,042 = 0,0042 \text{ моль/л.}$$

Пример 7: Вычислить pH раствора смеси бензойной и аминокбензойной кислот, в котором молярные концентрации соответственно равны 0,20 и 0,02 моль/л.

Решение:

В таблице находим константы кислотности для бензойной ($K_a^I = 6,3 \cdot 10^{-5}$) и аминокбензойной ($K_a^{II} = 1,1 \cdot 10^{-5}$) кислот. Согласно выражению 3.21 находим значение $c(H^+)$:

$$c(H^+) = \sqrt{K_a^I \cdot c(C_6H_5COOH) + K_a^{II} \cdot c(NH_2C_6H_4COOH)} =$$

$$\sqrt{6,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,20 + 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,02} = 3,58 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л};$$

$$pH = -\lg 0,00358 = 2,45.$$

Пример 8: pH раствора аммиака равен 10. Вычислить равновесную и начальную концентрации аммиака в этом растворе.

Решение:

$K_b = \frac{c(NH_4^+) \cdot c(OH^-)}{c(NH_3)} = \frac{c^2(OH^-)}{c_0(NH_3) - c(OH^-)}$, где $c(NH_3)$ и $c_0(NH_3)$ являются соответственно равновесной и начальной концентрациями аммиака. $K_b = 1,76 \cdot 10^{-5}$ (см. таблицу в приложении 3); $pOH = 14 - 10 = 4$; $c(OH^-) = 10^{-4}$ моль/л. Подставив эти значения в выше приведенное выражение для K_b , получим:

$$1,76 \cdot 10^{-5} = \frac{10^{-4} \cdot 10^{-4}}{c_0(NH_3) - 10^{-4}}; \quad c_0(NH_3) = 6,68 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л};$$

$$c(NH_3) = 6,68 \cdot 10^{-4} - 10^{-4} = 5,68 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Задачи для самостоятельного решения

3-13. Вычислить $c(H^+)$ и pH 0,02 молярного раствора уксусной кислоты. Каково значение степени диссоциации уксусной кислоты в этом растворе?

Ответ: $c(H^+) = 5,9 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $pH = 3,23$; $\alpha = 2,95\%$.

3-14. Вычислить $c(H^+)$, $c(OH^-)$ и pH 0,01 молярного раствора аммиака. Каково значение

степени диссоциации аммиака в этом растворе?

$$\text{Ответ: } c(H^+) = 2,38 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}; c(OH^-) = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}; \\ pH = 10,62; \alpha = 4,2\% .$$

3-15. В 100 мл раствора содержится 0,34 г NH_3 . Вычислить $c(OH^-)$ и pH этого раствора.

$$\text{Ответ: } c(OH^-) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}; pH = 11,27 .$$

3-16. Рассчитать концентрации ионов H^+ , $HCOO^-$ и pH :

а) в растворе с $c(HCOOH) = 0,03 \text{ моль/л}$;

б) в растворе с $\omega(HCOOH) = 5\%$ (плотность раствора считать равной 1 г/мл);

$$\text{Ответ: а) } c(H^+) = c(HCOO^-) = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}; pH = 2,65 .$$

$$\text{б) } c(H^+) = c(HCOO^-) = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}; pH = 1,86 .$$

3-17. Вычислить концентрацию ионов водорода и салицилата в 0,001 молярном растворе салициловой кислоты.

$$\text{Ответ: } c(H^+) = 6,34 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}; c(Sal^{2-}) = 2,6 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л} .$$

3-18. Концентрация ионов H^+ в растворе CH_3COOH равна 10^{-4} моль/л. Вычислить равновесную и начальную концентрацию уксусной кислоты в этом растворе.

$$\text{Ответ: } c(CH_3COOH) = 5,75 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л};$$

$$c_0(CH_3COOH) = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} .$$

3-19. Вычислить начальную молярную концентрацию муравьиной кислоты, если pH этого раствора равен 3,0.

$$\text{Ответ: } 6,56 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} .$$

3-20. Концентрация ионов водорода в 0,1 молярном растворе CH_3COOH равна $1,3 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Вычислить константу и степень диссоциации уксусной кислоты.

$$\text{Ответ: } K_a = 1,74 \cdot 10^{-5}; \alpha = 1,3\% .$$

3-21. Вычислить константу диссоциации муравьиной кислоты, если pH 0,04 молярного раствора этой кислоты равен 2,57.

$$\text{Ответ: } 1,95 \cdot 10^{-4} .$$

3-22. Вычислить молярную концентрацию раствора цианистоводородной кислоты, pH которого равен 5,0.

Ответ: 0,2 моль/л.

3-23. Вычислить константу диссоциации аммиака, если степень диссоциации его в 0,3 молярном растворе равна 0,77%.

Ответ: $1,78 \cdot 10^{-5}$.

3-24. Вычислить pH 0,1 молярного раствора гексаметилентетрамина и степень его диссоциации.

Ответ: $pH = 9,065$; $\alpha = 0,0118\%$.

3-25. Степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,001 молярном растворе равна 36,8%. Вычислить $c(H^+)$ раствора и константу диссоциации муравьиной кислоты.

Ответ: $c(H^+) = 3,68 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $K_a = 2,14 \cdot 10^{-4}$.

3-26. Вычислить $c(H^+)$, $c(HS^-)$ и $c(S^{2-})$ в 0,1 молярном растворе H_2S .

Ответ: $c(H^+) = c(HS^-) = 10^{-4}$ моль/л; $c(S^{2-}) = 2,5 \cdot 10^{-13}$ моль/л.

3-27. Вычислить $c(H^+)$ и $c(H_2PO_4^-)$ в 0,05 молярном растворе H_3PO_4 .

Ответ: $c(H^+) = c(H_2PO_4^-) = 1,56 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

4. РАВНОВЕСИЯ В БУФЕРНЫХ РАСТВОРАХ

Растворы, pH которых почти не зависит от разбавления, концентрирования и мало изменяется при прибавлении к ним небольших количеств сильных кислот или щелочей, не превышающих некоторого предела, называются **буферными растворами**. Эти растворы содержат как правило два вещества, которые препятствуют изменениям pH среды в то время, когда в раствор добавляют незначительное количество либо сильного основания либо сильной кислоты. Буферные растворы представляют собой системы типа:

слабая кислота (HA) и её соль (KA) ;

слабое основание (B) и его соль ([BH]A) .

Буферное действие может оказывать и смесь кислой соли слабой кислоты со средней солью, этой кислоты, например $NaHCO_3$ и Na_2CO_3 (карбонатная буферная смесь), или смесь двух кислых

солей слабой кислоты, например Na_2HPO_4 и NaH_2PO_4 (фосфатная буферная система). В этих случаях анионы HCO_3^- и $H_2PO_4^-$ играют роль слабых кислот, а Na_2CO_3 и Na_2HPO_4 – солей слабых кислот.

Буферные растворы характеризуются определенным значением pH , а также буферной емкостью, которые в свою очередь являются функцией природы компонентов буферной системы и их концентраций. Часто аналитические реакции выполняются при определенных значениях pH раствора. В этом случае необходимая среда раствора создается путем добавления определенного буферного раствора.

Вывод формул для расчета $c(H^+)$ и pH в буферных растворах

Пусть компонентами буферной системы являются слабая кислота HA и ее соль KtA . Тогда в растворе происходят следующие процессы:



$$K_a^{HA} = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)} \approx \frac{c(H^+) \cdot c_0(\text{соли})}{c_0(\text{кислоты})};$$

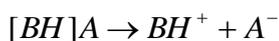
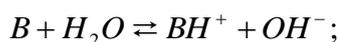
$$c(H^+) \approx K_a^{HA} \frac{c_0(\text{кислоты})}{c_0(\text{соли})} \quad (4.1)$$

$$pH = -\lg c(H^+) = pK_a^{HA} - \lg \frac{c_0(\text{кислоты})}{c_0(\text{соли})} \quad (4.2)$$

$$\text{или } pH = pK_a^{HA} - \lg \frac{n(\text{кислоты})}{n(\text{соли})}, \quad (4.2a)$$

где n – количество вещества, ммоль.

Аналогичным образом получаем формулы для расчета $c(OH^-)$ и pOH в буферном растворе, состоящего из слабого основания B и ее соли $[BH]A$.



$$K_b^B = \frac{c(OH^-) \cdot c(BH^+)}{c(B)} \approx \frac{c(OH^-) \cdot c_0(\text{соль})}{c_0(\text{основание})}$$

$$c(\text{OH}^-) \approx K_b^B \frac{c_0(\text{основание})}{c_0(\text{соль})} \quad (4.3)$$

$$p\text{OH} = pK_b^B - \lg \frac{c_0(\text{основание})}{c_0(\text{соль})} \quad (4.4)$$

$$c(\text{H}^+) \approx \frac{K_w \cdot c_0(\text{соль})}{K_b^B \cdot c_0(\text{основание})} \quad (4.5)$$

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH} = 14 - pK_b^B + \lg \frac{c_0(\text{основание})}{c_0(\text{соль})} \quad (4.6)$$

$$\text{или } p\text{H} = 14 - pK_b^B + \lg \frac{n(\text{основание})}{n(\text{соль})} \quad (4.6a)$$

Примеры решения задач:

Пример 1: Вычислить $c(\text{H}^+)$ в ацетатном буферном растворе, если $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1$ моль/л, а $c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,01$ моль/л.

Решение:

Запишем формулу 4.1 для ацетатного буферного раствора:

$$c(\text{H}^+) = K_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{COONa})} = \frac{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}{0,01} = 1,74 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Пример 2: Вычислить $p\text{H}$ буферной системы $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$, в которой концентрация обоих компонентов равна 0,1 моль/л. Как изменится $p\text{H}$ этого раствора, если:

- к 1 литру раствора прибавить 0,01 моль HCl ;
- к 1 литру раствора прибавить 0,01 моль NaOH ;
- буферную систему разбавить в 10 раз?

Решение:

Применим выражение 4.6:

$$p\text{H} = 14 - pK_b^{\text{NH}_3} + \lg \frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4\text{Cl})} = 14 - 4,75 + \lg \frac{0,1}{0,1} = 9,25$$

При добавлении 0,01 моль HCl имеет место реакция: $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$ а это означает, что значение $c(\text{NH}_3)$ уменьшается до 0,09 моль/л, а $c(\text{NH}_4\text{Cl})$ становится равной 0,11 моль/л. Тогда

$$p\text{H} = 14 - 4,75 + \lg \frac{0,09}{0,11} = 9,15.$$

При добавлении 0,01 моль NaOH реакция $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ приводит к

изменению $c(NH_3)$ и $c(NH_4Cl)$ соответственно до 0,11 моль/л и 0,09 моль/л. В этом случае.

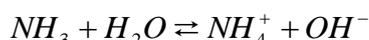
$$pH = 14 - 4,75 + \lg \frac{0,11}{0,09} = 9,33.$$

Разбавление в 10 раз не приводит к изменению pH раствора, так как отношение $c(NH_3)/c(NH_4Cl)$ остается неизменным.

Пример 3: Как и во сколько раз изменится степень диссоциации аммиака, если к 200 мл 0,02 молярного раствора NH_3 прибавить 0,107 г NH_4Cl ?

Решение:

Запишем уравнение диссоциации аммиака:



Вычислим степень диссоциации аммиака используя выражение 3.20:

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{K_b^{NH_3}}{c(NH_3)}} = \sqrt{\frac{1,76 \cdot 10^{-5}}{0,02}} = 0,03.$$

После добавления хлорида аммония химическое равновесие процесса диссоциации аммиака сместится влево, но для любого состояния равновесного процесса справедливо выражение 3.18:
 $\alpha_2 = c(OH^-) / c_0(NH_3)$.

$$c(OH^-) = \frac{K_b^{NH_3} \cdot c_0(NH_3)}{c_0(NH_4Cl)} \quad (\text{см. 4.3}); \quad \alpha_2 = \frac{K_b^{NH_3}}{c_0(NH_4Cl)}.$$

Концентрация соли вычисляется по формуле 1.2:

$$c_0(NH_4Cl) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,107}{53,5 \cdot 0,2} = 0,01 \text{ моль/л}.$$

$$\text{Тогда: } \alpha_2 = \frac{1,76 \cdot 10^{-5}}{0,01} = 0,00176 \text{ и } \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{0,03}{0,00176} = 17 \text{ раз}.$$

Вывод: степень диссоциации аммиака уменьшится в 17 раз.

Пример 4: Вычислить pH раствора, полученного при смешивании 100 мл 0,10 молярного раствора уксусной кислоты и 200 мл раствора ацетата натрия с молярной концентрацией равной 0,20 моль/л. Как изменится pH этого раствора если к нему добавить 30 мл 0,20 молярного раствора гидроксида натрия?

Решение:

Рассчитываем концентрации компонентов полученного раствора (учитывая процесс разбавления).

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{c_0 \cdot 100}{300} = \frac{0,1 \cdot 100}{300};$$

$$c(\text{CH}_3\text{COONa}) = \frac{0,2 \cdot 200}{300};$$

$$pH_1 = pK_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} - \lg \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{COONa})} = 4,76 - \lg \frac{0,1 \cdot 100}{0,2 \cdot 200} = 5,36.$$

или

$$\begin{aligned} pH_1 &= pK_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} - \lg \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{n(\text{CH}_3\text{COONa})} = \\ &= pK_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} - \lg \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot V(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{COONa}) \cdot V(\text{CH}_3\text{COONa})} = 4,76 - \lg \frac{0,1 \cdot 100}{0,2 \cdot 200} = 5,36 \end{aligned}$$

При добавлении гидроксида натрия к буферному раствору уксусная кислота реагирует с NaOH и $n(\text{CH}_3\text{COOH})$ уменьшается. Это приводит к увеличению значения $n(\text{CH}_3\text{COONa})$.

Таким образом:

$$pH_2 = pK_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} - \lg \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH}) - x}{n(\text{CH}_3\text{COONa}) + x},$$

где x – количество вещества (ммоль) NaOH , прибавленного к буферному раствору.

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = c \cdot V = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ ммоль}; \quad n(\text{CH}_3\text{COONa}) = c \cdot V = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ ммоль};$$

$$x = n(\text{NaOH}) = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ ммоль};$$

$$pH_2 = 4,76 - \lg \frac{10 - 6}{40 + 6} = 5,82$$

$$\Delta pH = pH_2 - pH_1 = 5,82 - 5,36 = 0,46.$$

Вывод: При добавлении 30 мл 0,20 молярного раствора NaOH к данной буферной системе, pH увеличится на 0,46.

Пример 5: Рассчитать объемы растворов уксусной кислоты и ацетата натрия с одинаковой концентрацией 0,1 моль/л, необходимые для приготовления 3-х литров буферного раствора с $pH = 5,24$.

Решение:

В этом случае (учитывая, что $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = c(\text{CH}_3\text{COONa})$):

$$pH = pK_a - \lg \frac{n(\text{кислота})}{n(\text{соль})} = pK_a - \lg \frac{c(\text{кислота}) \cdot V(\text{кислота})}{c(\text{соль}) \cdot V(\text{соль})} = pK_a - \lg \frac{V(\text{кислота})}{V(\text{соль})}$$

Так как $V(\text{CH}_3\text{COOH}) + V(\text{CH}_3\text{COONa}) = 3000 \text{ мл}$, тогда

$$pH = pK_a^{CH_3COOH} - \lg \frac{V(CH_3COOH)}{3000 - V(CH_3COOH)}$$

или $5,24 = 4,76 - \lg \frac{x}{3000 - x}$, где $x = v(CH_3COOH)$;

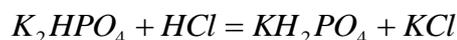
$$\lg \frac{3000 - x}{x} = 0,48; \frac{3000 - x}{x} = \text{ant} \lg 0,48 = 3,$$

$$x = 750 \text{ мл} = V(CH_3COOH); V(CH_3COONa) = 3000 - 750 = 2250 \text{ мл}.$$

Пример 6: К 20 мл 0,2 молярного раствора K_2HPO_4 добавили 10 мл 0,25 молярного HCl . Рассчитать pH полученного раствора.

Решение:

Запишем уравнение реакции, которое имеет место при смешивании растворов:



Получилась буферная смесь состоящая из полученной соли KH_2PO_4 и остатка K_2HPO_4 .

$$n(KH_2PO_4) = n(H_2PO_4^-) = n(HCl) = 10 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ ммоль и}$$

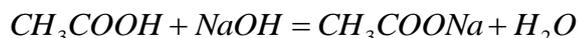
$$n(K_2HPO_4)_{ост.} = n(HPO_4^{2-}) = 20 \cdot 0,2 - 10 \cdot 0,25 = 1,5 \text{ ммоль}$$

$$pH = pK_a^{H_2PO_4^-} - \lg \frac{n(H_2PO_4^-)}{n(HPO_4^{2-})} = 7,21 - \lg \frac{2,5}{1,5} = 7,21 - 0,22 = 6,99.$$

Пример 7: Вычислить объем 0,2 молярного раствора $NaOH$ который необходимо добавить к 20 мл 0,2 молярного раствора уксусной кислоты, чтобы получить раствор с $pH = 4$.

Решение:

Запишем уравнение реакции:



Полученный буферный раствор содержит CH_3COONa и остаток CH_3COOH .

Применим выражение 4.6а.

$$pH = pK_a^{CH_3COOH} - \lg \frac{n(CH_3COOH)}{n(CH_3COONa)};$$

$$4 = 4,76 - \lg \frac{0,2 \cdot 20 - x}{x}; \quad \frac{4 - x}{x} = \text{ant} \lg 0,76 = 5,75; x = 0,593 \text{ ммоль}$$

$$n(CH_3COONa) = n(NaOH) = 0,593 \text{ ммоль};$$

$$V(NaOH) = \frac{n(NaOH)}{c(NaOH)} = \frac{0,593}{0,2} = 2,96 \text{ мл}.$$

Задачи для самостоятельного решения

4-1. К 100 мл раствора уксусной кислоты с молярной концентрацией равной 1 моль/л прибавили 0,41 г CH_3COONa . Рассчитать $c(H^+)$ в полученном растворе.

Ответ: $3,48 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

4-2. В 1 литре раствора содержится 3,4 г NH_3 и 2,68 г NH_4Cl . Рассчитать степень диссоциации аммиака в этом растворе и pH раствора.

Ответ: $\alpha = 0,0352\%$; $pH = 9,85$.

4-3. К 1 литру 0,1 молярного раствора муравьиной кислоты прибавили 3,4 г $HCOONa$. Вычислить pH этого раствора.

Ответ: 3,45.

4-4. К 100 мл 0,2 молярного раствора уксусной кислоты прибавили 100 мл раствора, в котором содержится 1,64 г CH_3COONa . Рассчитать pH полученного раствора.

Ответ: 4,76

4-5. Как и во сколько раз изменится степень диссоциации уксусной кислоты с $c(CH_3COOH) = 0,05$ моль/л, если к 100 мл этого раствора прибавить 0,082 г CH_3COONa ?

Ответ: уменьшится в 10,7 раз.

4-6. Как и во сколько раз изменится степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,5 молярном растворе, если к 400 мл этого раствора прибавить 100 мл раствора содержащего 3,4 г $HCOONa$?

Ответ: уменьшится в 10,5 раз.

4-7. Смешали 25 мл 0,2 молярного раствора муравьиной кислоты и 15 мл 0,1 молярного раствора формиата натрия. Вычислить pH полученного раствора.

Ответ: 3.23.

4-8. В 1 литре раствора содержится 0,056 моль NH_3 и 0,100 моль NH_4Cl . Как и на сколько изменится pH этого раствора, если к нему прибавить 0,04 моль $NaOH$?

Ответ: увеличится на 0,45 единиц.

4-9. Вычислить pH буферного раствора, полученного при смешивании 30 мл 0,1 молярного раствора Na_2CO_3 и 15 мл раствора $NaHCO_3$ с такой же концентрацией.

Ответ: 10,62.

4-10. Определить массу KH_2PO_4 , которую необходимо добавить к 50 мл 0,20 молярного раствора K_2HPO_4 , чтобы получить буферный раствор с $pH = 7,0$.

Ответ: 2,20.

4-11. Вычислить pH буферного раствора, если известно, что в 1 литре содержатся:

а) 0,01 моль NH_3 и 0,01 моль NH_4NO_3 ;

б) 1,0 моль NH_3 и 0,1 моль NH_4Cl .

Ответ: а)9,25; б)10,25.

4-12. Смешали 10 мл 0,3 молярного раствора HCl и 20 мл 0,2 молярного раствора NH_3 . Вычислить pH полученного раствора.

Ответ: 8,77.

4-13. Смешали 50 мл 0,15 молярного раствора $NaOH$ и 25 мл 0,2 молярного раствора NaH_2PO_4 . Рассчитать pH полученного раствора.

Ответ: 12,3.

4-14. К двум литрам воды прибавили 1,22 г бензойной кислоты и 0,16 г бензоата калия. Рассчитать pH полученного раствора.

Ответ: 3,20.

4-15. Смешали равные объемы растворов аммиака ($\omega = 0,51\%$) и хлорида аммония ($\omega = 0,27\%$). Рассчитать pH полученного буферного раствора.

Ответ: 10,03.

4-16. К 100 мл раствора NH_4Cl с $\omega(NH_4Cl) = 0,535\%$ прибавили такой же объем раствора KOH с $\omega(KOH) = 0,28\%$. Вычислить pH полученного буферного раствора.

Ответ: 9,25.

4-17. Сколько мл 0,1 молярного раствора HCl необходимо добавить к 50 мл 0,25 молярного

раствора аммиака, чтобы получить раствор с $pH = 9$?

Ответ: 80,00 мл.

4-18. Какой объем 0,2 молярного раствора $NaOH$ необходимо добавить к 20 мл 0,2 молярного раствора фосфорной кислоты, чтобы получить раствор с $pH = 7$?

Ответ: 27,69 мл.

4-19. Сколько г CH_3COONa необходимо добавить к 100 мл 0,15 молярного раствора HCl , чтобы получить раствор с $pH = 5$?

Ответ: 3,37 г.

4-20. Сколько NaH_2PO_4 необходимо добавить к 250 мл 0,15 молярного раствора $NaOH$, чтобы получить раствор с $pH = 7$?

Ответ: 11,80 г.

4-21. Вычислить объем 0,5 молярного раствора NH_4NO_3 , который необходимо добавить к 10 мл 0,2 молярного раствора аммиака, чтобы получить раствор с $pH = 9,8$.

Ответ: 1,13 мл.

4-22. Сколько карбоната натрия необходимо добавить к 50 мл 0,25 молярного раствора $NaHCO_3$, чтобы получить раствор с $pH = 10$?

Ответ: 0,631 г.

5. РАВНОВЕСИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СОЛЕЙ

Химические равновесия, в которых участвуют молекулы воды и частицы растворенного в воде вещества называются реакциями гидролиза. Гидролизом соли называется взаимодействие ионов соли с водой, приводящее к образованию слабого электролита. В результате гидролиза в растворе появляется избыточное содержание либо ионов H^+ , либо ионов OH^- , и тогда он приобретает кислую или щелочную среду.

Гидролиз солей в количественном отношении обычно характеризуется константой гидролиза K_h , а также степенью гидролиза h . Под степенью гидролиза понимается отношение количества (концентрации) соли, подвергающейся гидролизу, к общему количеству (концентрации) растворенной соли.

Гидролизу подвергаются соли, образованные слабой кислотой и сильным основанием, слабым основанием и сильной кислотой, слабым основанием и слабой кислотой. В химическом анализе очень часто вычисляют $c(H^+)$, $c(OH^-)$, концентрации других молекул, ионов, которые образуются в результате реакции гидролиза соли. Рассмотрим перечисленные случаи гидролиза:

5.1. Гидролиз солей, образованных слабой одноосновной кислотой и сильным однокислотным основанием (KtA)

В этом случае гидролизу подвергается анион соли: $A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$

$$K_h = \frac{c(HA) \cdot c(OH^-)}{c(A^-)}, \quad (5.1)$$

Учитывая, что $c(OH^-) = \frac{K_w}{c(H^+)}$, получим выражение:

$$K_h = \frac{c(HA) \cdot c(OH^-)}{c(A^-)} = \frac{K_w}{K_a^{HA}}, \quad (5.2)$$

Из уравнения реакции гидролиза следует:

$$h = \frac{c(KtA)_h}{c_0(KtA)} = \frac{c(HA)}{c_0(KtA)} = \frac{c(OH^-)}{c_0(KtA)}, \quad (5.3)$$

где K_h – константа гидролиза, $c_0(KtA)$ – начальная концентрация соли, $c(KtA)_h$ – концентрация гидролизованной соли, K_a^{HA} – константа кислотности HA .

Из выражения 5.3 вытекает, что $c(HA) = c(OH^-) = c(KtA)_h = c_0 h$.

Тогда $c(A^-) = c_0(KtA) - c(KtA)_h = c_0 - c_0 h = c_0(1 - h)$.

Подставив эти данные в выражение 5.2, получаем:

$$K_h = \frac{(c_0 h)^2}{c_0(1 - h)} = \frac{K_w}{K_a^{HA}} \quad \text{или} \quad K_h = \frac{c_0 h^2}{(1 - h)} = \frac{K_w}{K_a^{HA}}, \quad (5.4)$$

Решение этого квадратного уравнения дает возможность вычислить степень гидролиза h .

Если K_h является малой величиной и $h \ll 1$ ($h \leq 0,05$), тогда формула (5.4) упрощается:

$$K_h \approx c_0 h^2 \approx \frac{K_w}{K_a^{HA}} \quad \text{и} \quad h \approx \sqrt{\frac{K_h}{c_0}} = \sqrt{\frac{K_w}{c_0 \cdot K_a^{HA}}}, \quad (5.5)$$

где c_0 – начальная концентрация соли.

Чтобы получить формулу для расчета $c(OH^-)$, перепишем выражение 5.2 следующим

образом:

$$\frac{c^2(\text{OH}^-)}{c_0(\text{соль}) - c(\text{OH}^-)} = \frac{K_w}{K_a^{\text{HA}}} \quad (5.6)$$

Решив это квадратное уравнение, находим $c(\text{OH}^-)$, затем вычисляем значение $p\text{OH}$ и $p\text{H}$.

В случае, когда $h \leq 0,05$, $c_0(\text{соль}) - c(\text{OH}^-) \approx c_0(\text{соль})$ и

$$c(\text{OH}^-) \approx \sqrt{\frac{K_w \cdot c_0(\text{соль})}{K_a^{\text{HA}}}} \quad (5.6a)$$

$$p\text{OH} = -\lg c(\text{OH}^-) = \frac{1}{2} pK_w - \frac{1}{2} pK_a^{\text{HA}} - \frac{1}{2} \lg c_0(\text{соль}),$$

$$\text{а } p\text{H} = 14 - p\text{OH} = \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a^{\text{HA}} + \frac{1}{2} \lg c_0(\text{соль}) \quad (5.7)$$

Другой способ вычисления $p\text{H}$:

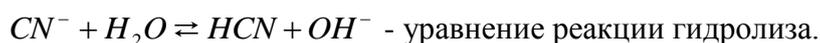
$$c(\text{OH}^-) = c_0(\text{соль}) \cdot h;$$

$$p\text{OH} = -\lg c(\text{OH}^-) = -\frac{1}{2} \lg c_0(\text{соль}) - \lg h$$

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH} = 14 + \lg c_0(\text{соль}) + \lg h \quad (5.7a)$$

Пример 1: Вычислить степень гидролиза цианида калия и $p\text{H}$ 0,05 молярного раствора KCN .

Решение:



Для точного расчета степени гидролиза используем формулу 5.4:

$$K_h = \frac{c_0 h^2}{(1-h)} = \frac{K_w}{K_a^{\text{HCN}}};$$

$$\frac{0,05 \cdot h^2}{1-h} = \frac{10^{-14}}{5 \cdot 10^{-10}} = 2 \cdot 10^{-5};$$

$$0,05 h^2 + 2 \cdot 10^{-5} h - 2 \cdot 10^{-5} = 0.$$

Решим это квадратное уравнение (см. приложение 2) и получаем: $h = 19,8 \cdot 10^{-3}$ или 1,98%.

Примерное вычисление дает результат:

$$h \approx \sqrt{\frac{K_h}{c_0(\text{соль})}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{0,05}} = 0,02 \quad \text{или } 2\%.$$

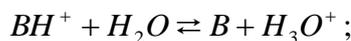
Поскольку K_h является небольшой величиной и $h < 5\%$, $p\text{H}$ вычисляем используя формулу 5.7.

$$p\text{H} \approx 7 + \frac{1}{2} pK_a^{\text{HCN}} + \frac{1}{2} \lg c_0(\text{KCN}) = 7 + \frac{1}{2} \cdot 9,30 + \frac{1}{2} \lg 0,05 = 11;$$

$$\text{или } pH = 14 + \lg c_0(KCN) + \lg h = 14 + \lg 0,05 + \lg 0,02 = 11.$$

5.2. Гидролиз солей , образованных сильной одноосновной кислотой и слабым однокислотным основанием ($[BH^+]A$)

В этом случае гидролиз протекает по катиону:



$$K_h = \frac{c(B) \cdot c(H^+)}{c(BH^+)} \quad (5.8)$$

Поскольку $c(H^+) = \frac{K_w}{c(OH^-)}$, запишем: $K_h = \frac{c(B) \cdot c(H^+)}{c(BH^+)} = \frac{K_w}{K_b} \quad (5.9)$

Из уравнения реакции гидролиза следует:

$$h = c(BH^+)_h / c_0(BH^+) = c(B) / c_0(BH^+) = c(H^+) / c_0(BH^+) \quad (5.10)$$

Так как $c(B) = c(H^+) = c_0 h$ и $c(BH^+) = c_0(BH^+) - c(BH^+)_h = c_0 - c_0 h$, то подставляя эти значения в выражение 5.9., получим:

$$K_h = \frac{c_0 h^2}{(1-h)} = \frac{K_w}{K_b}, \quad (5.11)$$

Если степень гидролиза $h \leq 0,05$, выражение 5.11 упрощается: $K_h \approx c_0 h^2 \approx \frac{K_w}{K_b}$, (5.12),

где: K_h – константа гидролиза; c_0 – начальная концентрация соли, $c(BH^+)_h$ – концентрация гидролизованной соли; K_b^B – константа основности основания В.

Запишем формулу 5.9 следующим образом: $\frac{c^2(H^+)}{c_0(BH^+) - c(H^+)} = \frac{K_w}{K_b^B} \quad (5.13)$

Решив это квадратное уравнение, найдем $c(H^+)$ и затем вычислим pH раствора. Если $h \leq 0,05$, тогда $c_0(BH^+) - c(H^+) \approx c_0(BH^+)$ и выражение (5.13) упрощается:

$$c(H^+) \approx \sqrt{\frac{K_w \cdot c_0(BH^+)}{K_b^B}} \quad (5.13a)$$

$$pH = -\lg c(H^+) \approx \frac{1}{2} pK_w - \frac{1}{2} pK_b^B - \frac{1}{2} \lg c_0(BH^+) \quad (5.14)$$

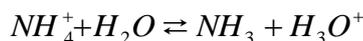
Другой способ вычисления pH :

$$c(H^+) = c_0(\text{соль}) \cdot h;$$

$$pH = -\lg c_0(\text{соль}) - \lg h \quad (5.15)$$

Пример 2: Вычислить степень гидролиза нитрата аммония и pH 0,01 молярного раствора NH_4NO_3 .

Решение:



Запишем выражение 5.11 для константы гидролиза NH_4NO_3 :

$$K_h = \frac{c_0(NH_4NO_3) \cdot h^2}{1-h} = \frac{K_w}{K_b^{NH_3}}; K_h = \frac{0,01 \cdot h^2}{1-h} = \frac{10^{-14}}{1,76 \cdot 10^{-5}} = 5,68 \cdot 10^{-10}$$

Решим это квадратное уравнение (см. приложение 2) и получим:

$$h = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ или } 0,0238\%.$$

Используя упрощенное выражение 5.12, получим такой же результат:

$$h \approx \sqrt{\frac{K_h}{c_0}} \approx \sqrt{\frac{5,68 \cdot 10^{-10}}{0,01}} = 2,38 \cdot 10^{-4}.$$

Поскольку $h \leq 0,05$, pH раствора вычислим по формуле 5.14 или 5.15.

$$pH = \frac{1}{2} pK_w - \frac{1}{2} pK_b^{NH_3} - \frac{1}{2} \lg c(NH_4NO_3) = 7 - \frac{1}{2} 4,75 - \frac{1}{2} \lg 0,01 = 5,63;$$

$$\text{или } pH = -\lg c_0(NH_4NO_3) - \lg h = -\lg 0,01 - \lg(2,38 \cdot 10^{-4}) = 5,62$$

5.3 Гидролиз солей, образованных слабой одноосновной кислотой и слабым однокислотным основанием ([BH]A или KtA)

В этом случае гидролизу подвергаются оба иона соли:



(Конкретный пример: гидролиз ацетата аммония).

$$K_h = \frac{c(B) \cdot c(HA)}{c(BH^+) \cdot c(A^-)} \quad (5.16)$$

или $Kt^+ + A^- + H_2O \rightleftharpoons KtOH + HA$ (Конкретный пример: гидролиз ацетата серебра)

$$K_h = \frac{c(KtOH) \cdot c(HA)}{c(Kt^+) \cdot c(A^-)} \quad (5.16 \text{ а})$$

Умножив числитель и знаменатель выражения 5.16 на ионное произведение воды, получим:

$$K_h = \frac{c(HA) \cdot c(B)}{c(A^-) \cdot c(BH^+)} \cdot \frac{c(H^+) \cdot c(OH^-)}{c(H^+) \cdot c(OH^-)} = \frac{K_w}{K_a^{HA} \cdot K_b^B} \quad (5.17)$$

Объединим выражения 5.16 и 5.17:

$$K_h = \frac{c(HA) \cdot c(B)}{c(A^-) \cdot c(BH^+)} = \frac{K_w}{K_a^{HA} \cdot K_b^B} \quad (5.18)$$

Если катион и анион соли гидролизуют примерно в одинаковой степени, тогда:

$c(HA) \approx c(B) \approx c_0(\text{соль}) \cdot h$; $c(A^-) \approx c(BH^+) \approx c_0(\text{соль}) - c_0(\text{соль}) \cdot h$ и выражение 5.18 примет следующий вид:

$$K_h = \frac{h^2}{(1-h)^2} = \frac{K_w}{K_a^{HA} \cdot K_b^B} \quad (5.19)$$

$$\text{Для случаев, когда } h \ll 1: h \approx \sqrt{\frac{K_w}{K_a^{HA} \cdot K_b^B}} \approx \sqrt{K_h} \quad (5.20)$$

Вывод формул для расчета $c(H^+)$ и pH :

выражение 5.18 может быть записано следующим образом:

$$\frac{c^2(HA)}{c_0^2(\text{соль})} \approx \frac{K_w}{K_a^{HA} \cdot K_b^B} \quad (5.21)$$

Учитывая, что $c(HA) = c(A^-) \cdot c(H^+) / K_a^{HA} \approx c(H^+) \cdot c_0(\text{соль}) / K_a^{HA}$, получим:

$$c(H^+) \approx \sqrt{\frac{K_w \cdot K_a^{HA}}{K_b^B}} \quad (5.22)$$

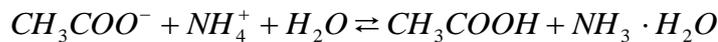
$$\text{а } pH = -\lg c(H^+) \approx \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a^{HA} - \frac{1}{2} pK_b^B \quad (5.23)$$

Значения h , $c(H^+)$ и pH , вычисленные из выражений 5.19, 5.20, 5.22 и 5.23, являются приближенными, т. к. чаще всего степени гидролиза катиона и аниона различны.

Пример 3: Вычислить константу гидролиза, степень гидролиза и pH 0,1 молярного раствора CH_3COONH_4 .

Решение:

Уравнение реакции гидролиза:



K_h , h , и pH вычисляются, применяя формулы 5.19, 5.20 и 5.23.

$$K_h = \frac{K_w}{K_a^{CH_3COOH} \cdot K_b^{NH_3}} = \frac{10^{-14}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 1,76 \cdot 10^{-5}} = 3,27 \cdot 10^{-5};$$

$$\frac{h}{1-h} = \sqrt{K_h} = \sqrt{3,27 \cdot 10^{-5}} = 5,72 \cdot 10^{-3}; h = 0,00568 \text{ или } 0,57\%$$

$$\text{или } h \approx \sqrt{K_h} \approx \sqrt{3,27 \cdot 10^{-5}} \approx 0,00572;$$

$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_a^{CH_3COOH} - \frac{1}{2} pK_b^{NH_3} = 7 + \frac{1}{2} 4,76 - \frac{1}{2} 4,75 = 7,01.$$

5.4. Гидролиз средних солей, образованных многоосновной слабой кислотой (HnA) и сильным основанием

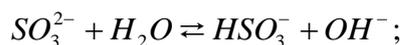
В этом случае анион соли гидролизует по нескольким ступеням, но учитывается лишь первая, поскольку последующему гидролизу препятствуют ионы OH^- из раствора.



При вычислении K_h , h , и pH необходимо учитывать константу кислотности слабой кислоты по последней ступени, в остальных формулы для расчетов такие же как и для соли слабой одноосновной кислоты.

Пример 4: Вычислить K_h , h , и pH 0,01 молярного раствора Na_2SO_3 .

Решение:



$$K_h = \frac{K_w}{K_{a_2}^{H_2SO_3}} = \frac{K_w}{K_a^{HSO_3^-}} = \frac{10^{-14}}{6,2 \cdot 10^{-8}} = 1,61 \cdot 10^{-7}$$

$$h \approx \sqrt{\frac{K_h}{c(Na_2SO_3)}} = \sqrt{\frac{1,61 \cdot 10^{-7}}{0,01}} = 4,01 \cdot 10^{-3} \text{ или } 0,40\%$$

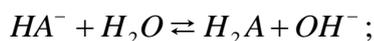
$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_{a_2}^{H_2SO_3} + \frac{1}{2} \lg c(\text{соль}) = 7 + \frac{1}{2} 7,20 + \frac{1}{2} \lg 0,01 = 9,6 .$$

5.5. Гидролиз средних солей, образованных слабым многокислотным основанием и сильной кислотой

И в этом случае катион соли гидролизует ступенчато, но учитывается только гидролиз по первой ступени. Формулы для расчета K_h , h , $c(H^+)$ и pH аналогичны формулам для солей, образованных сильной кислотой и слабым однокислотным основанием, но в данном случае будет использоваться константа основности слабого основания по последней ступени.

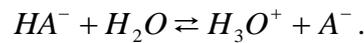
5.6. Гидролиз кислых солей типа: NaHA, NaH₂A и Na₂HA

Реакция гидролиза соли $NaHA$:



$$K_h = \frac{c(H_2A) \cdot c(OH^-)}{c(HA^-)} = \frac{K_w}{K_{a_1}^{H_2A}} \quad (5.24)$$

Ион HA^- , помимо того, что он является акцептором протона (реакция гидролиза), также может и отдавать протон:



Поэтому для вывода формулы для расчета $c(H^+)$ необходимо применить условие электронейтральности и уравнение материального баланса. В результате получим довольно сложное выражение, но для растворов с большими и средними концентрациями (обычные условия при выполнении анализа) его можно значительно упростить и тогда оно примет вид:

$$c(H^+) \approx \sqrt{K_{a_1}^{H_2A} \cdot K_{a_2}^{H_2A}} \quad (5.25)$$

$$\text{и } pH \approx \frac{pK_{a_1}^{H_2A} + pK_{a_2}^{H_2A}}{2} \quad (5.26)$$

Эти же выражения используются для расчета $c(H^+)$ и pH растворов типа NaH_2A . В этом случае K_{a_1} и K_{a_2} являются константами кислотности кислоты H_3A .

Формулами для вычисления $c(H^+)$ и pH растворов солей типа Na_2HA являются:

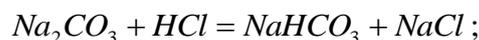
$$c(H^+) \approx \sqrt{K_{a_2}^{H_3A} \cdot K_{a_3}^{H_3A}} \quad (5.27)$$

$$pH \approx \frac{pK_{a_2}^{H_3A} + pK_{a_3}^{H_3A}}{2} \quad (5.28)$$

Пример 5: К 50 мл 0,1 молярного раствора Na_2CO_3 прибавили 25 мл 0,2 молярного раствора HCl . Вычислить pH полученного раствора.

Решение:

Уравнение химической реакции:



$$n(Na_2CO_3) = c \cdot V = 0,1 \cdot 50 = 5 \text{ ммоль}; n(HCl) = c \cdot V = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ ммоль}.$$

Поскольку $n(HCl) = n(Na_2CO_3)$, значит вещества прореагировали полностью согласно уравнению, приведенному выше, и в растворе образовалась кислая соль $NaHCO_3$.

$$pH \approx \frac{pK_{a_1}^{H_2CO_3} + pK_{a_2}^{H_2CO_3}}{2} = \frac{6,35 + 10,32}{2} = 8,34$$

Пример 6: Рассчитать pH 0,1 молярного раствора Na_2HPO_4 .

Решение:

$$pH \approx \frac{pK_{a_2}^{H_3PO_4} + pK_{a_3}^{H_3PO_4}}{2} = \frac{7,21 + 12,30}{2} = 9,76$$

Пример 7: Вычислить массу NH_4Cl , которая содержится в 500 мл раствора, если pH его равен 6.

Решение:

Запишем выражение 5.14 для раствора NH_4Cl .

$$pH = 7 - \frac{1}{2} K_b^{NH_3} - \frac{1}{2} \lg(NH_4Cl); \quad 6 = 7 - \frac{1}{2} 4,75 - \frac{1}{2} \lg c(NH_4Cl);$$

$$\lg c(NH_4Cl) = -2,75; \quad c(NH_4Cl) = \text{ant} \lg(-2,75) = 0,00178 \text{ моль/л};$$

$$m(NH_4Cl) = c \cdot V \cdot M = 0,00178 \cdot 0,5 \cdot 53,5 = 0,0476 \text{ г}.$$

Пример 8: Степень гидролиза ацетата калия в 0,1 молярном растворе CH_3COOK равна 0,0075 %.

Вычислить pH этого раствора.

Решение:

Применяем выражение 5.3: $h = \frac{c(OH^-)}{c(\text{соль})}$;

$$c(OH^-) = c \cdot h = 0,1 \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} = 7,5 \cdot 10^{-6}; \quad pOH = -\lg(7,5 \cdot 10^{-6}) = 5,12;$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 5,12 = 8,88.$$

Задачи для самостоятельного решения:

5-1. Вычислить K_h , h , и pH 0,01 молярного раствора CH_3COONa .

Ответ: $K_h = 5,75 \cdot 10^{-10}$; $h = 2,40 \cdot 10^{-4}$ или 0,024%; $pH = 8,38$.

5-2. В 200 мл раствора содержится 0,65 г KCN . Вычислить pH этого раствора и степень гидролиза соли.

Ответ: $h = 0,0199$ или 1,99%.; $pH = 11,0$.

5-3. В 0,5 л раствора содержится 4,1 г CH_3COONa . Вычислить степень гидролиза ацетата натрия и pH раствора.

Ответ: $7,58 \cdot 10^{-5}$; 8,88.

5-4. Вычислить массу $NaCN$, которую необходимо добавить к 50 мл воды, чтобы получить раствор с $pH = 10,0$.

Ответ: $1,23 \cdot 10^{-3}$ г.

5-5. pH раствора NH_4Cl равен 5,8. Вычислить молярную концентрацию этого раствора.

Ответ: $4,47 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

5-6. В 250 мл раствора содержится 0,200 г NH_4NO_3 . Вычислить pH этого раствора и степень гидролиза соли.

Ответ: $pH = 5,63$; $h = 2,38 \cdot 10^{-4}$ или 0,024 %.

5-7. Сколько $(NH_4)_2SO_4$ содержится в 200 мл раствора, если pH его равен 5,4?

Ответ: 0,37 г.

5-8. Вычислить K_h , h , и pH 0,1 молярного раствора NH_4CN .

Ответ: $K_h = 1,14$; $h = 0,565$ или 56,5%; $pH = 9,28$.

5-9. Чему равен pH 0,1 молярного раствора Na_3PO_4 ?

Ответ: 12,65.

5-10. Сколько Na_2S содержится в 100 мл раствора, если pH его равен 13,03? Вычислить степень гидролиза сульфида натрия в этом растворе.

Ответ: $h = 0,372$ или 37,2% ; $m(Na_2S) = 2,26$ г.

5-11. К 100 мл 0,2 молярного раствора муравьиной кислоты добавили такой же объем раствора KOH с такой же молярной концентрацией. Вычислить pH полученного раствора.

Ответ: 8,375.

5-12. Рассчитать pH растворов: а) $NaHSO_3$; б) Na_2HPO_4 .

Ответ: а) 4,525; б) 9,755.

5-13. Степень гидролиза хлорида аммония в 0,1 молярном растворе NH_4Cl равна 0,0040%. Вычислить pH этого раствора.

Ответ: 5,40.

5-14. Вычислить степень гидролиза оксалата натрия и $c(Na_2C_2O_4)$ в этом растворе, если pH его

равен 8,28.

Ответ: $c(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,0195$ моль/л; $h = 9,75 \cdot 10^{-5}$ или 0,0098 %.

5-15. Вычислить степень гидролиза цианида калия и $c(\text{CN}^-)$ в растворе KCN с $\omega(\text{KCN}) = 0,1\%$.

Ответ: $h = 3,61\%$; $c(\text{CN}^-) = 1,48 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

5-16. Вычислить степень гидролиза карбоната калия и равновесную концентрацию ионов, образующихся в результате гидролиза 0,2 молярного раствора K_2CO_3 .

Ответ: $h = 3,23\%$; $c(\text{OH}^-) = c(\text{HCO}_3^-) = 6,46 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $c(\text{CO}_3^{2-}) = 0,194$ моль/л.

5-17. К 15 мл 0,1 молярного раствора NaH_2PO_4 прибавили 30 мл 0,05 молярного раствора NaOH . Вычислить pH полученного раствора.

Ответ: 9,755.

5-18. К 25 мл 0,1 молярного раствора Na_2HAsO_4 добавили такой же объем 0,1 молярного раствора HCl . Вычислить pH полученного раствора.

Ответ: 4,51.

5-19. Вычислить pH 0,1 молярного раствора NaHS .

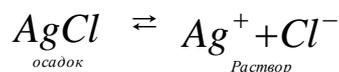
Ответ: 9,80.

5-20. Рассчитать степень гидролиза и pH 0,1 молярного раствора Na_3AsO_4 .

Ответ: $h = 0,202$ или 20,2% ; $pH = 12,3$.

6. РАВНОВЕСИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

В гетерогенной системе, состоящей из осадка и насыщенного относительно него раствора, непрерывно протекают два процесса с одинаковой скоростью: переход ионов в раствор и их осаждение на поверхности кристаллов.



Применив к этому гетерогенному равновесию закон действующих масс, получим:

$$K = \frac{a(\text{Ag}^+) \cdot a(\text{Cl}^-)}{a(\text{AgCl})};$$

$$K \cdot a(\text{AgCl}) = \text{const} = K_s = PP_{\text{AgCl}} = a(\text{Ag}^+)a(\text{Cl}^-) \quad (6.1)$$

Из этого уравнения следует **правило произведения растворимости**: *произведение активностей ионов в насыщенном растворе малорастворимого электролита является постоянной величиной при данной температуре*. Эта величина называется **произведением растворимости** и обозначается символами *PP* или K_s .

Выражение 6.1 можно записать следующим образом:

$$PP_{\text{AgCl}} = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) \cdot f_{\text{Ag}^+} \cdot f_{\text{Cl}^-} \quad (6.2)$$

Поскольку в насыщенном растворе малорастворимого электролита концентрация ионов очень мала (в отсутствии других электролитов), тогда значения их коэффициентов активности практически равны 1. В этом случае:

$$PP_{\text{AgCl}} \approx c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) \quad (6.3)$$

В общем случае, для малорастворимого электролита $A_m B_n$, записываем (без учета заряда ионов):

$$PP_{A_m B_n} = a^m(A) \cdot a^n(B) = c^m(A) \cdot c^n(B) \cdot f_A^m \cdot f_B^n \quad (6.4)$$

$$\text{или } PP_{A_m B_n} \approx c^m(A) \cdot c^n(B) \quad (6.5)$$

Значения *PP* малорастворимых электролитов можно найти в различных химических справочниках (см. некоторые примеры в таблице приложения 4). Они используются в химическом анализе для решения различных практических и теоретических задач.

Примеры решения задач

Пример 1: Смешали равные объемы растворов ацетата свинца и хлорида калия с концентрациями 0,05 и 0,10 моль/л соответственно. Будет ли образовываться осадок?

Решение:

В любом пересыщенном растворе произведение концентраций (точнее активностей) ионов труднорастворимого электролита, называемое ионным произведением (*ИП*), больше, чем *PP*. Такие системы являются неустойчивыми, и в них идет процесс осаждения, который продолжается до тех пор, пока раствор над осадком не станет насыщенным, а *ИП* станет равным *PP*. В ненасыщенном растворе $ИП < PP$. Таким образом, главным условием образования осадка является $ИП > PP$.

Рассчитаем концентрации ионов, которые могут взаимодействовать с образованием осадка, учитывая разбавление растворов при их смешивании.

$$c(\text{Pb}^{2+}) = c(\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2) / 2 = 0,05 / 2 = 0,025 \text{ моль / л};$$

$$c(\text{Cl}^-) = c(\text{KCl}) / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ моль/л.}$$

Уравнение реакции осаждения: $\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{PbCl}_2$

$$\text{ИП} = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-) = 0,025 \cdot (0,05)^2 = 6,25 \cdot 10^{-5}.$$

Из приложения 4 находим: $\text{ПП}_{\text{PbCl}_2} = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

Вывод: $\text{ИП} > \text{ПП}$, осадок PbCl_2 образуется.

Для более точных расчетов, ИП находят из выражения:

$$\text{ИП} = a(\text{Pb}^{2+}) \cdot a^2(\text{Cl}^-).$$

В начале вычисляют ионную силу раствора:

$$I = \frac{1}{2}(c(\text{Pb}^{2+})z_{\text{Pb}^{2+}}^2 + c(\text{Cl}^-)z_{\text{Cl}^-}^2) = \frac{1}{2}(0,025 \cdot 2^2 + 0,05 \cdot 1^2) = 0,075.$$

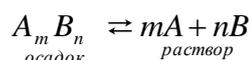
Затем из приложения 1: $f_{\text{Pb}^{2+}} = 0,44$; $f_{\text{Cl}^-} = 0,81$.

$$\text{ИП} = a(\text{Pb}^{2+}) \cdot a^2(\text{Cl}^-) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-) \cdot f_{\text{Pb}^{2+}} \cdot f_{\text{Cl}^-}^2 = 0,025 \cdot (0,05)^2 \cdot 0,44 \cdot (0,81)^2 = 1,8 \cdot 10^{-5}.$$

Вывод: $\text{ИП} > \text{ПП}$, осадок PbCl_2 образуется.

В качественном анализе чаще всего осуществляют приблизительные расчеты, используя концентрации ионов вместо их активностей. В случае, когда электролит не является достаточно труднорастворимым или когда в растворе присутствуют другие растворимые электролиты, учитывают ионную силу и расчеты проводят используя активности ионов, которые участвуют в реакции осаждения.

Соотношения между растворимостью (S, моль/л) труднорастворимого электролита A_mB_n и его ПР:



$$S_{\text{A}_m\text{B}_n} = c(\text{A}) / m = c(\text{B}) / n;$$

$$c(\text{A}) = m \cdot S; \quad c(\text{B}) = n \cdot S;$$

$$\text{ПР}_{\text{A}_m\text{B}_n} = c^m(\text{A}) \cdot c^n(\text{B}) \cdot f_{\text{A}}^m \cdot f_{\text{B}}^n = (m \cdot S)^m \cdot (n \cdot S)^n \cdot f_{\text{A}}^m \cdot f_{\text{B}}^n;$$

$$S_{\text{A}_m\text{B}_n} = \sqrt[m+n]{\frac{\text{PS}_{\text{A}_m\text{B}_n}}{m^m \cdot n^n \cdot f_{\text{A}}^m \cdot f_{\text{B}}^n}} \quad (6.6)$$

В большинстве растворов труднорастворимых электролитов, когда отсутствуют другие электролиты, ионная сила является достаточно малой величиной и значения f практически равны 1. В этом случае:

$$S_{\text{A}_m\text{B}_n} \approx \sqrt[m+n]{\frac{\text{PS}_{\text{A}_m\text{B}_n}}{m^m \cdot n^n}} \quad (6.7)$$

Пример 2: $PP_{BaSO_4} \approx 1,1 \cdot 10^{-10}$. Вычислить растворимость сульфата бария.

Решение:

$$S_{BaSO_4} = \sqrt{PP} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Пример 3: Растворимость хлорида серебра равна $1,25 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вычислить PP_{AgCl} .

Решение:

$$PP_{AgCl} = S_{AgCl}^2 = (1,25 \cdot 10^{-5})^2 = 1,56 \cdot 10^{-10}.$$

Пример 4: Растворимость сульфата бария равна 0,00245 г/л. Вычислить PP_{BaSO_4} .

Решение:

$$S_{BaSO_4} (\text{моль/л}) = \frac{S_{BaSO_4} (\text{г/л})}{M(BaSO_4)} = \frac{0,00245}{233,4} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}.$$

$$PP_{BaSO_4} = (1,05 \cdot 10^{-5})^2 = 1,10 \cdot 10^{-10}.$$

Пример 5: Вычислить растворимость фосфата кальция в воде.

Решение:

Записываем выражение 6.7 для $Ca_3(PO_4)_2$:

$$S = \sqrt[5]{\frac{PS_{Ca_3(PO_4)_2}}{3^3 \cdot 2^2}} = \sqrt[5]{\frac{2,0 \cdot 10^{-29}}{108}} = \sqrt[5]{\frac{10^{-29}}{54}};$$

$$\lg S = \frac{1}{5} \lg 10^{-29} - \frac{1}{5} \lg 54 = -5,8 - 0,35 = -6,15;$$

$$S = \text{antlg}(-6,15) = 7,1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

Формулу 6.7 нельзя применять для расчета растворимости малорастворимых гидроксидов.

В этом случае необходимо учитывать ионы OH^- , образующиеся в результате ионизации воды.

Пример 6: Вычислить растворимость гидроксида железа(III) в воде.

Решение:

Из выражения 6.7 получаем:

$$S = \sqrt[4]{\frac{PP_{Fe(OH)_3}}{1 \cdot 3^3}} = \sqrt[4]{\frac{3,2 \cdot 10^{-38}}{27}} \approx 10^{-10} \text{ моль/л}$$

Но этот ответ является неправильным, поскольку $S_{Fe(OH)_3} = c(Fe^{3+}) \neq \frac{1}{3} c(OH^-)$. Правильнее будет записать:

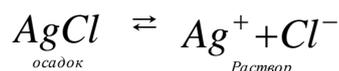
$$S = c(Fe^{3+}) = \frac{PP_{Fe(OH)_3}}{c^3(OH^-)}, \text{ а } c(OH^-) \approx 10^{-7}, \text{ как и в чистой воде.}$$

$$S = 3,2 \cdot 10^{-38} / (10^{-7})^3 = 3,2 \cdot 10^{-17} \text{ моль/л}$$

Растворимость малорастворимых электролитов понижается (уменьшается) при введении в их раствор каких-либо сильных электролитов с одноименным ионом (*влияние одноименного иона*).

Пример 7: Во сколько раз изменится растворимость хлорида серебра, если к 1 литру насыщенного раствора $AgCl$ добавить 0,01 моль KCl ?

Решение:



$S_1 = c(Ag^+) = c(Cl^-) = \sqrt{PS_{AgCl}} = \sqrt{1,78 \cdot 10^{-10}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$ – растворимость хлорида серебра в воде.

Далее рассчитываем растворимость хлорида серебра в 0,01 молярном растворе KCl (S_2).

$S_2 \neq c(Cl^-)$, но $S_2 = c(Ag^+) = PP_{AgCl} / c(Cl^-)$, где

$c(Cl^-) = c(Ag^+) + c(KCl) \approx c(KCl) \approx 0,01 \text{ моль/л}$. Таким образом $S_2 = \frac{1,78 \cdot 10^{-10}}{0,01} = 1,78 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$.

$$S_1 / S_2 = 1,33 \cdot 10^{-5} / 1,78 \cdot 10^{-8} = 750 \text{ раз}$$

Более точно: $PP_{AgCl} = a(Ag^+) \cdot c(Cl^-) = c(Ag^+) \cdot c(Cl^-) \cdot f_{Ag^+} \cdot f_{Cl^-} = S_2 \cdot c(Cl^-) \cdot f^2$

$$\text{и } S_2 = \frac{PP_{AgCl}}{c(Cl^-) \cdot f^2};$$

Ионная сила раствора равна 0,01 (учитываются только ионы, полученные в результате полной диссоциации хлорида калия). Из таблицы (приложение 1) находим значение $f=0,899$. Таким образом,

$$S_2 = \frac{1,78 \cdot 10^{-10}}{0,01 \cdot 0,899 \cdot 0,899} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

$$S_1 / S_2 = 1,33 \cdot 10^{-5} / 2,2 \cdot 10^{-8} \approx 604 \text{ раз.}$$

Пример 8: Рассчитать растворимость сульфата бария в 0,1 молярном растворе KCl . Сравните полученный результат с растворимостью сульфата бария в воде (см. пример 2).

Решение:

Используем выражение 6.6: $S_{BaSO_4} = \sqrt{\frac{ПП_{BaSO_4}}{f^2}}$, где f есть коэффициент активности двухвалентных ионов (Ba^{2+} , SO_4^{2-}). $I = \frac{1}{2}(c(K^+) \cdot z_{K^+}^2 + c(Cl^-) \cdot z_{Cl^-}^2) = \frac{1}{2}(0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,1$ – ионная сила раствора. Из таблицы (приложение 1) находим значение $f = 0,44$ для двухвалентных ионов при ионной силе 0,1.

$$S_{BaSO_4} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^{-10}}{0,44^2}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ моль / л.}$$

Вывод: Растворимость сульфата бария в 0,1 молярном растворе KCl примерно в 2 раза больше, чем в воде.

Пример 9: В анализируемом растворе содержатся катионы Ba^{2+} и Ca^{2+} . Их концентрации соответственно равны 1,00 моль/л и 0,005 моль/л. Какой из ионов первым начнёт осаждаться при добавлении раствора оксалата аммония?

Решение:

Находим в приложении 4 значения $ПП$ для оксалатов бария и кальция. Они соответственно равны $1,1 \cdot 10^{-7}$ и $2,3 \cdot 10^{-9}$.

Рассчитываем концентрации ионов $C_2O_4^{2-}$ необходимые для начала осаждения BaC_2O_4 и CaC_2O_4 .

$$c(C_2O_4^{2-})_{BaC_2O_4} = PP / c(Ba^{2+}) = 1,1 \cdot 10^{-7} / 1,0 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ моль / л ;}$$

$$c(C_2O_4^{2-})_{CaC_2O_4} = PP / c(Ca^{2+}) = 2,3 \cdot 10^{-9} / 0,005 = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ моль / л .}$$

Вывод: В первую очередь начнут осаждаться катионы Ba^{2+} , т. к. для этого необходимо меньшее количество оксалат ионов.

Пример 10: Концентрация ионов магния в анализируемом растворе равна 0,01 моль/л. Вычислить pH раствора в момент начала осаждения ионов Mg^{2+} в виде $Mg(OH)_2$ и в момент, когда эти ионы будут практически полностью осаждены.

Решение:

Из таблицы (приложение 4) находим значение $ПП$ для гидроксида магния. $ПП_{Mg(OH)_2} = 6,0 \cdot 10^{-10}$. Вычисляем $c(OH^-)$ из выражения: $ПП_{Mg(OH)_2} = c(Mg^{2+}) \cdot c^2(OH^-)$.

$$c_1(OH) = \sqrt{\frac{PS_{Mg(OH)_2}}{c(Mg^{2+})}} = \sqrt{\frac{6,0 \cdot 10^{-10}}{0,01}} \approx 2,45 \cdot 10^{-4}.$$

$$pOH = -\lg c_1(OH^-) = -\lg(2,45 \cdot 10^{-4}) = 3,6.$$

pH в момент начала осаждения катиона Mg^{2+} :

$$pH_1 = 14 - 3,6 = 10,4.$$

Осаждение иона считается практически полным тогда, когда концентрация его в растворе понижается до $10^{-5} - 10^{-6}$ моль/л. Вычисляем $c(OH^-)$ для этого случая (когда $c(Mg^{2+}) = 10^{-6}$ моль/л):

$$c_2(OH^-) = \sqrt{\frac{PP_{Mg(OH)_2}}{c(Mg^{2+})}} = \sqrt{\frac{6,0 \cdot 10^{-10}}{10^{-6}}} \approx 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$pOH = -\lg(2,45 \cdot 10^{-2}) = 1,6; \quad pH_2 = 14 - pOH = 14 - 1,6 = 12,4.$$

Вывод: Осаждение иона Mg^{2+} начинается при $pH = 10,4$ и практически завершается при $pH = 12,4$.

Пример 11: Вычислить PP бромата серебра, если в 200 мл воды при комнатной температуре растворяется 0,35 г $AgBrO_3$.

Решение:

Вычисляем молярную концентрацию полученного насыщенного раствора.

$$c(AgBrO_3) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,35}{235,8 \cdot 0,200} = 0,00742 \text{ моль/л} = c(Ag^+) = c(BrO_3^-);$$

$$PP_{AgBrO_3} = c(Ag^+) \cdot c(BrO_3^-) = 0,00742 \cdot 0,00742 = 5,51 \cdot 10^{-5}.$$

Пример 12: Сколько грамм $CaSO_4$ можно растворить в 1 литре воды, если $PP_{CaSO_4} = 2,5 \cdot 10^{-5}$?

Решение:

Записываем выражение 6.7 для сульфата кальция:

$$S_{CaSO_4} = \sqrt{PP_{CaSO_4}} = \sqrt{2,5 \cdot 10^{-5}} = 0,005 \text{ моль/л}; \quad S_{CaSO_4} = \frac{m}{M \cdot V};$$

$$m(CaSO_4) = S_{CaSO_4} \cdot M \cdot V = 0,005 \cdot 136 \cdot 1 = 0,68 \text{ г}.$$

Пример 13: В 1 литре воды растворяется 0,0002212 г фосфата кальция. Вычислить $PP_{Ca_3(PO_4)_2}$.

Решение:

Вычисляем молярную концентрацию полученного насыщенного раствора.

$$c(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,0002212}{310,2 \cdot 1} = 7,13 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л};$$

$$S_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = c(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 7,13 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}.$$

Запишем выражение 6.7 для фосфата кальция:

$$S_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = \sqrt[5]{\frac{ПП}{3^3 \cdot 2^2}}; \quad ПП = 108 \cdot S^5 = 108 \cdot (7,13 \cdot 10^{-7})^5 = 2,0 \cdot 10^{-29}$$

Пример 14: К 1 литру 0,01 молярного раствора CaCl_2 , в котором содержится 1 моль HCl , добавили 0,1 моль NaF . Будет ли образовываться осадок CaF_2 ?

Решение:



Вычислим $c(\text{F}^-)$ используя выражение 3.5.

$$K_a^{\text{HF}} = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{F}^-) / c(\text{HF});$$

$$c(\text{F}^-) \approx K_a^{\text{HF}} \cdot c(\text{HF}) / c(\text{H}^+) = 6,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 / 0,9 = 6,89 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л};$$

где $c(\text{HF}) \approx c(\text{NaF}) = 0,1 \text{ моль/л}$, $c(\text{H}^+) = c(\text{HCl}) - c(\text{NaF}) = 1 - 0,1 = 0,9 \text{ моль/л}$,

K_a^{HF} – константа кислотности кислоты HF ;

$$ИП = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-) = 0,01 \cdot (6,89 \cdot 10^{-5})^2 = 4,75 \cdot 10^{-11}; \quad ПП_{\text{CaF}_2} = 4,0 \cdot 10^{-11} \text{ (см. приложение 4)}.$$

Вывод: $ИП > ПП$, значит осадок CaF_2 выпадет.

Задачи для самостоятельного решения:

6-1. Вычислить $ПП$:

- а) хромата серебра, если в 500 мл воды растворяется при комнатной температуре 0,011 г Ag_2CrO_4 .
 б) фторида кальция, если его растворимость равна $2,16 \cdot 10^{-4}$ моль/л

$$\text{Ответ: а) } 1,17 \cdot 10^{-12}; \text{ б) } 4,03 \cdot 10^{-11}.$$

6-2. Какая из солей более растворима: а) CaCO_3 или BaCO_3 ? б) BaSO_4 или CaSO_4 ?

$$\text{Ответ: а) } \text{CaCO}_3; \text{ б) } \text{CaSO}_4.$$

6-3. Рассчитать растворимость (моль/л):

- а) CaC_2O_4 в воде; б) CaC_2O_4 , в 0,01 молярном растворе оксалата аммония.

Ответ: а) $4,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л; б) $2,3 \cdot 10^{-7}$ моль/л (без учета ионной силы) и $7,33 \cdot 10^{-7}$ (учитывая ионную силу раствора).

6-4. К 150 мл насыщенного раствора $AgCl$ добавили 10 мл раствора 0,5 молярного раствора KCl . Вычислить концентрацию Ag^+ в полученном растворе.

Ответ: $5,7 \cdot 10^{-9}$ моль/л.

6-5. К 0,2 молярному раствору сульфата магния добавили равный объем раствора аммиака с такой же молярной концентрацией. Выпадет ли осадок $Mg(OH)_2$? Подтвердите ответ расчетами.

Ответ: Да

6-6. Молярная концентрация раствора хлорида кадмия равна 0,1 моль/л. Рассчитать pH этого раствора в момент начала осаждения ионов Cd^{2+} в виде $Cd(OH)_2$, а так же в тот момент, когда осаждение практически становится полным.

Ответ: 7,67 и 10,17.

6-7. Рассчитать $c(Ag^+)$ в насыщенном растворе Ag_3PO_4 , если $ПП_{Ag_3PO_4} = 1,3 \cdot 10^{-20}$.

Ответ: $1,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

6-8. Даны два насыщенных раствора: сульфата свинца и иодида свинца. В каком из этих растворов $c(Pb^{2+})$ больше и во сколько раз?

Ответ: $c(Pb^{2+})$ в насыщенном растворе PbI_2 в 5 раз больше, чем в насыщенном растворе $PbSO_4$.

6-9. К 10 мл раствора $BaCl_2$ с молярной концентрацией эквивалента 0,01 моль/л добавили 5 мл раствора Na_2SO_4 , с молярной концентрацией эквивалента 0,10 моль/л. Выпадет ли осадок? Подтвердите ответ расчетами.

Ответ: Да.

6-10. В анализируемом растворе $c(Br^-)$ в 10000 раз больше, чем $c(I^-)$. Какой из этих ионов начнет осаждаться в первую очередь, при постепенном добавлении нитрата серебра?

Ответ: ион Br^- .

6-11. В 1 литре воды растворяется $2,15 \cdot 10^{-6}$ г AgI . Вычислить $ПП_{AgI}$.

Ответ: $8,4 \cdot 10^{-17}$

6-12. Сколько грамм Ag^+ содержится в 500 мл насыщенного раствора хромата серебра?

Ответ: 0,00702 г.

6-13. Рассчитать массу хлорида свинца в 175 мл насыщенного раствора этой соли.

Ответ: 0,77 г.

6-14. Растворимость бромата серебра в воде равна 1:571. Рассчитать PP_{AgBrO_3} .

Ответ: $5,5 \cdot 10^{-5}$.

6-15. Какая соль более растворима в воде, $AgCl$ или Ag_2CrO_4 , и во сколько раз?

Ответ: Ag_2CrO_4 растворим больше чем $AgCl$ в 4,9 раз.

6-16. К 1 литру раствора, содержащего 0,0015 моль $CdCl_2$, добавили $5 \cdot 10^{-5}$ моль $NaOH$. Выпадет ли осадок?

Ответ: да.

6-17. К 25 мл раствора $MgCl_2$ с $c(MgCl_2) = 0,0001$ моль/л добавили 0,008 г NH_4Cl и 25 мл 1 молярного раствора NH_3 . Выпадет ли осадок $Mg(OH)_2$?

Ответ: нет.

6-18. Рассчитать $c(Mg^{2+})$ необходимую для начала осаждения $Mg(OH)_2$ из раствора с $pH = 8,5$.

Ответ: 60 моль/л.

6-19. Рассчитать концентрацию хромат – анионов, необходимую для:

а) начала осаждения хромата свинца из 0,08 молярного раствора $Pb(NO_3)_2$;

б) практически полного осаждения ионов Pb^{2+} из 0,08 молярного раствора нитрата свинца.

Ответ: а) $2,25 \cdot 10^{-13}$ моль/л ; б) $1,8 \cdot 10^{-8}$ моль/л.

6-20. Как и во сколько раз изменится растворимость хлорида серебра, если к 1 литру насыщенного раствора $AgCl$ добавить 0,05 моль нитрата калия?

Ответ: увеличится в 1,2 раза.

6-21. Выпадет ли осадок ZnS при насыщении 0,02 молярного раствора $ZnCl_2$ сероводородом, если $pH = 2,3$ и $c(H_2S) = 0,1$ моль/л?

Ответ: да.

6-22. Рассчитать растворимость сульфата бария в 0,1 молярном растворе K_2SO_4 .

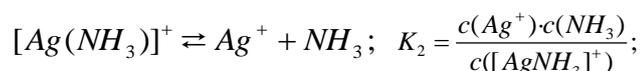
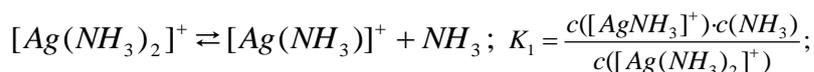
Ответ: $1,1 \cdot 10^{-9}$ моль/л (без учета ионной силы) и $6,5 \cdot 10^{-9}$ моль/л (учитывая ионную силу раствора).

7. РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Растворимые комплексные соединения в водных растворах полностью диссоциируют с образованием простых и комплексных ионов.



Комплексные ионы ведут себя как слабые электролиты и диссоциируют ступенчато.



Уравнение суммарной реакции: $[Ag(NH_3)_2]^+ \rightleftharpoons Ag^+ + 2NH_3$;

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{c(Ag^+) \cdot c^2(NH_3)}{c([Ag(NH_3)_2]^+)}$$

Эти обратимые процессы характеризуются константами равновесия, названными константами нестойкости.

Для различных расчетов часто используется константа процесса образования комплексных ионов, названной константой устойчивости комплексного иона $K_{уст}$.

Очевидно, что: $K_{уст} = 1/K_{нест}$.

Константа суммарного процесса образования комплексного иона обозначается еще через β_n , где n – число ступеней. Для иона $[Ag(NH_3)_2]^+$ можем записать:

$$K_{уст} = \beta_2 = \frac{c([Ag(NH_3)_2]^+)}{c(Ag^+) \cdot c^2(NH_3)}$$

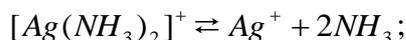
Константы устойчивости и нестойкости комплексных ионов можно легко найти в справочниках по аналитической химии (см. некоторые примеры в приложении 5) и использовать для:

- вычисления концентраций различных частиц (ионов, молекул) в растворах комплексных соединений.
- решения многих задач в качественном и количественном анализе (маскировка ионов, растворение осадков и др.)

Примеры решения задач

Пример 1: Рассчитать $c(\text{Ag}^+)$ и $c(\text{NH}_3)$ в одномолярном растворе $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$.

Решение:



$$x = c(\text{Ag}^+); ([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 1 - x; c(\text{NH}_3) = 2x$$

Записываем выражение для константы устойчивости комплекса $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$

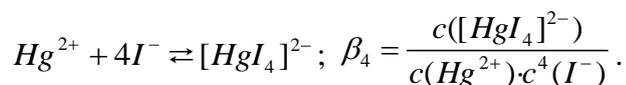
$$\beta_2 = K_{\text{уст}} = \frac{c([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+)}{c(\text{Ag}^+) \cdot c^2(\text{NH}_3)}; \quad 1,7 \cdot 10^7 = \frac{1-x}{x \cdot (2x)^2} \approx \frac{1}{4x^3}$$

$$x^3 = \frac{1}{4 \cdot 1,7 \cdot 10^7} = 14,7 \cdot 10^{-9};$$

$$x = c(\text{Ag}^+) = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}; \quad c(\text{NH}_3) = 2x = 2 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Пример 2: Вычислить $c(\text{Hg}^{2+})$ в 0,01 молярном растворе $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$, содержащем 0,5 моль/л KI .

Решение:

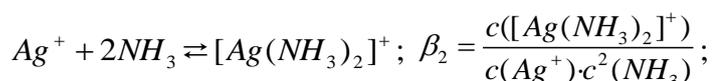


Комплексный ион является очень устойчивым ($\beta_4 = 6,76 \cdot 10^{29}$) и $c([\text{HgI}_4]^{2-})$ практически совпадает с начальной концентрацией комплекса (0,01 моль/л), а $c(\text{I}^-)$ равна $c(\text{KI})$ (KI взят в избытке).

$$6,76 \cdot 10^{29} = \frac{0,01}{c(\text{Hg}^{2+}) \cdot 0,5^4}; \quad c(\text{Hg}^{2+}) = \frac{0,01}{6,76 \cdot 10^{29} \cdot 0,5^4} = 2,4 \cdot 10^{-31} \text{ моль/л}$$

Пример 3: Рассчитать $c(\text{Ag}^+)$ в растворе, содержащем 0,1 моль/л $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ и 0,5 моль/л NH_3 .

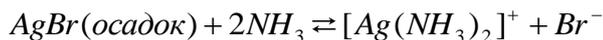
Решение:



$$1,7 \cdot 10^7 = \frac{0,1}{c(\text{Ag}^+) \cdot 0,5^2}; \quad c(\text{Ag}^+) = \frac{0,1}{1,7 \cdot 10^7 \cdot 0,25} = 2,35 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}.$$

Пример 4: Рассчитать растворимость AgBr в 0,1 молярном растворе NH_3 .

Решение:



Исходя из этого процесса растворения, можем записать:

$$S_{AgBr} = c([Ag(NH_3)_2]^+) = c(Br^-) = x; \quad c(NH_3) = 0,1 - 2x;$$

Запишем выражение для константы равновесия этого обратимого процесса:

$$K = \frac{c([Ag(NH_3)_2]^+) \cdot c(Br^-)}{c^2(NH_3)} = \frac{x^2}{(0,1 - 2x)^2} \quad \text{или}$$

$$K = \frac{c([Ag(NH_3)_2]^+) \cdot c(Br^-) \cdot c(Ag^+)}{c^2(NH_3) \cdot c(Ag^+)} = \beta_2([Ag(NH_3)_2]^+) \cdot PP_{AgBr} = 1,7 \cdot 10^7 \cdot 5,3 \cdot 10^{-13} = 9,01 \cdot 10^{-6};$$

Приравниваем полученные результаты:

$$x^2 / (0,1 - 2x)^2 = 9,01 \cdot 10^{-6}; \quad x^2 / 0,1^2 \approx 9,01 \cdot 10^{-6}; \quad x \approx 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Более точно: $\frac{x}{(0,1 - 2x)} = \sqrt{9,01 \cdot 10^{-6}} = 3,0 \cdot 10^{-3}; \quad x = 3,0 \cdot 10^{-4} - 6,0 \cdot 10^{-3} x;$

$$x + 0,006x = 3,0 \cdot 10^{-4}; \quad 1,006x = 3,0 \cdot 10^{-4}; \quad x = 2,98 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Задачи для самостоятельного решения

7-1. В 1 литре раствора содержится 1 моль NH_3 и 0,01 моль $Cd(NO_3)_2$. Рассчитать концентрацию ионов кадмия в этом растворе.

$$\text{Ответ: } 3,25 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л.}$$

7-2. В 10 мл воды растворили 0,3684 г $K_4[Fe(CN)_6]$. Рассчитать $c(Fe^{2+})$ в полученном растворе.

$$\text{Ответ: } 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

7-3. Рассчитать растворимость хлорида серебра в 0,1 молярном растворе NH_3 .

$$\text{Ответ: } S \approx 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л, } S = 4,96 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

7-4. Рассчитать $c(Hg^{2+})$ в растворе, содержащем 0,01 моль/л $Hg(NO_3)_2$ и 0,08 моль/л KI .

$$\text{Ответ: } 5,78 \cdot 10^{-27} \text{ моль/л.}$$

7-5. К 0,2 молярному раствору $NiSO_4$ добавили равный объем 2 молярного раствора NH_3 . Вычислить $c(Ni^{2+})$, если считать, что в растворе образуется комплексный ион $[Ni(NH_3)_4]^{2+}$.

$$\text{Ответ: } 2,62 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

7-6. В 1 литре раствора содержится 0,1 моль $CuSO_4$ и 2,4 моль NH_3 . Вычислить $c(Cu^{2+})$, если считать, что в растворе образуется комплексный ион $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

Ответ: $5,84 \cdot 10^{-15}$ моль/л.

7-7. Какое количество NH_4SCN необходимо внести в 1 литр раствора $Hg(NO_3)_2$ с молярной концентрацией равной $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, чтобы снизить концентрацию ионов Hg^{2+} до 10^{-11} моль/л за счет образования комплексного иона $[Hg(SCN)_4]^{2-}$?

Ответ: $\approx 4,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

7-8. Растворится ли 0,1 г $AgBr$ в 100 мл одномолярного раствора NH_3 ? Подтвердите ответ расчетами.

Ответ: нет.

7-9. Выпадет ли осадок при смешивании 0,1 молярного раствора $[Cd(NH_3)_4]Cl_2$ с равным объемом 0,2 молярного раствора Na_2S ?

Ответ: да.

7-10. В каком растворе $c(Cd^{2+})$ больше: в 0,1 молярном растворе $[Cd(NH_3)_4]Cl_2$ или в 0,1 молярном растворе $K_2[Cd(CN)_4]$?

Ответ: в 0,1 молярном растворе $[Cd(NH_3)_4]Cl_2$.

8. ТЕСТЫ С ОДНИМ ПРАВИЛЬНЫМ ОТВЕТОМ – качественный анализ

8-1. При добавлении серной кислоты к раствору, содержащему катионы II и III аналитических групп, осаждаются:

A. Все катионы;

D. Ba^{2+} , Sr^{2+} ;

B. Ba^{2+} , Sr^{2+} и Ca^{2+} ;

E. Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} .

C. Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} (частично), Hg_2^{2+}
и Pb^{2+} ;

8-2. Среда раствора, в котором $c(OH^-) = 10^{-8}$ моль/л, является:

A. сильнокислой;

B. слабокислой;

C. сильнощелочной;

D. слабощелочной;

Е. нейтральной.

8-3. Хромат калия образует с Ag^+ осадок:

А. красно – карминовый;

Д. бурый;

В. желтый;

Е. коричневый.

С. белый;

8-4. При добавлении избытка аммиака к раствору, содержащему катионы II аналитической группы, осаждаются:

А. все катионы;

Д. Pb^{2+} и Hg_2^{2+} ;

В. только Pb^{2+} ;

Е. Ag^+ и Hg_2^{2+} .

С. только Hg_2^{2+} ;

8-5. Значение pH раствора с $c(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 10^{-3}$ моль/л равно:

А. 3;

Д. 6,0;

В. 11;

Е. $11 + \lg 2$.

С. $3 - \lg 2$;

8-6. Аналитическим эффектом реакции Pb^{2+} с NaOH является:

А. желтый осадок;

В. белый осадок, растворимый в избытке NH_3 ;

С. белый осадок, нерастворимый в избытке NaOH ;

Д. белый осадок, растворимый в избытке NaOH и нерастворимый в NH_3 .

Е. бурый осадок, растворимый в избытке NaOH .

8-7. При пропускании тока H_2S через раствор, содержащий катионы I, II и III аналитических групп, осаждаются:

А. все катионы;

С. катионы II аналитической группы;

В. Ba^{2+} и Pb^{2+} ;

Д. катионы III аналитической группы;

Е. Ag^+ и Ca^{2+} .

8-8. Ионная сила раствора с $c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,01$ моль/л равна:

А. 0,15;

Д. 0,30;

В. 0,05;

Е. 0,12.

С. 0,06;

- 8-9.** Для разделения ионов Sr^{2+} и Ca^{2+} используется реактив:
- А. Гипсовая вода; D. Na_2CO_3 ;
В. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; E. Na_2HPO_4 .
С. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$;
- 8-10.** Хромат калия образует с Pb^{2+} осадок:
- А. белый; D. красный;
В. бурый; E. желтый.
С. черный;
- 8-11.** Значение рН раствора, с $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10^{-4}$ моль/л, равно:
- А. 4; D. 10;
В. $4 - \lg 2$; E. 4,3.
С. $4 + \lg 2$;
- 8-12.** Аналитическим эффектом реакции ионов Ag^+ с раствором NH_3 является:
- А. белый осадок; D. бурый осадок, растворимый в избытке раствора NH_3 ;
В. желтый осадок; E. белый осадок, нерастворимый в избытке раствора NH_3 .
С. красный осадок;
- 8-13.** При добавлении избытка щелочи к раствору, содержащему смесь катионов II аналитической группы, полностью осаждаются:
- А. все катионы; D. Ag^+ , Hg_2^{2+} ;
В. Ag^+ , Pb^{2+} ; E. Pb^{2+} .
С. Hg_2^{2+} , Pb^{2+} ;
- 8-14.** Соли натрия окрашивают бесцветное пламя горелки в:
- А. желтый цвет; D. зеленый цвет;
В. оранжевый цвет; E. красный цвет.
С. фиолетовый цвет;
- 8-15.** Известно, что в растворе $c(\text{Ba}^{2+}) = c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{Pb}^{2+})$. При добавлении серной кислоты образуются осадки: BaSO_4 (ПП = $0,11 \cdot 10^{-9}$), CaSO_4 (ПП = $2,5 \cdot 10^{-5}$) и PbSO_4 (ПП = $1,6 \cdot 10^{-8}$). Укажите, в какой последовательности будут осаждаться катионы бария, кальция и свинца:
- А. Ca^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} ; B. Pb^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} ;

C. Ca^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} ;

E. Ba^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} .

D. Ba^{2+} , Pb^{2+} , Ca^{2+} ;

8-16. При обработке Hg_2Cl_2 избытком NH_3 образуется чёрный осадок:

A. $[\text{Hg}_2\text{NH}_2]\text{Cl}$

D. Hg_2O ;

B. Hg ;

E. HgOH .

C. $[\text{HgNH}_2]\text{Cl}$;

8-17. Определение катиона калия реактивом $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ проводят при соблюдении следующего условия:

A. кислая среда;

C. отсутствие в растворе катиона Na^+ ;

B. щелочная среда;

D. в присутствии CH_3COONa ;

E. отсутствие в растворе катиона Li^+ .

8-18. Какой катион, из ниже перечисленных, образует чёрный осадок с избытком раствора аммиака?

A. Ag^+ ;

D. Ba^{2+} ;

B. Hg_2^{2+} ;

E. Li^+ .

C. Sr^{2+} ;

8-19. При обнаружении Na^+ с помощью $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ среда раствора должна быть:

A. слабокислой или нейтральной;

D. слабощелочной или нейтральной;

B. слабокислой;

E. щелочной.

C. кислой;

8-20. При обнаружении K^+ с помощью $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ среда раствора должна быть:

A. слабокислой или нейтральной;

D. слабощелочной или нейтральной;

B. слабокислой;

E. щелочной.

C. кислой;

8-21. Реактив Несслера образует с солями аммония осадок:

A. белого цвета;

D. жёлтого цвета;

B. красного цвета;

E. оранжевого цвета.

C. красно-коричневого цвета;

8-22. Главным условием осаждения катиона Ba^{2+} бихроматом калия, является:

- A. кислая среда;
- B. щелочная среда;
- C. нагревание;
- D. присутствие ацетата натрия;
- E. охлаждение.

8-23. Соли кальция окрашивают бесцветное пламя горелки в:

- A. желтый цвет;
- B. фиолетовый цвет;
- C. карминово-красный цвет;
- D. зеленый цвет;
- E. синий цвет.

8-24. При добавлении щёлочи к раствору, содержащему Pb^{2+} , образуется осадок:

- A. чёрного цвета;
- B. белого цвета;
- C. белого цвета, растворимый в избытке реактива;
- D. жёлтого цвета;
- E. жёлтого цвета, растворимый в избытке реактива.

8-25. Соли калия окрашивают бесцветное пламя горелки в:

- A. желтый цвет;
- B. фиолетовый цвет;
- C. красный цвет;
- D. зеленый цвет;
- E. синий цвет.

8-26. Если реакция обнаружения катиона является не очень чувствительной, тогда необходимо:

- A. увеличить pH раствора;
- B. нагреть раствор;
- C. увеличить концентрацию раствора;
- D. уменьшить pH раствора;
- E. уменьшить концентрацию раствора.

8-27. Ионы кальция образуют с серной кислотой кристаллы:

- A. октаэдрической формы;
- B. кубической формы;
- C. в виде иголок (из разбавленных растворов);
- D. тетраэдрической формы;
- E. в виде иголок (из концентрированных растворов).

8-28. Об избирательных реактивах можно сказать, что они:

- A. не применяются в качестве группового реактива;
- B. образуют одинаковый аналитический эффект с ограниченным числом ионов;
- C. образуют аналитический эффект с одним ионом;

- D. образуют одинаковый аналитический эффект с большим числом ионов;
- E. не применяются для обнаружения ионов.

8-29. Ионы калия образуют с $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ кристаллы:

- A. октаэдрической формы;
- B. кубической формы;
- C. в виде иголок;
- D. тетраэдрической формы;
- E. сферической формы.

8-30. В анализируемом растворе содержатся ионы: Pb^{2+} , Ag^+ , Li^+ и Ba^{2+} . При добавлении щелочи осаждаются:

- A. все катионы;
- B. Ag^+ и Pb^{2+} ;
- C. Ag^+ , Pb^{2+} , Ba^{2+} ;
- D. Pb^{2+} и Ba^{2+} ;
- E. Pb^{2+} и Li^+ .

8-31. Какое вещество, из перечисленных ниже, растворяется в горячей воде?

- A. AgCl ;
- B. PbSO_4 ;
- C. Hg_2Cl_2 ;
- D. PbCl_2 ;
- E. $[\text{Hg}_2\text{NH}_2]\text{Cl}$.

8-32. Катионы лития мешают реакции обнаружения:

- A. K^+ с $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$;
- B. Na^+ с $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$;
- C. NH_4^+ с $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$;
- D. K^+ с $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$;
- E. NH_4^+ с NaOH .

8-33. В анализируемом растворе содержатся ионы: Ag^+ , Li^+ и Ca^{2+} . При добавлении избытка NH_3 осаждаются:

- A. все перечисленные ионы;
- B. Ag^+ , Li^+ ;
- C. Ca^{2+} , Li^+ ;
- D. Ca^{2+} , Ag^+ ;
- E. ни один из перечисленных ионов не осаждается.

8-34. О специфических реактивах можно сказать, что они:

- A. применяются в качестве группового реактива;
- B. образуют одинаковый аналитический эффект с ограниченным числом ионов;
- C. образуют аналитический эффект с одним ионом;

- D. образуют одинаковый аналитический эффект с большим числом ионов;
- E. не применяются для обнаружения ионов.

8-35. Какой катион из перечисленных ниже не осаждается полностью серной кислотой?

- A. Sr^{2+} ;
- B. Ca^{2+} ;
- C. Ba^{2+} ;
- D. Hg_2^{2+} ;
- E. Pb^{2+} .

8-36. Аналитическим эффектом реакции катиона серебра с щелочами является:

- A. белый осадок Ag_2O ;
- B. белый осадок AgOH ;
- C. бурый осадок Ag_2O ;
- D. жёлтый осадок Ag_2O ;
- E. бурый осадок AgOH .

8-37. Sr^{2+} можно обнаружить гипсовой водой в присутствии катионов:

- A. Ca^{2+} ;
- B. Ba^{2+} ;
- C. Pb^{2+} ;
- D. Hg_2^{2+} ;
- E. Ca^{2+} , Ba^{2+} .

8-38. Полное осаждение катионов III аналитической группы групповым реактивом осуществляется в присутствии:

- A. формалина;
- B. CH_3COONa ;
- C. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
- D. $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$;
- E. NH_3 .

8-39. При обработке раствора, содержащего ионы свинца, избытком NaOH образуется:

- A. белый осадок;
- B. бесцветный раствор;
- C. жёлтый осадок;
- D. жёлтый раствор;
- E. золотистые кристаллы.

8-40. NH_4^+ мешает определению Na^+ с помощью $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$, поскольку соли аммония:

- A. создают кислую среду в растворе, что приводит к разрушению реактива с образованием HSbO_3 ;
- B. образуют комплексные соединения с солями натрия;
- C. вступают в реакцию с $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$, образуя осадок $\text{NH}_4[\text{Sb}(\text{OH})_6]$;
- D. создают щелочную среду в растворе, что приводит к разрушению реактива;

Е. создают нейтральную среду.

8-41. Об общих реактивах можно сказать, что они:

- А. не применяются в качестве группового реактива;
- В. образуют одинаковый аналитический эффект с ограниченным числом ионов;
- С. образуют аналитический эффект с одним ионом;
- Д. образуют одинаковый аналитический эффект с большим числом ионов;
- Е. не применяются для отделения одной группы катионов от другой.

8-42. При термическом разложении солей аммония применяют концентрированную соляную кислоту, для того чтобы:

- А. растворить сухой остаток;
- В. перевести соли нелетучих кислот в соли летучих кислот;
- С. перевести катион NH_4^+ в N_2 ;
- Д. поглотить газы, которые образуются в результате прокаливании;
- Е. обнаружить катион NH_4^+ .

8-43. В присутствии Sr^{2+} , кальций можно обнаружить с помощью:

- А. гипсовой воды;
- В. H_2SO_4 (микрочист. реакция);
- С. $(NH_4)_2C_2O_4$;
- Д. $K_2Cr_2O_7$;
- Е. $K_4[Fe(CN)_6]$.

8-44. В анализируемом растворе содержатся ионы: Al^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} и Zn^{2+} . При добавлении к этому раствору избытка аммиака осаждаются:

- А. все перечисленные ионы;
- В. Mg^{2+} и Zn^{2+} ;
- С. Al^{3+} , Zn^{2+} и Mg^{2+} ;
- Д. Al^{3+} и Mg^{2+} ;
- Е. Cu^{2+} и Al^{3+} .

8-45. Цвет водного раствора соли никеля:

- А. светло – зеленый;
- В. темно – зеленый;
- С. красный;
- Д. желтый;
- Е. синий.

8-46. рН 0,1 молярного раствора KCN равен:

- А. 10,65;
- В. 11,65;
- С. 11,15;
- Д. 12,15;

8-53. При добавлении избытка аммиака к раствору, содержащему ионы Zn^{2+} , Hg^{2+} и Fe^{2+} , осаждаются

- A. все ионы;
- B. Fe^{2+} и Hg^{2+} ;
- C. только Fe^{2+} ;
- D. Fe^{2+} и Zn^{2+} ;
- E. Zn^{2+} и Hg^{2+} .

8-54. В анализируемом растворе содержатся ионы: Cr^{3+} , Zn^{2+} и Cu^{2+} . При добавлении избытка NH_3 осаждаются:

- A. все катионы;
- B. Zn^{2+} ;
- C. ни один не осаждается;
- D. Cu^{2+} ;
- E. Cr^{3+} и Zn^{2+} .

8-55. К 100 мл 0,1 молярного раствора CH_3COOH ($pK_a = 4,76$) добавили 100 мл 0,1 молярного раствора CH_3COONa . pH полученного раствора:

- A. 4,76;
- B. 8,88;
- C. 9,03;
- D. 2,38;
- E. 9,24.

8-56. Цвет раствора при окислении солей трехвалентного хрома в щелочной среде:

- A. оранжевый;
- B. зелёный;
- C. жёлтый;
- D. синий;
- E. малиновый.

8-57. pH 0,1 молярного раствора $NaHCO_3$:

- A. 9,68;
- B. 11,66;
- C. 5,16;
- D. 10,32;
- E. 8,34.

8-58. pH 0,1 молярного раствора NaH_2PO_4 :

- A. 4,68;
- B. 7,21;
- C. 7,58;
- D. 10,11;
- E. 3,61.

8-59. pH какого водного раствора, из предложенных ниже вариантов, не изменится при разбавлении?

- A. раствора NH_3 ;
B. раствора CH_3COOH ;
C. раствора HCOOH ;
D. раствора NaHCO_3 ;
E. раствора NH_4Cl .

8-60. pH какого водного раствора, из предложенных ниже вариантов, не изменится при разбавлении?

- A. раствора CH_3COOH ;
B. раствора, содержащего 0,1 моль/л NH_3 + 0,1 моль/л NaCl ;
C. раствора NH_3 ;
D. раствора NH_4Cl ;
E. раствора, содержащего 0,1 моль/л NH_3 + 0,1 моль/л NH_4Cl .

8-61. pH какого водного раствора, из предложенных ниже вариантов, не изменится при разбавлении?

- A. раствора, содержащего 0,1 моль/л HCOOH + 0,1 моль/л HCOOK .
B. раствора HCOOH ;
C. раствора HCOONa ;
D. раствора CH_3COONa ;
E. раствора NH_3 .

8-62. Выберите из пяти, предложенных ниже вариантов, тот, который содержит только вещества, создающие в водном растворе кислую среду:

- A. NH_4Cl , NaCl , KNO_3 ;
B. NH_4Cl , AlCl_3 , FeCl_3 ;
C. Na_2CO_3 , K_2SO_4 , AlCl_3 ;
D. Na_3PO_4 , KNO_3 , NH_4NO_3 ;
E. NH_4Cl , KCl , $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$.

8-63. Выберите из пяти, предложенных ниже вариантов, тот, который содержит только вещества, создающие в водном растворе щелочную среду:

- A. HCOOK , NH_4Cl , NH_4NO_3 ;
B. HCOOK , KCl , K_2CO_3 ;
C. CH_3COONa , Na_2CO_3 , $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$;
D. Na_3PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaCl ;
E. NaH_2PO_4 , NH_4NO_3 , AlCl_3 .

8-64. Какие соли, из предложенных ниже вариантов, образуют водные растворы с $\text{pH} = 7$?

- A. Na_2CO_3 ;
B. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, NaCl ;
C. NH_4Cl , CaCl_2 ;
D. AlCl_3 , NH_4Cl ;
E. NH_4Cl , BaCl_2 .

- 8-65.** К равным количествам вещества (моль) CH_3COONa и NaCN добавили одинаковый объем воды. Известно, что $K_a^{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,74 \cdot 10^{-5}$ и $K_a^{\text{HCN}} = 5,0 \cdot 10^{-10}$. Гидролиз какой соли пройдет в большей степени?
- A. CH_3COONa ; D. только CH_3COONa гидролизуется;
 B. обе соли гидролизуются в равной степени; E. ни одна из солей не гидролизуется.
 C. NaCN ;
- 8-66.** Амфотерные свойства проявляет:
- A. Fe(III) ; D. Sb(V) ;
 B. Mn(II) ; E. Cd(II) .
 C. Sb(III) ;
- 8-67.** Какие вещества из перечисленных ниже растворяются в избытке NH_4Cl :
- A. MnO(OH)_2 (ПР $\approx 10^{-56}$); D. Cu(OH)_2 (ПР $\approx 10^{-19}$);
 B. Mg(OH)_2 (ПР $\approx 10^{-9}$); E. Ni(OH)_2 (ПР $\approx 10^{-15}$).
 C. Cr(OH)_3 (ПР $\approx 10^{-31}$);
- 8-68.** Амфотерные свойства проявляет:
- A. Sb(V) ; D. Mn(II) ;
 B. Al(III) ; E. Cu(II) .
 C. Fe(III) ;
- 8-69.** В анализируемом растворе содержатся ионы: Sb^{3+} , Cd^{2+} , Al^{3+} и Mg^{2+} . При добавлении избытка щелочи осаждаются:
- A. все катионы; D. Sb^{3+} , Mg^{2+} ;
 B. Cd^{2+} и Mg^{2+} ; E. Sb^{3+} , Al^{3+} .
 C. Cd^{2+} , Sb^{3+} , Mg^{2+} ;
- 8-70.** Хлороксиды висмута и сурьмы можно разделить при помощи:
- A. HCl ; D. $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$;
 B. HNO_3 ; E. HCOOH .
 C. CH_3COOH ;
- 8-71.** Главным условием реакции обнаружения Fe^{2+} с гексацианоферратом (III) калия, является:
- A. слабощелочная среда; B. присутствие CH_3COONa ;

- A. $7 \cdot 10^{-5}$ г/л; D. $7 \cdot 10^{-5}$ моль/л;
B. 0,007 г/л; E. $0,7 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
C. 0,007 моль/л;

8-79. Дан раствор с $c(\text{CaCl}_2) = 0,01$ моль/л. Концентрация (моль/л) Pb^{2+} , необходимая для начала осаждения ионов Cl^- в виде PbCl_2 , равна:

- A. 0,04; D. 0,0008;
B. 0,16; E. 0,0016.
C. 0,80;

8-80. Дан 0,01 молярный раствор AgNO_3 . Молярная концентрация (моль/л) хромат – анионов, необходимая для начала осаждения ионов Ag^+ , равна:

- A. $1,1 \cdot 10^{-12}$; D. $1,1 \cdot 10^{-14}$;
B. $1,1 \cdot 10^{-10}$; E. $1,05 \cdot 10^{-6}$.
C. $1,1 \cdot 10^{-8}$;

8-81. Br^- - анион может быть окислен до Br_2 при действии:

- A. йодной воды; D. известковой воды;
B. подкисленного раствора NaNO_2 ; E. хлорной воды.
C. разбавленного раствора H_2SO_4 ;

8-82. При определенной температуре концентрация насыщенного раствора CaSO_4 равна 0,0025 моль/л. Величина $\text{PP}_{\text{CaSO}_4}$ при этой температуре равна:

- A. $6,00 \cdot 10^{-6}$; D. $6,25 \cdot 10^{-4}$;
B. $2,50 \cdot 10^{-3}$; E. $6,25 \cdot 10^{-6}$.
C. $5,00 \cdot 10^{-3}$;

8-83. Растворимость сульфата бария ($M_r = 233,4$) равна 0,002334 г/л. Величина $\text{PP}_{\text{BaSO}_4}$ равна:

- A. $5,43 \cdot 10^{-6}$; D. $1,00 \cdot 10^{-10}$;
B. $4,66 \cdot 10^{-3}$; E. $1,15 \cdot 10^{-10}$.
C. $2,00 \cdot 10^{-5}$;

8-84. Даны 5 растворов с одинаковой молярной концентрацией, которые содержат следующие комплексные ионы: $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Hg}(\text{SCN})_4]^{2-}$ и $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$. Значения констант устойчивости β_4 соответственно равны: $3,63 \cdot 10^6$; $1,07 \cdot 10^{12}$; $2,95 \cdot 10^7$; $1,58 \cdot 10^{21}$ и $1,29 \cdot 10^{17}$. $c(\text{Me}^{2+})$ меньше в растворе, содержащем комплексный ион:

- A. $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$;
B. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$;
C. $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$;
D. $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$;
E. $[\text{Hg}(\text{SCN})_4]^{2-}$.

8-85. Самая маленькая $c(\text{Ni}^{2+})$ в:

- A. 0,1 молярном растворе NiSO_4 ;
B. 0,1 молярном растворе $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$;
C. 0,01 молярном растворе NiSO_4 ;
D. 0,1 молярном растворе $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, содержащем 1 моль/л NH_3 ;
E. 0,1 молярном растворе $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$.

8-86. Самая маленькая $c(\text{Fe}^{3+})$ в:

- A. 0,1 молярном растворе $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{SCN})_6]$, содержащем 1 моль/л KSCN ;
B. 0,1 молярном растворе $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{SCN})_6]$;
C. 0,1 молярном растворе FeCl_3 ;
D. 0,01 молярном растворе FeCl_3 ;
E. 0,1 молярном $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{SCN})_6]$.

8-87. Присутствие какого иона в растворе может быть доказано с помощью хлорида бария в солянокислой среде:

- A. CO_3^{2-} ;
B. CH_3COO^- ;
C. PO_4^{3-} ;
D. Br^- ;
E. SO_4^{2-} .

8-88. Присутствие какого иона в растворе может быть доказано с помощью хлорида бария в нейтральной среде:

- A. PO_4^{3-} ;
B. CH_3COO^- ;
C. NO_3^- ;
D. Br^- ;
E. S^{2-} .

8-89. Присутствие какого иона в растворе может быть доказано с помощью нитрата серебра в азотнокислой среде:

- A. PO_4^{3-} ;
B. CO_3^{2-} ;
C. I^- ;
D. SO_4^{2-} ;
E. CH_3COO^- .

8-90. Растворение AgCl в растворе аммиака представляет собой процесс:

- A. диссоциации AgCl ;
B. ионизации AgCl , с образованием Ag^+ ;

- С. связывания Cl^- в комплексный ион;
D. связывания Ag^+ в комплексный ион;
E. гидролиза соли.

8-91. Обнаружение аниона SO_3^{2-} в присутствии $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ осуществляется с помощью реактива:

- A. BaCl_2 ;
B. Йодная вода;
C. Подкисленный раствор KMnO_4 ;
D. SrCl_2 ;
E. H_2SO_4 .

8-92. Какое комплексное соединение образуется при растворении AgCl в аммиаке?

- A. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$;
B. $[\text{Ag}(\text{NH}_2)_2]\text{Cl}$;
C. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$;
D. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]\text{Cl}$;
E. $[\text{Ag}_2\text{NH}_2\text{O}]\text{Cl}$.

8-93. В анализируемом растворе содержатся ионы: Pb^{2+} , Ag^+ , Al^{3+} и Mg^{2+} . При добавлении избытка щелочи осаждаются:

- A. все катионы;
B. Ag^+ и Mg^{2+} ;
C. Ag^+ , Pb^{2+} , Mg^{2+} ;
D. Pb^{2+} , Mg^{2+} ;
E. Pb^{2+} , Al^{3+} .

8-94. В анализируемом растворе содержатся ионы: Ag^+ , Zn^{2+} и Co^{2+} . При добавлении избытка NH_3 осаждаются:

- A. все перечисленные ионы;
B. Ag^+ , Zn^{2+} ;
C. Co^{2+} , Zn^{2+} ;
D. Co^{2+} , Ag^+ ;
E. ни один из перечисленных ионов не осаждается.

8-95. Анализируется раствор, в котором возможно присутствие катионов: Pb^{2+} , Al^{3+} и Mg^{2+} .

Наличие в растворе иона Mg^{2+} можно доказать реакцией с:

- A. разбавленным раствором NaOH ;
B. разбавленным раствором NH_3 ;
C. концентрированным раствором NH_3 (избыток NH_3);
D. разбавленным раствором Na_2HPO_4 ;
E. концентрированным раствором NaOH (избытком NaOH).

8-96. Выберите из пяти, предложенных ниже вариантов, тот, который содержит только вещества, проявляющие в водных растворах кислотные свойства (с точки зрения протолитической теории Бренстеда – Лоури):

8-102. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{I_2/2I^-} = +0,54 \text{ В}$, $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0,77 \text{ В}$,
 $E^0_{Br_2/Br^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{Cl_2/2Cl^-} = +1,3 \text{ В}$, укажите какая, из нижеприведенных уравнений реакций,
написана неверно:

- A. $Br_2 + 2Cl^- = Cl_2 + 2Br^-$; D. $2I^- + 2Fe^{3+} = I_2 + 2Fe^{2+}$;
B. $Br_2 + 2Fe^{2+} = 2Fe^{3+} + 2Br^-$; E. $Cl_2 + 2Br^- = Br_2 + 2Cl^-$.
C. $Br_2 + 2I^- = I_2 + 2Br^-$;

8-103. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{I_2/2I^-} = +0,54 \text{ В}$, $E^0_{NO_2^-/NO} = +0,98 \text{ В}$,
 $E^0_{Br_2/Br^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{Cl_2/2Cl^-} = +1,36 \text{ В}$, укажите какие ионы можно окислить йодом в кислой
среде:

- A. Br^- ; D. NO_2^- ;
B. Cl^- ; E. Ни один из выше перечисленных
ионов нельзя окислить I_2 .
C. Fe^{2+} ;

8-104. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0,77 \text{ В}$, $E^0_{NO_2^-/NO} = +0,98 \text{ В}$,
 $E^0_{Br_2/Br^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{Cl_2/2Cl^-} = +1,36 \text{ В}$, $E^0_{MnO_4^-/Mn^{2+}} = +1,51 \text{ В}$. укажите какие ионы можно
окислить анионом NO_2^- в кислой среде:

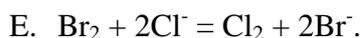
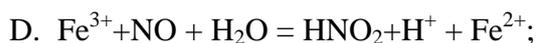
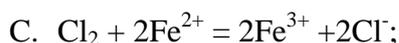
- A. Mn^{2+} ; D. Fe^{2+} ;
B. Cl^- ; E. Все выше перечисленные ионы
окисляются анионом NO_2^- .
C. Br^- ;

8-105. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0,77 \text{ В}$, $E^0_{NO_2^-/NO} = +0,98 \text{ В}$,
 $E^0_{Br_2/Br^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{Cl_2/2Cl^-} = +1,36 \text{ В}$, $E^0_{I_2/2I^-} = +0,54 \text{ В}$, укажите какая, из нижеприведенных
реакций, действительно имеет место:

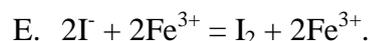
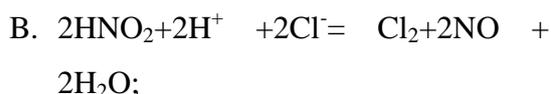
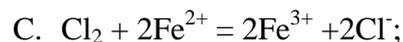
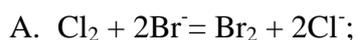
- A. $2HNO_2 + 2H^+ + 2Br^- = Br_2 + 2NO + 2H_2O$;
B. $2HNO_2 + 2H^+ + 2Cl^- = Cl_2 + 2NO + 2H_2O$;
C. $I_2 + 2NO + 2H_2O = 2HNO_2 + 2H^+ + 2I^-$;
D. $2HNO_2 + 2H^+ + Fe^{2+} = Fe^{3+} + NO + 2H_2O$;
E. $Br_2 + 2Cl^- = Cl_2 + 2Br^-$.

8-106. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0,77 \text{ В}$, $E^0_{NO_2^-/NO} = +0,98 \text{ В}$,
 $E^0_{Br_2/Br^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{Cl_2/2Cl^-} = +1,36 \text{ В}$, $E^0_{I_2/2I^-} = +0,54 \text{ В}$, укажите какая, из нижеприведенных
реакций, действительно имеет место:

- A. $2HNO_2 + 2H^+ + 2Br^- = Br_2 + 2NO + 2H_2O$;



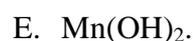
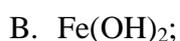
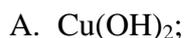
8-107. Зная значения электродных потенциалов: $E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = +0,77 \text{ В}$, $E^0_{\text{NO}_2^-/\text{NO}} = +0,98 \text{ В}$,
 $E^0_{\text{Br}_2/\text{Br}^-} = +1,09 \text{ В}$, $E^0_{\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-} = +1,36 \text{ В}$, $E^0_{\text{I}_2/2\text{I}^-} = +0,54 \text{ В}$, укажите какая, из нижеприведенных
реакций, не идет до конца:



8-108. Даны следующие труднорастворимые сульфиды: PbS (ПП = $2,5 \cdot 10^{-27}$), MnS (ПП = $2,5 \cdot 10^{-10}$),
FeS (ПП = $5 \cdot 10^{-18}$), CdS (ПП = $1,6 \cdot 10^{-28}$) и ZnS (ПП = $1,6 \cdot 10^{-24}$). Какое из этих веществ легче
растворяется в соляной кислоте?



8-109. Даны следующие труднорастворимые гидроксиды: Ni(OH)₂ (ПП = $2 \cdot 10^{-15}$), Fe(OH)₂ (ПП =
 $7 \cdot 10^{-16}$), Mn(OH)₂ (ПП = $2 \cdot 10^{-13}$), Cd(OH)₂ (ПП = $2 \cdot 10^{-14}$) și Cu(OH)₂ (ПП = $8 \cdot 10^{-20}$). Какое из этих
веществ легче растворяется в соляной кислоте?



8-110. Какой из нижеперечисленных растворителей проявляет амфотерные свойства?



9. ТЕСТЫ С НЕСКОЛЬКИМИ ПРАВИЛЬНЫМИ ОТВЕТАМИ – качественный

анализ

9-1. Цели качественного химического анализа:

A. определение качественного состава вещества;

- В. определение массовых отношений компонентов в анализируемой системе;
- С. обнаружение компонентов в анализируемой системе;
- Д. определение молярной концентрации анализируемого раствора;
- Е. обнаружение и разделение ионов в анализируемом растворе.

9-2. Аналитическими свойствами, позволяющими осуществлять качественный химический анализ вещества, являются:

- А. плотность;
- В. температура;
- С. цвет;
- Д. выделение газа в результате реакции с кислотами;
- Е. образование осадка в результате взаимодействия с реактивами.

9-3. В качестве аналитических реакций обнаружения могут быть использованы реакции:

- А. осаждения;
- В. комплексообразования;
- С. $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$;
- Д. $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$;
- Е. $\text{PO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{OH}^-$.

9-4. В качестве аналитических реакций обнаружения могут быть использованы реакции:

- А. $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$;
- В. которые протекают с выделением характерного газа;
- С. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$;
- Д. которые протекают с изменением цвета раствора;
- Е. $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} = \text{BaSO}_4\downarrow$.

9-5. Специфическими реактивами являются:

- А. реактивы, которые дают аналитический эффект только с одним ионом анализируемой системы;
- В. NaOH в реакции определения NH_4^+ ;
- С. реактивы, которые позволяют определить данный ион в присутствии других ионов;
- Д. реактивы, которые дают одинаковый аналитический эффект с ограниченным числом ионов;
- Е. реактивы, которые дают одинаковый аналитический эффект с большим числом ионов.

9-6. Реактивами, которые могут быть использованы в качестве группового реактива, являются:

- А. общие реактивы;
- В. специфические реактивы;
- С. избирательные реактивы;
- Д. $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ для катионов I аналитической группы;
- Е. H_2SO_4 для катионов III аналитической группы.

9-7. В растворе каждый ион окружен молекулами растворителя. Это явление называется:

- А. сольватацией;
- В. гидролизом;
- С. гидратированием (когда растворитель вода);

- D. нейтрализацией;
- E. образованием комплексных ионов (сольватоккомплексов или гидратоккомплексов).

9-8. Для слабых электролитов справедливо:

- A. полная ионизация при растворении в воде;
- B. в растворе частично находятся в виде ионов;
- C. $\alpha < 1$;
- D. $\alpha \approx 1$;
- E. $\alpha \approx 0$.

9-9. Величина коэффициента активности зависит от:

- A. ионной силы раствора;
- B. концентрации неэлектролита в растворе;
- C. заряда ионов в растворе;
- D. концентрации всех ионов в растворе;
- E. только от концентрации однозарядных ионов.

9-10. Значение ионной силы 0,15 имеют растворы:

- A. 0,1 молярный раствор K_2SO_4 ;
- B. 0,15 молярный раствор KCl ;
- C. 0,05 молярный раствор K_3PO_4 ;
- D. 0,05 молярный раствор $CaCl_2$;
- E. 0,1 молярный раствор Na_2CO_3 .

9-11. Численные значения каких величин (константа диссоциации, pH раствора, степень диссоциации) изменятся при разбавлении 0,1 молярного раствора CH_3COOH ?

- A. pH раствора;
- B. константа диссоциации;
- C. ни одна не изменяется;
- D. степень диссоциации;
- E. все перечисленные величины изменяются.

9-12. Численные значения каких величин (константа диссоциации, pH раствора, степень диссоциации) увеличатся при разбавлении 0,1 молярного раствора CH_3COOH ?

- A. pH раствора;
- B. константа диссоциации;
- C. все перечисленные величины;
- D. ни одна не изменяется;
- E. степень диссоциации.

9-13. Численные значения каких величин (константа диссоциации, кислотность раствора, степень диссоциации) изменятся при разбавлении 0,1 молярного раствора NH_3 ?

- A. константа диссоциации;
- B. кислотность раствора;
- C. степень диссоциации;
- D. все перечисленные величины изменяются;
- E. ни одна не изменяется.

9-14. Для вычисления pH раствора слабой кислоты HA применяют формулы:

- A. $pH = \frac{1}{2} pK_a^{HA} - \frac{1}{2} \lg c_0(HA)$;
- B. $pH = \lg \alpha$;
- C. $pH = pK_a^{HA}$;
- D. $pH = -\lg c_0(HA) - \lg \alpha$;
- E. $pH = -\lg c_0(HA)$.

9-15. Для вычисления pH раствора слабого основания В применяют формулы:

A. $\text{pH} = \frac{1}{2} pK_b^B - \frac{1}{2} \lg c_0(B)$;

D. $\text{pH} = -\lg c_0(B) - \lg \alpha$;

B. $\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} pK_b^B + \frac{1}{2} \lg c_0(B)$;

E. $\text{pH} = 14 + \lg c_0(B) + \lg \alpha$.

C. $\text{pH} = \lg \alpha$;

9-16. Формулами для вычисления $c(\text{H}^+)$ в растворе слабой кислоты НА являются:

A. $c(\text{H}^+) = c_0(\text{HA}) \cdot \alpha$;

D. $c(\text{H}^+) = c_0(\text{HA}) \cdot \alpha^2$;

B. $c(\text{H}^+) = c_0(\text{HA}) \cdot K_a^{\text{HA}}$;

E. $c(\text{H}^+) = c_0(\text{HA})$.

C. $c(\text{H}^+) = \sqrt{c_0(\text{HA}) \cdot K_a^{\text{HA}}}$;

9-17. Формулами для вычисления $c(\text{H}^+)$ в растворе слабого основания В являются:

A. $c(\text{H}^+) = c_0(B) \cdot \alpha$;

C. $c(\text{H}^+) = \sqrt{c_0(B) \cdot K_b^B}$;

E. $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-14}}{\sqrt{K_b^B \cdot c_0(B)}}$.

B. $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-14}}{\alpha \cdot c_0(B)}$;

D. $c(\text{H}^+) = c_0(B)$;

9-18. С какими реактивами катион Ag^+ образует чёрный или бурый осадок?



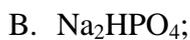
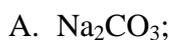
9-19. С какими реактивами катион Ba^{2+} образует жёлтые осадки?



9-20. С какими реактивами катион Ba^{2+} образует белые осадки?



9-21. С какими реактивами катион Pb^{2+} образует жёлтые осадки?



9-22. С какими реактивами катион Pb^{2+} образует белые осадки?

C. KCN, NH₃, HClO₄;

E. NH₄Cl, Na₂CO₃, CH₃COONa.

D. NH₄NO₃, HCOOH, H₂SO₄;

9-30. Выберите, из вариантов предложенных ниже, те, которые содержат только вещества, проявляющие основные свойства в водных растворах:

A. NH₃, CH₃COOK, NaCN;

D. NH₃, NH₄Cl, CH₃COONH₄;

B. NaCN, CH₃COOH, HCOOH;

E. CH₃COONa, Na₂CO₃, KCN.

C. HCl, NH₃, CH₃COOK;

9-31. В водном растворе степень гидролиза соли, образованной слабой кислотой и сильным основанием, больше:

A. при разбавлении;

D. с ростом K_а;

B. при уменьшении температуры;

E. при уменьшении K_а.

C. при увеличении температуры;

9-32. В водном растворе степень гидролиза соли, образованной сильной кислотой и слабым основанием, меньше:

A. при разбавлении;

D. с ростом K_в;

B. при увеличении температуры;

E. при уменьшении температуры.

C. при уменьшении K_в;

9-33. При пропускании сероводорода через раствор в котором содержатся катионы Ba²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺ и Na⁺ осаждаются:

A. все перечисленные ионы;

D. Ba²⁺;

B. Pb²⁺;

E. Na⁺.

C. Zn²⁺;

9-34. При пропускании сероводорода через раствор в котором содержатся катионы Ca²⁺, K⁺, Ag⁺ и Fe²⁺ осаждаются:

A. Ag⁺;

D. Ca²⁺;

B. все перечисленные ионы;

E. Fe²⁺.

C. K⁺;

9-35. При пропускании сероводорода через раствор в котором содержатся катионы Hg²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ и Sr²⁺ осаждаются:

A. все перечисленные ионы;

D. Cu²⁺;

B. Sr²⁺;

E. Hg²⁺.

C. Zn²⁺;

9-36. H₂S образует жёлтые осадки с катионами:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Cd ²⁺ ; | D. As ³⁺ ; |
| B. Bi ³⁺ ; | E. Pb ²⁺ . |
| C. Fe ²⁺ ; | |

9-37. H₂S образует чёрные осадки с катионами:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Zn ²⁺ ; | D. Hg ²⁺ ; |
| B. Al ³⁺ ; | E. Fe ²⁺ . |
| C. Cu ²⁺ ; | |

9-38. H₂S образует белые осадки с катионами:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Al ³⁺ ; | D. Ag ⁺ ; |
| B. Zn ²⁺ ; | E. Cr ³⁺ . |
| C. Mg ²⁺ ; | |

9-39. При пропускании сероводорода через раствор в котором содержатся катионы Al³⁺ и Cr³⁺ образуется:

- | | |
|---|--|
| A. Al ₂ S ₃ – белый осадок; | D. Cr ₂ S ₃ – грязно-зелёный осадок; |
| B. Al(OH) ₃ – белый осадок; | E. Na ₂ CrO ₄ – жёлтый раствор. |
| C. Cr(OH) ₃ – грязно-зелёный осадок; | |

9-40. Хромат калия образует жёлтые осадки хроматов с катионами:

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| A. Pb ²⁺ ; | D. Hg ₂ ²⁺ ; |
| B. Ag ⁺ ; | E. Ba ²⁺ . |
| C. Mg ²⁺ ; | |

9-41. Тиосульфат натрия образует чёрные осадки сульфидов с катионами:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Ca ²⁺ ; | D. Cd ²⁺ ; |
| B. Ag ⁺ ; | E. Hg ²⁺ . |
| C. Cu ²⁺ ; | |

9-42. Реакция гидролиза применяется для обнаружения катионов:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Mg ²⁺ ; | D. Sb ³⁺ ; |
| B. Fe ²⁺ ; | E. Pb ²⁺ . |
| C. Bi ³⁺ ; | |

9-43. Аналитическим эффектом реакции хрома(III) с NaOH является:

- A. $\text{Cr}(\text{OH})_3$ – грязно-зелёный осадок (при добавлении эквивалентного количества реактива);
- B. $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$ – раствор светло-зелёного цвета (при добавлении избытка реактива);
- C. Na_2CrO_4 – жёлтый раствор;
- D. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – оранжевый раствор;
- E. CrO_3 – красный осадок.

9-44. Раствор NaOH образует нерастворимые оксиды с катионами:

- A. Pb^{2+} ;
- B. Zn^{2+} ;
- C. Ag^+ ;
- D. Hg_2^{2+} ;
- E. Hg^{2+} .

9-45. В избытке раствора NaOH образуются растворимые гидроксокомплексы катионов:

- A. Zn^{2+} ;
- B. Pb^{2+} ;
- C. Sn^{2+} ;
- D. Fe^{2+} ;
- E. Cu^{2+} .

9-46. С помощью каких реактивов, взятых вместе, катион Mn^{2+} образует чёрно-бурый осадок $\text{MnO}(\text{OH})_2$?

- A. H_2SO_4 ;
- B. H_2O_2 ;
- C. NaOH;
- D. $\text{Mg}(\text{OH})_2$;
- E. HCl.

9-47. В избытке NaOH образуют растворимые комплексы типа $\text{Na}_3[\text{Me}(\text{OH})_6]$ катионы:

- A. Fe^{3+} ;
- B. Al^{3+} ;
- C. As^{3+} ;
- D. Cr^{3+} ;
- E. Sb^{3+} .

9-48. В избытке NH_3 образуют растворимые комплексы типа $[\text{Me}(\text{NH}_3)_n](\text{OH})_2$ синего цвета, катионы:

- A. Ni^{2+} ;
- B. Zn^{2+} ;
- C. Cd^{2+} ;
- D. Cu^{2+} ;
- E. Hg^{2+} .

9-49. В избытке NH_3 образуют бесцветные растворимые комплексы типа $[\text{Me}(\text{NH}_3)_n](\text{OH})_2$ катионы:

- A. Cu^{2+} ;
- B. Hg^{2+} ;
- C. Ni^{2+} ;
- D. Cd^{2+} ;
- E. Zn^{2+} .

9-50. В избытке NH_3 , в присутствии NH_4Cl , образуют бесцветные растворимые комплексы типа $[\text{Me}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ катионы:

- A. Cu^{2+} ;
- B. Hg^{2+} ;
- C. Ni^{2+} ;
- D. Zn^{2+} ;
- E. Cd^{2+} .

9-51. При обработке раствора, в котором содержатся катионы Mn^{2+} и Fe^{2+} , гидроксидом натрия в присутствии пероксида водорода, образуются осадки:

- A. $\text{Fe}(\text{OH})_3$;
- B. $\text{Fe}(\text{OH})_2$;
- C. $\text{Mn}(\text{OH})_2$;
- D. $\text{MnO}(\text{OH})_2$;
- E. $\text{Mn}(\text{OH})_3$.

9-52. Иодид калия образует жёлтый или красный осадок с катионами:

- A. Hg^{2+} ;
- B. Hg_2^{2+} ;
- C. Pb^{2+} ;
- D. Bi^{3+} ;
- E. Ag^+ .

9-53. С какими реагентами катион Cu^{2+} образует чёрные осадки?

- A. Na_2SO_4 ;
- B. H_2S ;
- C. Na_2S ;
- D. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
- E. NH_3 .

9-54. С какими реагентами катион Bi^{3+} образует чёрные осадки?

- A. KI ;
- B. NaOH ;
- C. H_2S ;
- D. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$;
- E. Na_2HPO_4 .

9-55. С помощью каких реагентов, взятых вместе, можно осадить катионы Bi^{3+} в виде чёрного осадка металлического висмута?

- A. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$;
- B. NaOH ;
- C. CH_3COONa ;
- D. Na_2HPO_4 ;
- E. $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$.

9-56. С какими реагентами, перечисленными ниже, Zn^{2+} образует белый осадок?

- A. $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$;
- B. разб. р-р NH_3 ;
- C. H_2S ;
- D. $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;

Е. NH_4Cl .

9-57. С помощью каких реактивов, взятых вместе, можно обнаружить катион Mg^{2+} ?

А. раствор NH_3 ;

Д. NaCl ;

В. H_2S ;

Е. Na_2HPO_4 .

С. NH_4Cl ;

9-58. С какими реактивами, перечисленными ниже, можно обнаружить катион Mn^{2+} в азотнокислой среде?

А. Na_2HPO_4 ;

Д. H_2O_2 ;

В. PbO_2 ;

Е. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.

С. NaBiO_3 ;

9-59. С какими реактивами, перечисленными ниже, катионы Cu^{2+} образуют чёрные осадки?

А. H_2S ;

Д. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$;

В. NH_3 ;

Е. Na_2HPO_4 .

С. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

9-60. С помощью каких реактивов, взятых вместе, можно отделить катионы Hg^{2+} от катионов Fe^{3+} и Bi^{3+} ?

А. NH_4Cl ;

С. H_2S ;

Е. HCl .

В. NaOH ;

Д. NH_3 (изб.);

9-61. С помощью каких реактивов, взятых вместе, можно отделить катионы Cr^{3+} от катионов Al^{3+} ?

А. NaOH ;

Д. NH_4Cl ;

В. H_2O_2 ;

Е. NH_3 (изб.).

С. Na_2HPO_4 ;

9-62. Растворимость BaSO_4 увеличится при добавлении в его раствор веществ:

А. Na_2SO_4 ;

Д. NaCl ;

В. BaCl_2 ;

Е. NH_3 .

С. KNO_3 ;

9-63. Растворимость AgBr уменьшится при добавлении в его раствор веществ:

А. KBr ;

В. CH_3COOAg ;

- C. NH_3 ; E. AgNO_3 .
D. KNO_3 ;

9-64. Растворимость AgI увеличится при добавлении в его раствор веществ:

- A. избыток NH_3 ; D. KI ;
B. NaNO_3 ; E. AgNO_3 .
C. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

9-65. Растворимость AgBr увеличится при добавлении в его раствор веществ:

- A. KBr ; D. KNO_3 ;
B. CH_3COOAg ; E. AgNO_3 .
C. NH_3 ;

9-66. Растворимость $\text{Cu}(\text{OH})_2$ увеличится при добавлении в его раствор веществ:

- A. NaOH ; D. NaCl ;
B. NH_3 ; E. CuSO_4 .
C. HCl ;

9-67. Растворимость AgI уменьшится при добавлении в его раствор веществ:

- A. избыток NH_3 ; D. KI ;
B. NaNO_3 ; E. AgNO_3 .
C. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

9-68. Растворимость BaSO_4 уменьшится при добавлении в его раствор веществ:

- A. Na_2SO_4 ; D. NaCl ;
B. BaCl_2 ; E. NH_3 .
C. KNO_3 ;

9-69. Растворимость BaSO_4 увеличится при добавлении в его раствор веществ:

- A. NaNO_3 ; D. K_2SO_4 ;
B. KCl ; E. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.
C. H_2SO_4 ;

9-70. Растворимость AgBr уменьшится при добавлении в его раствор веществ:

- A. NaNO_3 ; C. AgNO_3 ;
B. NaBr ; D. NH_3 ;

Е. C_2H_5OH .

9-71. Растворимость AgI увеличится при добавлении в его раствор веществ:

- A. KI ; D. избыток $Na_2S_2O_3$;
B. $AgNO_3$; E. избыток $NaNO_3$.
C. избыток NH_3 ;

9-72. Анион Γ образует осадок с реактивами:

- A. $HgCl_2$; D. $Pb(NO_3)_2$;
B. $AgNO_3$; E. $MgCl_2$.
C. $BiCl_3$;

9-73. Разбавленная серная кислота применяется для обнаружения анионов:

- A. SO_3^{2-} ; D. NO_2^- ;
B. NO_3^- ; E. S^{2-} .
C. $S_2O_3^{2-}$;

9-74. Иодная вода обесцвечивается при взаимодействии с анионами-восстановителями:

- A. Cl^- ; C. $S_2O_3^{2-}$; E. S^{2-} .
B. Br^- ; D. SO_3^{2-} ;

9-75. В сернокислой среде, при комнатной температуре, раствор $KMnO_4$ обесцвечивается при взаимодействии с анионами-восстановителями:

- A. SO_3^{2-} ; C. NO_2^- ; E. $C_2O_4^{2-}$.
B. S^{2-} ; D. Γ ;

9-76. В качестве групповых реактивов для анионов-восстановителей применяют:

- A. H_3PO_4 ; D. разбавленный раствор $KMnO_4$ в
B. H_2SO_4 ; присутствии H_2SO_4 ;
C. йодная вода; E. $BaCl_2$.

9-77. Серная кислота образует газ с запахом жжёной серы при взаимодействии с анионами:

- A. S^{2-} ; C. SO_3^{2-} ; E. $S_2O_3^{2-}$.
B. NO_2^- ; D. CO_3^{2-} ;

9-78. В нейтральной среде $AgNO_3$ образует осадки при взаимодействии с анионами:

- С. растворители, являющиеся донорами протонов;
- Д. растворители, являющиеся акцепторами протонов;
- Е. NH_3 жидкий.

9-93. Амфотерными растворителями являются:

- А. растворители, являющиеся донорами протонов;
- В. растворители, являющиеся в одинаковой мере и акцепторами и донорами протонов;
- С. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
- Д. этилендиамин;
- Е. HCOOH .

9-94. Окислительно-восстановительный потенциал раствора, содержащего KMnO_4 и MnSO_4 увеличится:

- А. при увеличении $c(\text{H}^+)$;
- В. при увеличении концентрации KMnO_4 ;
- С. при уменьшении $c(\text{H}^+)$;
- Д. при увеличении $c(\text{MnSO}_4)$;
- Е. при уменьшении $c(\text{MnSO}_4)$.

9-95. Окислительно-восстановительный потенциал раствора, содержащего KMnO_4 и MnSO_4 уменьшится:

- А. при увеличении $c(\text{H}^+)$;
- В. при уменьшении $c(\text{MnSO}_4)$;
- С. при увеличении $c(\text{MnSO}_4)$;
- Д. при увеличении $c(\text{KMnO}_4)$;
- Е. при увеличении pH раствора.

9-96. Окислительно-восстановительный потенциал раствора, содержащего Na_3AsO_4 и Na_3AsO_3 увеличится:

- А. при увеличении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_3)$;
- В. при увеличении $c(\text{H}^+)$;
- С. при уменьшении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_3)$;
- Д. при увеличении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_4)$;
- Е. при уменьшении $c(\text{H}^+)$.

9-97. Окислительно-восстановительный потенциал раствора, содержащего Na_3AsO_4 и Na_3AsO_3 уменьшится:

- А. при добавлении NaHCO_3 ;
- В. при уменьшении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_4)$;
- С. при увеличении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_4)$;
- Д. при уменьшении $c(\text{Na}_3\text{AsO}_3)$;
- Е. при уменьшении $c(\text{H}^+)$.

9-98. Дан раствор, содержащий ионы Cl^- , Br^- и I^- . Исходя из значений стандартных потенциалов ($E^0_{\text{I}_2/2\text{I}^-} = 0,54\text{В}$, $E^0_{\text{Br}_2/2\text{Br}^-} = 1,09\text{В}$, $E^0_{\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-} = 1,36\text{В}$, $E^0_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}} = 1,33\text{В}$) бихромат калия в кислой среде окисляет ионы:

- А. Cl^- ;
- В. все анионы;
- С. Br^- ;
- Д. I^- ;
- Е. ни один не окисляется.

9-99. Дан раствор, содержащий ионы Fe^{2+} , Cl^- , Br^- , I^- и Mn^{2+} . Исходя из значений стандартных потенциалов: $E^0_{\text{I}_2/2\text{I}^-} = 0,54\text{В}$, $E^0_{\text{Br}_2/2\text{Br}^-} = 1,09\text{В}$, $E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,77\text{В}$, $E^0_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = 1,51\text{В}$, $E^0_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-} = 1,36\text{В}$, укажите какие ионы окисляет бромная вода в кислой среде ($\text{pH} = 0$):

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. I^- ; | D. Cl^- ; |
| B. Br^- ; | E. Fe^{2+} . |
| C. Mn^{2+} ; | |

9-100. Направление реакции $2\text{I}^- + \text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}^+ \Leftrightarrow \text{I}_2 + \text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O}$ изменится при добавлении веществ:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| A. NaHCO_3 ; | D. Na_3AsO_4 ; |
| B. KI ; | E. H_2SO_4 . |
| C. Na_3AsO_3 ; | |

9-101. Направление реакции $\text{I}_2 + \text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow 2\text{I}^- + \text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}^+$ изменится при добавлении веществ:

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------|
| A. NaHCO_3 ; | C. Na_3AsO_3 ; | E. NaOH . |
| B. KI ; | D. HCl ; | |

9-102. Кислотность раствора влияет на окислительно-восстановительный потенциал систем:

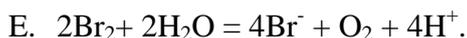
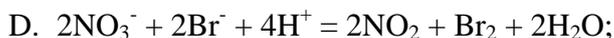
- | | | |
|---------------------------------|---|--|
| A. $\text{I}_2/2\text{I}^-$; | C. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$; | E. $\text{AsO}_4^{3-}/\text{AsO}_3^{3-}$. |
| B. $\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$; | D. $\text{Br}_2/2\text{Br}^-$; | |

9-103. Увеличение pH раствора уменьшит окислительно-восстановительный потенциал систем:

- | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| A. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$; | C. NO_3^-/NO ; | E. $\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$. |
| B. $\text{I}_2/2\text{I}^-$; | D. $\text{Br}_2/2\text{Br}^-$; | |

9-104. Окислительно-восстановительный потенциал раствора, содержащего Fe^{2+} и Fe^{3+} , уменьшится при добавлении к нему:

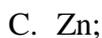
- | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| A. FeCl_3 ; | C. KSCN ; | E. HNO_3 . |
| B. Na_2HPO_4 ; | D. KNO_3 ; | |



9-110. Для обнаружения лекарственного вещества MgSO_4 применяют фармакопейные реакции с реактивами:



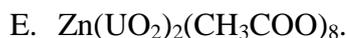
9-111. Для обнаружения лекарственного вещества AgNO_3 применяют фармакопейные реакции с реактивами:



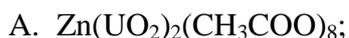
9-112. Для обнаружения лекарственного вещества KI применяют фармакопейные реакции с реактивами:



9-113. Для обнаружения лекарственного вещества NaNO_2 применяют фармакопейные реакции с реактивами:



9-114. Для обнаружения лекарственного вещества NaHCO_3 применяют фармакопейные реакции с реактивами:



9-115. В основе каких методов разделения веществ лежит закон распределения между двумя несмешивающимися жидкостями?



- В. осадительной хроматографии;
- С. адсорбционной хроматографии;
- Д. распределительной хроматографии;
- Е. экстракции.

9-116. В химических методах разделения катионов используют реакции:

- А. осаждения;
- В. комплексообразования;
- С. растворения;
- Д. гидролиза;
- Е. окисления-восстановления.

10. ГРАВИМЕТРИЯ

10.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Гравиметрическим анализом называют метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, выделенных в химически чистом виде, либо в виде соответствующих соединений точно известного состава.

Различают три группы гравиметрических методов анализа:

1. Метод выделения, в котором определяемый компонент выделяют из анализируемого образца и точно взвешивают его на аналитических весах.
2. Метод отгонки, в котором определяемую составную часть исследуемого объекта отгоняют в виде летучего соединения (нагреванием или действием соответствующих реагентов), а затем определяют её точную массу.
3. Метод осаждения, в котором определяемый компонент осаждают в виде труднорастворимого соединения, которое отделяют, промывают, высушивают, прокаливают и точно взвешивают на аналитических весах.

10.2. ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОТГОНКИ

Гравиметрический метод выделения применяют для определения золы в твердом топливе, или в лекарственном растительном сырье, для определения нерастворимого в соляной (или серной) кислоте сухого остатка лекарственного вещества органического происхождения и т.д.

Расчёт массовой доли (%) компонента А в анализируемом веществе, проводится по формуле:

$$\omega(A) = \frac{m(A) \cdot 100}{a},$$

где $m(A)$ – масса анализируемого компонента, г; a – масса навески исследуемого вещества, в котором содержится компонент А, г.

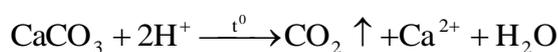
Пример 1: Навеску ацетилсалициловой кислоты массой 0,5000 г обработали серной кислотой и прокалили до постоянной массы. Масса, полученного остатка равна 0,0045 г. Рассчитайте массовую долю вещества, оставшегося после прокаливания навески.

Решение:

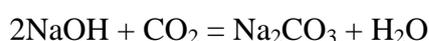
$$\omega(\text{остаток}) = \frac{m(\text{остаток}) \cdot 100}{a} = \frac{0,0045 \cdot 100}{0,5000} = 0,90\%$$

Гравиметрический метод отгонки применяют для определения летучего компонента входящего в состав анализируемого вещества. Отделение летучего компонента осуществляется под действием высоких температур, кислот или оснований, которые реагируют с исследуемым веществом с выделением газообразного продукта. Различают прямой и косвенный методы отгонки. В прямом методе отгонки определяемый летучий компонент поглощают специфическим поглотителем и по увеличению массы последнего рассчитывают массу определяемого компонента и далее его массовую долю.

Примером прямого гравиметрического метода отгонки может служить определение оксида углерода (IV) в карбонатных породах.



Из навески карбоната (например, CaCO_3) действием соляной кислоты получают оксид углерода (IV), который отгоняют в предварительно взвешенную поглатительную трубку, заполненную натронной известью (смесью CaO с NaOH). Содержание выделившегося CO_2 рассчитывают по увеличению массы поглатительной трубки.

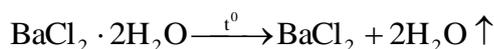


Расчетная формула:

$$\omega\%(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2) \cdot 100}{a} = \frac{m_2 - m_1}{a} \cdot 100\%;$$

где a – масса навески, m_1 и m_2 – соответственно массы поглотителя до и после поглощения определяемого летучего компонента CO_2 .

В косвенных методах отгонки летучий компонент отгоняют из навески исследуемого вещества и по уменьшению ее массы судят о содержании летучего компонента. Так можно определять количество кристаллизационной воды в кристаллогидратах, высушивая навеску соли при определенной температуре. Например, схема определения кристаллизационной воды в кристаллогидрате хлорида бария:



Расчетная формула:

$$\omega\%(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O}) \cdot 100}{a} = \frac{a - m_1}{a} \cdot 100\%;$$

где a – масса навески кристаллогидрата; m_1 – масса сухого остатка, после удаления воды;

Другие примеры: определение гигроскопической влаги растительного сырья (других лекарственных веществ), определение потери массы при прокаливании и др.

Пример 2: 2,6248 г лекарственного вещества (гаксаметилентетраамин) высушили до постоянной массы. Масса сухого остатка равна 2,5420 г. Рассчитайте массовую долю воды в анализируемом образце.

Решение:

$$\omega\%(H_2O) = \frac{m(H_2O) \cdot 100}{a} = \frac{2,6248 - 2,5420}{2,6248} \cdot 100\% = 3,16\%;$$

При анализе различных материалов, содержащую гигроскопическую влагу, часто делают пересчет результата анализа на сухое вещество. Это объясняется тем, что содержание гигроскопической воды в материалах и веществах непостоянно, оно изменяется с температурой и влажностью воздуха. А это влияет и на массовую долю других составных частей материала или вещества. Сухое вещество получается в результате высушивания материала до постоянной массы при температуре 105 - 110°C.

Если массовая доля какого-либо компонента А в анализируемом веществе равна $\omega(A)$, а массовая доля гигроскопичной воды – $\omega(H_2O)$, тогда

$$\omega'(A) = \frac{\omega(A) \cdot 100}{100 - \omega(H_2O)},$$

где $\omega'(A)$ – массовая доля определяемого компонента А в пересчете на сухое вещество.

Пример 3: В результате анализа технического сульфата натрия были получены следующие данные: $\omega(\%)$: Na_2SO_4 - 87,56; $NaCl$ - 1,14; H_2O - 11,30. Пересчитайте массовые доли сульфата натрия и хлорида натрия на абсолютно сухое вещество.

Решение:

$$\omega'(Na_2SO_4) = \frac{\omega(Na_2SO_4) \cdot 100}{100 - \omega(H_2O)} = \frac{87,56 \cdot 100}{88,70} = 98,71\%$$

$$\omega'(NaCl) = \frac{\omega(NaCl) \cdot 100}{100 - \omega(H_2O)} = \frac{1,14 \cdot 100}{88,70} = 1,29\%$$

Задачи для самостоятельного решения:

10-1. Вычислите массовую долю гигроскопической воды в навеске хлорида натрия, исходя из следующих экспериментальных данных: масса пустого бюкса – 9,0005 г; масса бюкса с веществом до высушивания – 9,4211 г; масса бюкса с веществом после высушивания (до постоянной массы) – 9,4143 г.

Ответ: 1,62%.

- 10-2.** Навеску растительного лекарственного вещества 3,0000 г высушили до постоянной массы. При этом потеря массы составила 0,3900 г. Рассчитайте массовую долю влаги в анализируемом растительном препарате.

Ответ: 13,00%.

- 10-3.** Найдите массовую долю кристаллизационной воды в навеске хлорида бария, исходя из следующих экспериментальных данных: масса бюкса с навеской анализируемого вещества – 9,5895 г; масса пустого бюкса – 8,1320 г; масса бюкса с сухим веществом – 9,3749 г.

Ответ: 14,72%.

- 10-4.** Навеску лекарственного вещества массой 0,6500 г прокалили, обработали серной кислотой и снова прокалили до постоянной массы. Масса остатка равна 0,0055 г. Рассчитайте массовую долю сульфатной золы в лекарственном веществе.

Ответ: 0,85%.

- 10-5.** 5,0000 г витамина С прокалили, обработали серной кислотой и снова прокалили до постоянной массы. Масса остатка составила 0,0055 г. Согласно Государственной Фармакопеи содержание сульфатной золы в лекарственном препарате не должно превышать 0,10 %. Соответствует ли анализируемый препарат витамина С данным требованиям?

Ответ: нет.

- 10-6.** Массовая доля гигроскопичной воды в анализируемом препарате составляет 15,00%, а азота -4,25%. Какова массовая доля азота в абсолютно сухом анализируемом веществе?

Ответ: 5,00%.

- 10-7.** Навеску растительного лекарственного вещества массой 1,5000 г сожгли и прокалили в фарфоровом тигле до постоянной массы. Масса остатка равна 0,0600 г. Вычислите массовую долю золы в абсолютно сухом растительном сырье, если содержание влаги в исходном образце составляет 15%.

Ответ: 4,71%

- 10-8.** Для определения влажности лекарственного вещества взяли навеску массой 0,5436 г. После высушивания масса вещества составила 0,5246 г. Рассчитайте массовую долю воды в анализируемом препарате.

Ответ: 3,50%

- 10-9.** При сжигании органического вещества массой 4,0000 г масса остатка составила 0,2000 г. Вычислите массовую долю золы в анализируемом препарате.

Ответ: 5,00%

10-10. Вычислите массовую долю гигроскопической влаги в навеске поваренной соли исходя из следующих данных: масса пустого тигля – 5,1234 г; масса тигля с навеской влажного вещества – 5,4826; масса тигля с сухим веществом – 5,4754 г.

Ответ: 2,00%

10.3. ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОСАЖДЕНИЯ

Сущность гравиметрического метода осаждения заключается в переводе определяемого компонента в труднорастворимое соединение определенного состава, называемое *осаждаемой формой*. Осадок фильтруют, промывают, высушивают, прокаливают до постоянной массы и взвешивают. Часто, при прокаливании, осаждаемая форма превращается в новое вещество точно известного состава, называемое *весовой* или *гравиметрической формой*. По массе гравиметрической формы рассчитывают массу или массовую долю определяемого компонента.

Массу определяемого компонента А рассчитывают по формуле:

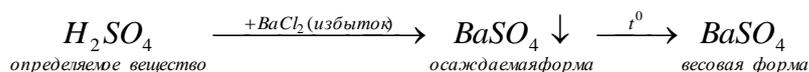
$$m(A) = m(B) \cdot F,$$

где $m(A)$ – масса определяемого компонента, г;

$m(B)$ – масса сухого осадка (масса гравиметрической формы), г;

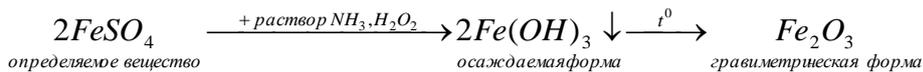
F – гравиметрический фактор, который представляет собой постоянное значение для всех подобных анализов и определяется соотношением молярных масс определяемого компонента и весовой формы. Молярные массы берут с такими коэффициентами, чтобы они были эквивалентны друг другу.

Схема определения серной кислоты в виде $BaSO_4$:



$$m(H_2SO_4) = m(BaSO_4) \cdot F = m(BaSO_4) \cdot \frac{M(H_2SO_4)}{M(BaSO_4)}$$

Схема определения $FeSO_4$ в виде $Fe(OH)_3$:



В этом случае для вычисления гравиметрического фактора необходимо учитывать, что

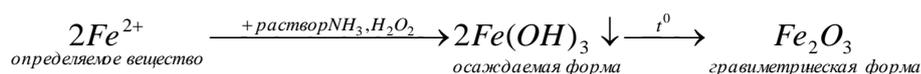
1 моль Fe_2O_3 получается из 2 моль $FeSO_4$.

$$m(FeSO_4) = m(Fe_2O_3) \cdot F = m(Fe_2O_3) \cdot \frac{2M(FeSO_4)}{M(Fe_2O_3)}$$

Примеры решения задач:

Пример 1: Навеску технической соли Мора массой 0,5012 г обработали аммиаком в присутствии пероксида водорода, Fe(II) окислилось до Fe(III) с образованием осадка Fe(OH)₃. При прокаливании была получена гравиметрическая форма Fe₂O₃ массой 0,0968 г. Рассчитайте массовую долю (%) железа в анализируемой навеске соли Мора.

Решение:



$$m(Fe) = m(Fe_2O_3) \cdot F = m(Fe_2O_3) \cdot \frac{2M(Fe)}{M(Fe_2O_3)}$$

$$\omega(Fe) = \frac{m(Fe) \cdot 100}{a} = m(Fe_2O_3) \cdot \frac{2M(Fe)}{M(Fe_2O_3)} \cdot \frac{100}{a} = 0,0968 \cdot \frac{2 \cdot 55,85}{159,69} \cdot \frac{100}{0,5012} = 13,51\%$$

где a – масса навески.

Пример 2 Вычислите массу магния в анализируемом растворе, если известно, что ионы магния осадили в виде MgNH₄PO₄, а при прокаливании получили 0,3815 г Mg₂P₂O₇.

Решение:

$$m(Mg) = m(Mg_2P_2O_7) \cdot F = m(Mg_2P_2O_7) \cdot \frac{2M(Mg)}{M(Mg_2P_2O_7)} = 0,3815 \cdot \frac{24,3 \cdot 2}{222,6} = 0,08329 \text{ г}$$

Пример 3: Чему равен гравиметрический фактор при определении NH₃, если его осадили в виде (NH₄)₂PtCl₆, а при прокаливании получили Pt.

Решение:



Из схемы очевидно, что 1 моль Pt получается из 1 моль (NH₄)₂PtCl₆, для образования которого необходимо 2 моль NH₃. Таким образом, гравиметрический фактор можно рассчитать по следующей формуле:

$$F = \frac{2M(NH_3)}{M(Pt)} = \frac{2 \cdot 17,03}{195,09} = 0,1746$$

Пример 4: Из навески органического вещества массой 2,6248 г после соответствующей обработки получили 0,3248 г BaSO₄. Рассчитайте массовую долю (%) серы в анализируемом веществе. Пересчитайте массовую долю (%) серы в абсолютно сухом веществе, если содержание воды в навеске составляет 2,58%.

Решение:

$$\omega(S) = \frac{m(S) \cdot 100}{a}, \text{ где } a - \text{масса навески};$$

$$m(S) = m(\text{BaSO}_4) \cdot F = m(\text{BaSO}_4) \cdot \frac{M(S)}{M(\text{BaSO}_4)}$$

$$\omega(S) = \frac{m(S) \cdot 100}{2,6248} = m(\text{BaSO}_4) \cdot \frac{M(S)}{M(\text{BaSO}_4)} \cdot \frac{100}{2,6248} = 0,3248 \cdot \frac{32,06}{233,39} \cdot \frac{100}{2,6248} = 1,70\% - \text{массовая доля}$$

серы в навеске анализируемого вещества.

Зная $\omega(S)$ и $\omega(\text{H}_2\text{O})$, определим массовую долю серы в абсолютно сухом веществе:

$$\omega'(S) = \frac{\omega(S) \cdot 100}{100 - \omega(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,70 \cdot 100}{100 - 2,58} = 1,75\%$$

Пример 5: Какой объем 2% раствора AgNO₃ необходимо взять для осаждения хлорид-ионов из навески CaCl₂·6H₂O массой 0,4382 г?

Решение:

Запишем закон эквивалентности и вычислим $m(\text{AgNO}_3)$.

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$$

$$\frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)} = \frac{m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})}{M(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})}$$

$$m(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{AgNO}_3)}{M(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,44 \cdot 170}{110} \approx 0,68 \text{ г}$$

Рассчитаем массу 2% раствора AgNO₃ в котором содержится 0,68 г AgNO₃

$$\omega(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{m(p - \text{ра. AgNO}_3)} \cdot 100$$

$$m(p - \text{ра. AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3) \cdot 100}{\omega(\text{AgNO}_3)} = \frac{0,68 \cdot 100}{2} = 34 \text{ г}$$

Объём раствора AgNO_3 можно рассчитать по формуле: $\rho_{p-pa} = \frac{m(p-pa)}{V(p-pa)}$. Поскольку $\rho \approx 1$ г/мл, тогда $V(p-p \text{ AgNO}_3) \approx 34$ мл, (без необходимого избытка) и ≈ 51 мл (с учётом полуторного избытка).

Пример 6: Рассчитайте объём 1 молярного раствора H_2SO_4 , необходимый для осаждения ионов бария, если масса навески $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ равна 0,25 г.

Решение:

Рассчитаем массу безводной серной кислоты, необходимую для осаждения ионов бария:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$$

$$\frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}$$

$$\frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{98} = \frac{0,25}{244}; \quad m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,25 \cdot \frac{98}{244} \approx 0,1 \text{ г}$$

Найдем объём 1 молярного раствора H_2SO_4 , содержащий 0,1 г серной кислоты:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{sol. H}_2\text{SO}_4)}$$

$$V(p-p \cdot \text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,1}{1 \cdot 98} \approx 0,001 \text{ л} \approx 1 \text{ мл}$$

Вывод: для осаждения необходимо взять $\sim 1,5$ мл 1 молярного раствора H_2SO_4 (с учетом необходимого избытка).

Пример 7: Вычислите массу навески $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которую необходимо взять для гравиметрического анализа хлорида бария, если гравиметрической формой является BaSO_4 .

Решение:

Известно, что для кристаллических осадков ожидаемая масса гравиметрической формы должна быть $\approx 0,2-0,3$ г., а для аморфных - $\approx 0,1-0,2$ г.

Исходя из уравнения химической реакции, 1 моль BaCl_2 соответствует 1 молю кристаллического осадка BaSO_4 .

Таким образом можно записать:

$$n(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = n(\text{BaSO}_4)$$

$$\frac{m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{BaSO}_4)}{M(\text{BaSO}_4)}$$

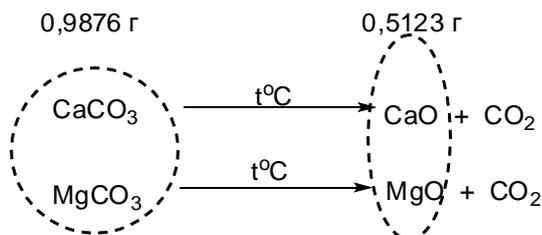
$$\frac{m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{244} = \frac{0,2}{233}$$

$$m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,2 \frac{244}{233} \approx 0,21 \text{ г}$$

Пример 8: При прокаливании смеси CaCO_3 и MgCO_3 массой 0,9876 г было получено 0,5123 г смеси CaO и MgO . Рассчитайте массовые доли (%) составляющих исходной смеси.

Решение:

При прокаливании происходят следующие процессы:



$$x = m(\text{CaCO}_3), \text{ тогда } (0,9876 - x) = m(\text{MgCO}_3); n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaO})$$

$$\frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})}; \quad \frac{x}{100,09} = \frac{m(\text{CaO})}{56,08}; \quad m(\text{CaO}) = \frac{56,08x}{100,09} = 0,5603x;$$

$$n(\text{MgCO}_3) = n(\text{MgO}); \quad \frac{m(\text{MgCO}_3)}{M(\text{MgCO}_3)} = \frac{m(\text{MgO})}{M(\text{MgO})}; \quad \frac{0,9876 - x}{84,32} = \frac{m(\text{MgO})}{40,31};$$

$$m(\text{MgO}) = \frac{40,31(0,9876 - x)}{84,32};$$

$$m(\text{CaO}) + m(\text{MgO}) = 0,5123; \quad 0,5603x + \frac{40,31(0,9876 - x)}{84,32} = 0,5123;$$

$$x = 0,4888 = m(\text{CaCO}_3); \quad m(\text{MgCO}_3) = 0,9876 - 0,4888 = 0,4988 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3) \cdot 100}{m(\text{смеси})} = \frac{0,4888 \cdot 100}{0,9876} = 49,49\%$$

$$\omega(\text{MgCO}_3) = \frac{m(\text{MgCO}_3) \cdot 100}{m(\text{смеси})} = \frac{0,4988 \cdot 100}{0,9876} = 50,51\%$$

Задачи для самостоятельного решения:

10-11. Какую массу вещества, содержащую 20% NaCl и 30% KCl , следует взять для получения 0,5 г AgCl ?

Ответ: 0,47 г.

- 10-12.** Какой объём раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л потребуется для осаждения катионов серебра из навески нитрата серебра массой 0,6 г?
- Ответ: ~ 53 мл (избыток 1,5)*
- 10-13.** Рассчитайте массовую долю (%) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в техническом образце, если из навески массой 0,3314 г в результате анализа было получено 0,2680 г BaSO_4 .
- Ответ: 96,32%*
- 10-14.** Навеску алюмокалиевых квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ массой 2,671 г растворили в воде, получив в результате 200,00 мл раствора. Из 20,00 мл приготовленного раствора было получено 0,2680 г BaSO_4 . Рассчитайте массовую долю (%) алюминия в анализируемом образце.
- Ответ: 5,80%*
- 10-15.** Вычислите массовую долю (%) Co в фармацевтическом препарате, если из навески массой 0,2100 г, после осаждения кобальта α -нитрозо- β -нафтолом, была получена гравиметрическая форма Co_3O_4 массой 0,1012 г.
- Ответ: 35,38%*
- 10-16.** Из навески карналлита массой 0,5000 г после растворения, осаждения в виде K_2PtCl_6 и восстановления платины, получили 0,1308 г Pt . Вычислить массовую долю (%) KCl в карналлите.
- Ответ: 19,99%*
- 10-17.** Рассчитайте массовые доли (%) Na_2SO_4 и NaCl в техническом сульфате натрия, если из навески массой 0,3500 г было получено 0,5032 г BaSO_4 и 0,0131 г AgCl . Пересчитайте их на абсолютно сухое вещество, если содержание влаги в исходном образце составляет 10,98%.
- Ответ: 87,50%; 1,53%; 98,29%; 1,71%.*
- 10-18.** Навеску органического соединения массой 0,4004 г озолили и золу растворили в колбе вместимостью 200,00 мл. Из 20,00 мл раствора получили 0,1982 г $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$. Вычислить массовую долю (%) P в анализируемом веществе.
- Ответ: 8,17%*
- 10-19.** Для определения салициловой кислоты, навеску лекарственного вещества массой 0,2101 г перенесли в раствор Na_2CO_3 , добавили йод и получили 0,5175 г тетраiodфениленхинона $(\text{C}_6\text{H}_2\text{I}_2\text{O})_2$. Вычислите массовую долю (%) салициловой кислоты $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$ в анализируемом образце.
- Ответ: 98,34%*
- 10-20.** Из навески технического сульфата цинка массой 1,135 г было получено: 0,5298 г $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ и 0,9052 г BaSO_4 . Рассчитайте массовые доли (%) ZnSO_4 и K_2SO_4 в техническом образце.
- Ответ: 49,46%; 6,16%.*

- 10-21.** Из навески смеси NaCl и KCl общей массой 0,1225 г получили осадок AgCl 0,2850 г. Рассчитайте массовые доли (%) NaCl и KCl в смеси.
Ответ: 76,26%; 23,74%.
- 10-22.** Из навески смеси Na₂SO₄ и K₂SO₄ массой 0,0750 г получили 0,1120 г BaSO₄. Рассчитайте массовые доли (%) Na₂SO₄ и K₂SO₄ в исходной смеси.
Ответ: 50,68%; 49,32%.
- 10-23.** При прокаливании пробы, содержащей смесь K₂CO₃ и KHCO₃ массой 1,712 г, получили 0,5512 г CO₂. Вычислить массовые доли (%) K₂CO₃ и KHCO₃ в исследуемой пробе.
Ответ: 97,15%; 2,85%.
- 10-24.** Кристаллогидрат Mg(NO₃)₂·6H₂O содержит в качестве примеси MgCl₂·6H₂O. Из его навески массой 0,2812 г было получено 0,1242 г Mg₂P₂O₇. Вычислите массовые доли (%) основного компонента и примеси в анализируемом образце.
Ответ: 93,22%; 6,78%.
- 10-25.** Из 25,00 мл раствора сульфата меди получили осадок CuSCN массой 0,2144 г. Рассчитайте массовую концентрацию (г/л) ионов Cu(II) в исходном растворе CuSO₄.
Ответ: 4,480 г/л.
- 10-26.** Навеску смеси KCl и NaCl массой 0,2864 г растворили в воде и обработали спиртовым раствором HClO₄. Вычислите массовую долю (%) хлорида калия в смеси, если масса полученного осадка KClO₄ составила 0,2642 г.
Ответ: 49,62%
- 10-27.** Из навески технического хлорида натрия массой 0,3000 г получили 0,6280 г сухого осадка AgCl. Вычислите массовую долю (%) NaCl в сухом анализируемом веществе, если влажность исходного препарата составляла 3,58%.
Ответ: 88,54%
- 10-28.** Вычислите массу H₂SO₄ в одном литре серной кислоты, если известно, что при действии избытка хлорида бария на 50,00 мл этого раствора, было получено BaSO₄ массой 0,2126 г.
Ответ: 1,7868 г.
- 10-29.** Вычислите массовую долю (%) MgSO₄·7H₂O в техническом образце сульфата магния, если из навески этого вещества массой 0,4285 г было получено 0,1920 г Mg₂P₂O₇.
Ответ: 99,24%
- 10-30.** Какую массу FeSO₄·7H₂O следует взять для гравиметрического анализа железа в исследуемом образце, чтобы масса гравиметрической формы Fe₂O₃ составила 0,2 г?
Ответ: ~ 0,7 г.
- 10-31.** Вычислите объём раствора оксалата аммония с концентрацией c((NH₄)₂C₂O₄) = 0,25 моль/л, необходимый для полного осаждения ионов кальция из раствора, полученного при растворении 0,7 г карбоната кальция?

Ответ: ~ 42 мл (с учётом полуторного избытка).

10-32. Найдите массовую долю (%) алюминия в алюмокалиевых квасцах $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, если из навески массой 0,9000 г в результате соответствующей обработки было получено 0,0967 г Al_2O_3 .

Ответ: 5,69%

10-33. Из навески алюмокалиевых квасцов массой 0,2690 г, после соответствующих преобразований, был получен $BaSO_4$ массой 0,2584 г. Вычислите массовую долю (%) алюмокалиевых квасцов $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ в анализируемой навеске технического образца.

Ответ: 97,62%

10-34. После соответствующей обработки 0,2415 г анализируемого вещества, содержащего $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и индифферентные примеси, был получен $BaSO_4$ массой 0,1362 г и $Mg_2P_2O_7$ массой 0,1129 г. Вычислите массовые доли (%) $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ в анализируемой смеси.

Ответ: 59,56%; 36,27%.

10-35. Из навески массой 0,5210 г, содержащей $CaCO_3$, $MgCO_3$ и индифферентные примеси, после растворения, осаждения и прокаливания было получено 0,2218 г CaO и 0,0146 г $Mg_2P_2O_7$. Вычислите массовые доли (%) $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в анализируемом образце.

Ответ: $\omega(CaCO_3) = 75,98\%$; $\omega(MgCO_3) = 2,12\%$.

11. ОБЪЁМНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА (ТИТРИМЕТРИЯ)

11.1 СУЩНОСТЬ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Титриметрия - это метод количественного анализа, основанный на точном измерении объема раствора реактива (В) известной концентрации, затраченного на химическую реакцию с определяемым веществом (А). Концентрация раствора реагента часто выражается через *титр*, поэтому такой раствор реагента называют *титрованным* или просто – *титрантом* (рабочим титрованным раствором).

При проведении объёмного метода анализа титрант постепенно приливают из бюретки в исследуемый раствор до тех пор, пока тем или иным способом не будет установлено, что затраченное количество титранта эквивалентно количеству определяемого вещества. Эта операция называется *титрованием*, а момент, когда титрант добавлен в исследуемый раствор в количестве, химически эквивалентном определяемому веществу – *точкой эквивалентности*. Именно в точке эквивалентности измеряют точный объём титрованного раствора пошедшего на реакцию с определяемым веществом. Этот объём, называемый эквивалентным объёмом, и концентрацию титрованного раствора используют для вычисления содержания анализируемого вещества.

В основе любого титрования лежит определенная химическая реакция, поэтому исходя из природы химической реакции различают следующие методы титриметрического анализа:

- ✓ Методы кислотно-основного титрования;
- ✓ Методы окислительно-восстановительного титрования (редоксиметрия);
- ✓ Методы осадительного титрования;
- ✓ Методы комплексометрического титрования.

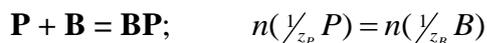
Исходя из применяемого приема титрования, различают:

а) *Метод прямого титрования*, в котором раствор титранта (В) прибавляют непосредственно к исследуемому раствору (А), пока не будет достигнута точка эквивалентности.



$n(\frac{1}{z_A} A) = n(\frac{1}{z_B} B)$ - закон эквивалентности, лежащий в основе всех вычислений в титриметрии.

б) *Косвенный метод титрования (метод замещения)*, в котором к определяемому компоненту (А) добавляют избыток подходящего реагента (R), а продукт реакции титруется соответствующим титрантом (В).



$n(\frac{1}{z_A} A) = n(\frac{1}{z_B} B)$ - закон эквивалентности для суммарного процесса.

Таким образом закон эквивалентности в данном случае аналогичен закону эквивалентности для случая прямого титрования, не смотря на то что анализируемое вещество (А) не реагирует на прямую с титрантом (В).

с) *Метод титрования по остатку (метод обратного титрования)*, в котором к определяемому компоненту (А) добавляют известный избыточный объем раствора реагента (В) с точно известной концентрацией и, после окончания реакции, остаток титранта (В) оттитровывается другим рабочим титрованным раствором (D).



$n(\frac{1}{z_A} A) = n(\frac{1}{z_B} B) - n(\frac{1}{z_D} D)$ - закон эквивалентности.

Исходя из способа титрования, различают:

- ✓ *Метод отдельных навесок*. В этом случае вся навеска анализируемой системы растворяется в воде, а затем оттитровывается весь полученный раствор.
- ✓ *Метод титрования*. Суть этого метода состоит в том, что навеску анализируемой системы переносят количественно в мерную колбу и растворяют. Полученный раствор

доводят дистиллированной водой до метки, перемешивают, а затем титруют только его 10-ю или 5-ю часть (т.е его аликвотную часть), которую отбирают пипеткой.

11.2. ВЫЧИСЛЕНИЯ В ТИТРИМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

11.2.1 Обозначения

- A - анализируемое вещество;
- B - вещество содержащееся в титрованном растворе, титрант;
- $V_n(A)$ - объём аликвотной части анализируемого раствора вещества A , л;
- $V(B)$ - объём титранта (титрованного раствора), который расходуется на титрование определяемого компонента, л;
- $V_k(A)$ - объём анализируемого раствора вещества A (объём мерной колбы, в которой находится анализируемый раствор), л;
- V' - объём соответствующего раствора, мл;
- $n(A)$ - количество вещества A , моль;
- $n(\frac{1}{z}A)$ - количество вещества эквивалента вещества A , моль;
- $\omega(A)$ - массовая доля вещества A в анализируемом образце (или растворе), %;
- $c(A)$ - молярная концентрация раствора вещества A , моль/л;
- $c(\frac{1}{z}A)$ - молярная концентрация эквивалента вещества A , моль/л;
- $M(A)$ - молярная масса вещества A , г/моль;
- $M(\frac{1}{z}A)$ - молярная масса эквивалента вещества A , г/моль;
- $m(A)$ - масса вещества A , г;
- $\frac{1}{z}$ - фактор эквивалентности;
- z - число эквивалентов;
- $T(A)$ - массовая концентрация раствора вещества A , называемая титром (масса вещества A , которая содержится в 1 мл его раствора), г/мл;
- $T'(A)$ - массовая концентрация, выраженная в г/100мл (масса вещества A , которая содержится в 100 мл его раствора);
- ρ - плотность раствора, г/см³ или г/мл;
- $T(B/A)$ - титр титрованного раствора вещества B по отношению к определяемому веществу A (масса вещества A , которая соответствует 1 мл раствора титранта B), г/мл;
- K - поправочный коэффициент (или F) – отношение практической (реальной) концентрации к теоретической (приблизительной);

a - навеска (масса вещества взятого для анализа или масса анализируемого раствора), г.

11.2.2 Численные выражения состава растворов и взаимосвязь между ними

$$\omega(A) = \frac{m(A) \cdot 100}{a} = \frac{m(A) \cdot 100}{m(p - pa.A)} \quad (11.1)$$

$$\rho = \frac{a(A)}{V'(A)} = \frac{m(A)}{V'(A)} \quad (11.2)$$

$$\omega(A) = \frac{m(A) \cdot 100}{\rho \cdot V'(A)} \quad (11.3)$$

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(A)} = \frac{m(A)}{M(A) \cdot V(A)} = \frac{m(A) \cdot 1000}{M(A) \cdot V'(A)} = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{M(A)} \quad (11.4)$$

$$c(\frac{1}{z}A) = \frac{n(\frac{1}{z}A)}{V(A)} = \frac{m(A)}{M(\frac{1}{z}A) \cdot V(A)} = \frac{m(A) \cdot 1000}{M(\frac{1}{z}A) \cdot V'(A)} = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{M(\frac{1}{z}A)} \quad (11.5)$$

$$T(A) = \frac{m(A)}{V'(A)} = \frac{c(A) \cdot M(A)}{1000} = \frac{c(\frac{1}{z}A) \cdot M(\frac{1}{z}A)}{1000} = \frac{\omega(A) \cdot \rho}{100} \quad (11.6)$$

$$T'(A) = \frac{m(A) \cdot 100}{V'(A)} = T(A) \cdot 100 = \frac{c(\frac{1}{z}A) \cdot M(\frac{1}{z}A)}{10} = \omega(A) \cdot \rho \quad (11.7)$$

$$T(B/A) = \frac{m(A)}{V'(B)} = \frac{c(\frac{1}{z_B}B) \cdot M(\frac{1}{z_A}A)}{1000} = T(B) \frac{M(\frac{1}{z_A}A)}{M(\frac{1}{z_B}B)} \quad (11.8)$$

$$c(\frac{1}{z}A) = \frac{c(A) \cdot M(A)}{M(\frac{1}{z}A)} = z \cdot c(A) \quad (11.9)$$

$$K = F = \frac{c(\text{практ.})}{c(\text{теорет.})} = \frac{c_{np.}(A)}{c_{теор.}(A)} = \frac{c_{np.}(\frac{1}{z}A)}{c_{теор.}(\frac{1}{z}A)} = \frac{T_{np.}(A)}{T_{теор.}(A)} = \frac{T_{np.}(B/A)}{T_{теор.}(B/A)} \quad (11.10)$$

11.2.3 Формулы для расчета количества вещества А и количества вещества эквивалента вещества А

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)} = c(A) \cdot V(A) = c(A) \cdot V'(A) \cdot 10^{-3} = \frac{T(A) \cdot V'(A)}{M(A)} \quad (11.11)$$

$$n(\frac{1}{z}A) = \frac{m(A)}{M(\frac{1}{z}A)} = c(\frac{1}{z}A) \cdot V(A) = c(\frac{1}{z}A) \cdot V'(A) \cdot 10^{-3} = \frac{T(A) \cdot V'(A)}{M(\frac{1}{z}A)} \quad (11.12)$$

В основе всех вычислений в титриметрических методах анализа лежит закон эквивалентности. Таким образом для того чтобы вывести расчетную формулу необходимо в первую очередь записать закон эквивалентности, а затем выразить количество вещества эквивалента или просто количество вещества (если формула эквивалента совпадает с молекулярной формулой данного вещества) через одну из представленных формул (11.11 или 11.12).

11.2.4 Вычисления проводимые при приготовлении растворов

- а) Формулы для расчета массы вещества А, необходимой для приготовления раствора с точно известной концентрацией и известным объёмом.

Используя выражения 11.3 – 11.6 (раздел 11.2.2) получим:

$$m(A) = \frac{\omega(A) \cdot \rho(A) \cdot V'(A)}{100} = c(A) \cdot V(A) \cdot M(A) = c(A) \cdot V'(A) \cdot 10^{-3} \cdot M(A) =$$

$$c(\frac{1}{z}A) \cdot V(A) \cdot M(\frac{1}{z}A) = c(\frac{1}{z}A) \cdot V'(A) \cdot 10^{-3} \cdot M(\frac{1}{z}A) = T(A) \cdot V'(A) \quad (11.13)$$

Пример 1. Вычислите массу Na_2CO_3 , которую следует взять для приготовления 500 мл 0,1 молярного раствора карбоната натрия

Решение:

Выразим количество вещества карбоната натрия через m , M , c и V (см. уравнение 11.11).

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = c(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

Откуда получим формулу для $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ (см. уравнение 11.13).

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = c(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 106 = 5,3 \text{ г}$$

Эти же формулы (уравнение 11.13) можно применить для вычисления концентрации раствора, если известна масса растворенного вещества и объем раствора.

Пример 2. 0,5300 г Na_2CO_3 количественно перенесли в мерную колбу на 50 мл, растворили в дистиллированной воде, довели объём раствора до метки и перемешали. Вычислите молярную концентрацию эквивалента приготовленного раствора карбоната натрия.

Решение:

Так же как и в предыдущем примере запишем выражение для количества вещества эквивалента карбоната натрия:

$$n(\frac{1}{2}Na_2CO_3) = \frac{m(Na_2CO_3)}{M(\frac{1}{2}Na_2CO_3)} = c(\frac{1}{2}Na_2CO_3) \cdot V(Na_2CO_3)$$

Откуда вычислим молярную концентрацию эквивалента карбоната натрия:

$$c(\frac{1}{2}Na_2CO_3) = \frac{m(Na_2CO_3)}{M(\frac{1}{2}Na_2CO_3) \cdot V(Na_2CO_3)} = \frac{0,5300}{53 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 2,0000 \text{ моль/л}$$

Пример 3. Вычислите $T(H_2C_2O_4)$, титр щавелевой кислоты по NaOH и молярную концентрацию эквивалента раствора щавелевой кислоты, полученного растворением 3,1220 г $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ в мерной колбе на 250 мл.

Решение:

$$n(\frac{1}{2}H_2C_2O_4) = n(\frac{1}{2}H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) = \frac{m(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)}{M(\frac{1}{2}H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)} = c(\frac{1}{2}H_2C_2O_4) \cdot V(H_2C_2O_4)$$

$$c(\frac{1}{2}H_2C_2O_4) = \frac{m(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)}{M(\frac{1}{2}H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) \cdot V(H_2C_2O_4)} = \frac{3,1220}{\frac{126,07}{2} \cdot 250 \cdot 10^{-3}} = \frac{3,1220}{63,035 \cdot 0,250} = 0,1981 \text{ моль/л}$$

Для вычисления $T(H_2C_2O_4)$ запишем выражение, связывающее титр и молярную концентрацию эквивалента раствора щавелевой кислоты (см. уравнение 11.6, раздел 11.2.2.).

$$T(H_2C_2O_4) = \frac{c(\frac{1}{2}H_2C_2O_4) \cdot M(\frac{1}{2}H_2C_2O_4)}{1000} = \frac{0,1981 \cdot 45,018}{1000} = 0,008918 \text{ г/мл}$$

Титр щавелевой кислоты по NaOH вычисляют по уравнению 11.8 (раздел 11.2.2.):

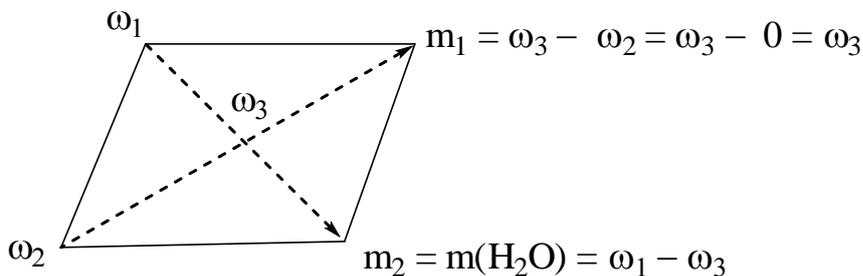
$$T(H_2C_2O_4 / NaOH) = \frac{c(\frac{1}{2}H_2C_2O_4) \cdot M(NaOH)}{1000} = \frac{0,1981 \cdot 40}{1000} = 0,007924 \text{ г/мл}$$

b) Вычисления проводимые при приготовлении раствора данного вещества методом разбавления более концентрированного раствора этого же вещества

Задачи такого типа можно решить используя метод прямоугольника.

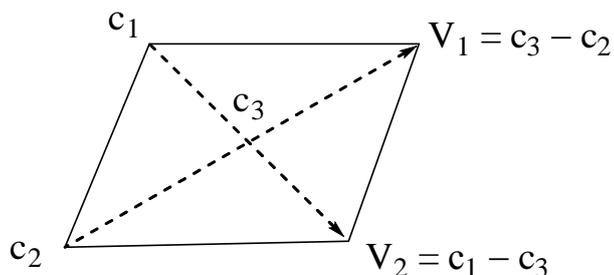
В качестве примера, смешаем раствор вещества А с массовой долей $\omega_1(A)$ с водой (это раствор А с массовой долей $\omega_2(A) = 0$), в результате получим новый раствор с массовой долей $\omega_3(A)$. Составим графическую схему: с левой стороны прямоугольника запишем массовые доли

исходных растворов $\omega_1(A)$ и $\omega_2(A)$, а в центре массовую долю приготовленного раствора $\omega_3(A)$. Справа запишем величины, полученные при вычитании массовых долей по диагонали (из большей величины вычитаем меньшую).



m_1 и m_2 массы растворов (соответственно с массовыми долями ω_1 и ω_2) которые смешивают, чтобы получить раствор с ω_3 и массой $m_1 + m_2$.

Аналогичным образом правило прямоугольника применяют в случае, когда смешивают два раствора одного и того же вещества, но с разными значениями молярной концентрации (молярной концентрации эквивалента или титра).



V_1 и V_2 объёмы растворов, которые смешивают чтобы получить раствор с концентрацией c_3 и объёмом $(V_1 + V_2)$. Если $c_1 > c_2$, тогда $c_3 > c_2$ и $V_1 = c_3 - c_2$, $V_2 = c_1 - c_3$. В случае когда первый раствор смешивается с водой (разбавляется) $c_2 = 0$.

Пример 4. Рассчитайте объём концентрированной соляной кислоты с $\omega_1(\text{HCl}) = 38\%$ и плотностью $1,19 \text{ г/мл (г/см}^3\text{)}$, который следует взять для приготовления $500 \text{ мл } 0,1$ молярного раствора соляной кислоты.

Решение

Вариант I. Рассчитаем массу хлористого водорода, которая содержится в 500 мл раствора с $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/л}$.

$$\frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl});$$

$$m(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) = 0,1 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 36,5 = 1,825 \text{ г}$$

Используя уравнение 11.1 (раздел 11.2.2) найдём массу концентрированного раствора HCl , который содержит $1,825 \text{ г HCl}$.

Запишем выражение для количества вещества HCl для концентрированного раствора кислоты (n_1) и для 0,1 молярного раствора HCl (n_2).

$$n_1(\text{HCl}) = c_1(\text{HCl}) \cdot V_1(\text{HCl}); \quad n_2(\text{HCl}) = c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl});$$

Поскольку 0,1 молярный раствор HCl, готовят путём разбавления концентрированного раствора HCl, $n_1(\text{HCl}) = n_2(\text{HCl})$ и $c_1(\text{HCl}) \cdot V_1(\text{HCl}) = c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})$

$$12,4 \cdot x = 0,1 \cdot 500$$

$$x = \frac{500 \cdot 0,1}{12,4} = 4,04 \text{ мл} - \text{объём концентрированного раствора с } \omega(\text{HCl}) = 38\% \text{ и } \rho(\text{HCl}) = 1,19 \text{ г/мл}$$

необходимый для приготовления 500 мл 0,1 раствора HCl.

11.2.5 Расчет концентрации рабочего титрованного раствора (титранта) В в результате титрования им точной навески стандартного вещества А (или титрованного раствора вещества А)

Установление (уточнение) концентрации рабочего раствора путём титрования им раствора с точно известной концентрацией другого вещества (или титрования стандартного вещества) называется *стандартизацией*.

Запишем закон эквивалентности для реакции



$$n(\frac{1}{z_A} A) = n(\frac{1}{z_B} B)$$

Принимая во внимание выражение 11.12 (раздел 11.2.3), запишем:

$$c(\frac{1}{z_A} A) \cdot V(A) = c(\frac{1}{z_B} B) \cdot V(B) - \text{титрование методом пипетирования}$$

$$\text{и } c(\frac{1}{z_B} B) = \frac{c(\frac{1}{z_A} A) \cdot V(A)}{V(B)} \quad (11.14)$$

или $\frac{m(A)}{M(\frac{1}{z_A} A)} = c(\frac{1}{z_B} B) \cdot V(B)$ - титрование по методу отдельных навесок (титрование стандартного вещества)

$$\text{и } c(\frac{1}{z_B} B) = \frac{m(A)}{M(\frac{1}{z_A} A) \cdot V(B)} \quad (11.15)$$

Пример 5. На титрование 0,7814 г $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ было израсходовано 22,15 мл раствора HCl. Вычислите молярную концентрацию раствора соляной кислоты.

Решение

Запишем уравнение реакции и закон эквивалентности



$$n(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = n(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{HCl})$$

$$\frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{HCl})} = \frac{0,7841}{381,37/2 \cdot 22,15 \cdot 10^{-3}} = 0,1856 \text{ моль/л}$$

Пример 6. На титрование 10,00 мл раствора NaOH израсходовали 10,26 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1856$ моль/л. Вычислите молярную концентрацию NaOH.

Решение

$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl})$ - закон эквивалентности

$$c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

$$c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,1856 \cdot 10,26 \cdot 10^{-3}}{10,00 \cdot 10^{-3}} = \frac{0,1856 \cdot 10,26}{10,00} = 0,1904 \text{ моль/л}$$

Пример 7. 25,00 мл стандартного раствора Na_2CO_3 с титром 0,005300 г/мл оттитровали рабочим раствором серной кислоты, которой израсходовалось 24,50 мл. Вычислите титр раствора H_2SO_4 , если известно, что реакция взаимодействия серной кислоты с карбонатом натрия идёт до конца с образованием углекислого газа.

Решение

Запишем закон эквивалентности и выразим количества вещества эквивалентов реагирующих веществ через титры (см. уравнение 11.12, раздел 11.2.3).

$$n(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

$$\frac{T(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V'(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{T(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V'(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)}$$

$$T(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{T(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V'(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V'(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,005300 \cdot 25,00 \cdot 49,04}{53 \cdot 24,50} = 0,005004 \text{ г/мл}$$

11.2.6. Вычисление массы определяемого вещества А в случае титрования по методу отдельных навесок (см. 11.1 и выражение 11.12, раздел 11.2.3).

а) Метод прямого титрования

Пусть навеску анализируемого вещества А количественно перенесли в колбу для титрования, растворили в произвольном объёме воды и оттитровали рабочим титрованным раствором В. Согласно уравнению реакции $\text{A} + \text{B} = \text{AB}$, запишем закон эквивалентности

$$n(\frac{1}{Z_A} A) = n(\frac{1}{Z_B} B),$$

где $\frac{1}{Z_A}$ и $\frac{1}{Z_B}$ факторы эквивалентности соответствующих веществ. Принимая во внимание что

$$n(\frac{1}{Z_A} A) = \frac{m(A)}{M(\frac{1}{Z_A} A)}, \text{ а так же выразив } n(\frac{1}{Z_B} B) \text{ через объём титранта В затраченный на титрование}$$

и его концентрацию, получим следующее выражение:

$$\frac{m(A)}{M(\frac{1}{Z_A} A)} = c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) - \text{ для случая, когда известна молярная концентрация эквивалента}$$

титранта В.

$$m(A) = c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) = c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V'(B) \cdot 10^{-3} \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) \quad (11.16)$$

$$\frac{m(A)}{M(\frac{1}{Z_A} A)} = \frac{T(B)}{M(\frac{1}{Z_B} B)} \cdot V'(B) - \text{ для случая, когда известен титр раствора В.}$$

$$m(A) = \frac{T(B) \cdot V'(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A)}{M(\frac{1}{Z_B} B)} \quad (11.17)$$

В случае, когда известен титр рабочего титрованного раствора по определяемому веществу $T(B/A)$, расчетная формула выглядит следующим образом (см. выражение 11.8):

$$m(A) = T_{B/A} \cdot V'(B) \quad (11.18)$$

Когда известен поправочный коэффициент и теоретическая концентрация титранта, расчетные формулы имеют вид:

$$m(A) = K_B \cdot c_{теор.}(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) \quad (11.16a)$$

$$m(A) = \frac{K_B \cdot T_{теор.}(B) \cdot V'(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A)}{M(\frac{1}{Z_B} B)} \quad (11.17a)$$

$$\text{и } m(A) = K_B \cdot T_{теор. B/A} \cdot V'(B) \quad (11.18a)$$

Пример 8. Вычислите массовую долю карбоната натрия в техническом образце, если известно, что на титрование навески карбоната массой 0,1198 г было израсходовано 20,60 мл раствора соляной кислоты с $c(HCl) = 0,1060$ моль/л.

Решение:

$$n(\frac{1}{2} Na_2CO_3) = n(HCl) - \text{закон эквивалентности}$$

$$\frac{m(Na_2CO_3)}{M(\frac{1}{2} Na_2CO_3)} = c(HCl) \cdot V(HCl);$$

$$m(Na_2CO_3) = c(HCl) \cdot V(HCl) \cdot M(\frac{1}{2} Na_2CO_3) = 0,1060 \cdot 20,60 \cdot 10^{-3} \cdot 53 = 0,1157 \text{ г}$$

Вычислим массовую долю карбоната натрия, используя уравнение 11.1.

$$\omega(Na_2CO_3) = \frac{m(Na_2CO_3) \cdot 100}{m(техн. Na_2CO_3)} = \frac{0,1157 \cdot 100}{0,1198} = 96,60\%$$

Пример 9. На титрование анализируемого раствора $FeSO_4$ перманганатометрическим методом, в кислой среде, было израсходовано 30,00 мл рабочего раствора перманганата калия с титром 0,003161 г/мл. Вычислите массу $FeSO_4$ в анализируемом образце.

Решение:

$n(FeSO_4) = n(\frac{1}{5} KMnO_4)$ - закон эквивалентности, где $\frac{1}{5} KMnO_4$ - формула эквивалента перманганата калия.

$$\frac{m(FeSO_4)}{M(FeSO_4)} = \frac{T(KMnO_4)}{M(\frac{1}{5} KMnO_4)} \cdot V'(KMnO_4) \text{ и получим уравнение 11.17}$$

$$m(FeSO_4) = \frac{T(KMnO_4) \cdot V'(KMnO_4) \cdot M(FeSO_4)}{M(\frac{1}{5} KMnO_4)} = \frac{0,003161 \cdot 30,00 \cdot 151,91}{31,61} = 0,4557 \text{ г}$$

Эту задачу так же можно решить, воспользовавшись выражением 11.16 (как и в предыдущем примере), если предварительно вычислить $c(\frac{1}{5} KMnO_4)$, зная значение $T(KMnO_4)$.

Запишем выражение для $T(KMnO_4)$:

$$T(KMnO_4) = \frac{c(\frac{1}{5} KMnO_4) \cdot M(\frac{1}{5} KMnO_4)}{1000} \text{ (см. уравнение 11.6, раздел 11.2.2), откуда}$$

$$c(\frac{1}{5} KMnO_4) = \frac{T(KMnO_4) \cdot 1000}{M(\frac{1}{5} KMnO_4)} = \frac{0,003161 \cdot 1000}{31,61} = 0,1000 \text{ моль / л.}$$

Теперь вычислим $m(FeSO_4)$:

$$m(FeSO_4) = c(\frac{1}{5} KMnO_4) \cdot V'(KMnO_4) \cdot 10^{-3} \cdot M(FeSO_4) = 0,1000 \cdot 30,00 \cdot 10^{-3} \cdot 151,91 = 0,4557 \text{ г}$$

Пример 10. Навеску соли железа(II) массой 0,3000 г растворили в разбавленной серной кислоте и оттитровали раствором $KMnO_4$. При этом на титрование израсходовалось 22,00 мл рабочего раствора с $T_{KMnO_4/Fe} = 0,005000 \text{ г / мл}$. Вычислите массовую долю Fe в анализируемом образце.

Решение:

Воспользуемся уравнениями 11.1 и 11.8, чтобы записать выражения для $\omega(Fe)$ и $m(Fe)$:

$$\omega(Fe) = \frac{m(Fe) \cdot 100}{m(\text{навески})}$$

$$m(Fe) = T_{KMnO_4/Fe} \cdot V'(KMnO_4)$$

$$\omega(Fe) = \frac{T_{KMnO_4/Fe} \cdot V'(KMnO_4) \cdot 100}{m(\text{навески})} = \frac{0,005000 \cdot 22,00 \cdot 100}{0,3000} = 36,67\%$$

Пример 11. На титрование раствора CaCl_2 израсходовали 20,50 мл 0,1 молярного раствора AgNO_3 с коэффициентом поправки 1,050. Вычислите массу хлорида кальция в анализируемом образце.

Решение:

$$n(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2) = n(\text{AgNO}_3) - \text{закон эквивалентности}$$

$$\frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2)} = c(\text{AgNO}_3) \cdot V(p - pa.\text{AgNO}_3) = K_{\text{AgNO}_3} \cdot c_{\text{теор.}}(\text{AgNO}_3) \cdot V(p - pa.\text{AgNO}_3)$$

$$m(\text{CaCl}_2) = K_{\text{AgNO}_3} \cdot c_{\text{теор.}}(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) \cdot M(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2) = 1,050 \cdot 0,1 \cdot 20,50 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{110,99}{2} = 0,1195 \text{ г}$$

Пример 12. Вычислите массу навески технического оксида кальция, которая содержит 90% CaO и 10% индифферентных примесей, если на ее титрование было затрачено 20,00 мл раствора HCl с титром по CaO равным 0,009000 г/мл.

Решение:

Вычислим массу CaO , которая прореагировала с данным объемом соляной кислоты HCl , используя уравнение 11.18:

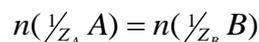
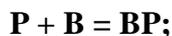
$$m(\text{CaO}) = T_{\text{HCl/CaO}} \cdot V \cdot (p - pa.\text{HCl}) = 0,009000 \cdot 20,00 = 0,1800 \text{ г}$$

Запишем выражение для массовой доли оксида кальция, используя выражение 11.1, и вычислим массу навески:

$$\omega(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO}) \cdot 100}{m(\text{навески})}; m(\text{навески}) = \frac{m(\text{CaO}) \cdot 100}{\omega(\text{CaO})} = \frac{0,1800 \cdot 100}{90} = 0,2000 \text{ г}$$

b) Косвенный метод титрования

В этом случае определяемое вещество A взаимодействует с определенным реактивом (R), взятым в избытке, а продукт реакции оттитровывается титрантом B (см. раздел 11.1)

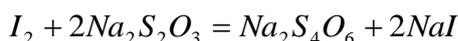


Поскольку закон эквивалентности в данном случае аналогичен закону эквивалентности для случая метода прямого титрования, то значит и расчетные формулы будут иметь аналогичный аспект (11.16, 11.17, 11.18, 11.16а, 11.17а, 11.18а).

Пример 13. К 25,00 мл раствора KMnO_4 добавили избыток KI , при этом на титрование выделившегося йода было израсходовано 49,97 мл 0,1000 молярного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислите титр раствора KMnO_4 .

Решение:

Запишем уравнение реакции и закон эквивалентности.



$$n(\frac{1}{5}KMnO_4) = n(\frac{1}{2}I_2) = n(Na_2S_2O_3)$$

Выразив $n(\frac{1}{5}KMnO_4)$ через m и молярную массу эквивалента, а $n(Na_2S_2O_3)$ через $c(Na_2S_2O_3)$ и $V(Na_2S_2O_3)$, вычислим $m(KMnO_4)$.

$$\frac{m(KMnO_4)}{M(\frac{1}{5}KMnO_4)} = c(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3)$$

$$m(KMnO_4) = c(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot M(\frac{1}{5}KMnO_4) = 0,1000 \cdot 49,97 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{158,04}{5} = 0,1579 \text{ г}$$

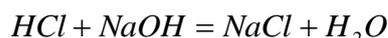
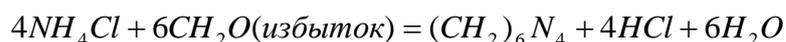
Титр раствора $KMnO_4$ вычислим из уравнения 11.6.

$$T_{KMnO_4} = \frac{m(KMnO_4)}{V'(KMnO_4)} = \frac{0,1579}{25} = 0,006316 \text{ г/мл}$$

Пример 14. Навеску технического NH_4Cl массой 0,1010 г растворили в воде, и после добавления избытка раствора формалина, оттитровали 0,1 молярным раствором $NaOH$ объёмом 18,00 мл. Вычислите массовую долю хлорида аммония в анализируемом образце, если известно, что коэффициент поправки раствора $NaOH$ составляет 1,005.

Решение

Запишем уравнения реакций и закон эквивалентности.



$$n(NH_4Cl) = n(HCl) = n(NaOH)$$

$$\frac{m(NH_4Cl)}{M(NH_4Cl)} = c(NaOH) \cdot V(NaOH)$$

$$\begin{aligned} m(NH_4Cl) &= c(NaOH) \cdot V(NaOH) \cdot M(NH_4Cl) = \\ &= K_{NaOH} \cdot c_{теор.}(NaOH) \cdot V'(NaOH) \cdot 10^{-3} \cdot M(NH_4Cl) = 1,005 \cdot 0,1 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 53,49 = 0,09676 \text{ г} \end{aligned}$$

Вычислим $\omega(NH_4Cl)$, используя уравнение 11.1.

$$\omega(NH_4Cl) = \frac{m(NH_4Cl) \cdot 100}{m(\text{техн. } NH_4Cl)} = \frac{0,09676 \cdot 100}{0,1010} = 95,81\%$$

с) *Метод титрования по остатку (метод обратного титрования)*

В этом методе титрования определяемое вещество А взаимодействует с избытком титранта В, а остаток раствора В оттитровывается другим титрованным раствором D.



В(остаток) + D = BD

Поскольку $n(\frac{1}{Z_A} A) = n(\frac{1}{Z_B} B)_{\text{прореагир}};$

$$n(\frac{1}{Z_B} B)_{\text{прореагир}} = n(\frac{1}{Z_B} B) - n(\frac{1}{Z_B} B)_{\text{остаток}} \text{ и } n(\frac{1}{Z_B} B)_{\text{остаток}} = n(\frac{1}{Z_D} D),$$

тогда закон эквивалентности, лежащий в основе расчетной формулы для массы определяемого вещества А, можно представить как:

$$n(\frac{1}{Z_A} A) = n(\frac{1}{Z_B} B) - n(\frac{1}{Z_D} D)$$

$$\frac{m(A)}{M(\frac{1}{Z_A} A)} = c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) - c(\frac{1}{Z_D} D) \cdot V(D)$$

$$\begin{aligned} m(A) &= \left(c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) - c(\frac{1}{Z_D} D) \cdot V(D) \right) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) = \\ &= \left(K_B \cdot c_{\text{теор.}}(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V'(B) \cdot 10^{-3} - K_D \cdot c_{\text{теор.}}(\frac{1}{Z_D} D) \cdot V'(D) \cdot 10^{-3} \right) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) = \\ &= c_{\text{теор.}}(\frac{1}{Z_B} B) \cdot 10^{-3} \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) \cdot \left(K_B \cdot V'(B) - K_D \cdot V'(D) \right) = T_{\text{теор.}}(B/A) \cdot \left(K_B \cdot V'(B) - K_D \cdot V'(D) \right) \quad (11.19) \end{aligned}$$

Пример 15. 0,7500 г $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ растворили в воде, добавили 25,00 мл раствора КОН, а избыток КОН оттитровали раствором HCl с $c(HCl) = 0,1250$ моль/л, которого израсходовалось 4,02 мл. Вычислить молярную концентрацию КОН.

Решение

Запишем закон эквивалентности и выражение 11.19 для массы навески щавелевой кислоты:

$$n(\frac{1}{2} H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) = n(KOH) - n(HCl)$$

$$\frac{m(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)}{M(\frac{1}{2} H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)} = c(KOH) \cdot V(KOH) - c(HCl) \cdot V(HCl)$$

$$\frac{0,7500}{\frac{126,07}{2}} = x \cdot 25,00 \cdot 10^{-3} - 0,1250 \cdot 4,02 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{0,7500}{63,035 \cdot 10^{-3}} = 25,00 \cdot x - 0,5025$$

$$x = c(KOH) = \frac{11,8982 - 0,5025}{25} = 0,4558 \text{ моль/л}$$

Пример 16. Навеску технического Na_2CO_3 массой 0,1032 г растворили в 50,00 мл раствора HCl с $c(HCl) = 0,09496$ моль/л, при этом избыток кислоты оттитровали в присутствии метилоранжа 24,80 мл 0,1 молярного раствора NaOH ($K = 1,298$). Вычислите массовую долю индифферентных примесей в анализируемой навеске.

Решение

Запишем уравнения реакций, закон эквивалентности и расчетную формулу для массы карбоната натрия (см. выражение 11.19).



$$n(\frac{1}{2} Na_2CO_3) = n(HCl) - n(KOH)$$

$$\frac{m(Na_2CO_3)}{M(\frac{1}{2} Na_2CO_3)} = c(HCl) \cdot V'(HCl) \cdot 10^{-3} - K_{KOH} \cdot c_{теор.}(KOH) \cdot V'(KOH) \cdot 10^{-3}$$

$$m(Na_2CO_3) = \left(c(HCl) \cdot V'(HCl) \cdot 10^{-3} - K_{KOH} \cdot c_{теор.}(KOH) \cdot V'(KOH) \cdot 10^{-3} \right) \cdot M(\frac{1}{2} Na_2CO_3) =$$

$$= (0,09496 \cdot 50,00 - 1,298 \cdot 0,1 \cdot 24,80) \cdot 106 \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} = 1,5290 \cdot 53 \cdot 10^{-3} = 0,08104 \text{ г}$$

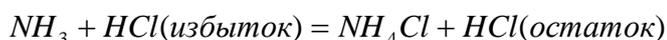
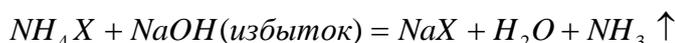
$$m(\text{примеси}) = m(\text{навески}) - m(Na_2CO_3) = 0,1032 - 0,08104 = 0,02216 \text{ г}$$

$$\omega(\text{примеси}) = \frac{m(\text{примеси}) \cdot 100}{m(\text{навески})} = \frac{0,02216 \cdot 100}{0,1032} = 21,47\%$$

Пример 17. Навеску соли аммония массой 1,0000 г обработали концентрированным раствором NaOH. Выделившийся в результате реакции аммиак поглотили 50,00 мл раствора HCl с $c(HCl) = 1,0720$ моль/л, а избыток кислоты оттитровали 25,40 мл раствора NaOH с $T(NaOH) = 0,004120$ г/мл. Вычислите массовую долю (%) аммиака в анализируемой навеске.

Решение

Запишем уравнения реакций, закон эквивалентности и расчетную формулу для массы NH_3 .



$$n(NH_3) = n(HCl) - n(NaOH)$$

$$\frac{m(NH_3)}{M(NH_3)} = c(HCl) \cdot V'(HCl) \cdot 10^{-3} - \frac{T(NaOH)}{M(NaOH)} \cdot V'(NaOH)$$

$$m(NH_3) = \left(c(HCl) \cdot V'(HCl) \cdot 10^{-3} - \frac{T(NaOH)}{M(NaOH)} \cdot V'(NaOH) \right) \cdot M(NH_3) =$$

$$= \left(1,0720 \cdot 50 \cdot 10^{-3} - \frac{0,004120}{40} \cdot 25,40 \right) \cdot 17,03 = (0,0536 - 0,002616) \cdot 17,03 = 0,8683 \text{ г}$$

$$\omega(NH_3) = \frac{m(NH_3) \cdot 100}{m(\text{навески})} = \frac{0,8683 \cdot 100}{1,0000} = 86,83\%$$

11.2.6 Вычисление массы определяемого вещества А в случае титрования аликвотной части раствора (метод пипетирования)

Так как в методе пипетирования навеска определяемого вещества количественно переносится в мерную колбу, а после ее растворения и разбавления до метки, оттитровывается только аликвотная часть приготовленного раствора, закон эквивалентности в этом случае имеет вид:

$$n(\frac{1}{Z_A} A) = n(\frac{1}{Z_B} B) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad - \text{ для прямого титрования и титрования по методу замещения};$$

$$n(\frac{1}{Z_A} A) = (n(\frac{1}{Z_B} B) - n(\frac{1}{Z_D} D)) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad - \text{ для обратного титрования},$$

где $\frac{V_{\kappa}}{V_n}$ представляет собой отношение объема мерной колбы, в которой содержится определяемое вещество А, к объему пипетки (аликвотной части раствора А).

На самом деле, если в случае прямого и косвенного (метод замещения) титрований $n(\frac{1}{Z_B} B)$ является количеством вещества эквивалента В которое расходуется на титрование только аликвотной части (объем пипетки) раствора вещества А, то на титрование всей навески вещества А, т.е раствора определяемого вещества А приготовленного в мерной колбе, израсходуется титрованного раствора В в $\frac{V_{\kappa}}{V_n}$ раз больше. Аналогичным образом рассуждают и в случае титрования по остатку.

Формулы для расчета массы вещества А в случае прямого титрования и титрования по методу замещения (сравните с выражениями 11.16, 11.17, 11.18, 11.16а, 11.17а, 11.18а):

$$m(A) = c(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.20)$$

$$m(A) = \frac{T(B) \cdot V'(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A)}{M(\frac{1}{Z_B} B)} \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.21)$$

$$m(A) = T_{B/A} \cdot V'(B) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.22)$$

$$m(A) = K_B \cdot c_{теор.}(\frac{1}{Z_B} B) \cdot V(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.20а)$$

$$m(A) = \frac{K_B \cdot T_{теор.}(B) \cdot V'(B) \cdot M(\frac{1}{Z_A} A)}{M(\frac{1}{Z_B} B)} \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.21а)$$

$$\text{и } m(A) = K_B \cdot T_{теор. B/A} \cdot V'(B) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.22а)$$

Формулы для расчета массы вещества А в случае применения метода титрования по остатку (сравните с выражением 11.19, раздел 11.2.6):

$$m(A) = (c(\frac{1}{2}B) \cdot V(B) - c(\frac{1}{2}D) \cdot V(D)) \cdot M(\frac{1}{2}A) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.23)$$

$$m(A) = T_{\text{теор.}}(B/A) \cdot (K \cdot V'(B) - K_D \cdot V'(D)) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} \quad (11.24)$$

Пример 18. Вычислите массу H_2SO_4 в растворе объемом 250 мл, если на титрование 25,00 мл этого раствора было израсходовано 21,72 мл 0,1 молярного раствора $NaOH$ с коэффициентом поправки $K_{NaOH} = 1,012$. Чему равны $T_{H_2SO_4}$, $c(\frac{1}{2}H_2SO_4)$ и $K_{H_2SO_4}$?

Решение

Запишем закон эквивалентности и расчетную формулу для массы $m(H_2SO_4)$ (см. уравнение 11.20а).

$$n(\frac{1}{2}H_2SO_4) = n(NaOH) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n}; \quad \frac{m(H_2SO_4)}{M(\frac{1}{2}H_2SO_4)} = K_{NaOH} \cdot c_{\text{теор.}}(NaOH) \cdot V(NaOH) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n}$$

$$m(H_2SO_4) = K_{NaOH} \cdot c_{\text{теор.}}(NaOH) \cdot V'(NaOH) \cdot 10^{-3} \cdot M(\frac{1}{2}H_2SO_4) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} =$$

$$= 1,012 \cdot 0,1 \cdot 21,72 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{98,08}{2} \cdot \frac{250}{25} = 1,0779 \text{ г}$$

Вычислим титр раствора H_2SO_4 , воспользовавшись уравнением 11.6:

$$T(H_2SO_4) = \frac{m(H_2SO_4)}{V'(H_2SO_4)} = \frac{1,0779}{250} = 0,0043116 \text{ г/мл}$$

Молярную концентрацию эквивалента раствора серной кислоты можно вычислить из закона эквивалентности $c(\frac{1}{2}H_2SO_4) \cdot V(H_2SO_4) = c(NaOH) \cdot V(NaOH)$.

$$c(\frac{1}{2}H_2SO_4) = \frac{c(NaOH) \cdot V(NaOH)}{V(H_2SO_4)} = \frac{1,012 \cdot 0,1 \cdot 21,72}{25,00} = 0,08792 \text{ моль/л}$$

Также $c(\frac{1}{2}H_2SO_4)$ можно вычислить из выражения:

$$T(H_2SO_4) = \frac{c(\frac{1}{2}H_2SO_4) \cdot M(\frac{1}{2}H_2SO_4)}{1000} \quad (\text{см. формулу 11.6})$$

$$c(\frac{1}{2}H_2SO_4) = \frac{T(H_2SO_4) \cdot 1000}{M(\frac{1}{2}H_2SO_4)} = \frac{0,0043116 \cdot 1000}{\frac{98,08}{2}} = 0,08792 \text{ моль/л}$$

Вычислим $K_{H_2SO_4}$ (см. уравнение 11.10)

$$K_{H_2SO_4} = \frac{c_{\text{пр.}}(\frac{1}{2}H_2SO_4)}{c_{\text{теор.}}(\frac{1}{2}H_2SO_4)} = \frac{0,08792}{0,1} = 0,8792$$

Пример 19. Навеску технической соды количественно перенесли в мерную колбу на 250,00 мл, растворили в воде и объем раствора довели до метки. На титрование 25,00 мл полученного

раствора, в присутствии метилового оранжевого, было израсходовано 22,45 мл рабочего раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1025$ моль/л. Вычислить массовую долю карбоната натрия в исходном образце.

Решение

Запишем закон эквивалентности и расчетную формулу для массы $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ (см. уравнение 11.20).

$$n(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{HCl}) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n}; \quad \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)} = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} = 0,1095 \cdot 22,45 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{106}{2} \cdot \frac{250}{25} = 1,3029 \text{ г}$$

Пример 20. Навеску технического сульфата аммония массой 1,6160 г количественно перенесли в мерную колбу на 250,00 мл, растворили в воде и объём раствора довели до метки. 25,00 мл полученного раствора прокипятили в NaOH, а образовавшийся аммиак поглотили раствором H_2SO_4 объёмом 40,00 мл с $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1020$ моль/л. На титрование избытка кислоты затратили 17,00 мл раствора NaOH с $c(\text{NaOH}) = 0,0960$ моль/л. Вычислить $\omega(\text{NH}_3)$ в навеске технического сульфата аммония.

Решение

Запишем закон эквивалентности и рассчитаем массу (см. уравнение 11.23).

$$n(\text{NH}_3) = (n(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) - n(\text{NaOH})) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n};$$

$$\frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)} = (c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) - c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n}$$

$$m(\text{NH}_3) = (c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V'(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 10^{-3} - c(\text{NaOH}) \cdot V'(\text{NaOH}) \cdot 10^{-3}) \cdot M(\text{NH}_3) \cdot \frac{V_{\kappa}}{V_n} =$$

$$= (0,1020 \cdot 40,00 - 0,0960 \cdot 17,00) \cdot 17,03 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{250}{25} = 0,4169 \text{ г}$$

Воспользовавшись формулой 11.1 вычислим массовую долю аммиака в анализируемой навеске:

$$\omega(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3) \cdot 100}{m(\text{техн.}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} = \frac{0,4169 \cdot 100}{1,6160} = 25,80\%$$

Задачи для самостоятельного решения

11.3.1. Кислотно-основной метод титрования

11-1. Из 2,5000 г Na_2CO_3 приготовили 500 мл раствора. Для этого раствора вычислить молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалента и титр.

Ответ: 0,0472 моль/л; 0,0943 моль/л; 0,0050 г/мл.

- 11-2.** Сколько концентрированного раствора HCl с $\omega(\text{HCl}) = 38,8\%$ и плотностью 1,19 г/мл следует взять для приготовления 500 мл 0,1 молярного раствора?

Ответ: ≈ 4 мл.

- 11-3.** Какую навеску буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) следует взять для приготовления 100 мл 0,1 молярного раствора?

Ответ: 1,907 г.

- 11-4.** На титровании тетрабората натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ массой 0,7863 г было израсходовано 20,63 мл раствора HCl. Вычислите молярную концентрацию раствора соляной кислоты.

Ответ: 0,1999 моль/л

- 11-5.** 5,2060 г х.ч. Na_2CO_3 перенесли количественно в мерную колбу объёмом 500 мл, растворили в воде и довели объём до метки. На титрование 25,00 мл полученного раствора соды пошло 26,17 мл раствора HCl. Вычислите молярную концентрацию соляной кислоты и поправочный коэффициент К.

Ответ: 0,1877 моль/л; 0,9385

- 11-6.** Какую массу буры следует взвесить на аналитических весах, чтобы на ее титрование расходовалось не более 25,00 мл HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1000$ моль/л.

Ответ: 0,4767 г.

- 11-7.** Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента раствора серной кислоты с $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 30\%$ и $\rho = 1,22$ г/см³.

Ответ: 3,73 моль/л; 7,46 моль/л.

- 11-8.** Вычислите количество вещества и количество вещества эквивалента безводной соды Na_2CO_3 в навеске массой 530 г, если известно что в результате ее реакции с соляной кислотой образуется оксид углерода(IV).

Ответ: 5 моль; 10 моль.

- 11-9.** Какой объём раствора серной кислоты с массовой долей $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 39,2\%$ и $\rho = 1,30$ г/см³ следует прибавить к 1200 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией

эквивалента 0,16 моль/л, чтобы получить раствор с молярной концентрацией эквивалента 0,20 моль/л?

Ответ: 4,7 мл.

11-10. Вычислите объём серной кислоты с массовой долей вещества 96 % и плотностью 1,84 г/мл, необходимый для приготовления одного литра раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л.

Ответ: $\approx 2,8$ мл.

11-11. Вычислите объём азотной кислоты с массовой долей вещества 67% и плотностью $\rho = 1,40$ г/мл, необходимый для приготовления пяти литров раствора с молярной концентрацией 0,1 моль/л HNO_3 .

Ответ: ≈ 34 мл.

11-12. К 20,00 мл раствора HCl прибавили избыток раствора AgNO_3 , при этом образовалось 0,2868 г AgCl . Вычислите титр раствора HCl .

Ответ: 0,003649 г/мл.

11-13. Вычислите объём соляной кислоты с массовой долей HCl 38% и плотностью 1,19 г/см³, необходимый для приготовления 1500 мл раствора с $T(\text{HCl}) = 0,01260$ г/мл.

Ответ: 41,8 мл.

11-14. На титрование буры массой 0,0976 г было израсходовано 21,55 мл соляной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию кислоты и титр $T(\text{HCl}/\text{NaHCO}_3)$.

Ответ: 0,02375 моль/л; 0,001995 г/мл.

11-15. Вычислите титр раствора H_2SO_4 , если на титрование навески Li_2CO_3 , массой 0,1551 г, было затрачено 18,18 мл этого раствора.

Ответ: 0,01130 г/мл.

11-16. Вычислить массу KOH содержащуюся в анализируемом препарате, если на ее титрование было израсходовано 19,44 мл раствора H_2SO_4 с молярной концентрацией эквивалента 0,1410 моль/л.

Ответ: 0,1538 г.

11-17. Чему равна масса NaOH, которая содержится в 100 мл раствора, если известно, что на титрование 25,00 мл этого раствора израсходовали 21,80 мл HCl с $c(\text{HCl}) \approx 0,1$ моль/л и $K_{\text{HCl}} = 0,9830$.

Ответ: 0,3428 г.

11-18. Навеску массой 0,7200 г, содержащей KOH и KHCO₃, растворили в произвольном объёме воды. На титрование полученного раствора в присутствии фенолфталеина было израсходовано 18,60 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,5000$ моль/л. Титрование продолжили в присутствии метилоранжа, затратив ещё 2,00 мл рабочего раствора HCl. Рассчитайте массовые доли KOH и KHCO₃ в анализируемой смеси.

Ответ: 72,5%; 13,9%.

11-19. На титрование 0,1144 г CaCO₃ (х. ч) израсходовано 27,65 мл раствора HCl. Чему равен титр $T_{\text{HCl}/\text{CaO}}$.

Ответ: 0,002319 г/мл.

11-20. 20 мл раствора KOH с $c(\text{KOH}) = 0,1$ моль/л титруют раствором HCl той же концентрации. Рассчитайте pH раствора после добавления 18,00 мл и 20,02 мл раствора HCl.

Ответ: 11,72; 4,30.

11-21. Какую навеску соды Na₂CO₃ следует растворить в колбе на 100 мл, чтобы с помощью приготовленного раствора установить титр серной кислоты с концентрацией $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 0,10$ моль/л?

Ответ: 0,53 г.

11-22. Навеску карбоната натрия массой 0,5000 г растворили в колбе на 200 мл. Известно, что на титрование 50,00 мл приготовленного раствора Na₂CO₃, в присутствии метилового оранжевого, израсходовалось 24,00 мл раствора H₂SO₄. Вычислите молярную концентрацию эквивалента и титр раствора серной кислоты.

Ответ: 0,09827 моль/л; 0,004819 г/мл.

11-23. Навеску химически чистого Na₂CO₃ массой 0,1250 г перенесли количественно в мерную колбу на 200 мл, растворили в дистиллированной воде, довели объём раствора до метки и перемешали. Вычислите $c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)$ и $T(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ приготовленного раствора первичного стандарта.

Ответ: 0,01179 моль/л; 0,0006250 г/мл.

11-24. 20 мл 0,1 молярного раствора HCl оттитровали раствором KOH той же концентрации. Вычислите pH титруемого раствора после добавления 19,98 мл и 20,20 мл раствора KOH.

Ответ: 4,30; 10,70.

11-25. Вычислите молярную концентрацию эквивалента, титр и К (поправочный коэффициент) раствора серной кислоты, если на титрование 20,00 мл этого раствора было затрачено 33,85 мл раствора тетрабората натрия, полученного растворением навески $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ массой 2,4000 г в мерной колбе на 200 мл.

Ответ: 0,1065 моль/л; 0,005223 г/мл; 1,065.

11-26. На титрование 50,00 мл раствора KOH израсходовали 35,46 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалента равной 0,0503 моль/л. Вычислите массу KOH в 500 мл анализируемого раствора.

Ответ: 1,0006 г.

11-27. Из навески гидроксида натрия массой 0,5600 г было приготовлено 250 мл анализируемого раствора. На титрование 50,00 мл приготовленного раствора в присутствии фенолфталеина было израсходовано 22,50 мл HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1120$ моль/л, а когда титрование продолжили в присутствии метилоранжа – ещё 0,94 мл. Определите массовые доли (%) NaOH и Na_2CO_3 в анализируемом образце.

Ответ: 86,24%; 9,96%.

11-28. На титрование 25,00 мл раствора, содержащего смесь Na_2CO_3 и NaHCO_3 , в присутствии фенолфталеина, израсходовали 9,46 мл титранта HCl с молярной концентрацией равной 0,1200 моль/л, а при титровании того же объёма смеси в присутствии метилоранжа было затрачено 24,86 мл раствора HCl. Рассчитайте массы Na_2CO_3 и NaHCO_3 , которые содержатся в 250 мл анализируемого раствора.

Ответ: 1,2033 г; 0,5988 г.

11-29. Укажите, какие из следующих веществ: KOH, K_2CO_3 или KHCO_3 присутствуют в анализируемом растворе, если: а) на титрование в присутствии фенолфталеина расходуется такой же объём HCl как и в случае титрования в присутствии метилоранжа; б) на титрование в присутствии фенолфталеина расходуется в два раза меньше HCl, чем при титровании с метилоранжем; в) раствор не дает щелочную реакцию с фенолфталеином, но может быть оттитрован в присутствии метилоранжа.

Ответ: а) KOH; б) K₂CO₃; в) KHCO₃.

11-30. На титрование 20,00 мл раствора соляной кислоты с концентрацией 0,1985 моль/л израсходовано 16,33 мл KOH. Определите массу гидроксида калия в 100 мл анализируемого раствора.

Ответ: 1,3639 г.

11-31. На титрование 20,00 мл раствора Na₂CO₃ в присутствии метилового оранжевого было израсходовано 19,16 мл раствора HCl с концентрацией 0,9960 моль/л. Плотность раствора Na₂CO₃ равна 1,050 г/мл. Определите массовую долю Na₂CO₃ в растворе.

Ответ: 4,82%.

11-32. На титрование раствора, содержащего KOH и KHCO₃, израсходовано в присутствии фенолфталеина 10,00 мл соляной кислоты с $c(\text{HCl}) = 0,1000$ моль/л. Титрование продолжили в присутствии метилоранжа, затратив ещё 2,00 мл рабочего раствора HCl. Рассчитайте массы KOH и KHCO₃ в анализируемом растворе.

Ответ: 0,0561 г; 0,0200 г.

11-33. Определите массы KOH и K₂CO₃, содержащиеся в техническом образце гидроксида калия, который растворили в произвольном объёме воды и оттитровали рабочим титрованным раствором соляной кислоты. При этом в присутствии фенолфталеина было затрачено 22,40 мл раствора HCl с молярной концентрацией 0,09500 моль/л, а при титровании такой же пробы образца в присутствии метилоранжа было израсходовано 25,80 мл титранта.

Ответ: 0,1013 г; 0,0446 г.

11-34. Навеску технического гидроксида калия массой 3,1580 г растворили в воде. На титрование полученного раствора израсходовано 27,45 мл раствора HCl с $T_{\text{HCl}/\text{NaOH}} = 0,07862$ г/мл. Определите массовую долю гидроксида калия в исследуемом образце.

Ответ: 95,84%.

11-35. На титрование навески массой 0,4478 г, содержащей Na₂CO₃, NaHCO₃ и NaCl, израсходовали в присутствии фенолфталеина 18,80 мл соляной кислоты с молярной концентрацией 0,1998 моль/л. На титрование такой же навески в присутствии метилоранжа затратили 40,00 мл титранта HCl. Рассчитайте массовые доли (%) Na₂CO₃ и NaHCO₃ в анализируемом образце.

Ответ: 88,92%; 9,00%.

11-36. Рассчитайте молярную концентрацию и титр раствора KOH, если на титрование навески янтарной кислоты с $m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 0,1495$ г, растворенной в произвольном объеме воды, было израсходовано 25,20 мл анализируемого раствора щёлочи.

Ответ: 0,1005 моль/л; 0,005638 г/мл.

11-37. Навеску хлорида аммония массой 1,1200 г растворили в мерной колбе на 200 мл. К 25 мл раствора прибавили 50,00 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,1068 моль/л. После полного удаления аммиака кипячением, избыток щёлочи оттитровали раствором хлороводородной кислоты с молярной концентрацией 0,1100 моль/л. На титрование было израсходовано 26,20 мл этой кислоты. Вычислить массовую долю аммиака в анализируемом растворе.

Ответ: 29,85%.

11-38. Навеску технического NH_4Cl массой 0,1550 г растворили в воде и к полученному раствору добавили избыток (~5 мл) нейтрализованного раствора формалина с $\omega(\text{CH}_2\text{O}) \approx 40\%$. На титрование выделившегося хлористого водорода израсходовалось 22,00 мл раствора NaOH с $c(\text{NaOH}) = 0,1000$ моль/л. Рассчитайте массовую долю хлорида аммония в техническом образце.

Ответ: 75,94%.

11-39. Азот из навески органического вещества массой 0,8880 г с помощью концентрированной серной кислоты переведен в сульфат аммония. При кипячении соли с концентрированной щёлочью выделившийся аммиак поглощен 50,00 мл раствором H_2SO_4 с молярной концентрацией эквивалента 0,1200 моль/л, а на титрование остатка серной кислоты затрачено 12,00 мл 0,0980 молярного NaOH. Вычислить массовую долю азота в навеске анализируемого органического вещества.

Ответ: 7,61%.

11-40. Навеску технического хлорида аммония массой 0,1000 г растворили в произвольном объеме воды и обработали избытком формальдегида. На титрование выделившейся кислоты израсходовали 18,00 мл раствора NaOH. Известно, что 1 мл раствора NaOH эквивалентен 0,005349 г NH_4Cl . Вычислите массовую долю (%) NH_4Cl в техническом препарате.

Ответ: 96,28%.

11-41. Навеску, содержащую CaCO_3 , обработали 50,00 мл раствора HCl с концентрацией 0,200 моль/л, после чего избыток кислоты оттитровали 10,00 мл раствора NaOH . Известно, что на титрование 25,00 мл HCl расходуется 24,00 NaOH . Вычислить массу CaCO_3 в анализируемом образце.

Ответ: 0,3962 г.

11-42. Каюю навеску янтарной кислоты $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ необходимо взять для приготовления 250 мл раствора первичного стандарта, необходимого для стандартизации раствора щёлочи KOH с $c(\text{KOH}) \approx 0,1$ моль/л?

Ответ: примерно 1,5 г.

11-43. Рассчитайте массу серной кислоты в анализируемом растворе, если на его титрование было затрачено 23,50 мл раствора NaOH с титром равным 0,005764 г/мл.

Ответ: 0,1661 г.

11-44. Рассчитайте массу CaO в анализируемой системе, если на её титрование было израсходовано 18,43 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,2135$ моль/л.

Ответ: 0,1103 г.

11-45. В мерной колбе на 200 мл приготовили раствор, содержащий KOH и K_2CO_3 . На титрование 10,00 мл полученного раствора было израсходовано в присутствии фенолфталеина 9,80 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1000$ моль/л; а в присутствии метилоранжа – 11,00 мл титранта HCl . Рассчитайте массы KOH и K_2CO_3 в анализируемом растворе.

Ответ: 0,9650 г; 0,3317 г.

11-46. 9,7770 г концентрированной азотной кислоты перенесли количественно в мерную колбу на 1 литр и довели объём дистиллированной водой до метки. Полученным раствором оттитровали 25,00 мл NaOH с $c(\text{NaOH}) \approx 0,1$ моль/л ($K_{\text{NaOH}} = 1,040$), при этом было затрачено 25,45 мл. Рассчитайте $\omega(\text{HNO}_3)$ в концентрированной азотной кислоте.

Ответ: 65,83%.

11-47. Вычислите массу H_3PO_4 в анализируемом растворе, если на её титрование в присутствии фенолфталеина было израсходовано 25,50 мл раствора NaOH с $c(\text{NaOH}) = 0,2000$ моль/л.

Ответ: 0,2499 г.

11-48. Навеску восстановленного железа (лекарственного вещества) массой 0,6500 г растворили в 50 мл раствора HCl с теоретической концентрацией 0,5 моль/л ($K = 1,040$). На титрование остатка HCl было израсходовано 15,00 мл раствора NaOH с концентрацией 0,2000 моль/л. Определить массовую долю (%) железа в анализируемом образце.

Ответ: 98,81%.

11-49. Чему равна массовая доля $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ в образце щавелевой кислоты, если на титрование навески массой 0,1500 г, растворенной в произвольном объеме воды, было затрачено 25,00 мл раствора KOH с $c(KOH) = 0,0900$ моль/л?

Ответ: 94,55%.

11-50. Рассчитайте индикаторную ошибку при титровании 10 мл раствора муравьиной кислоты с $c(HCOOH) = 0,1$ моль/л в присутствии метилового оранжевого ($pT = 4$) и фенолфталеина ($pT = 9$).

Ответ: $E_{HA} = -35,71\%$; $E_{OH^-} = +0,02\%$.

11-51. 20 мл раствора HCl с $c(HCl) = 0,1$ моль/л оттитровали раствором KOH той же концентрации. Рассчитайте pH титруемого раствора при добавлении к нему 19,80 мл и 20,02 мл раствора KOH.

Ответ: 3,30; 9,70.

11-52. Рассчитайте индикаторную ошибку при титровании соляной кислоты с $c(HCl) = 0,2$ моль/л раствором NaOH той же концентрации в присутствии метилового красного ($pT = 5$).

Ответ: $E_{H^+} = -0,01\%$.

11-53. Навеску технического NH_4Cl массой 0,1568 г растворили в воде. К полученному раствору добавили 40,00 мл раствора NaOH с $c(NaOH) = 0,1102$ моль/л и нагрели до полного удаления аммиака.. На титрование остатка NaOH израсходовали 18,96 мл раствора HCl с $c(HCl) = 0,1128$ моль/л. Рассчитайте массовую долю хлорида аммония в анализируемом образце.

Ответ: 77,42%.

11-54. Какой объем раствора HCl с $c(HCl) = 4,0000$ моль/л необходимо добавить к 500,00 мл раствора соляной кислоты с $T(HCl/CaO) = 0,08400$ г/мл, для того чтобы приготовить новый раствор HCl с титром по CaO равным 0,09000 г/мл?

Ответ: 135 ml.

11-55. Вычислите молярную концентрацию и титр раствора HCl, если на титрование 0,4217 г тетрабората натрия израсходовали 17,50 мл этого раствора.

Ответ: 0,1264 моль/л; 0,004612 г/мл.

11-56. Навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ массой 0,6000 г растворили в мерной колбе на 100,0 мл. На титрование 20,0 мл приготовленного раствора было израсходовано 18,34 мл NaOH. Определите молярную концентрацию раствора NaOH и его титр по $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Ответ: 0,1038 моль/л; 0,004672 г/мл.

11-57. Рассчитайте молярную концентрацию раствора KOH, если на титрование 15,00 мл щелочи было израсходовано 18,70 мл раствора HCl ($T(\text{HCl}) = 0,002864$ г/мл).

Ответ: 0,09782 моль/л.

11-58. Какую навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ следует взять, чтобы на ее титрование израсходовалось 20,00 мл NaOH с концентрацией 0,1 моль/л?

Ответ: $\approx 0,13$ г.

11-59. Вычислите массу KH_2PO_4 , которую следует взять для анализа, чтобы на титрование в присутствии фенолфталеина израсходовалось 20,00 мл раствора KOH с концентрацией 0,1 моль/л?

Ответ: $\approx 0,27$ г.

11-60. Навеску фосфорной кислоты массой 0,1182 г растворили в дистиллированной воде и оттитровали 22,18 мл раствора KOH с $c(\text{KOH}) \approx 0,1$ моль/л ($K = 0,9519$). Вычислите массовую долю (%) фосфорной кислоты.

Ответ: 87,52%.

11-61. На титрование раствора, полученного из навески щавелевой кислоты массой 0,1371 г, было затрачено 22,10 мл раствора щелочи с $c(\text{NaOH}) = 0,09842$ моль/л. Сколько молекул кристаллизационной воды содержалось в исходном препарате?

Ответ: 2.

11-62. После реакции восстановления нитрата натрия, полученный аммиак поглотили 40,00 мл соляной кислоты с молярной концентрацией 0,1 моль/л. Избыток кислоты оттитровали

20,00 мл NaOH с концентрацией 0,1 моль/л. Вычислите массу навески NaNO_3 , которая была взята для анализа.

Ответ: $\approx 0,17$ г.

11-63. Навеску анилина массой 1,3000 г растворили в 100,00 мл ледяной уксусной кислоты. На титрование 5,00 мл приготовленного раствора было израсходовано 6,80 мл HClO_4 в диоксане с концентрацией 0,1000 моль/л. Вычислите массовую долю (%) индифферентных примесей в анализируемом веществе.

Ответ: 2,57%.

11-64. Навеску салицилата натрия, содержащей индифферентные примеси, массой 0,1758 г растворили в ледяной уксусной кислоте. На титрование полученного раствора израсходовали 9,86 мл раствора HClO_4 с $c(\text{HClO}_4) = 0,1$ моль/л ($K = 1,1008$). Вычислите массовую долю (%) основного вещества в навеске.

Ответ: 98,95%.

11-65. Навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ массой 2,3500 г перенесли количественно в мерную колбу на 200,00 мл, растворили и разбавили до метки. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 19,36 мл раствора KOH. Рассчитайте молярную концентрацию раствора KOH, его титр и титр по HCl.

Ответ: 0,1926 моль/л; 0,01086 г/мл; 0,007028 г/мл.

11-66. В мерной колбе на 250,00 мл приготовили раствор щёлочи KOH. На титрование 50,00 мл полученного раствора было затрачено 38,46 мл раствора серной кислоты с $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05030$ моль/л. Рассчитайте массу KOH в приготовленном растворе.

Ответ: 1,085 г.

11-67. На титрование технического образца буры массой 0,8530 г было затрачено 20,20 мл раствора соляной кислоты с $c(\text{HCl}) = 0,2100$ моль/л. Вычислите массовую долю основного компонента $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в техническом образце.

Ответ: 94,84%.

11-68. Вычислите массовую долю диметиланилина ($M = 121,2$ г/моль) в анализируемом веществе, если после растворения его навески массой 85,2 мг в метилэтилкетоне, на титрование полученного раствора пошло 4,65 мл 0,1000 молярного раствора HClO_4 приготовленного в том же растворителе.

Ответ: 66,15%

11-69. На титрование в уксуснокислой среде химически чистой аминокислоты массой 0,1311 г было израсходовано 21,50 мл раствора HClO_4 с молярной концентрацией 0,0812 моль/л. Вычислите молярную массу анализируемой аминокислоты, которая ведет себя как монокислотное основание.

Ответ: 75,1 г/моль.

11-70. К 0,7500 г $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ добавили 25,00 мл раствора KOH , затем избыток KOH оттитровали 4,02 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1250$ моль/л. Рассчитайте молярную концентрацию раствора KOH .

Ответ: 0,4960 моль/л.

11.3.2. Методы окислительно-восстановительного титрования

11-71. Молярная концентрация эквивалента перманганата калия равна 0,0200 моль/л. Чему равны титры его по Fe , FeSO_4 , H_2O_2 и NaNO_2 ?

Ответ: 0,001117 г/мл; 0,003038 г/мл; 0,00034015 г/мл; 0,0006900 г/мл.

11-72. $T(\text{KMnO}_4) = 0,005000$ г/мл. Вычислите $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})$ и $c(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4)$.

Ответ: 0,008835 г/мл; 0,1582 моль/л.

11-73. Вычислите массу навески KMnO_4 , которую следует взять для приготовления: а) 250,00 мл раствора с $c(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4) = 0,02$ моль/л; б) 500,00 мл раствора с $T(\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{O}_2) = 0,000850$ г/мл?

Ответ: а) 0,1580 г; б) 0,7902 г.

11-74. Какую навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необходимо взять для приготовления 100,00 мл раствора щавелевой кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,02 моль/л?

Ответ: 0,1261 г.

11-75. Для приготовления 100,00 мл раствора щавелевой кислоты с $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,0200$ моль/л, на аналитических весах взвесили навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ массой 0,1196 г, перенесли её в мерную колбу на 100,00 мл, растворили и довели объём раствора дистиллированной водой до метки. Вычислите коэффициент поправки для концентрации приготовленного раствора.

Ответ: 0,9487.

11-76. Какую массу $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ следует взять для приготовления 500,00 мл раствора оксалата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,02 моль/л?

Ответ: 0,6700 г.

11-77. Для приготовления 500,00 мл раствора $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ с $c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,0200$ моль/л, на аналитических весах взвесили навеску $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ массой 0,6850 г, которую перенесли количественно в мерную колбу на 500,00 мл, растворили и довели объём раствора дистиллированной водой до метки. Вычислите коэффициент поправки для концентрации приготовленного раствора.

Ответ: 1,0224.

11-78. Раствор перекиси водорода H_2O_2 объёмом 3,00 мл (плотность = 1 г/мл) перенесли в мерную колбу на 250 мл и разбавили дистиллированной водой до метки. На титрование 10,00 мл полученного раствора было израсходовано 11,50 мл титрованного раствора KMnO_4 с $T(\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{O}_2) = 0,0003400$ г/мл. Вычислите массовую долю (%) H_2O_2 в анализируемом растворе.

Ответ: 3,26 %

11-79. Навеску раствора перекиси водорода массой 5,000 г перенесли количественно в мерную колбу на 500 мл и разбавили дистиллированной водой до метки. На титрование 25,00 мл полученного раствора затратили 37,43 мл рабочего раствора KMnO_4 с $c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0,1$ моль/л и $K = 1,1240$. Вычислите массовую долю (%) H_2O_2 в анализируемом образце.

Ответ: 28,61 %

11-80. Вычислите молярную концентрацию эквивалента рабочего раствора перманганата калия, если известно, что на титрование щавелевой кислоты массой 0,1035 г было затрачено 25,00 мл раствора KMnO_4 .

Ответ: 0,06567 моль/л.

11-81. Вычислите объём раствора перекиси водорода с массовой долей $\omega(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 3\%$ и $\rho = 1$ г/см³, который следует взять для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0200 моль/л.

Ответ: примерно 3 мл.

11-82. 1 мл лекарственного препарата пероксида водорода поместили в колбу на 100,00 мл и довели объем дистиллированной водой до метки. На титрование 20 мл приготовленного раствора H_2O_2 , израсходовалось в среднем 16,90 мл раствора KMnO_4 с $c(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4) = 0,0198$ моль/л. Рассчитайте массу H_2O_2 содержащуюся в 100,00 мл исходного анализируемого раствора.

Ответ: 2,84 г/100 мл.

11-83. На окисление 0,0244 г $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ было израсходовано 19,50 мл раствора KMnO_4 . Вычислите молярную концентрацию эквивалента и коэффициент поправки для раствора перманганата калия.

Ответ: 0,01985 моль/л; 0,992

11-84. Определите массу кальция, содержащуюся в 250 мл раствора CaCl_2 , если после обработки 25,00 мл этого раствора 40,00 мл раствора $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ с $c(\frac{1}{2}(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1000$ моль/л и отделения осадка CaC_2O_4 , на титрование остатка оксалата аммония было затрачено 15,00 мл раствора KMnO_4 с $c(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4) = 0,02000$ моль/л.

Ответ: 0,7415 г.

11-85. Ионы кальция осадили в виде $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, после чего осадок промыли, отфильтровали и растворили в разбавленной серной кислоте. Образовавшуюся при этом щавелевую кислоту оттитровали 20,15 мл раствора KMnO_4 с $T(\text{KMnO}_4/\text{CaO}) = 0,01752$ г/мл. Вычислите массу ионов кальция, содержащихся в анализируемом растворе.

Ответ: 0,2523 г.

11-86. На титрование раствора перекиси водорода было израсходовано 14,50 мл раствора KMnO_4 . Вычислите массу H_2O_2 в анализируемом растворе, если известно, что 1 мл раствора KMnO_4 эквивалентен 0,08376 гFe.

Ответ: 0,3697 г.

11-87. На титрование 20,00 мл раствора щавелевой кислоты с $T(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,006900$ г/мл было израсходовано 25,00 мл раствора KMnO_4 . Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора перманганата калия.

Ответ: 0,08757 моль/л.

11-88. 0,1500 г технического карбоната кальция растворили в соляной кислоте, а затем ионы кальция осадили в виде CaC_2O_4 . Полученный осадок промыли и растворили в серной

кислоте, а полученный раствор оттитровали 18,85 мл раствора KMnO_4 с $T(\text{KMnO}_4/\text{CaCO}_3) = 0,00600$ г/мл. Рассчитайте массовую долю CaCO_3 в анализируемом образце.

Ответ: 75,4%.

11-89. Из 0,4000 г сульфата железа (II) приготовили раствор в мерной колбе на 100,00 мл. На титрование 20,00 мл приготовленного раствора было израсходовано 14,20 мл раствора KMnO_4 с $c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0,0198$ моль/л. Вычислите массовую долю $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в анализируемом образце.

Ответ: 97,70%.

11-90. 0,0979 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (х. ч.) перенесли количественно в мерную колбу на 100,00 мл, растворили и разбавили водой до метки. К 25,00 мл приготовленного раствора добавили избыток KI а выделившийся при этом йод оттитровали 25,50 мл раствора тиосульфата натрия. Вычислите молярную концентрацию раствора тиосульфата натрия.

Ответ: 0,01958 моль/л.

11-91. На титрование 20,00 мл хлорной воды, косвенным йодометрическим методом, было израсходовано 19,20 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с молярной концентрацией равной 0,0195 моль/л. Вычислите массу хлора в 100 мл хлорной воды.

Ответ: 0,0664 г.

11-92. К подкисленному раствору, содержащему H_2O_2 , добавили избыток KI . На титрование выделившегося йода было затрачено 22,40 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,1010 моль/л. Чему равна масса H_2O_2 в анализируемом растворе?

Ответ: 0,03846 г.

11-93. К 25,00 мл раствора HCl добавили избыток смеси $\text{KIO}_3 + \text{KI}$, образовавшийся в результате реакции йод оттитровали раствором тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,02100 моль/л. На титрование при этом израсходовалось 24,00 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислите массу HCl , которая содержится в 250,00 мл анализируемого раствора HCl .

Ответ: 0,1838 г.

11-94. К навеске $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ массой 0,0645 г добавили избыток KI и HCl . На титрование выделившегося йода было израсходовано 22,85 мл раствора тиосульфата натрия. Вычислите молярную концентрацию раствора тиосульфата натрия и его титр по I_2 и KMnO_4 .

Ответ: 0,05757 моль/л; 0,007306 г/мл; 0,001820 г/мл.

11-95. Анализируемое вещество, содержащее ионы меди(II), перенесли в мерную колбу на 200,00 мл, растворили в дистиллированной воде и довели объём раствора до метки. К 10,00 мл приготовленного раствора прилили избыток KI и оттитровали выделившийся йод 12,60 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cu}) = 0,003177$ г/мл. Вычислите массу ионов меди(II) в анализируемом растворе.

Ответ: 0,8006 г.

11-96. Вычислите массу хлора, содержащегося в 1 литре хлорной воды, если на титрование йода, полученного взаимодействием 25,00 мл хлорной воды с избытком йодида калия, было израсходовано 20,10 мл 0,1 молярного раствора тиосульфата натрия с коэффициентом поправки $K = 1,1000$.

Ответ: 3,1352 г.

11-97. Для проведения анализа на свинец, была взята навеска руды массой 5,000 г. После её растворения в кислоте, ионы Pb^{2+} осадили в виде PbCrO_4 , после чего осадок отфильтровали, промыли и растворили в смеси HCl и KI. Выделившийся йод оттитровали раствором тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,05000 моль/л, при этом израсходовалось 42,00 мл. Чему равна массовая доля свинца в руде?

Ответ: 2,90%.

11-98. Молярная концентрация эквивалента раствора йода равна 0,02 моль/л. Вычислите титр этого раствора по: As_2O_3 ; H_2S ; CH_2O и $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (аскорбиновая кислота).

Ответ: 0,0009892 г/мл; 0,0003408 г/мл; 0,0003003 г/мл; 0,001761 г/мл.

11-99. На титрование 25,00 мл молекулярного йода было израсходовано 22,15 мл раствора тиосульфата натрия с $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1313$ моль/л. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора йода и её коэффициент поправки.

Ответ: 0,1163 моль/л; 1,1630.

11-100. Из навески технического As_2O_3 массой 1,2400 г приготовили раствор в мерной колбе на 250 ml. На титрование 25,00 мл полученного раствора As_2O_3 было израсходовано 24,10 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = 0,0980$ моль/л. Вычислите массовую долю (%) As_2O_3 в анализируемом образце.

Ответ: 94,21 %

11-101. Из навески аскорбиновой кислоты $C_6H_8O_6$ массой 1,0000 г приготовили раствор в мерной колбе на 100 мл. На титрование 10,00 мл приготовленного раствора израсходовали 11,40 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2}I_2) = 0,0973$ моль/л. Известно, что лекарственная форма аскорбиновой кислоты должна содержать не менее 99% $C_6H_8O_6$. Является ли анализируемый препарат лекарственным?

Ответ: нет.

11-102. К 25,00 мл раствора H_2S добавили 50,00 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2}I_2) = 0,01960$ моль/л. На титрование остатка йода было затрачено 11,00 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,02040 моль/л. Вычислите массу H_2S , которая содержится в одном литре анализируемого раствора.

Ответ: 0,5150 г.

11-103. Вычислите массу $K_2Cr_2O_7$ необходимую для стандартизации раствора $Na_2S_2O_3$ с концентрацией равной приблизительно 0,1 моль/л, если в наличие есть мерная колба на 200,00 мл, пипетка на 10,00 мл и предполагают, что на титрование выделившегося йода израсходуется примерно 25,00 мл раствора тиосульфата натрия?

Ответ: примерно 2,5 г.

11-104. При сжигании органического лекарственного препарата массой 2,0000 г был получен диоксид серы SO_2 , который поглотили водой. На титрование полученного раствора SO_2 было израсходовано 3,33 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2}I_2) = 0,01125$ моль/л. Вычислите массовую долю серы в анализируемом лекарственном препарате.

Ответ: 0,03 %.

11-105. К 25,00 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,0200 моль/л прилили 20,00 мл раствора йода с $T(I_2) = 0,0003175$ г/мл. Окрасится ли полученный раствор при добавлении крахмала или нет?

Ответ: нет

11-106. Вычислите массу йода, которую следует взять для приготовления 8 литров раствора, 1 мл которого эквивалентен 0,001 г As.

Ответ: 27,11 г.

11-107. Вычислите молярную концентрацию раствора йода, если известно, что на титрование навески As_2O_3 (х.ч.) массой 0,1008 г было израсходовано 20,00 мл раствора йода.

Ответ: 0,1019 моль/л.

11-108. На титрование йода, выделившегося при добавлении к 5,00 мл раствора $KBrO_3$ избытка KI , было израсходовано 5,12 мл 0,1 молярного раствора тиосульфата натрия с $K(Na_2S_2O_3) = 1,000$. Вычислите коэффициент поправки для концентрации раствора $KBrO_3$.

Ответ: 1,024.

11-109. Из 0,2020 г анализируемого вещества, содержащего As_2O_3 , приготовили раствор, который затем оттитровали титрантом $KBrO_3$ с $c(\frac{1}{6} KBrO_3) \approx 0,1$ моль/л ($K = 1,1010$). При этом на титрование было израсходовано 8,90 мл рабочего раствора $KBrO_3$. Вычислите массовую долю (%) As_2O_3 в анализируемом препарате.

Ответ: 23,99%.

11-110. Навеску $KBrO_3$ (х.ч.) массой 0,2784 г перенесли количественно в мерную колбу на 100 мл, растворили в воде и довели объём раствора до метки. Вычислите коэффициент поправки для концентрации полученного раствора.

Ответ: 1,000.

11-111. Для анализа взяли навеску баббита массой 1,0000 г и растворили её в серной кислоте. В приготовленном анализируемом растворе оттитровали $Sb(III)$ раствором $KBrO_3$ с $c(\frac{1}{6} KBrO_3) = 0,1100$ моль/л, при этом израсходовалось 21,40 мл титранта. Вычислите массовую долю Sb в навеске баббита.

Ответ: 14,33%.

11-112. Вычислите массу $KBrO_3$, которую следует взять для приготовления 10 литров раствора, 1 мл которого эквивалентен 0,01 г Sb .

Ответ: 45,73 г.

11-113. Чему равна масса мышьяка(III) эквивалентная 1 мл раствора $KBrO_3$, полученного растворением в воде 4,1666 г $KBrO_3$ в мерной колбе на 1 литр.

Ответ: 0,005607 г.

11-114. К 10,00 мл раствора $KBrO_3$ добавили избыток KI , выделившийся при этом йод оттитровали 40,00 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,0200

моль/л. Вычислите молярную концентрацию эквивалента бромата калия и коэффициент поправки для этого раствора.

Ответ: 0,0800 моль/л; 0,8000.

11-115. Навеску стрептоцида массой 0,0989 г растворили в произвольном объеме воды (20-25 мл), добавили избыток серной кислоты и KBr, а затем оттитровали рабочим раствором $KBrO_3$. При этом было израсходовано 21,05 мл титранта. Вычислите массовую долю (%) стрептоцида в анализируемом препарате, если известно, что 1 мл раствора $KBrO_3$ эквивалентен 0,004300 г стрептоцида.

Ответ: 91,52%.

11-116. Чему равна молярная масса эквивалента алюминия, если анализируемый компонент вначале осадили оксихинолином, затем осадок растворили в соляной кислоте, а к полученному раствору применили бромат-бромидное титрование?

Ответ: 2,25 г/моль.

11-117. Навеску резорцина $C_6H_4(OH)_2$ массой 0,1000 г перенесли количественно в мерную колбу на 50 мл, растворили в дистиллированной воде и довели объем раствора до метки. К 5,00 мл полученного раствора добавили 10,00 мл раствора $KBrO_3$ с $c(\frac{1}{6} KBrO_3) = 0,1000$ моль/л, избыток KBr и серную кислоту. Через 5-10 минут к полученной смеси прилили избыток KI, а выделившийся в результате реакции йод оттитровали раствором тиосульфата натрия с концентрацией 0,1020 моль/л. При этом израсходовалось 4,80 мл титранта. Вычислите массовую долю резорцина в анализируемом препарате.

Ответ: 93,67%.

11-118. Точную навеску технического формальдегида массой 0,2879 г растворили в воде, затем добавили NaOH и 50,00 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2} I_2) = 0,1004$ моль/л. После подкисления полученной смеси, на титрование остатка йода было затрачено 15,20 мл раствора тиосульфата натрия с массовой концентрацией $T(Na_2S_2O_3) = 0,01600$ г/мл. Вычислите массовую долю формальдегида в анализируемом образце.

Ответ: 18,16%.

11-119. Какова масса вещества, содержащего 0,3% S, которую следует взять для получения H_2S , на титрование которого затрачивалось бы 10,00 мл раствора йода с $c(\frac{1}{2} I_2) = 0,0500$ моль/л?

Ответ: 2,6717 г.

11-120. На титрование 20,00 мл подкисленного раствора FeSO_4 было израсходовано 22,50 мл раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с $c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,1000$ моль/л. Какой объём воды следует добавить к 200,0 мл раствора FeSO_4 , чтобы $c(\text{FeSO}_4)$ стала равной 0,0500 моль/л?

Ответ: 250,0 мл.

11-121. Навеску кристаллического сульфата железа(II) массой 1,3875 г растворили в воде, перенесли количественно в мерную колбу на 100 мл и довели объём раствора до метки. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовали 17,25 мл раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с $c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,0500$ моль/л. Вычислите массовую долю кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в анализируемой навеске сульфата железа(II).

Ответ: 69,13%.

11-122. На титрование навески лекарственного препарата изониазида массой 0,07698 г было израсходовано 20,50 мл 0,1000 молярного раствора $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$. Вычислите массовую долю гидразида изоникотиновой кислоты $\text{C}_6\text{H}_4\text{NCONHNH}_2$ в анализируемом лекарственном веществе.

Ответ: 99,20%.

11-123. В процессе стандартизации нитрита натрия на титрование 10,00 мл сульфаниловой кислоты с молярной концентрацией 0,1056 моль/л было израсходовано 10,85 мл раствора NaNO_2 . Вычислите молярную концентрацию раствора нитрита натрия и коэффициент поправки.

Ответ: 0,09733 моль/л; 0,9733.

11.3.3 Методы осадительного титрования

11-124. Вычислите массу хлора в анализируемом растворе NH_4Cl , если на его титрование было израсходовано 30,00 мл раствора AgNO_3 с $T(\text{AgNO}_3/\text{Cl}) = 0,003512$ г/мл?

Ответ: 0,1054 г.

11-125. Чему равна масса BaCl_2 , содержащегося в 250 мл анализируемого раствора, если после добавления к 25,00 мл раствора BaCl_2 40,00 мл 0,1 молярного раствора AgNO_3 ($K = 1,020$), на титрование остатка AgNO_3 было израсходовано 15,00 мл 0,1 молярного раствора NH_4SCN ($K = 0,980$)?

Ответ: 2,7177 г.

11-126. Вычислите массу NaCl, которую следует взять для приготовления 100 мл раствора с $c(\text{NaCl}) = 0,05$ моль/л.

Ответ: 0,2922 г.

11-127. Вычислите титры раствора AgNO_3 по NaCl и KBr, если известно, что $c(\text{AgNO}_3) = 0,0500$ моль/л.

Ответ: 0,002922 г/мл; 0,005951 г/мл.

11-128. Навеску технического NaBr массой 0,2058 г растворили в воде. К полученному раствору добавили 40,00 мл 0,1 молярного раствора AgNO_3 ($K = 0,998$). На титрование остатка AgNO_3 было израсходовано 21,20 мл раствора KSCN. Вычислите массовую долю примесей в анализируемом веществе, если известно, что 1 мл раствора AgNO_3 эквивалентен 1,06 мл раствора KSCN.

Ответ: 0,20%.

11-129. Навеску технического KBr массой 0,3838 г растворили в воде и оттитровали 28,80 мл раствора AgNO_3 с $T(\text{AgNO}_3/\text{Cl}) = 0,003546$ г/мл. Вычислите массовую долю (%) KBr в анализируемом образце.

Ответ: 89,32%.

11-130. 0,2266 г лекарственного вещества, содержащего хлор, растворили в воде, а к полученному раствору добавили 30,00 мл 0,1 молярного раствора AgNO_3 с $K = 1,121$. На титрование избытка AgNO_3 было израсходовано 0,50 мл 0,1 молярного раствора ($K = 1,169$) NH_4SCN . Найдите содержание (%) хлора в анализируемом веществе.

Ответ: 51,70%.

11-131. На титрование раствора NaCl было израсходовано 24,50 мл рабочего раствора AgNO_3 с $T(\text{AgNO}_3/\text{Cl}) = 0,001694$ г/мл. Вычислите массу NaCl в анализируемом растворе.

Ответ: 0,06842 г.

11-132. Навеску технического NaBr массой 0,1408 г растворили в воде и к полученному раствору добавили 50,00 мл 0,05 молярного раствора AgNO_3 ($K = 0,9000$). На титрование остатка AgNO_3 было израсходовано 27,00 мл 0,05 молярного раствора NH_4SCN ($K = 0,9200$). Вычислите массовую долю примесей в анализируемом образце.

Ответ: 26,33%.

11-133. В мерную колбу на 250 мл перенесли 25,00 мл раствора HCl и разбавили водой до метки. На титрование 20,00 мл полученного раствора было израсходовано 24,37 мл 0,1 молярного раствора AgNO₃ (K = 0,9850). Вычислите массу соляной кислоты, содержащейся в 1 литре исходного раствора HCl.

Ответ: 43,76 г.

11-134. 0,3000 г лекарственного препарата AgNO₃ растворили в воде подкисленной HNO₃ и оттитровали 0,1 молярным раствором NH₄SCN (K = 0,9500). На титрование было израсходовано 18,50 мл раствора NH₄SCN. Известно также, что 1 мл 0,1 молярного раствора NH₄SCN соответствует 0,01699 г AgNO₃. Вычислите массовую долю (%) AgNO₃ в анализируемом лекарственном препарате.

Ответ: 99,53%.

11-135. 0,5000 г лекарственного препарата HgO растворили в азотной кислоте и после разбавления оттитровали 0,1 молярным раствором NH₄SCN (K = 1,0000), которого израсходовалось 45,90 мл. Известно, что 1 мл 0,1 молярного раствора NH₄SCN соответствует 0,01083 г HgO. Вычислите массовую долю (%) HgO в анализируемом образце.

Ответ: 99,42%.

11-136. На титрование 10,00 мл изотонического раствора NaCl было израсходовано 17,48 мл 0,1 молярного раствора AgNO₃ (K = 0,9000). Вычислите массовую концентрацию (г/100 мл) раствора NaCl.

Ответ: 0,92 г/100 мл.

11-137. На титрование 0,1050 г NaCl (х.ч.) затратили 20,00 мл раствора Hg₂(NO₃)₂. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора Hg₂(NO₃)₂.

Ответ: 0,0898 моль/л

11.3.4 Методы комплексометрического титрования

11-138. Вычислите массу навески комплексона III, которую следует взять для приготовления 100 мл раствора с молярной концентрацией 0,05 моль/л.

Ответ: 1,8612 г.

11-139. На титрование 10,00 мл раствора содержащего ионы кальция, было израсходовано 13,80 мл стандартного раствора Трилона Б с молярной концентрацией равной 0,0500 моль/л. Вычислите массу ионов кальция в 1 литре исследуемого раствора.

Ответ: 2,766 г.

11-140. 0,2500 г лекарственного вещества $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ растворили в 100 мл воды, добавили 5 мл аммиачного буферного раствора и оттитровали 0,05 молярным раствором ($K = 0,9200$) комплексона III. На титрование было израсходовано 21,84 мл. Известно, что 1 мл 0,05 молярного раствора комплексона III. соответствует 0,01232 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Вычислите массовую долю (%) $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в анализируемом препарате.

Ответ: 99,02%.

11-141. Из навески $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ массой 24,0000 г приготовили раствор в мерной колбе вместимостью 1 литр. На титрование 10,00 мл полученного раствора было израсходовано 10,30 мл раствора комплексона III. Вычислите молярную концентрацию рабочего раствора комплексона III и его титр по Fe_2O_3 и по CaO .

Ответ: 0,04832 моль/л; 0,003858 г/мл; 0,002710 г/мл.

11-142. К раствору, содержащему катионы алюминия добавили 20,00 мл 0,05 молярного раствора ($K = 1,040$) комплексона III. На титрование избытка комплексона в присутствии индикатора эриохрома черного Т было израсходовано 6,05 мл раствора ZnSO_4 с молярной концентрацией 0,0500 моль/л. Вычислите массу алюминия в анализируемом растворе.

Ответ: 19,90 мг.

11-143. 0,4000 г двойного сульфата алюминия и калия растворили в воде, добавив 30,00 мл 0,05 молярного раствора ($K = 0,9000$) комплексона III. Затем остаток комплексона III оттитровали 0,05 молярным раствором ($K = 0,9200$) ZnSO_4 , которого затратилось 11,20 мл. Вычислите массовую долю $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в анализируемом образце, если известно, что 1 мл 0,05 молярного раствора комплексона III соответствует 0,02372 г $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: 99,01%.

11-144. Вычислите молярную концентрацию эквивалента (ммоль/л) ионов Mg^{2+} , вызывающих жёсткость воды, если на титрование 100 мл воды (индикатор – эриохром чёрный Т) было израсходовано 18,45 мл комплексона III с молярной концентрацией равной 0,0500 моль/л.

Ответ: 18,45 ммоль/л.

11-145. На титрование 20,00 мл воды, содержащей ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} , было израсходовано 19,20 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией равной 0,0500 моль/л (индикатор – эриохром чёрный Т). К другой аликвотной части воды объёмом 20,00 мл добавили NaOH для осаждения Mg^{2+} в виде $Mg(OH)_2$ и 20,00 мл раствора комплексона III той же концентрации. На титрование избытка комплексона III было израсходовано 12,15 мл раствора $CaCl_2$ с $c(CaCl_2) = 0,0485$ моль/л (индикатор - мурексид). Вычислите молярную концентрацию эквивалента ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} (ммоль/л) в анализируемом образце воды.

Ответ: 54,93 ммоль/л; 41,07 ммоль/л.

11-146. Из навески Al_2O_3 массой 1,0220 г приготовили раствор и добавили к нему 25,00 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией 0,2151 моль/л. На титрование избытка комплексона было израсходовано 9,85 мл раствора $ZnSO_4$ с $c(ZnSO_4) = 0,1015$ моль/л. Вычислите массовую долю (%) Al_2O_3 в анализируемом образце.

Ответ: 21,84%

11-147. Вычислите массовую долю (%) примесей в ацетате свинца, если на титрование раствора, полученного растворением навески массой 0,1000 г, было израсходовано 5,84 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией равной 0,0500 моль/л.

Ответ: 5,02%.

11-148. Вычислите массу Na_2SO_4 в анализируемом образце, если после добавления 20,00 мл раствора $BaCl_2$ с $c(BaCl_2) = 0,06315$ моль/л, на титрование избытка $BaCl_2$ было затрачено 15,64 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией равной 0,04640 моль/л.

Ответ: 0,0763 г.

11-149. На титрование 0,1045 г $CaCO_3$ (х.ч.) было израсходовано 21,06 мл раствора комплексона III. Вычислите молярную концентрацию раствора $Na_2Э.Д.Т.У.$ и его титр по CaO .

Ответ: 0,0496 моль/л; 0,002780 г/мл.

11-150. К 20,00 мл раствора $Pb(NO_3)_2$ добавили 20,00 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией 0,1021 моль/л. На титрование избытка комплексона III было израсходовано 15,04 мл раствора $ZnCl_2$ с $c(ZnCl_2) = 0,1100$ моль/л. Вычислите молярную концентрацию раствора $Pb(NO_3)_2$ и его титр.

Ответ: 0,01938 моль/л; 0,006419 г/мл.

11-151. К 10,00 мл раствора Na_2SO_4 добавили 50,00 мл 0,1000 молярного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Нитрат свинца не вошедший в реакцию оттитровали 10,00 мл раствора комплексона III с молярной концентрацией 0,0500 моль/л. Вычислите массу $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в 1 литре раствора сульфата натрия.

Ответ: 144,99 г.

12. ТЕСТЫ С ОДНИМ ПРАВИЛЬНЫМ ОТВЕТОМ – количественный анализ

12-1. Fe_2O_3 ($M_r = 160$) является гравиметрической формой при определении лекарственного вещества $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 278$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 0,9500; D. 3,4820;
B. 1,9000; E. 0,5744.
C. 1,7410;

12-2. Бромид натрия ($M_r = 102,9$) был осажден из анализируемого раствора в виде AgBr ($M_r = 187,78$), в результате чего был получен осадок массой 0,2510 г. Масса (г) NaBr в анализируемом растворе равна:

- A. 0,2510; D. 0,1375;
B. 0,4581; E. 0,2291.
C. 2,1828;

12-3. Из анализируемого раствора получен осадок ZnNH_4PO_4 ($M_r = 178$) массой 0,1625 г. Масса (г) ZnSO_4 ($M_r = 161$) в исследуемом растворе равна:

- A. 0,1796; D. 0,1471;
B. 0,9047; E. 1,0000.
C. 1,1053;

12-4. $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($M_r = 304$) является гравиметрической формой при определении сульфата цинка ($M_r = 161$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 1,0597; D. 1,8882;
B. 0,9441; E. 1,6100.
C. 0,5298;

12-5. Какая из следующих солей кальция более пригодна в качестве осаждаемой формы:

- A. CaSO_4 (ПП = $2,5 \cdot 10^{-5}$); D. CaCrO_4 (ПП = $7,1 \cdot 10^{-4}$);
B. CaCO_3 (ПП = $3,8 \cdot 10^{-9}$); E. CaF_2 (ПП = $4,0 \cdot 10^{-11}$).
C. CaC_2O_4 (ПП = $2,3 \cdot 10^{-9}$);

12-6. Какая из следующих солей бария более пригодна в качестве осаждаемой формы:

- A. BaC_2O_4 (ПП = $1,1 \cdot 10^{-7}$); C. BaSO_4 (ПП = $1,1 \cdot 10^{-10}$);
B. BaCO_3 (ПП = $4,0 \cdot 10^{-10}$); D. BaCrO_4 (ПП = $1,2 \cdot 10^{-10}$);

Е. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ($\text{ПР} = 5 \cdot 10^{-3}$).

12-7. Какая из следующих солей не пригодна в качестве осаждаемой формы:

А. CaSO_4 ;

Д. BaSO_4 ;

В. CaCO_3 ;

Е. BaCO_3 .

С. CaC_2O_4 ;

12-8. BaSO_4 ($M_r = 233,43$) является гравиметрической формой при определении тиосульфата натрия ($M_r = 158,11$). Гравиметрический фактор при этом равен:

А. 0,6774;

Д. 0,3234;

В. 1,4764;

Е. 0,3387.

С. 2,9528;

12-9. Какая из следующих солей более пригодна в качестве весовой (гравиметрической) формы при определении фосфора:

А. $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($M_r = 222,56$);

Д. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ($M_r = 310,18$);

В. $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 348,97$);

Е. $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($M_r = 304,72$).

С. P_2O_5 ($M_r = 141,94$);

12-10. CaO ($M_r = 56,08$) является гравиметрической формой при определении фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ($M_r = 310,18$). Гравиметрический фактор при этом равен:

А. 5,5310;

Д. 0,1807;

В. 1,8437;

Е. 0,5424.

С. 3,6905;

12-11. Какая из следующих солей свинца более пригодна в качестве осаждаемой формы:

А. PbCl_2 ($\text{ПР} = 1,6 \cdot 10^{-5}$);

Д. PbCrO_4 ($\text{ПР} = 1,8 \cdot 10^{-14}$);

В. PbSO_4 ($\text{ПР} = 1,6 \cdot 10^{-8}$);

Е. PbCO_3 ($\text{ПР} = 7,49 \cdot 10^{-14}$).

С. PbI_2 ($\text{ПР} = 1,1 \cdot 10^{-9}$);

12-12. $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($M_r = 222,57$) является гравиметрической формой при определении ортофосфорной кислоты ($M_r = 97,99$). Гравиметрический фактор при этом равен:

А. 0,4403;

Д. 1,1357;

В. 2,2653;

Е. 1,2653.

С. 0,8805;

12-13. Какая из следующих солей более пригодна в качестве весовой (гравиметрической) формы при определении цинка:

А. ZnO ($M_r = 81,37$);

С. $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($M_r = 304,72$);

В. $\text{NaZn}(\text{UO}_2)_3 \cdot (\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_9 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
($M_r = 1537$);

Д. ZnSO_4 ($M_r = 161,43$);

Е. ZnS ($M_r = 97,45$).

12-14. Сульфат свинца ($M_r = 303,25$) является гравиметрической формой при определении Pb_3O_4 ($M_r = 685,57$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 0,7536; D. 0,3022;
B. 0,4423; E. 2,2607.
C. 1,3270;

12-15. Какой осадитель более всего пригоден для осаждения Ag^+ в гравиметрическом методе анализа:

- A. NH_4Cl ; D. $NaCl$;
B. NH_4Br ; E. KI .
C. NH_4I ;

12-16. Fe_2O_3 ($M_r = 159,69$) является гравиметрической формой при определении Fe_3O_4 ($M_r = 231,54$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 1,4499; D. 0,9666;
B. 0,6897; E. 1,0345.
C. 0,4833;

12-17. Какой осадитель более всего пригоден для осаждения Ca^{2+} в гравиметрическом методе анализа:

- A. K_2SO_4 ; D. $Na_2C_2O_4$;
B. $(NH_4)_2CO_3$; E. $(NH_4)_2C_2O_4$.
C. Na_2CO_3 ;

12-18. $BaSO_4$ ($M_r = 233,43$) является гравиметрической формой при определении сахарозы $C_7H_{12}NO_6$ ($M_r = 180$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 1,2756; D. 7,2947;
B. 0,7840; E. 0,1749.
C. 0,1371;

12-19. $(C_8H_{10}N_4O_2)HBiI_4$ ($M_r = 912$) является гравиметрической формой при определении кофеина $C_8H_{10}N_4O_2$ ($M_r = 194$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 4,7010; D. 0,8508;
B. 0,4254; E. 1,1753.
C. 0,2127;

12-20. $AgCl$ ($M_r = 143,3$) является гравиметрической формой при определении хлороформа $CHCl_3$ ($M_r = 119,4$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 0,2777; D. 3,6005;
B. 0,8332; E. 0,4001.
C. 1,2002;

12-21. Согласно схеме $As \rightarrow As_2S_3 \rightarrow SO_2 \rightarrow BaSO_4$ сульфат бария ($M_r = 233,43$) является гравиметрической формой при определении мышьяка ($M_r = 74,92$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 0,3210; D. 0,2140;
B. 3,1153; E. 0,6420.
C. 1,5577;

12-22. $AgCl$ ($M_r = 143,3$) является гравиметрической формой при определении хлормицитина $C_{11}H_{12}O_5N_2Cl_2$ ($M_r = 323$). Гравиметрический фактор при этом равен:

- A. 0,4437; D. 0,8873;
B. 1,1270; E. 0,4955.
C. 2,2540;

12-23. Из анализируемого раствора $MgSO_4$ было получено 0,2872 г осадка оксохинолята магния $Mg(C_9H_6ON)_2$ ($M_r = 312,6$). Масса сульфата магния ($M_r = 120,4$) в исследуемом растворе равна:

- A. 0,7457; D. 0,0553;
B. 0,3728; E. 0,1106.
C. 0,2212;

12-24. При осаждении бромид-ионов Br^- из анализируемого раствора $NaBr$ ($M_r=102,9$) получили $AgBr$ ($M_r=187,8$). При этом масса сухого осадка составила 0,2510 г. Масса бромида натрия в исследуемом растворе равна:

- A. 0,4581; D. 0,5892;
B. 0,1069; E. 1,0690.
C. 0,1375;

12-25. Из анализируемого раствора $ZnSO_4$ ($M_r = 161,4$) получили осадок $ZnNH_4PO_4$ ($M_r = 178,4$), масса которого после высушивания составила 0,1625 г. Масса сульфата цинка в анализируемом растворе равна:

- A. 0,1470; D. 1,4701;
B. 0,1796; E. 0,0593.
C. 1,796;

12-26. Из раствора содержащего ионы калия был получен осадок $KClO_4$ ($M_r = 138,6$) массой 0,1528 г. Масса ионов K^+ ($A_r = 39,1$) в исследуемом растворе равна:

- A. 0,5416; D. 0,1724;
B. 0,2708; E. 0,0431.13.
C. 0,0862;

12-27. Титр раствора вещества А есть:

- A. масса 1 мл раствора вещества A;
- B. отношение массы вещества A к объему растворителя, в котором оно растворено;
- C. масса (г) вещества A, содержащаяся в 1 мл раствора данного вещества;
- D. отношение массы раствора вещества A к массе вещества A;
- E. масса 1 л раствора вещества A.

12-28. Титр раствора вещества B по отношению к определяемому веществу A, представляет:

- A. массу вещества A (г), которая реагирует без остатка с 1 мл титрованного раствора B;
- B. массу вещества B (г), эквивалентную 1 мл раствора вещества A;
- C. массу вещества B (г), которая реагирует без остатка с 1 мл раствора A;
- D. массу вещества A (г), эквивалентную 1 л титрованного раствора B;
- E. отношение между массой раствора B и объемом раствора A.

12-29. Соотношение между молярной концентрацией $c(A)$ и массовой долей $\omega(A)$ раствора A, можно представить формулой:

- A. $c(A) = \omega(A) \cdot 10 \cdot \rho$;
- B. $c(A) = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{M(A)}$;
- C. $c(A) = \frac{M(A)}{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}$;
- D. $c(A) = \frac{\omega(A) \cdot 100 \cdot \rho}{M(A)}$;
- E. $c(A) = \frac{\omega(A) \cdot 10 \cdot \rho}{V(A)}$.

12-30. Соотношение между титром раствора вещества A и молярной концентрацией этого раствора можно представить формулой:

- A. $T(A) = c(A) \cdot V(A)$;
- B. $T(A) = \frac{m(A)}{c(A) \cdot V(A)}$;
- C. $T(A) = \frac{c(A) \cdot M(A)}{1000}$;
- D. $T(A) = c(A) \cdot M(A) \cdot 1000$;
- E. $T(A) = \frac{c(A) \cdot 1000}{M(A)}$.

12-31. Соотношение между $T(B)$ и $T(B/A)$ можно представить формулой:

- A. $T(B) = T(B/A) \cdot \frac{M\left(\frac{1}{z_A} A\right)}{M\left(\frac{1}{z_B} B\right)}$;
- B. $T(B) = \frac{M\left(\frac{1}{z_B} B\right)}{T(B/A) \cdot M\left(\frac{1}{z_A} A\right)}$;
- C. $T(B) = T(B/A) \cdot V(B)$;
- D. $T(B) = T(B/A) \cdot \frac{M\left(\frac{1}{z_B} B\right)}{M\left(\frac{1}{z_A} A\right)}$;
- E. $T(B) = T(B/A) \cdot 100$.

12-32. Масса навески (г) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 381,4$), необходимая для приготовления 100 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л, равна:

- A. 3,814;
- B. 1,007;
- C. 0,1907;
- D. 2,014;

Е. 1,907.

12-33. В 200 мл раствора HCl содержится 0,10 моль HCl. Молярная концентрация (моль/л) данного раствора равна:

- A. 0,50; D. 0,20;
B. 0,05; E. 0,10.
C. 0,02;

12-34. Объем воды (мл), который необходимо добавить к 1200 мл раствора с $c(\text{HCl}) = 0,24$ моль/л для получения 0,20 молярного раствора HCl, равен:

- A. 1440; D. 240;
B. 440; E. 200.
C. 144;

12-35. Концентрация раствора HCl равна 0,0983 моль/л. $T(\text{HCl}/\text{NaOH})$ (г/мл) данного раствора равен:

- A. 3,932; D. 0,000983;
B. 0,002458; E. 2,4575.
C. 0,003932;

12-36. Титр раствора H_2SO_4 равен 0,004933 г/мл. Молярная концентрация эквивалента (моль/л) серной кислоты равна:

- A. 0,0503; D. 0,4834;
B. 0,1006; E. 0,2417.
C. 0,0002417;

12-37. В 200 мл раствора содержится 0,1060 г Na_2CO_3 . $T(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ (г/мл) и $c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)$ (моль/л) данного раствора равны:

- | $T(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ | $c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)$ |
|-----------------------------|--|
| A. 0,5300 | 0,2000; |
| B. 0,0005300 | 0,2000; |
| C. 5300 | 0,005000; |
| D. 0,001000 | 0,4000; |
| E. 0,0005300 | 0,01000. |

- 12-38.** На титрование 20,00 мл раствора NaOH было израсходовано 22,40 мл раствора кислоты с $c(\text{HCl}) \approx 0,1$ моль/л и $K = 0,9325$. Масса (г) NaOH в 1000 мл данного раствора равна:
- A. 4,178; D. 4,804;
B. 0,084; E. 3,812.
C. 4,480;
- 12-39.** На титрование 20 мл раствора HCl с $c(\text{HCl}) = 0,1985$ моль/л было израсходовано 16,33 мл раствора KOH. Молярная концентрация (моль/л) раствора KOH равна:
- A. 0,1596; D. 0,3730;
B. 0,2431; E. 0,1585.
C. 0,2449;
- 12-40.** Масса навески (г) NaOH, необходимая для приготовления 5 л 0,5 молярного раствора NaOH, равна:
- A. 0,0625; D. 6,25;
B. 1000; E. 62,5.
C. 100;
- 12-41.** На титрование H_3PO_4 в присутствии метилового оранжевого было израсходовано 25,50 мл раствора NaOH с $T(\text{NaOH}/\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,01960$ г/мл. Масса (г) H_3PO_4 в растворе фосфорной кислоты равна:
- A. 0,8444; D. $8,444 \cdot 10^{-4}$;
B. 1,1842; E. $4,275 \cdot 10^{-4}$.
C. 0,4998;
- 12-42.** На титрование 10 мл раствора NaHCO_3 было израсходовано 20,00 мл раствора HCl с $T(\text{HCl}/\text{NaHCO}_3) = 0,008400$ г/мл. Масса (г) NaHCO_3 в 1 л данного раствора равна:
- A. 0,168; D. 8,400;
B. 0,840; E. 0,084.
C. 16,800;
- 12-43.** $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0500$ моль/л. Один мл этого раствора эквивалентен с:
- A. 0,002805 г KOH; D. 0,003700 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
B. 0,005610 г KOH; E. 0,005300 г Na_2CO_3 .
C. 0,004900 г KOH;

12-50. При титровании слабого основания ($pK_b = 5$) титрованным раствором HCl , точка эквивалентности находится в

- A. нейтральной среде;
- B. щелочной среде;
- C. слабокислой среде;
- D. сильнокислой среде;
- E. сильнощелочной среде.

12-51. $T(HCl) = 0,00365$ г/мл. Значение $T(HCl/CaCO_3)$ (г/мл) данного раствора равно:

- A. 0,0100;
- B. 0,00133;
- C. 0,00501;
- D. 0,00266;
- E. 0,0500.

12-52. При титровании слабой кислоты ($K_a = 10^{-5}$) раствором KOH , точка эквивалентности находится в:

- A. слабощелочной среде;
- B. сильнощелочной среде;
- C. слабокислой среде;
- D. сильнокислой среде;
- E. нейтральной среде.

12-53. Для какого титрования, из ниже приведенных вариантов, точка эквивалентности соответствует $pH < 7$?

- A. $HNO_3 + NaOH$;
- B. $HCOOH + NaOH$;
- C. $CH_3COOH + KOH$;
- D. $KOH + HCl$;
- E. $NH_3 + HCl$.

12-54. Для какого, из ниже приведенных случаев, скачок на кривой титрования больше?

- A. 0,1 молярный раствор $NaOH$ + 0,1 молярный раствор HCl ;
- B. 0,01 молярный раствор $NaOH$ + 0,01 молярный раствор HCl ;
- C. 0,1 молярный раствор NH_3 + 0,1 молярный раствор HCl ;
- D. 0,1 молярный раствор CH_3COOH + 0,1 молярный раствор KOH ;
- E. 0,1 молярный раствор $NaHCO_3$ + 0,1 молярный раствор HCl .

12-55. Титруется 0,1 молярный раствор HCl титрантом KOH той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

- A. 5,0 единиц pH ;
- B. 5,4 единиц pH ;
- C. 6,0 единиц pH ;
- D. 3,4 единиц pH ;
- E. 4,0 единиц pH .

12-56. Титруется 0,01 молярный раствор HCl титрантом KOH той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

- A. 5,0 единиц pH ;
- B. 5,4 единиц pH ;
- C. 6,0 единиц pH ;
- D. 3,4 единиц pH ;

Е. 4,0 единиц рН.

12-57. Титруется 1 молярный раствор HCl титрантом KOH той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 8,0 единиц рН;

Д. 3,4 единиц рН;

В. 5,4 единиц рН;

Е. 7,4 единиц рН.

С. 6,0 единиц рН;

12-58. Титруется 0,1 молярный раствор слабого основания В ($pK_b=5$) титрантом HCl той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 1,3 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Е. 2,0 единиц рН.

С. 0,7 единиц рН;

12-59. Титруется 0,01 молярный раствор слабого основания В ($pK_b=5$) титрантом HCl той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 1,3 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Е. 2,0 единиц рН.

С. 0,7 единиц рН;

12-60. Титруется 1 молярный раствор слабого основания В ($pK_b=5$) раствором HCl той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 2,7 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Е. 2,0 единиц рН.

С. 0,7 единиц рН;

12-61. Титруется 0,1 молярный раствор слабой кислоты HA ($pK_a=4$) титрантом KOH той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 2,7 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Е. 5,4 единиц рН.

С. 3,0 единиц рН;

12-62. Титруется 0,01 молярный раствор слабой кислоты HA ($pK_a=4$) титрантом KOH той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 2,7 единиц рН;

С. 3,0 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

Е. 5,4 единиц рН.

12-63. Титруется 1 молярный раствор слабой кислоты НА ($pK_a=4$) титрантом КОН той же концентрации. Скачок на кривой титрования в этом случае составит:

А. 2,7 единиц рН;

Д. 1,7 единиц рН;

В. 3,7 единиц рН;

Е. 5,4 единиц рН.

С. 3,0 единиц рН;

12-64. Формула эквивалента фосфорной кислоты в случае титрования её рабочим раствором КОН в присутствии фенолфталеина, равна:

А. H_3PO_4 ;

Д. $\frac{1}{4}H_3PO_4$;

В. $\frac{1}{2}H_3PO_4$;

Е. Не титруется.

С. $\frac{1}{3}H_3PO_4$;

12-65. Формула эквивалента фосфорной кислоты в случае титрования её рабочим раствором КОН в присутствии метилового оранжевого, равна:

А. $\frac{1}{3}H_3PO_4$;

Д. $\frac{1}{4}H_3PO_4$;

В. $\frac{1}{2}H_3PO_4$;

Е. H_3PO_4 .

С. Не титруется;

12-66. При титровании в присутствии фенолфталеина ($pT = 9$) 0,1 молярного раствора HCl рабочим раствором NaOH той же концентрации, индикаторная ошибка (гидроксидная ошибка) (%) составит:

А. -0,20;

Д. -0,02;

В. +0,20;

Е. +2,00.

С. +0,02;

12-67. При титровании в присутствии фенолфталеина ($pT = 9$) 0,01 молярного раствора HCl рабочим раствором NaOH той же концентрации, индикаторная ошибка (гидроксидная ошибка) (%) составит:

А. -0,20;

Д. -0,02;

В. +0,20;

Е. +2,00.

С. +0,02;

- 12-73.** При титровании 0,2 молярного раствора слабого основания В ($pK_b = 6$) рабочим раствором HCl той же концентрации, pH в точке эквивалентности равен:
- A. 3,5; D. 4,0;
B. 4,5; E. 1,5.
C. 4,35;
- 12-74.** При титровании 0,2 молярного раствора слабой кислоты HA ($pK_a = 6$) рабочим раствором NaOH той же концентрации, pH в точке эквивалентности равен:
- A. 10,0; D. 9,5;
B. 12,5; E. 9,65.
C. 10,5;
- 12-75.** При титровании 0,2 молярного раствора $[AmH]Cl$ ($pK_b(\text{амин}) = 9$) рабочим раствором NaOH той же концентрации, pH в точке эквивалентности равен:
- A. 9,5; D. 8,0;
B. 5,0; E. 10,0.
C. 9,0;
- 12-76.** При титровании 0,2 молярного раствора натриевой соли слабой кислоты HA ($pK_a = 10^{-10}$) рабочим раствором HCl той же концентрации, pH в точке эквивалентности равен:
- A. 4,5; D. 9,5;
B. 5,35; E. 5,5.
C. 5,0;
- 12-77.** Даны натриевые и калиевые соли следующих слабых кислот: HCOOH ($pK_a = 3,75$), CH₃COOH ($pK_a = 4,76$), C₆H₅COOH ($pK_a = 4,20$), HCN ($pK_a = 9,30$). Какие из представленных ниже солей могут быть определены прямым методом титрования в водной среде 0,1 молярным раствором HCl?
- A. HCOONa; D. C₆H₅COONa;
B. CH₃COOK; E. CH₃COONa.
C. KCN;
- 12-78.** Дан раствор KOH с титром 0,005600 г/мл. T(KOH/H₂C₂O₄·2H₂O) (г/мл) равен:
- A. 0,004978; D. 0,01260;
B. 0,002489; E. 0,006303.
C. 0,005611;

- 12-79.** Молярная концентрация раствора серной кислоты с $\omega = 54\%$ и $\rho = 1,435$ г/мл, равна:
- A. 3,950; D. 0,7901;
B. 0,3950; E. 7,901.
C. 15,814;
- 12-80.** Молярная концентрация эквивалента раствора серной кислоты с $\omega = 54\%$ и $\rho = 1,435$ г/мл, равна:
- A. 3,950; D. 0,7901;
B. 0,3950; E. 7,901.
C. 15,814;
- 12-81.** Молярная концентрация раствора соляной кислоты с $\omega = 13,50\%$ и $\rho = 1,065$ г/мл, равна:
- A. 0,3477; D. 3,943;
B. 3,477; E. 0,3943.
C. 2,876;
- 12-82.** Молярная концентрация раствора гидроксида калия с $\omega = 14,70\%$ и $\rho = 1,135$ г/мл, равна:
- A. 2,974; D. 4,332;
B. 0,2974; E. 0,3362.
C. 43,315;
- 12-83.** Масса (г) KOH, которая содержится в 0,5 л 0,1000 молярного раствора, равна:
- A. 5,6100; D. 2,8050;
B. 0,2805; E. 1,4025.
C. 0,5610;
- 12-84.** Масса (г) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ($M_r = 132,14$), которая содержится в 200 мл раствора с молярной концентрацией 0,0500 моль/л, равна:
- A. 6,6070; D. 13,2140;
B. 0,6607; E. 1,3214.
C. 0,0330;
- 12-85.** Масса (г) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ($M_r = 132,14$), которая содержится в 200 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/л, равна:
- A. 6,6070; B. 0,6607;

C. 0,0330; E. 1,3214.

D. 13,2140;

12-86. На титрование 10,00 мл раствора NH_3 было израсходовано 12,00 мл раствора HCl с

$T_{\text{HCl}/\text{NH}_3} = 0,001700$ г/мл. Масса (г) NH_3 в 100 мл анализируемого раствора, равна:

A. 0,2040;

D. 0,01417;

B. 0,0204;

E. 0,1417.

C. 0,1700;

12-87. На титрование 10,00 мл раствора Na_2CO_3 было израсходовано 10,00 мл раствора HCl с

$T_{\text{HCl}/\text{Na}_2\text{CO}_3} = 0,005300$ г/мл. Масса (г) Na_2CO_3 в 100 мл анализируемого раствора, равна:

A. 1,0600;

D. 0,0530;

B. 0,5300;

E. 0,1060.

C. 5,3000;

12-88. Масса навески янтарной кислоты $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ ($M_r = 118,09$), которую следует взять для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/л, равна:

A. 0,1476;

D. 0,2952;

B. 2,9523;

E. 0,7381.

C. 1,4761;

12-89. Масса (г) $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ($M_r = 134,00$), необходимая для приготовления 500 мл раствора оксалата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,05 моль/л, равна:

A. 3,3500;

D. 0,1675;

B. 0,1866;

E. 1,6750.

C. 0,3731;

12-90. Масса (г) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, необходимая для приготовления 250 мл раствора щавелевой кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,0200 моль/л, равна:

A. 0,3152;

D. 0,4500;

B. 0,6300;

E. 0,225.

C. 0,0746;

12-91. Масса (г) KMnO_4 , необходимая для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0200 моль/л, равна:

- A. 0,7902; D. 0,2630;
B. 0,1580; E. 1,5804.
C. 0,1320;

12-92. Масса (г) $K_2Cr_2O_7$, необходимая для приготовления 100 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0200 моль/л, равна:

- A. 0,5884; D. 0,1471;
B. 0,2942; E. 0,9806.
C. 0,0981;

12-93. Масса (г) $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, необходимая для приготовления 250 мл 0,02 молярного раствора тиосульфата натрия, равна:

- A. 0,6205; D. 1,2409;
B. 0,7906; E. 0,1241.
C. 0,3953;

12-94. Для раствора с $c(\frac{1}{6} KBrO_3) = 0,1$ моль/л, $T(KBrO_3/As_2O_3)$ (г/мл) равен:

- A. 0,004946; D. 2,0202;
B. 0,01978; E. 0,5051.
C. 1,0101;

12-95. Масса (г) $KBrO_3$, необходимая для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/л, равна:

- A. 4,1753; D. 0,0835;
B. 2,0876; E. 0,6959.
C. 1,0438;

12-96. Масса (г) оксалата натрия $Na_2C_2O_4$ ($M_r = 134$), необходимая для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/л, равна:

- A. 1,6750; D. 3,3500;
B. 0,3731; E. 6,7000.
C. 1,866;

12-97. Формула эквивалента бихромата калия, используемого в йодометрии, равна:

- A. $K_2Cr_2O_7$; D. $\frac{1}{4} K_2Cr_2O_7$;
B. $\frac{1}{2} K_2Cr_2O_7$; E. $\frac{1}{6} K_2Cr_2O_7$.
C. $\frac{1}{3} K_2Cr_2O_7$;

12-98. На титрование соли сурьмы(III) было израсходовано 16,20 мл раствора KBrO_3 с $T_{\text{теор.}}(\text{KBrO}_3/\text{Sb}) = 0,00610$ г/мл ($F = 1,115$). Масса (г) Sb(III) в анализируемом растворе равна:

- A. 0,0988; D. 0,0886;
B. 0,1102; E. 0,000377.
C. 0,0001102;

12-99. Формула эквивалента бромата калия, используемого в броматометрии, равна:

- A. $\frac{1}{6} \text{KBrO}_3$; D. $\frac{1}{4} \text{KBrO}_3$;
B. KBrO_3 ; E. $\frac{1}{3} \text{KBrO}_3$.
C. $\frac{1}{2} \text{KBrO}_3$;

12-100. $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,004903$ г/мл. Титр (г/мл) раствора бихромата калия по отношению к NaNO_2 равен:

- A. 0,006900; D. 0,001150;
B. 0,006968; E. 0,003449.
C. 0,000575;

12-101. Формула эквивалента перманганата калия, применяемая в перманганатометрии, равна:

- A. KMnO_4 ; D. $\frac{1}{6} \text{KMnO}_4$;
B. $\frac{1}{2} \text{KMnO}_4$; E. $\frac{1}{3} \text{KMnO}_4$.
C. $\frac{1}{5} \text{KMnO}_4$;

12-102. Формула эквивалента сульфата церия, используемого в цериметрии, равна:

- A. $\frac{1}{4} \text{Ce}(\text{SO}_4)_2$; D. $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$;
B. $\frac{1}{2} \text{Ce}(\text{SO}_4)_2$; E. $\frac{1}{6} \text{Ce}(\text{SO}_4)_2$.
C. $\frac{1}{3} \text{Ce}(\text{SO}_4)_2$;

12-103. Молярная концентрация эквивалента перманганата калия равна 0,02200 моль/л. Титр (г/мл) этого раствора по отношению к H_2O_2 , равен:

- A. 0,7484; D. 0,0007484;
B. 0,0003742; E. 0,03742.
C. 0,3742;

- 12-104.** Молярная концентрация эквивалента перманганата калия равна 0,02200 моль/л. Титр (г/мл) этого раствора по отношению к Fe(II), равен:
- A. 0,6144; D. 1,2285;
B. 0,0006144; E. 0,1229.
C. 0,001229;
- 12-105.** При титровании в кислой среде 5,00 мл раствора, содержащего Fe(II), было израсходовано 22,50 мл раствора KMnO_4 с $T_{\text{KMnO}_4/\text{Fe}} = 0,001120$ г/мл. Масса (г) железа в 200 мл анализируемого раствора, равна:
- A. 1,008; D. 4,978;
B. 0,1120; E. 0,00252.
C. 0,0252;
- 12-106.** При титровании раствора, содержащего 0,1170 г Fe, было израсходовано 10,00 мл раствора KMnO_4 . $T_{\text{KMnO}_4/\text{Fe}}$ (г/мл) равен:
- A. 0,0001700; D. 0,05850;
B. 1,1700; E. 0,005850.
C. 0,01170;
- 12-107.** К раствору, содержащему $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ добавили серную кислоту и избыток KI. На титрование выделившегося йода было израсходовано 48,80 мл раствора тиосульфата натрия с $T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 0,004903$ г/мл. Масса (г) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в анализируемом растворе, равна:
- A. 0,002393; D. 0,2393;
B. 0,0002393; E. 0,1005.
C. 1,0047;
- 12-108.** На титрование раствора йода было израсходовано 19,30 мл рабочего раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,1120 моль/л. Масса (г) йода ($M_r = 253,81$) в анализируемом растворе, равна:
- A. 0,5486; D. 0,3395;
B. 0,6789; E. 0,2743.
C. 0,05486;
- 12-109.** На титрование раствора арсенита было израсходовано 18,40 мл раствора KBrO_3 с $c(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3) = 0,1050$ моль/л. Масса (г) As ($A_r = 74,92$) в анализируемом растворе, равна:
- A. 0,1447; B. 0,07237;

C. 0,04825;

E. 0,01289.

D. 0,02579;

12-110. Одному мл раствора KBrO_3 с $c(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3) = 0,1$ моль/л соответствует масса (г) As ($A_r = 74,92$) равная:

A. 0,003746;

D. 0,07492;

B. 0,03746;

E. 0,002497.

C. 0,007492;

12-111. Одному мл раствора KBrO_3 с $c(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3) = 0,1$ моль/л соответствует масса (г) Sb ($A_r = 121,75$) равная:

A. 0,004058;

D. 0,006088;

B. 0,04058;

E. 0,01218.

C. 0,1218;

12-112. Масса (г) навески сульфата церия (IV) ($M_r = 332,24$), которую следует взять для приготовления 100 мл титрованного раствора с $c(\text{Ce}(\text{SO}_4)_2) = 0,1000$ моль/л, равна:

A. 0,1616;

D. 1,6612;

B. 0,08305;

E. 3,3224.

C. 0,3322;

12-113. На титрование 20,00 мл раствора KMnO_4 , в кислой среде, было израсходовано 15,00 мл раствора щавелевой кислоты с $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,0750$ моль/л. Молярная концентрация эквивалента (моль/л) раствора перманганата калия равна:

A. 0,1000;

D. 0,0250;

B. 0,05625;

E. 0,0200.

C. 0,0500;

12-114. $c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,0500$ моль/л. Титр (г/мл) данного раствора по отношению к H_2O_2 равен:

A. 0,0008505;

D. 2,9412;

B. 1,4705;

E. 0,001701.

C. 0,00294;

12-115. $T(\text{AgNO}_3/\text{NaCl}) = 0,005850$ г/мл. Молярная концентрация (моль/л) раствора AgNO_3 равна:

A. 0,3421;

C. 0,03421;

B. 0,1001;

D. 0,0003421;

Е. 0,01010.

12-116. Основным условием методов комплексонометрического титрования является:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| А. присутствие катализатора; | С. присутствие буферного раствора; |
| В. нагревание; | Д. кислая среда; |
| | Е. охлаждение. |

12-117. Масса (г) NH_4SCN , необходимая для приготовления 100 мл раствора с $c(\text{NH}_4\text{SCN}) = 0,05$ моль/л, равна:

- | | |
|-------------|-------------|
| А. 0,3806; | Д. 0,02630; |
| В. 0,06580; | Е. 3,8000. |
| С. 0,03806; | |

12-118. На титрование 10,00 мл раствора соли кальция было израсходовано 13,80 мл раствора трилона Б с $T(\text{трилон Б/Са}) = 0,00200$ г/мл. Масса (г) Ca^{2+} в 1 л этого раствора равна:

- | | |
|------------|-----------|
| А. 0,0276; | Д. 0,200; |
| В. 2,760; | Е. 0,276. |
| С. 2,000; | |

12-119. Титрование галогенидов раствором AgNO_3 (метод Мора) осуществляется в:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| А. щелочной среде; | С. слабокислой среде; |
| В. нейтральной или слабощелочной среде; | Д. сильнокислой среде; |
| | Е. нейтральной или слабокислой среде. |

12-120. Масса (г) NaCl , необходимая для приготовления 200 мл раствора с молярной концентрацией 0,1000 моль/л, равна:

- | | |
|------------|------------|
| А. 0,5844; | Д. 0,0585; |
| В. 1,1688; | Е. 0,3412. |
| С. 0,1169; | |

12-121. На титрование 25,00 мл раствора KCl было израсходовано 34,00 мл 0,1 молярного раствора AgNO_3 с $K = 1,050$. Масса (г) KCl ($M_r = 74,56$), которая содержится в 250 мл анализируемого раствора, равна:

- | | |
|----------|----------|
| А. 0,266 | Д. 2,662 |
| В. 2,533 | Е. 2,412 |
| С. 0,253 | |

12-122. Дан раствор AgNO_3 с молярной концентрацией 0,05605 моль/л. Титр (г/мл) этого раствора по отношению к Cl^- ($A_r = 35,52$), равен:

- A. 1,9870; D. 0,1987;
B. 0,6316; E. 0,06316.
C. 0,001987;

12-123. Дан раствор AgNO_3 с молярной концентрацией 0,05605 моль/л. Титр (г/мл) этого раствора по отношению к NaCl ($M_r = 58,44$), равен:

- A. 0,3276; D. 0,003276;
B. 1,0426; E. 0,1043.
C. 0,01638;

12-124. На титрование раствора AgNO_3 было израсходовано 12,00 мл рабочего раствора NH_4SCN с $c(\text{NH}_4\text{SCN}) = 0,0500$ моль/л. Масса (г) нитрата серебра ($M_r = 169,87$) в анализируемом растворе равна:

- A. 0,1019; D. 2,5000;
B. 10,1922; E. 0,2500.
C. 0,003532;

12-125. При титровании 0,1 молярного раствора NaI рабочим раствором AgNO_3 той же концентрации образуется осадок AgI (ПП равен 10^{-16}). Скачок p_{Ag} или pI на кривой титрования равен:

- A. 4,3 единицы; D. 5,3 единицы;
B. 7,4 единиц; E. 5,7 единиц.
C. 5,4 единиц;

12-126. При титровании 0,01 молярного раствора NaI рабочим раствором AgNO_3 той же концентрации образуется осадок AgI (ПП равен 10^{-16}). Скачок p_{Ag} или pI на кривой титрования равен:

- A. 4,3 единицы; D. 5,3 единицы;
B. 7,4 единиц; E. 5,7 единиц.
C. 5,4 единиц;

12-127. В меркуриметрии титруют рабочим раствором:

- A. HgCl_2 ; D. HgSO_4 ;
B. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$; E. Hg_2Cl_2 .
C. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$;

12-128. В меркурометрии титруют рабочим раствором:

- A. HgCl_2 ; D. HgSO_4 ;
B. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$; E. Hg_2Cl_2 .
C. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$;

12-129. Масса (г) навески нитрата ртути(I) $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 561,22$), которую следуют взять для приготовления 100 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/л, равна:

- A. 0,5612; D. 5,6122;
B. 3,2460; E. 2,8061.
C. 1,6230;

12-130. В методе сульфатометрии точка эквивалентности определяется с помощью индикатора:

- A. дифениламин; D. металохромный;
B. фенолфталеин; E. кислотно-основной.
C. редокс;

13. ТЕСТЫ С НЕСКОЛЬКИМИ ПРАВИЛЬНЫМИ ОТВЕТАМИ – **количественный анализ**

13-1. Цели количественного химического анализа:

- A. определение качественного состава анализируемого вещества;
B. определение массовых отношений компонентов в анализируемой системе;
C. обнаружение компонентов в анализируемой системе;
D. определение массовой доли вещества в анализируемой системе;
E. определение титра анализируемого раствора.

13-2. Какие, из перечисленных ниже результатов гравиметрического анализа, записаны правильно?

- A. 0,135 г; D. 0,1354 г;
B. 0,2350 г; E. 0,343 г.
C. 0,33602 г;

13-3. Какие, из перечисленных ниже ошибок, являются систематическими?

- A. ошибки, возникающие в результате неисправности весов;
B. ошибки, возникающие по неизвестным причинам;
C. ошибки, возникающие в результате неправильного отсчета по шкале бюретки при титровании;
D. ошибки, возникающие в результате использования реактивов, содержащих примеси;

Е. ошибки, возникающие в результате использования титрованных растворов с неточной концентрацией.

13-4. Какие, из перечисленных ниже ошибок, не являются систематическими?

- А. ошибки, возникающие в результате неисправности весов;
- В. ошибки, возникающие в результате пренебрежения некоторыми условиями проведения анализа;
- С. ошибки, возникающие по неизвестным причинам;
- Д. ошибки, связанные с потерей части раствора;
- Е. ошибки, связанные с неправильным выбором метода анализа.

13-5. Систематические ошибки возникают в результате:

- А. неизвестных причин;
- В. неточности весов;
- С. использования не рекомендуемого метода анализа;
- Д. потерь неопределенного количества вещества при взятии навески;
- Е. неправильной записи результатов измерений.

13-6. Какие, из перечисленных ниже утверждений, являются правильными?

- А. абсолютная ошибка, представляет собой разницу между полученным результатом и истинным результатом;
- В. абсолютная ошибка, представляет собой разницу между полученным результатом и средним арифметическим серии определений;
- С. случайная ошибка, является результатом действия постоянных причин;
- Д. случайная ошибка, является результатом действия известных причин;
- Е. относительная ошибка, представляет собой отношение истинного результата к значению абсолютной ошибки.

13-7. Какие, из перечисленных ниже утверждений, являются правильными?

- А. систематические ошибки являются результатом неизвестных причин;
- В. случайные ошибки являются результатом известных причин;
- С. относительная ошибка, представляет собой отношение значения абсолютной ошибки к истинному значению определяемой величины;
- Д. относительная ошибка, представляет собой отношение значения абсолютной ошибки к среднему значению определяемой величины;
- Е. неисправность весов может стать источником грубой ошибки.

13-8. Источниками систематических ошибок являются:

- А. неисправность измерительных приборов;
- В. источники неизвестны;
- С. допущение некоторых промахов при выполнении анализа;
- Д. неправильный отсчет по шкале измерительных приборов;
- Е. использование нерекондуемого метода анализа.

13-9. Требованиями, предъявляемыми к осаждаемой форме, при выполнении гравиметрического анализа, являются:

- А. осадок должен быть практически нерастворим в среде, в которой проводится анализ;
- В. осаждаемая форма, при прокаливании, должна полностью переходить в весовую (гравиметрическую) форму;

- C. осадок обязательно должен быть кристаллическим;
- D. желательно, чтобы осадок был кристаллическим;
- E. осадок должен быть веществом с точно известной формулой.

13-10. Требованиями, предъявляемыми к весовой (гравиметрической) форме, при выполнении гравиметрического анализа, являются:

- A. гравиметрическая форма должна быть кристаллической;
- B. химический состав должен соответствовать определенной химической формуле;
- C. гравиметрическая форма не должна изменять свой химический состав на воздухе;
- D. значение молекулярной массы гравиметрической формы обязательно должно быть большим, а содержание определяемого вещества должно быть как можно меньше;
- E. желательно, чтобы значение молекулярной массы гравиметрической формы было большим при малом содержании определяемого компонента.

13-11. Условиями осаждения кристаллических осадков, при выполнении гравиметрического анализа, являются:

- A. из концентрированного раствора определяемого вещества концентрированным раствором реактива;
- B. на холоде;
- C. из разбавленного и нагретого раствора определяемого вещества разбавленным и нагретым раствором реактива;
- D. осаждение проводится как можно быстрее;
- E. раствор реактива прибавляют медленно, по каплям, при постоянном перемешивании.

13-12. Условиями осаждения аморфных осадков, при выполнении гравиметрического анализа, являются:

- A. на холоде;
- B. из горячего раствора определяемого вещества горячим раствором реактива;
- C. из относительно концентрированного раствора определяемого вещества концентрированным раствором реактива;
- D. из разбавленного раствора определяемого вещества разбавленным раствором реактива;
- E. в присутствии электролита.

13-13. Для осаждения Ba^{2+} с образованием $BaSO_4$, в гравиметрическом анализе, рекомендуется использовать реактивы:

- A. Na_2SO_4 ;
- B. H_2SO_4 ;
- C. $MgSO_4$;
- D. $(NH_4)_2SO_4 + HCl$;
- E. $K_2SO_4 + HCl$.

13-14. В гравиметрическом анализе аморфные осадки промывают:

- A. H_2O ;
- B. раствором электролита;
- C. раствором NH_4NO_3 ;
- D. раствором, содержащим осадитель;
- E. аморфные осадки не промывают от примесей.

13-15. В гравиметрическом анализе кристаллические осадки промывают:

- A. H_2O ;
- B. H_2O + электролит - коагулянт;
- C. разбавленным раствором осадителя;
- D. раствором NH_4NO_3 ;
- E. кристаллические осадки не промывают при фильтровании.

13-16. Какие из ниже приведенных утверждений являются правильными?

- A. случайной ошибкой является ошибка, которая при повторных измерениях меняется произвольно;
- B. случайной ошибкой является ошибка, которая при повторных измерениях остается постоянной;
- C. случайные ошибки всегда имеют определенный знак (минус или плюс);
- D. случайные ошибки с плюсом и с минусом равновероятны;
- E. существование случайных ошибок определяется тем, что результаты двух параллельных анализов отличаются.

13-17. При проведении гравиметрического анализа хлорида кальция, ионы Ca^{2+} лучше осадить из раствора в виде:

- A. $CaCO_3$ (ПП = $3,8 \cdot 10^{-9}$);
- B. $CaSO_4$ (ПП = $2,5 \cdot 10^{-5}$);
- C. $CaCrO_4$ (ПП = $7,1 \cdot 10^{-4}$);
- D. CaC_2O_4 (ПП = $2,3 \cdot 10^{-9}$);
- E. $CaSiF_6$ (ПП = $8,1 \cdot 10^{-4}$).

13-18. При проведении гравиметрического анализа водного раствора $AgNO_3$, ионы Ag^+ лучше осадить в виде:

- A. $AgNO_2$ (ПП = $6,0 \cdot 10^{-4}$);
- B. $AgCl$ (ПП = $1,8 \cdot 10^{-10}$);
- C. $AgSCN$ (ПП = $1,1 \cdot 10^{-12}$);
- D. $AgBrO_3$ (ПП = $5,5 \cdot 10^{-5}$);
- E. AgI (ПП = $8,3 \cdot 10^{-17}$).

13-19. При проведении гравиметрического анализа водного раствора $CuSO_4$, ионы Cu^{2+} лучше осадить в виде:

- A. Ag_2SO_4 (ПП = $1,6 \cdot 10^{-5}$);
- B. $CaSO_4$ (ПП = $2,5 \cdot 10^{-5}$);
- C. $Cu_2[Fe(CN)_6]$ (ПП = $1,3 \cdot 10^{-16}$);
- D. $Cu(OH)_2$ (ПП = $8,3 \cdot 10^{-20}$);
- E. CuS (ПП = $6,3 \cdot 10^{-36}$).

13-20. Какие из ниже приведенных утверждений являются правильными?

- A. Аморфные осадки промывают холодной водой;
- B. Кристаллические осадки получают из концентрированных растворов;
- C. Аморфные осадки получают из горячих и концентрированных растворов;
- D. Кристаллические осадки получают из горячих и разбавленных растворов;
- E. Аморфные осадки промывают горячим раствором NH_4Cl .

13-21. Титр раствора представляет собой:

Е. чем $c(\text{HCl})$ больше.

13-28. При титровании слабого основания В раствором HCl скачок pH на кривой титрования уменьшится:

- А. при уменьшении K_b^B ;
- В. при уменьшении $\text{p}K_b^B$;
- С. при уменьшении $c(\text{B})$;
- Д. при уменьшении $c(\text{HCl})$;
- Е. при увеличении $\text{p}K_b^B$.

13-29. При титровании 0,1 молярного раствора HCl раствором NaOH с той же концентрацией, индикаторная ошибка будет меньше 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($\text{pT} = 9$);
- В. лакмуса ($\text{pT} = 7$);
- С. метилового красного ($\text{pT} = 5$);
- Д. метилового оранжевого ($\text{pT} = 4$);
- Е. тропеолина 00 ($\text{pT} = 2$).

13-30. При титровании 0,1 молярного раствора HCl раствором NaOH с той же концентрацией, индикаторная ошибка будет больше 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($\text{pT} = 9$);
- В. лакмуса ($\text{pT} = 7$);
- С. метилового красного ($\text{pT} = 5$);
- Д. метилового оранжевого ($\text{pT} = 4$);
- Е. тропеолина 00 ($\text{pT} = 2$).

13-31. При титровании 0,1 молярного раствора слабой кислоты HA ($\text{p}K_a = 4$) раствором NaOH с той же концентрацией, значение индикаторной ошибки не превысит 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($\text{pT} = 9$);
- В. лакмуса ($\text{pT} = 7$);
- С. метилового красного ($\text{pT} = 5$);
- Д. метилового оранжевого ($\text{pT} = 4$);
- Е. тропеолина 00 ($\text{pT} = 2$).

13-32. При титровании 0,1 молярного раствора слабой кислоты HA ($\text{p}K_a = 4$) раствором NaOH с той же концентрацией, значение индикаторной ошибки будет больше 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($\text{pT} = 9$);
- В. лакмуса ($\text{pT} = 7$);
- С. метилового красного ($\text{pT} = 5$);
- Д. метилового оранжевого ($\text{pT} = 4$);
- Е. тропеолина 00 ($\text{pT} = 2$).

13-33. При титровании 0,1 молярного раствора слабого основания В ($\text{p}K_b = 4$) 0,1 молярным раствором HCl , индикаторная ошибка не превысит 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($\text{pT} = 9$);
- В. лакмуса ($\text{pT} = 7$);
- С. метилового красного ($\text{pT} = 5$);
- Д. метилового оранжевого ($\text{pT} = 4$);
- Е. тропеолина 00 ($\text{pT} = 2$).

13-34. При титровании 0,1 молярного раствора слабого основания В ($pK_b = 4$) 0,1 молярным раствором HCl, индикаторная ошибка будет больше 0,1% в случае использования индикатора:

- А. фенолфталеина ($pT = 9$);
В. лакмуса ($pT = 7$);
С. метилового красного ($pT = 5$);
D. метилового оранжевого ($pT = 4$);
E. тропеолина 00 ($pT = 2$).

13-35. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $pH = 7$?

- А. $HNO_3 + NaOH$;
В. $CH_3COOH + NaOH$;
С. $HCl + KOH$;
D. $NH_3 + HCl$;
E. $NaHCO_3 + HCl$.

13-36. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $pH > 7$?

- А. $NH_3 + HCl$;
В. $HCl + NaOH$;
С. $HCOOH + NaOH$;
D. $CH_3COOH + KOH$;
E. $KCN + HCl$.

13-37. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $pH < 7$?

- А. $NH_3 + HCl$;
В. $HCl + NaOH$;
С. $HCOOH + NaOH$;
D. $CH_3COOH + KOH$;
E. $KCN + HCl$.

13-38. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $pH < 7$?

- А. $CH_3COOH + NaOH$;
В. $NH_3 + HNO_3$;
С. $Na_2CO_3 + HCl = NaHCO_3 + NaCl$;
D. $Na_2CO_3 + 2HCl$;
E. $KOH + HCl$.

13-39. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $pH > 7$?

- А. $CH_3COOH + NaOH$;
В. $NH_3 + HNO_3$;
С. $Na_2CO_3 + HCl = NaHCO_3 + NaCl$;
D. $Na_2CO_3 + 2HCl$;
E. $KOH + HCl$.

13-40. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $\text{pH} > 7$?

- A. $\text{NH}_3 + \text{HCl}$; D. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl}$;
B. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} = \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$; E. $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NaOH}$.
C. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} = \text{NaHCO}_3 + \text{NaCl}$;

13-41. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $\text{pH} < 7$?

- A. $\text{NH}_3 + \text{HCl}$; D. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl}$;
B. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} = \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$; E. $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NaOH}$.
C. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} = \text{NaHCO}_3 + \text{NaCl}$;

13-42. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $\text{pH} < 7$?

- A. $\text{NH}_3 + \text{HCl}$; D. $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl}$;
B. $\text{HCl} + \text{NaOH}$; E. $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{HCl} = \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaCl}$.
C. $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH}$;

13-43. В каком, из ниже приведенных титрований, точка эквивалентности соответствует $\text{pH} > 7$?

- A. $\text{NH}_3 + \text{HCl}$; D. $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl}$;
B. $\text{HCl} + \text{NaOH}$; E. $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{HCl} = \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaCl}$.
C. $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH}$;

13-44. Прямое кислотно-основное титрование в водном растворе не может быть применено для анализа веществ:

- A. CH_3COOH ($\text{pK}_a = 4,76$); D. амидопирин ($\text{pK}_b \approx 9$);
B. NH_3 ($\text{pK}_b = 4,75$); E. NH_4Cl .
C. CH_3COONa ;

13-45. Прямое кислотно-основное титрование в водном растворе может быть применено для анализа веществ:

- A. KCN ; D. HCOOH ;
B. CH_3COOK ; E. никотинамид ($\text{pK}_b \approx 11$).
C. NH_4NO_3 ;

13-46. При титровании анализируемого раствора, объем титранта HCl, израсходованный в присутствии метилоранжа, в два раза больше, чем объем израсходованный в присутствии фенолфталеина. Анализируемый раствор содержит:

- A. NaOH; E. 0,1 моль Na₂CO₃ + 0,1 моль NaHCO₃.
B. Na₂CO₃;
C. NaHCO₃;
D. 0,1 моль NaOH + 0,1 моль NaHCO₃;

13-47. Реакции, используемые в титриметрии, должны удовлетворять следующим требованиям:

- A. должны протекать количественно;
B. должны протекать с большой скоростью;
C. должны быть обратимыми;
D. не должны усложняться побочными реакциями;
E. должен существовать метод фиксирования точки эквивалентности.

13-48. Титр титранта В по определяемому веществу А есть:

- A. масса вещества А (г), которая взаимодействует без остатка с 1 мл раствора титранта В;
B. отношение массы (г) вещества В к объёму (мл) раствора вещества А;
C. отношение массы (г) вещества А к объёму (мл) раствора титранта В;
D. масса (г) одного мл раствора титранта В;
E. масса (г) одного мл раствора вещества А.

13-49. Коэффициент поправки “К” титрованного раствора (или фактор его концентрации “F”) есть:

- A. отношение значения теоретической концентрации раствора к реальной концентрации раствора;
B. отношение значения реальной концентрации раствора к теоретической концентрации раствора;
C. число показывающее во сколько раз реальная концентрация больше или меньше теоретической;
D. $K = \frac{T_{np.}}{T_{теор.}}$; E. $K = \frac{T_{теор.}}{T_{np.}}$.

13-50. Коэффициент поправки “К” титрованного раствора (или фактор его концентрации “F”) есть:

- A. $K = \frac{c(B)_{np.}}{c(B)_{теор.}}$; C. $K = \frac{T(B)_{теор.}}{T(B)_{np.}}$; E. $K = \frac{T(B/A)_{np.}}{T(B/A)_{теор.}}$.
B. $K = \frac{c(B)_{теор.}}{c(B)_{np.}}$; D. $K = \frac{T(B/A)_{теор.}}{T(B/A)_{np.}}$;

13-51. Формулы расчёта титра титранта В по определяемому веществу А:

$$A. T_{B/A} = \frac{m(A)}{V_{p-pa}(B)}, \text{ г/мл};$$

$$B. T_{B/A} = \frac{m(B)}{V_{p-pa}(A)}, \text{ г/мл};$$

$$C. T_{B/A} = c\left(\frac{1}{z_B} B\right) \cdot M\left(\frac{1}{z_A} A\right) \cdot 10^{-3};$$

$$D. T_{B/A} = c(A) \cdot M(B) \cdot 10^{-3};$$

$$E. T_{B/A} = c\left(\frac{1}{z_B} B\right) \cdot M\left(\frac{1}{z_A} A\right).$$

13-52. Формулы расчета титра титранта В:

$$A. T(B) = \frac{c(B) \cdot M(B)}{1000};$$

$$B. T(B) = \frac{c\left(\frac{1}{z} B\right) \cdot M\left(\frac{1}{z} B\right)}{1000};$$

$$C. T(B) = c(B) \cdot M(B);$$

$$D. T(B) = T(B/A) \frac{M\left(\frac{1}{z_B} B\right)}{M\left(\frac{1}{z_A} A\right)};$$

$$E. T(B) = T(B/A) \cdot M(A) \cdot 1000.$$

13-53. Какие вещества, из перечисленных ниже, применяют в ацидиметрии в качестве стандартных веществ для стандартизации титранта-раствора HCl?

A. KOH;

D. Ca(OH)₂;

B. Na₂CO₃;

E. CaO.

C. Na₂B₄O₇ · 10H₂O;

13-54. Какие вещества, из перечисленных ниже, применяют в алкалиметрии в качестве стандартных веществ для стандартизации титранта-раствора KOH?

A. H₂C₂O₄ · 2H₂O;

D. H₂C₄H₄O₄;

B. H₂SO₄;

E. H₃PO₄.

C. HCl;

13-55. При титровании сильной кислоты сильным основанием значение pH в точке эквивалентности не зависит от:

A. природы кислоты;

D. концентрации основания;

B. концентрации кислоты;

E. температуры титруемых

C. порядка титрования;

растворов.

13-56. При титровании слабой кислоты сильным основанием значение pH в точке эквивалентности зависит от:

A. порядка титрования;

D. концентрации основания;

B. концентрации кислоты;

E. температуры титруемых

C. константы кислотности кислоты;

растворов.

13-57. При титровании слабого основания сильной кислотой значение рН в точке

эквивалентности зависит от:

- А. концентрации основания;
- В. порядка титрования;
- С. константы основности основания;
- Д. природы сильной кислоты;
- Е. концентрации кислоты.

13-58. При титровании слабой кислоты сильным основанием значение рН в точке

эквивалентности не зависит от:

- А. концентрации кислоты;
- В. природы кислоты;
- С. природы основания;
- Д. порядка титрования;
- Е. концентрации основания.

13-59. При титровании слабого основания сильной кислотой значение рН в точке

эквивалентности не зависит от:

- А. порядка титрования;
- В. концентрации основания;
- С. константы основности основания;
- Д. природы кислоты;
- Е. концентрации кислоты.

13-60. Даны слабые монокислотные основания: NH_3 ($\text{pK}_b=4,75$), никотинамид ($\text{pK}_b=11,7$), гексаметилентетрамин ($\text{pK}_b=8,9$), амидопирин ($\text{pK}_b=8,8$) и диметиламин ($\text{pK}_b=3,00$). Водные растворы каких оснований, из перечисленных выше, можно прямо титровать титрованным раствором сильной кислоты?

- А. никотинамид;
- В. NH_3 ;
- С. амидопирин;
- Д. диметиламин;
- Е. гексаметилентетрамин.

13-61. Даны слабые монокислотные основания: NH_3 ($\text{pK}_b=4,75$), никотинамид ($\text{pK}_b=11,7$), этаноламин ($\text{pK}_b=4,75$), амидопирин ($\text{pK}_b=8,8$) и диметиламин ($\text{pK}_b=3,00$). Водные растворы каких оснований, из перечисленных выше, нельзя прямо титровать титрованным раствором HCl ?

- А. никотинамид;
- В. NH_3 ;
- С. амидопирин;
- Д. диметиламин;
- Е. этаноламин.

13-62. Даны соли: CH_3COOK , KCN , CH_3COONa , Na_2CO_3 и HCOONa . Водные растворы каких солей, из перечисленных выше, можно прямо титровать титрантом-раствором HCl , если известно, что $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76$; $\text{pK}_a(\text{HCN}) = 9,3$; $\text{pK}_a(\text{HCO}_3^-) = 10,3$; и $\text{pK}_a(\text{HCOOH}) = 3,75$?

- А. CH_3COOK ;
- В. CH_3COONa ;
- С. HCOONa ;
- Д. KCN ;
- Е. Na_2CO_3 .

13-63. Никотинамид ($pK_b=11,7$) можно прямо титровать титрантом-раствором $HClO_4$ в среде растворителей:

- A. Жидкий NH_3 ;
- B. H_2O ;
- C. C_2H_5OH ;
- D. CH_3COOH ;
- E. $HCOOH$.

13-64. Амидопирин ($pK_b=8,8$) можно прямо титровать титрантом-раствором $HClO_4$ в среде растворителей:

- A. H_2O ;
- B. $HCOOH$;
- C. CH_3COOH ;
- D. Жидкий NH_3 ;
- E. C_2H_5OH .

13-65. Ацетат калия ($pK_a(CH_3COOH) = 4,76$) можно прямо титровать титрантом-раствором $HClO_4$ в среде растворителей:

- A. H_2O ;
- B. Жидкий NH_3 ;
- C. CH_3COOH ;
- D. $HCOOH$;
- E. C_2H_5OH .

13-66. Ацетат калия ($pK_a(CH_3COOH) = 4,76$) невозможно прямо титровать титрантом-раствором $HClO_4$ в среде растворителей:

- A. H_2O ;
- B. C_2H_5OH ;
- C. пиридин;
- D. CH_3COOH ;
- E. $HCOOH$.

13-67. Гексаметиленetetрамин ($pK_b=8,9$) невозможно прямо титровать титрантом-раствором $HClO_4$ в среде растворителей:

- A. CH_3COOH ;
- B. Жидкий NH_3 ;
- C. H_2O ;
- D. C_2H_5OH ;
- E. пиридин.

13-68. Хлорид аммония ($pK_b(NH_3)=4,75$) можно прямо титровать титрантом-раствором KOH в среде растворителей:

- A. жидкий NH_3 ;
- B. H_2O ;
- C. C_2H_5OH ;
- D. пиридин;
- E. CH_3COOH .

13-69. Хлорид аммония ($pK_b(NH_3)=4,75$) невозможно прямо титровать титрантом-раствором KOH в среде растворителей:

- 13-76.** Особенности титрования щавелевой кислоты раствором KMnO_4 являются:
- A. титруется раствор щавелевой кислоты раствором KMnO_4 , но не наоборот;
 - B. нагревают раствор щавелевой кислоты и H_2SO_4 , а затем медленно титруют раствором KMnO_4 ;
 - C. нагревают раствор H_2SO_4 , затем добавляют щавелевую кислоту и медленно титруют раствором KMnO_4 ;
 - D. титруется в присутствии MnSO_4 ;
 - E. используют необратимые индикаторы.
- 13-77.** Особенности фиксации точки эквивалентности в броматометрии являются:
- A. использование безиндикаторного метода;
 - B. использование необратимых индикаторов;
 - C. добавление индикатора под конец титрования;
 - D. после добавления индикатора титруют строго по каплям, а затем проверяют правильность определения точки эквивалентности;
 - E. не могут быть использованы редоксиндикаторы.
- 13-78.** Особенности фиксации точки эквивалентности, при определении окислителей йодометрическим методом, являются:
- A. использование специфического индикатора – крахмала;
 - B. крахмал добавляют в конце титрования;
 - C. не могут быть использованы редоксиндикаторы;
 - D. добавляют только каплю индикатора;
 - E. после добавления индикатора титруют медленно, по каплям, постоянно перемешивая.
- 13-79.** Количественное определение CaCl_2 в перманганатометрии осуществляют:
- A. прямым титрованием раствором KMnO_4 ;
 - B. прямым титрованием раствором $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$;
 - C. косвенным методом титрования (осаждая предварительно Ca^{2+} избытком $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$);
 - D. методом обратного титрования, используя титрованные растворы $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ и KMnO_4 ;
 - E. перманганатометрический метод не может быть применен для определения CaCl_2 .
- 13-80.** Точка эквивалентности, при определении FeSO_4 перманганатометрическим методом, может быть определена с помощью:
- A. кислотно-основных индикаторов;
 - B. дифениламина;
 - C. безиндикаторным методом;
 - D. фенолфталеина;
 - E. фенилантраниловой кислоты.
- 13-81.** Точка эквивалентности в дихроматометрическом методе, не может быть определена с помощью:
- A. фенилантраниловой кислоты;
 - B. дифениламина;
 - C. $\text{KI} + \text{хлороформ}$;
 - D. металлохромных индикаторов;
 - E. адсорбционных индикаторов.
- 13-82.** Точка эквивалентности в дихроматометрическом методе, может быть определена с помощью:

- A. кислотно-основных индикаторов;
B. KI + хлороформ;
C. фероина;
- D. фенилантраниловой кислоты;
E. дифениламина.

13-83. Редоксиндикаторами являются:

- A. крахмал;
B. K_2CrO_4 ;
- C. дифениламин;
D. фероин;
- E. мурексид.

13-84. Редоксиндикаторами являются вещества:

- A. которые изменяют свой цвет в зависимости от потенциала раствора;
B. у которых редоксформы имеют различные цвета;
C. крахмал;
D. эриохром черный Т;
E. которые образуют окрашенные адсорбционные комплексы.

13-85. Формулами эквивалента KIO_3 , используемого в редоксиметрии, являются:

- A. KIO_3 ;
B. $\frac{1}{2}KIO_3$;
C. $\frac{1}{3}KIO_3$;
- D. $\frac{1}{4}KIO_3$;
E. $\frac{1}{6}KIO_3$.

13-86. Йодометрические определения проводят в среде:

- A. кислой;
B. слабокислой;
C. нейтральной;
D. щелочной;
E. среда не имеет значения.

13-87. Йодометрические определения проводят в среде:

- A. щелочной;
B. слабощелочной (pH = 8);
C. нейтральной;
- D. слабокислой;
E. кислой.

13-88. Условиями нитритометрического титрования являются:

- A. щелочная среда;
B. кислая среда;
C. нагревание;
- D. в присутствии KBr ;
E. медленное титрование.

13-89. Индикаторы, используемые в нитритометрии:

- A. крахмал;
B. тропеолин 00;
C. эозин;
- D. смесь тропеолина и метиленового синего;
E. фильтровальная бумага, смоченная в KI и крахмале.

13-90. О $K_2Cr_2O_7$ можно утверждать, что:

- A. он восстановитель;
B. он окислитель;
C. он может быть использован в иодометрии как стандартное вещество;

- D. его раствор используют как титрант в дихроматометрии;
- E. его раствор желтого цвета.

13-91. О KBrO_3 можно утверждать, что:

- A. он окислитель;
- B. он восстановитель;
- C. раствор KBrO_3 используют как титрант в броматометрии;
- D. раствором KBrO_3 титруют в бромометрии;
- E. он восстанавливается до KBr в щелочной среде.

13-92. О NaNO_2 можно утверждать, что:

- A. он окислитель;
- B. он восстановитель;
- C. его раствор используют в кислой среде как титрант в нитритометрии;
- D. раствором NaNO_2 титруются любые органические амины;
- E. его раствор используют в щелочной среде как титрант в нитритометрии.

13-93. Бромометрическим методом определяют:

- A. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
- B. NH_3 ;
- C. $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$;
- D. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ и его производные;
- E. MgSO_4 .

13-94. Бромометрическим методом нельзя определить:

- A. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$;
- B. CH_3COOH ;
- C. $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$;
- D. MgSO_4 ;
- E. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

13-95. Нитритометрическим методом определяют:

- A. CH_3NH_2 ;
- B. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$;
- C. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ и его производные;
- D. NH_4Cl ;
- E. $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ и его производные.

13-96. Нитритометрическим методом нельзя определить:

- A. стрептоцид;
- B. анилин;
- C. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$;
- D. CH_3OH ;
- E. CH_3COOH .

13-97. Точка эквивалентности в методе перманганатометрии фиксируется:

- A. с помощью редокс-индикаторов;
- B. с помощью металлохромных индикаторов;
- C. безиндикаторным методом;
- D. в присутствии K_2CrO_4 ;
- E. с помощью адсорбционных индикаторов.

13-98. Точка эквивалентности в методе цериметрии фиксируется:

- A. с помощью металлохромных индикаторов;
- B. безиндикаторным методом;
- C. с помощью специфических реактивов;
- D. с помощью редокс-индикаторов;
- E. в присутствии ферроина.

13-99. В качестве редокс-индикаторов в методах редоксиметрии применяют:

- A. ферроин;
- B. дифениламин;
- C. фенилантрониловая кислота;
- D. крахмал;
- E. эозин.

13-100. При титровании, в методах редоксиметрии, значение потенциала раствора в точке эквивалентности зависит от:

- A. природы окислителя;
- B. природы восстановителя;
- C. концентрации окислителя;
- D. концентрации восстановителя;
- E. порядка титрования.

13-101. При титровании, в методах редоксиметрии, значение потенциала раствора в точке эквивалентности не зависит от:

- A. природы окислителя;
- B. природы восстановителя;
- C. порядка титрования;
- D. концентрации окислителя;
- E. концентрации восстановителя.

13-102. Можно прямо титровать титрантом-раствором KMnO_4 лекарственные вещества:

- A. NaNO_2 ;
- B. Р-р. H_2O_2 ;
- C. FeSO_4 ;
- D. Fe;
- E. CaCl_2 .

13-103. Кислая среда в редоксиметрии, при титровании титрантом-раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, создаётся добавлением кислоты:

- A. H_3PO_4 ;
- B. HCl;
- C. H_2SO_4 ;
- D. HNO_3 ;
- E. CH_3COOH .

13-104. Самыми важными условиями комплексометрического титрования являются:

- A. присутствие буферной системы;
- B. присутствие катализатора;
- C. на холоде;
- D. комплекс иона металла с комплексоном, должен быть более устойчивым, чем комплекс этого иона с индикатором;
- E. титрование определяемого вещества раствором комплексона, а не наоборот.

13-105. В комплексометрии используются индикаторы:

- A. окислительно-восстановительные;
- B. адсорбционные;
- C. металлохромные;
- D. специфические;
- E. мурексид.

13-106. Величина скачка на кривой титрования в осадительных методах титрования является функцией:

- A. концентрации титруемого раствора;
- B. ПР осадка;
- C. порядка титрования;
- D. температуры;
- E. природы индикатора.

13-107. Скачок на кривой титрования в осадительных методах титрования увеличивается:

- A. при увеличении температуры;
- B. чем больше ПР;
- C. чем меньше ПР;
- D. при уменьшении температуры;
- E. чем больше концентрации титруемых растворов.

13-108. Скачок на кривой титрования в осадительных методах титрования уменьшается:

- A. при увеличении температуры;
- B. чем больше ПР;
- C. чем меньше ПР;
- D. при уменьшении температуры;
- E. чем больше концентрации растворов.

13-109. Скачок на кривой титрования в осадительных методах титрования тем меньше, чем:

- A. меньше температура;
- B. меньше ПР;
- C. выше температура;
- D. меньше концентрации титруемых растворов;
- E. больше ПР.

13-110. Индикаторы, используемые в меркурометрии:

- A. $K_2Cr_2O_7$;
- B. лакмус;
- C. фенолфталеин;
- D. дифенилкарбазон;
- E. раствор тиоционата Fe(III).

13-111. Величина скачка на кривой титрования в комплексонометрии является функцией:

- A. концентрации раствора определяемого вещества;
- B. концентрации титранта;
- C. pH раствора;
- D. порядка титрования;
- E. природы индикатора.

13-112. Величина скачка на кривой титрования в комплексонометрии возрастает:

- A. при увеличении концентрации раствора определяемого вещества;
- B. при уменьшении концентрации раствора определяемого вещества;
- C. при уменьшении концентрации раствора комплексона III;
- D. при увеличении концентрации раствора комплексона III;
- E. с ростом устойчивости комплекса определяемого иона с комплексом III.

13-113. Комплексонометрическим методом можно определить лекарственные вещества:

- A. $CaCl_2$;
- B. CH_2O ;
- C. $FeSO_4$;
- D. NH_4Cl ;
- E. $MgSO_4$.

13-114. Комплексонометрическим методом нельзя определить лекарственные вещества:

- A. $ZnSO_4$;
- B. KI;

C. CuSO_4 ;

E. глюконат кальция.

D. NaNO_2 ;

13-115. Условиями аргентометрического титрования методом Мора являются:

A. кислая среда;

B. нейтральная или слабощелочная среда;

C. отсутствие в анализируемом растворе катионов (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} и др.), которые образуют нерастворимые хроматы;

D. отсутствие в анализируемом растворе анионов (S^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} и др.), которые осаждают катионы Ag^+ ;

E. к раствору галогенида прибавляют раствор Ag^+ , но не наоборот.

13-116. Условиями аргентометрического титрования Фаянса – Ходакова являются:

A. определенное значение pH раствора;

B. адсорбция определяемого иона осадком должна быть более выражена, чем у иона индикатора;

C. по крайней мере, часть продукта реакции должна образовывать коллоидные частицы;

D. среда обязательно должна быть сильноокислой;

E. адсорбционные свойства определяемого иона должны быть меньше чем у индикатора.

13-117. Величина скачка на кривой титрования в комплексонометрии является функцией:

A. порядка титрования;

B. pH раствора;

C. концентрации анализируемого раствора;

D. концентрации титранта;

E. константы устойчивости комплекса определяемого иона с комплексоном III.

13-118. Скачок на кривой титрования в комплексонометрии уменьшается при:

A. уменьшении константы устойчивости комплекса определяемого иона с комплексоном III;

B. уменьшении $c(\text{H}^+)$;

C. уменьшении концентрации титранта;

D. увеличении концентрации титранта;

E. увеличении концентрации анализируемого раствора.

13-119. В методах осадительного титрования для определения точки эквивалентности

применяют индикаторы:

A. осадительные;

D. кислотно-основные;

B. адсорбционные;

E. необратимые.

C. металлохромные;

13-120. С помощью каких реактивов, взятых вместе, определяют точку эквивалентности при титровании солей цинка с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$?

A. комплексон III;

D. $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;

B. дифениламин;

E. NaOH .

C. H_2SO_4 ;

13-121. В методе меркурометрии в качестве индикаторов применяют:

- A. раствор тиоцианата железа (III);
- B. K_2CrO_4 ;
- C. раствор дифенилкарбазона;
- D. NH_4SCN ;
- E. дифениламин.

13-122. Лекарственное вещество $NaCl$ можно количественно определить методом:

- A. комплексонометрии;
- B. алкалометрии;
- C. меркуриметрии;
- D. аргентометрии;
- E. меркурометрии.

13-123. Кислоты можно определить методами:

- A. алкалометрии;
- B. ацидометрии;
- C. иодометрии;
- D. комплексонометрии;
- E. дихроматометрии.

13-124. Лекарственное вещество $MgSO_4$ можно количественно определить методом:

- A. ацидометрии;
- B. йодометрии;
- C. гравиметрии;
- D. бромометрии;
- E. комплексонометрии.

13-125. Лекарственное вещество $NaNO_2$ можно количественно определить методом:

- A. перманганатометрии;
- B. нитритометрии;
- C. ацидометрии;
- D. броматометрии;
- E. комплексонометрии.

13-126. Лекарственное вещество $Na_2S_2O_3$ можно количественно определить методом:

- A. йодометрии;
- B. комплексонометрии;
- C. алкалометрии;
- D. перманганатометрии;
- E. аргентометрии (метод Мора).

13-127. Аскорбиновую кислоту (витамин С ($pK_a=4,0$)) можно количественно определить методом:

- A. нитритометрии;
- B. комплексонометрии;
- C. йодометрии;
- D. дихроматометрии;
- E. алкалометрии.

13-128. Хлорид кальция можно количественно определить методом:

- A. перманганатометрии;
- B. нитритометрии;
- C. аргентометрии (метод Мора);
- D. гравиметрии;
- E. комплексонометрии.

13-129. Иодид калия можно количественно определить методом:

- A. аргентометрии (метод Фаянса);
- B. меркуриметрии;
- C. комплексонометрии;
- D. гравиметрии;
- E. ацидометрии.

13-130. Салициловую кислоту ($pK_a=3,0$) можно количественно определить методом:

- А. алкалометрии; меркуриметрии.
 В. комплексонометрии;
 С. нитритометрии;
 D. бромометрии;

Ответы на тесты

Тесты с одним правильным ответом (часть I, качественный анализ)

№ теста	Ответ						
8-1	С	8-29	В	8-57	Е	8-85	D
8-2	В	8-30	В	8-58	А	8-86	А
8-3	А	8-31	D	8-59	D	8-87	Е
8-4	D	8-32	В	8-60	Е	8-88	А
8-5	Е	8-33	Е	8-61	А	8-89	С
8-6	D	8-34	С	8-62	В	8-90	D
8-7	С	8-35	В	8-63	С	8-91	D
8-8	А	8-36	С	8-64	В	8-92	А
8-9	В	8-37	А	8-65	С	8-93	В
8-10	Е	8-38	С	8-66	С	8-94	Е
8-11	В	8-39	В	8-67	В	8-95	Е
8-12	D	8-40	А	8-68	В	8-96	В
8-13	D	8-41	D	8-69	В	8-97	А
8-14	А	8-42	В	8-70	D	8-98	С
8-15	D	8-43	Е	8-71	Е	8-99	В
8-16	В	8-44	D	8-72	В	8-100	D
8-17	D	8-45	А	8-73	С	8-101	Е
8-18	В	8-46	С	8-74	С	8-102	А
8-19	D	8-47	Е	8-75	С	8-103	Е
8-20	А	8-48	С	8-76	D	8-104	D
8-21	С	8-49	D	8-77	Е	8-105	D
8-22	D	8-50	А	8-78	D	8-106	С

8-23	С	8-51	С	8-79	А	8-107	В
8-24	С	8-52	Е	8-80	С	8-108	С
8-25	В	8-53	В	8-81	Е	8-109	Е
8-26	С	8-54	С	8-82	Е	8-110	Д
8-27	С	8-55	А	8-83	Д		
8-28	В	8-56	С	8-84	Е		

Тесты с несколькими правильными ответами (часть I, качественный анализ)

№ теста	ОТВЕТ						
9-1	А, С, Е	9-30	А, Е	9-59	А, С, D	9-88	А, В
9-2	С, D, Е	9-31	А, С, Е	9-60	А, D	9-89	А, В, С, Е
9-3	А, В, С	9-32	D, Е	9-61	В, Е	9-90	В, D
9-4	В, D, Е	9-33	В, С	9-62	С, D	9-91	В, С
9-5	А, В, С	9-34	А, Е	9-63	А, В, Е	9-92	D, Е
9-6	А, С, Е	9-35	С, D, Е	9-64	А, В, С	9-93	В, С
9-7	А, С, Е	9-36	А, D	9-65	С, D	9-94	А, В, Е
9-8	В, С	9-37	С, D, Е	9-66	В, С, D	9-95	С, Е
9-9	А, С, D	9-38	А, В	9-67	D, Е	9-96	В, С, D
9-10	В, D	9-39	В, С	9-68	А, В	9-97	А, В, Е
9-11	А, D	9-40	А, Е	9-69	А, В	9-98	С, D
9-12	А, Е	9-41	В, С, Е	9-70	В, С, Е	9-99	А, Е
9-13	В, С	9-42	С, D	9-71	С, D, Е	9-100	А, С
9-14	А, D	9-43	А, В	9-72	А, В, С, D	9-101	В, D
9-15	В, Е	9-44	С, D, Е	9-73	А, С, D, Е	9-102	С, Е
9-16	А, С	9-45	А, В, С	9-74	С, D, Е	9-103	А, С
9-17	В, Е	9-46	В, С	9-75	А, В, С	9-104	В, С
9-18	В, С, Е	9-47	В, D, Е	9-76	С, D	9-105	С, Е
9-19	D, Е	9-48	А, D	9-77	С, Е	9-106	В, D, Е
9-20	В, С, D	9-49	D, Е	9-78	В, С, D, Е	9-107	В, D
9-21	D, Е	9-50	В, D, Е	9-79	А, Е	9-108	А, С
9-22	В, С, D	9-51	А, D	9-80	D, Е	9-109	D, Е
9-23	А, D	9-52	А, С, Е	9-81	В, D	9-110	А, С
9-24	А, В	9-53	В, С, D	9-82	А, Е	9-111	А, В, Е
9-25	С, D	9-54	А, С, D	9-83	А, В, С, D	9-112	А, В, С, D
9-26	А, С, D, Е	9-55	В, Е	9-84	А, С, Е	9-113	В, С, Е
9-27	В, С, Е	9-56	В, С, D	9-85	В, С	9-114	А, С, D, Е
9-28	А, С, Е	9-57	А, С, Е	9-86	В, D, Е	9-115	D, Е

9-29	B, D	9-58	B, C	9-87	B, C, D	9-116	A,B,C,D,E
------	------	------	------	------	---------	-------	-----------

Тесты с одним правильным ответом (часть II, количественный анализ)

№ теста	Ответ						
12-1	D	12-34	D	12-67	B	12-100	E
12-2	D	12-35	C	12-68	E	12-101	C
12-3	D	12-36	B	12-69	C	12-102	D
12-4	A	12-37	E	12-70	D	12-103	B
12-5	C	12-38	A	12-71	B	12-104	C
12-6	C	12-39	B	12-72	A	12-105	A
12-7	A	12-40	C	12-73	B	12-106	C
12-8	E	12-41	C	12-74	D	12-107	D
12-9	B	12-42	C	12-75	C	12-108	E
12-10	B	12-43	A	12-76	E	12-109	B
12-11	D	12-44	B	12-77	C	12-110	A
12-12	C	12-45	A	12-78	E	12-111	D
12-13	B	12-46	C	12-79	E	12-112	E
12-14	A	12-47	D	12-80	C	12-113	B
12-15	C	12-48	A	12-81	D	12-114	A
12-16	D	12-49	D	12-82	A	12-115	B
12-17	E	12-50	C	12-83	D	12-116	C
12-18	B	12-51	C	12-84	E	12-117	A
12-19	C	12-52	A	12-85	B	12-118	B
12-20	A	12-53	E	12-86	A	12-119	B
12-21	D	12-54	A	12-87	B	12-120	B
12-22	B	12-55	B	12-88	C	12-121	D
12-23	E	12-56	D	12-89	E	12-122	C
12-24	C	12-57	E	12-90	A	12-123	D
12-25	A	12-58	D	12-91	B	12-124	A
12-26	E	12-59	C	12-92	C	12-125	B
12-27	C	12-60	A	12-93	D	12-126	C
12-28	A	12-61	A	12-94	A	12-127	C
12-29	B	12-62	D	12-95	E	12-128	B
12-30	C	12-63	B	12-96	A	12-129	E
12-31	D	12-64	B	12-97	E	12-130	D
12-32	E	12-65	E	12-98	B		
12-33	A	12-66	C	12-99	A		

Тесты с несколькими правильными ответами (часть II, количественный анализ)

№ теста	Ответ						
13-1	B, D, E	13-34	A, D, E	13-67	B, C, D, E	13-100	A, B
13-2	B, D	13-35	A, C	13-68	A, D	13-101	C, D, E
13-3	A, D, E	13-36	C, D	13-69	A, B, D, E	13-102	B, C, D
13-4	C, D	13-37	A, E	13-70	A, B, C	13-103	A, B, C
13-5	B, C	13-38	B, D	13-71	D, E	13-104	A, D
13-6	A, B	13-39	A, C	13-72	C, D	13-105	C, D, E
13-7	C, D	13-40	C, E	13-73	D, E	13-106	A, B, D
13-8	A, E	13-41	A, B, D	13-74	B, C	13-107	C, D, E
13-9	A, B, D	13-42	A, D	13-75	A, D	13-108	A, B
13-10	B, C, E	13-43	C, E	13-76	C, D	13-109	C, D, E
13-11	C, E	13-44	C, D, E	13-77	B, C, D	13-110	D, E
13-12	B, C, E	13-45	A, D	13-78	A, B, E	13-111	A, B, C
13-13	B, D	13-46	B, D	13-79	C, D	13-112	A, D, E
13-14	B, C	13-47	A, B, D, E	13-80	B, C, E	13-113	A, C, E
13-15	A, C	13-48	A, C	13-81	D, E	13-114	B, D
13-16	A, D, E	13-49	B, C, D	13-82	B, C, D, E	13-115	B, C, D, E
13-17	A, D	13-50	A, E	13-83	C, D	13-116	A, B, C
13-18	B, C, E	13-51	A, C	13-84	A, B	13-117	B, C, D, E
13-19	C, D, E	13-52	A, B, D	13-85	D, E	13-118	A, C
13-20	C, D, E	13-53	B, C	13-86	A, B, C	13-119	A, B, C
13-21	B, D	13-54	A, D	13-87	B, C, D, E	13-120	B, C, D
13-22	C, D	13-55	A, B, C, D	13-88	B, D, E	13-121	A, B, C
13-23	A, E	13-56	B, C, D, E	13-89	B, D, E	13-122	C, D, E
13-24	C, E	13-57	A, C, E	13-90	B, C, D	13-123	A, B, C
13-25	A, E	13-58	C, D	13-91	A, C, D	13-124	C, D, E
13-26	B, D	13-59	A, D	13-92	A, B, C	13-125	A, B, D
13-27	B, E	13-60	B, D	13-93	C, D, E	13-126	A, D
13-28	A, D, E	13-61	A, C	13-94	B, E	13-127	A, C, D, E
13-29	A, B, C	13-62	D, E	13-95	B, C	13-128	A, C, D, E
13-30	D, E	13-63	D, E	13-96	D, E	13-129	A, B, D
13-31	A, B	13-64	B, C	13-97	A, C	13-130	A, D
13-32	C, D, E	13-65	C, D	13-98	B, D, E		
13-33	B, C	13-66	A, B, C	13-99	A, B, C		

Приложения

Приложение 1

Коэффициенты активности ионов в зависимости от ионной силы (I) раствора и заряда иона (z)

I	Средние значения коэффициентов активности			
	z = 1	z = 2	z = 3	z = 4
0,0005	0,975	0,904	0,802	0,678
0,001	0,964	0,868	0,738	0,588
0,0025	0,945	0,805	0,632	0,455
0,005	0,925	0,744	0,540	0,350
0,01	0,899	0,670	0,445	0,255
0,025	0,850	0,555	0,325	0,155
0,05	0,840	0,50	0,21	0,062
0,10	0,81	0,44	0,16	0,037
0,20	0,80	0,41	0,14	0,028
0,50	0,84	0,50	0,21	0,06

Приложение 2

Расчетная формула для решения квадратных уравнений типа

$$ax^2 + bx + c = 0:$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Константы диссоциации кислот и оснований

Название вещества	Формула вещества	К	pK
Уксусная кислота	CH ₃ COOH	$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76
Аминобензойная кислота	NH ₂ C ₆ H ₄ COOH	$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,74
Мышьяковая кислота K_{a_1}	H ₃ AsO ₄	$5,6 \cdot 10^{-3}$	2,25
K_{a_2}		$1,7 \cdot 10^{-7}$	6,77
K_{a_3}		$2,95 \cdot 10^{-12}$	11,53
Бензойная кислота	C ₆ H ₅ COOH	$6,3 \cdot 10^{-5}$	4,20
Угольная кислота, K_{a_1}	H ₂ CO ₃	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35
K_{a_2}		$4,8 \cdot 10^{-11}$	10,32
Цианистоводородная кислота	HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30
Фтороводородная кислота	HF	$6,2 \cdot 10^{-4}$	3,21
Муравьиная кислота	HCOOH	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75
Фосфорная кислота, K_{a_1}	H ₃ PO ₄	$7,1 \cdot 10^{-3}$	2,15
K_{a_2}		$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21
K_{a_3}		$5,0 \cdot 10^{-13}$	12,30
Щавелевая кислота, K_{a_1}	H ₂ C ₂ O ₄	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25
K_{a_2}		$5,4 \cdot 10^{-5}$	4,27
Серная кислота, K_{a_2}	H ₂ SO ₄	$1,15 \cdot 10^{-2}$	1,94
Салициловая кислота, K_{a_1}	C ₆ H ₄ (OH)COOH	$1,1 \cdot 10^{-3}$	2,97
K_{a_2}		$2,6 \cdot 10^{-14}$	13,59
Сероводородная кислота, K_{a_1}	H ₂ S	$1,0 \cdot 10^{-7}$	7,00
K_{a_2}		$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,60
Сернистая кислота, K_{a_1}	H ₂ SO ₃	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,85
K_{a_2}		$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,20
Аммиак (основание)	NH ₃	$1,76 \cdot 10^{-5}$	4,75
Пиридин (основание)	C ₅ H ₅ N	$1,5 \cdot 10^{-9}$	8,82
Гексаметилентетрамин (однокислотное основание)	(CH ₂) ₆ N ₄	$1,4 \cdot 10^{-9}$	8,87
Гидроксид бария, K_{b_2}	Ba(OH) ₂	$2,3 \cdot 10^{-1}$	0,64
Гидроксид кальция, K_{b_2}	Ca(OH) ₂	$4,0 \cdot 10^{-2}$	1,40

Произведение растворимости некоторых малорастворимых электролитов

Формула электролита	ПР	Формула электролита	ПР
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	CaF ₂	$4,0 \cdot 10^{-11}$
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	Ca ₃ (PO ₄) ₂	$2,0 \cdot 10^{-29}$
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	Cd(OH) ₂	$2,2 \cdot 10^{-14}$
Ag ₂ CrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-12}$	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
BaSO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	PbI ₂	$1,1 \cdot 10^{-9}$
BaC ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-7}$	PbSO ₄	$1,6 \cdot 10^{-8}$
BaCrO ₄	$1,2 \cdot 10^{-10}$	PbCrO ₄	$1,8 \cdot 10^{-14}$
BaCO ₃	$4,0 \cdot 10^{-10}$	Fe(OH) ₃	$3,2 \cdot 10^{-38}$
CaC ₂ O ₄	$2,3 \cdot 10^{-9}$	Mg(OH) ₂	$6,0 \cdot 10^{-10}$
CaCO ₃	$3,8 \cdot 10^{-9}$	ZnS	$1,6 \cdot 10^{-24}$
CaSO ₄	$2,5 \cdot 10^{-5}$	CdS	$1,6 \cdot 10^{-28}$

Константы устойчивости (β_n) некоторых комплексных ионов

Формула комплексного иона	β_n	Формула комплексного иона	β_n
[Ag(NH ₃) ₂] ⁺	$1,7 \cdot 10^7$	[Cu(NH ₃) ₄] ²⁺	$1,07 \cdot 10^{12}$
[HgI ₄] ²⁻	$6,76 \cdot 10^{29}$	[Fe(CN) ₆] ⁴⁻	$1,0 \cdot 10^{37}$
[Hg(SCN) ₄] ²⁻	$1,58 \cdot 10^{21}$	[Ni(NH ₃) ₄] ²⁺	$2,95 \cdot 10^7$
[Cd(NH ₃) ₄] ²⁺	$3,63 \cdot 10^6$	[Cd(CN) ₄] ²⁺	$1,29 \cdot 10^{17}$

**Формулы для вычисления $c(H^+)$ и pH в водных растворах кислот, оснований,
солей и буферных систем**

Электролит	$c(H^+)$	pH
Сильная кислота HA	$c(H^+) = c(HA)$	$pH = -\lg c(H^+) = -\lg c(HA)$
Сильная кислота H_2A	$c(H^+) \approx 2 \cdot c(H_2A)$	$pH \approx -\lg c(H_2A) - \lg 2$
Сильное основание $MeOH$	$c(OH^-) = c(MeOH)$ $c(H^+) = \frac{K_w}{c(OH^-)} = \frac{K_w}{c(MeOH)}$	$pOH = -\lg c(OH^-) = -\lg c(MeOH)$ $pOH = 14 - pH = 14 - \lg c(MeOH)$
Сильное основание $Me(OH)_2$	$c(OH^-) \approx 2 \cdot c(Me(OH)_2)$ $c(H^+) = \frac{K_w}{2 \cdot c(Me(OH)_2)}$	$pOH \approx -\lg c(Me(OH)_2) - \lg 2$ $pH \approx 14 + \lg c(Me(OH)_2) + \lg 2$
Слабая кислота HA	$c(H^+) \approx \sqrt{c_0(HA) \cdot K_a^{HA}}$	$pH \approx \frac{1}{2} pK_a^{HA} - \frac{1}{2} \lg c_0(HA)$
Слабое основание B	$c(OH^-) \approx \sqrt{c_0(B) \cdot K_b^B}$ $c(H^+) = \frac{K_w}{\sqrt{c_0(B) \cdot K_b^B}}$	$pOH \approx \frac{1}{2} pK_b^B - \frac{1}{2} \lg c_0(B)$ $pH = 14 - \frac{1}{2} pK_b^B + \frac{1}{2} \lg c_0(B)$
Слабая кислота HA + ее соль KtA	$c(H^+) \approx \frac{K_a^{HA} \cdot c_0(HA)}{c_0(соли)}$	$pH = pK_a^{HA} - \lg \frac{c_0(HA)}{c_0(соли)}$ $pH = pK_a^{HA} - \lg \frac{n_0(HA)}{n_0(соли)}$
Слабое основание B + его соль $[BH]A$	$c(OH^-) \approx \frac{K_b^B \cdot c_0(B)}{c_0(соли)}$ $c(H^+) \approx \frac{K_w \cdot c_0(соли)}{K_b^B \cdot c_0(B)}$	$pH = 14 - pK_b^B + \lg \frac{c_0(B)}{c_0(соли)}$ $pH = 14 - pK_b^B + \lg \frac{n_0(B)}{n_0(соли)}$
Соль образованная слабым основанием B и с HA	$c(H^+) \approx \sqrt{\frac{K_w \cdot c_0(соли)}{K_b^B}}$	$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_b^B - \frac{1}{2} \lg c(соли)$
Соль образованная слабой кислотой HA и сильным основанием $MeOH$	$c(H^+) \approx \sqrt{\frac{K_w \cdot K_a^{HA}}{c_0(соли)}}$	$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_a^{HA} + \frac{1}{2} \lg c(соли)$

Сокращенная таблица логарифмов

числа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	000	041	079	114	146	176	204	230	255	279
2	301	322	342	362	380	398	415	431	447	462
3	477	491	505	519	532	544	556	568	580	591
4	602	613	623	634	644	653	663	672	681	690
5	699	708	716	724	732	740	748	756	763	771
6	778	785	792	799	806	813	820	826	833	839
7	845	851	857	863	869	875	881	887	892	898
8	903	909	914	919	924	929	935	940	945	949
9	954	959	964	968	973	978	982	987	991	996

Пример вычисления рН при заданном значении $c(\text{H}^+)$:

$$c(\text{H}^+) = 5,3 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л} \quad \text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg 5,3 \cdot 10^{-1} = -(0,724 - 1) = -(-0,276) \approx 0,28$$

$$c(\text{H}^+) = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \quad \text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg 5,3 \cdot 10^{-4} = -(0,724 - 4) = -(-3,276) \approx 3,28$$

Пример вычисления $c(\text{H}^+)$, при заданном значении рН:

$$\text{pH} = 0,42 \quad c(\text{H}^+) = \text{antilg}(-\text{pH}) = \text{antilg}(-0,42) = \text{antilg}(0,580 - 1) = 3,8 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = 3,42 \quad c(\text{H}^+) = \text{antilg}(-\text{pH}) = \text{antilg}(-3,42) = \text{antilg}(0,580 - 4) = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Формулы для вычисления индикаторных ошибок в кислотно-основном титровании

$$E_{H^+}(\%) = \pm \frac{10^{-pT} \cdot V_2 \cdot 100}{2 \cdot C_1 \cdot V_1} \quad \text{- водородная ошибка}$$

$$E_{OH^-}(\%) = \pm \frac{10^{pT-14} \cdot V_2 \cdot 100}{2 \cdot C_1 \cdot V_1} \quad \text{- гидроксидная ошибка}$$

$$E_{HA}(\%) = - \frac{10^{-pT} \cdot 100}{K_a + 10^{-pT}} \quad \text{- кислотная ошибка}$$

$$E_{MeOH}(\%) = E_B = - \frac{10^{pT-14} \cdot 100}{K_b + 10^{pT-14}} \quad \text{- основная ошибка}$$

Обозначения: c_1 – молярная концентрация эквивалента титруемого раствора; V_1 – объём титруемого раствора; V_2 – общий объём раствора в конце титрования

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.П. Аналитическая химия, т.1, «Высшая школа», Москва, 1989.
2. Dorneanu Vasile. Curs de chimie analitică calitativă, Iași, 1979.
3. Budu Grigore. Aplicații de calcul în chimia analitică calitativă, СЕР, „Medicină”, Chișinău, 2002.
4. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В.. Задачи и вопросы по аналитической химии, Москва, 1984.
5. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия, т.1, Москва, 1990.
6. Сборник задач по аналитической химии, изд. Казанского Университета, 1987.
7. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии, Москва, 1989.
8. Толстоусов В.Н., Эфрос С. М., Задачник по количественному анализу, «Химия», Ленинград, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Часть I. Качественный анализ	
1. Способы выражения состава растворов и соотношения между ними.....	4
2. Активность ионов в водных растворах электролитов. Ионная сила растворов...5	
3. Равновесия в водных растворах кислот и оснований	10
4. Равновесия в буферных растворах	22
5. Равновесия в водных растворах солей.....	29
6. Равновесия в гетерогенных системах.....	38
7. Равновесия в растворах комплексных соединений.....	47
8. Тесты с одним правильным ответом – качественный анализ.....	50
9. Тесты с несколькими правильными ответами – качественный анализ.....	68
Часть II. Количественный анализ.	
10. Гравиметрия.....	86
11. Объёмные методы анализа (титриметрия).....	98
12. Тесты с одним правильным ответом – количественный анализ.....	137
13. Тесты с несколькими правильными ответами – количественный анализ.....	159
14. Ответы на тесты.....	182
15. Приложения.....	186

