

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского»

Институт химии

С.Ю.Доронин

И.В. Косырева

Я.Г. Крылатова

А.А.Черкесов

А.Н.Смирнов

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Саратов 2012

УДК 543(072.8)

ББК 24.4я73

К 65

**С.Ю. Доронин, И.В. Косырева, Я.Г. Крылатова, А.А. Черкесов,
А.Н. Смирнов**

К Контрольные работы и методические указания по аналитической химии.
Ч. 1: Учеб. пособие. - Саратов: Изд-во СГУ, 2012. - 87с.

Пособие предназначено для студентов очного обучения по направлению «Педагогическое образование» (профиль «Химия», квалификация «Бакалавр»). Содержание и структура пособия подчинены главной цели – помочь студентам в усвоении знаний, в выработке умений и навыков самостоятельной работы при решении задач по аналитической химии. Пособие написано в соответствии с действующей программой. К каждой теме дается краткое теоретическое введение, конкретные примеры решения типовых задач, контрольные вопросы для самопроверки. В приложении приводятся таблицы, необходимые для решения задач.

Рекомендуют к печати:

Кафедра химии и методики обучения химического факультета СГУ,
доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и
химической экологии СГУ Т.Ю. Русанова

УДК 543(072.8)

ББК 24.4я73

Работа издана в авторской редакции

© Доронин С.Ю., Косырева И.В.,
Крылатова Я.Г., Черкесов А.А.,
Смирнов А.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| <i>Введение</i> | 4 |
| I. Чувствительность аналитической реакции..... | 5 |
| II. Способы выражения концентрации растворов..... | 7 |
| III. Сильные электролиты. Ионная сила растворов. Вычисление коэффициентов активности и активности ионов..... | 11 |
| IV. Ионное произведение воды. Водородный и гидроксильный показатели. Расчет рН (рОН) в растворах сильных электролитов..... | 14 |
| V. Слабые электролиты. Расчет рН в растворах слабых электролитов..... | 16 |
| VI. Равновесие в гетерогенной системе. Произведение растворимости..... | 24 |
| VII. Окислительно-восстановительные реакции..... | 28 |
| VIII. Реакции в растворах комплексных соединений..... | 32 |
| IX. Элементы математической статистики в анализе..... | 36 |
| X. Гравиметрический анализ..... | 41 |
| XI. Титриметрический анализ..... | 43 |
| Контрольные вопросы..... | 47 |
| Контрольные задачи..... | 51 |
| Варианты контрольных работ..... | 65 |
| Ответы..... | 75 |
| Приложение 1. Основные фундаментальные физико-химические константы | 77 |
| Приложение 2. Относительные атомные массы химических элементов..... | 78 |
| Приложение 3. Массовые доли и плотность водных растворов некоторых кислот и оснований (кг/м ³)..... | 79 |
| Приложение 4. Растворимость солей и оснований в воде..... | 80 |
| Приложение 5. Растворимость некоторых веществ в воде при различной температуре (в г вещества в 100 г воды)..... | 81 |
| Приложение 6. Константы диссоциации кислот и оснований (t°=25°C)..... | 82 |
| Приложение 7. Произведения растворимости некоторых солей (t°=25°C)..... | 82 |
| Приложение 8. Значения стандартных потенциалов некоторых окислительно-восстановительных систем (t°=25°C)..... | 83 |
| Приложение 9. Константы устойчивости комплексных соединений (t°=25°C)..... | 84 |
| Приложение 10. Численные значения коэффициента Стьюдента t _{p,n} | 84 |
| Приложение 11. Численные значения критерия Q _{p,n} | 85 |
| Приложение 12. Численные значения критерия F _{0,95;n} | 85 |
| Приложение 13. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева..... | 86 |
| Приложение 14. Список литературы..... | 87 |

Введение

Настоящее пособие по аналитической химии предназначено для студентов очного обучения по направлению «Педагогическое образование» (профиль «Химия», квалификация «Бакалавр»). Пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Аналитическая химия» с целью облегчения самостоятельной работы студентов.

К каждой теме приводится краткое теоретическое обоснование с примерами решений типовых задач. В конце темы даны задачи и контрольные вопросы для самостоятельной работы обучающихся с целью закрепления знаний, полученных при работе с учебником. Заканчивается пособие вариантами контрольных работ. Каждый вариант контрольной работы содержит три теоретических вопроса и семь задач, охватывающих основные разделы и методы качественного и количественного анализа. В приложении приводятся таблицы, необходимые для решения задач.

I. Чувствительность аналитической реакции.

Чувствительность аналитической реакции определяется ее природой, условиями проведения и наблюдения. Количественно чувствительность реакции характеризуется: открываемым минимумом (m), предельной концентрацией ($c_{\text{пред}}$), предельным разбавлением ($V_{\text{пред}}$) и минимальным объемом предельно разбавленного раствора ($V_{\text{мин}}$). Эти показатели взаимосвязаны (табл.1).

Таблица 1. Количественные характеристики чувствительности аналитической реакции и их взаимосвязь

| Характеристика | Математическое выражение | Единицы измерения |
|---|---|-------------------|
| Открываемый минимум (m) | $m = c_{\text{пред}} \cdot V_{\text{мин}} \cdot 10^{6*}$ $m = \frac{V_{\text{мин}} \cdot 10^6}{V_{\text{пред}}}$ | мкг |
| Предельная концентрация ($c_{\text{пред}}$) | $c_{\text{пред}} = \frac{m}{V_{\text{мин}} \cdot 10^6}$ $c_{\text{пред}} = \frac{1}{V_{\text{пред}}}$ | г/мл |
| Предельное разбавление ($V_{\text{пред}}$) | $V_{\text{пред}} = \frac{V_{\text{мин}} \cdot 10^6}{m}$ $V_{\text{пред}} = \frac{1}{c_{\text{пред}}}$ $V_{\text{пред}} = 1/c_{\text{пред}}$ | мл/г |
| Минимальный объем ($V_{\text{мин}}$) | $V_{\text{мин}} = \frac{m \cdot V_{\text{пред}}}{10^6}$ | мл |

* Примечание: 10^6 – коэффициент для перехода от граммов к микрограммам.

Открываемый минимум (m) – наименьшее количество вещества, которое можно открыть данным реагентом. Реагент – любое химическое соединение, которое с определяемым ионом (компонентом) вступает в реакцию, сопровождающуюся аналитическим эффектом или сигналом (выпадение или растворение осадка, возникновение, изменение или исчезновение окраски, выделение газа и т.д.).

Предельная концентрация ($c_{пред}$) – отношение массы определяемого иона к массе наибольшего количества растворителя, выраженной в тех же единицах. Для воды массу, выраженную в граммах, заменяют на число миллилитров.

Предельное разбавление ($V_{пред}$) – величина, обратная предельной концентрации.

Минимальный объем ($V_{мин}$) предельно разбавленного раствора – объем раствора, содержащий открываемый минимум определяемого иона.

Пример. Предельное разбавление катионов Co^{2+} в растворе составляет 100 000 мл/г. Минимальный объем раствора, необходимый для открытия кобальта капельной реакцией с роданидом калия равен 0,01 мл. Вычислите открываемый минимум.

Р е ш е н и е.

$$m = \frac{V_{мин} \cdot 10^6}{V_{пред}}; m = \frac{0,01 \cdot 10^6}{100000} = 0,1 \text{ мкг.}$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|----------------------|
| 1 | $V_{мин} = 0,01$ мл; $c_{пред} = 10\ 000$ мл/г | m |
| 2 | $m(Na^+) = 0,01$ мкг; $c_{пред} = 20\ 000$ мл/г | $V_{мин}$ |
| 3 | $m(K^+) = 0,1$ мкг; $V_{пред} = 60\ 000$ мл/г | $V_{мин}$ |
| 4 | $c_{пред} = 100\ 000$ мл/г; $m = 0,02$ мкг | $V_{мин}$ |
| 5 | $V_{мин} = 0,05$ мл; $c_{пред} = 10\ 000$ мл/г | m |
| 6 | $m = 0,05$ мкг; $V_{мин} = 0,01$ мл | $c_{пред}, V_{пред}$ |
| 7 | $V_{мин} = 0,002$ мл; $V_{пред} = 20\ 000$ мл/г | m |
| 8 | $V_{мин} = 0,02$ мл; $V_{пред} = 10\ 000$ мл/г | m |
| 9 | $m(Ca^{2+}) = 1,2$ мкг; $V_{мин} = 0,05$ мл | $V_{пред}$ |

Основные вопросы темы:

1. Предмет аналитической химии, ее задачи.
2. Назовите важнейших российских химиков-аналитиков и расскажите об их вкладе в науку.
3. Приведите общую классификацию методов аналитической химии.
4. Дайте определение понятиям «Аналитическая служба», «Химический анализ».

5. Чем характеризуется чувствительность, специфичность и избирательность аналитических реакций? Дайте определения и приведите примеры.
6. Классификация катионов по кислотно-щелочной схеме анализа.
7. Какими способами можно повысить чувствительность аналитических реакций?

II. Способы выражения концентрации растворов.

Концентрация раствора (смеси, сплава) – физическая величина, определяющая его количественный состав. Концентрация раствора вещества показывает отношение количества растворенного вещества к общему количеству раствора или растворителя. Основные способы выражения концентрации растворов, применяемых в аналитической химии, представлены в табл.2.

Таблица 2. Основные способы выражения концентрации растворов

| Символ | Название | Математическое выражение | Единицы измерения |
|----------------|--|--|-------------------|
| 1. $c(B)$ | Молярная концентрация вещества В | $c(B) = \frac{n(B)}{V_{p-pa}}$ | моль/л |
| 2. $c_3(B)$ | Молярная концентрация эквивалентов вещества В | $c_3(B) = \frac{n_3(B)}{V_{p-pa}}$ | моль/л |
| 3. $\omega(B)$ | Массовая доля растворенного вещества В | $\omega(B) = \frac{m(B)}{m_{p-pa}}$ | Безразмерная |
| 4. $c_m(B)$ | Моляльная концентрация вещества В | $c_m(B) = \frac{n(B)}{m_s}$ | моль/кг |
| 5. T_B | Титр раствора вещества В | $T_B = \frac{m(B)}{V_{p-pa}}$ | г/мл |
| 6. $T_{A/B}$ | Титр раствора вещества А по определяемому веществу В | $T_{A/B} = \frac{(c_A \cdot M_B)}{1000}$ | г/мл |
| 7. $\chi(B)$ | Молярная доля растворенного вещества В | $\chi(B) = \frac{n(B)}{\sum n_i}$ | Безразмерная |

1. **Молярная концентрация вещества B , $c(B)$** – отношение количества растворенного вещества (n_B) к объему раствора ($V_{p-ра}$).

2. **Молярная концентрация эквивалентов вещества B , $c_3(B)$** – отношение количества эквивалентов растворенного вещества $n_3(B)$ к объему раствора $V_{p-ра}$.

При расчете молярной концентрации эквивалентов вещества необходимо учитывать природу данного вещества и тип химической реакции, в которой оно участвует.

Эквивалент – условная частица вещества, в z_B раз меньшая, чем соответствующая ей формульная единица (ФЕ). ФЕ – реально существующие частицы, такие как, атомы, молекулы, ионы, радикалы, условные молекулы кристаллических веществ и т.д.

z_B – эквивалентное число или число эквивалентности ($z_B \geq 1$).

$1/z_B$ – фактор эквивалентности, величина обратная числу эквивалентности. Значение z_B определяют по химической реакции, в которой участвует данное вещество.

Например, для реакции: $H_2SO_4 + 2KOH = K_2SO_4 + 2H_2O$, $z(H_2SO_4) = 2$. На 1 ФЕ H_2SO_4 требуется 2 ФЕ KOH , при этом молярная масса эквивалентов вещества $M_3(B) = M(B)/z_B$, в данном случае: $M_3(H_2SO_4) = M(H_2SO_4)/2 = 98 \text{ (г/моль)}/2 = 49 \text{ г/моль}$. Для реакции: $H_2SO_4 + KOH = KHSO_4 + H_2O$, $z(H_2SO_4) = 1$. На 1 ФЕ H_2SO_4 требуется 1 ФЕ KOH , при этом молярная масса эквивалентов серной кислоты $M_3(H_2SO_4) = M(H_2SO_4)/1 = 98 \text{ г/моль}$.

В окислительно-восстановительных реакциях значения z_B для окислителя и восстановителя определяют по числу электронов, которые принимает 1 ФЕ окислителя или отдает 1 ФЕ восстановителя. Например, для реакции: $K_2Cr_2O_7 + 14HCl = 2CrCl_3 + 3Cl_2 \uparrow + 2KCl + 7H_2O$, $z(K_2Cr_2O_7) = z(Cr_2O_7^{2-}) = 6$, а $z(Cr^{3+}) = 3$. Для реакции: $2KMnO_4 + 16HCl = 2MnCl_2 + 5Cl_2 \uparrow + 2KCl + 8H_2O$, $z(KMnO_4) = z(MnO_4^-) = z(Mn^{2+}) = 5$.

3. **Массовая доля растворенного вещества B , $\omega(B)$** – отношение массы растворенного вещества (m_B) к массе раствора ($m_{p-ра}$).

4. **Моляльная концентрация вещества B , $c_m(B)$** – отношение количества растворенного вещества (n_B) к массе растворителя (m_s).

5. **Титр раствора вещества В, T_B** – показывает содержание массы растворенного вещества в граммах в 1 миллилитре раствора.

6. **Титр раствора вещества А по определяемому веществу В, $T_{A/B}$** – показывает какой массе определяемого вещества (В) соответствует 1 мл раствора титранта (А).

7. **Молярная доля растворенного вещества $\chi(B)$** – отношение количества вещества В к общему количеству вещества всей системы ($\sum n_i$).

$$\sum n_i = n_B + n_1 + n_2 + \dots + n_i.$$

Пример 1. В 200 г раствора содержится 20 г NaOH. Рассчитайте массовую долю (%) NaOH в этом растворе.

Р е ш е н и е.

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m_{\text{NaOH}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{20\text{г}}{200\text{г}} \cdot 100\% = 10\%.$$

Пример 2. В 200 мл раствора содержится 40 г NaOH. Рассчитайте молярную концентрацию раствора NaOH.

Р е ш е н и е.

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{40\text{г}}{40\text{г/моль} \cdot 0,2\text{л}} = 5 \text{ (M)}.$$

Пример 3. В 100 мл раствора содержится 10 г H_2SO_4 . Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов раствора H_2SO_4 .

Р е ш е н и е.

$$c_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{10\text{г}}{49\text{г/моль} \cdot 0,1\text{л}} = 2,04 \text{ (M)}.$$

Пример 4. Сколько г KCl содержится в 100 мл его раствора с молярной концентрацией эквивалентов, равной 0,1 моль/л?

Р е ш е н и е.

$$c_{\text{э}}(\text{KCl}) = \frac{n_{\text{э}}(\text{KCl})}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{KCl})}{M_{\text{э}}(\text{KCl}) \cdot V_{\text{р-ра}}}; \Rightarrow$$

$$m(\text{KCl}) = c_{\text{э}}(\text{KCl}) \cdot V_{\text{р-ра}} \cdot M_{\text{э}}(\text{KCl}) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ л} \cdot 39 \text{ г/моль} = 0,39 \text{ г}.$$

Пример 5. Чему равна молярная концентрация 85% раствора серной кислоты, плотность которого равна 1,80 г/мл?

Р е ш е н и е.

Для перехода от массовой доли растворенного вещества (ω_B) к молярной концентрации вещества $c(B)$ применяют формулу:

$$c(B) = \frac{\omega_B(\%) \cdot \rho_{p-pa} \cdot 10}{M(B)} = \frac{85\% \cdot 1,80 \text{ г/мл} \cdot 10}{98 \text{ г/моль}} = 15,6 \text{ моль/л.}$$

Для перехода от массовой доли растворенного вещества (ω_B) к молярной концентрации эквивалентов вещества $c_3(B)$ применяют формулу:

$$c_3(B) = \frac{\omega_B(\%) \cdot \rho_{p-pa} \cdot 10 \cdot z_B}{M(B)}.$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|---|
| 10 | $\text{CaSO}_4; \text{BaCl}_2; \text{FeCl}_3; \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | $M_3(B)$ |
| 11 | $m(\text{BaCl}_2) = 26 \text{ г}; m(\text{H}_2\text{O}) = 98 \text{ г}$ | $\omega(\%)$ |
| 12 | $\omega(\text{KCl}) = 18\%; V(\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ мл}$ | $c(\text{KCl})$ |
| 13 | $m(\text{H}_2\text{O}) = 5000 \text{ г}; m(\text{HCl}) = 200 \text{ г}$ | $\omega(\%)$ |
| 14 | $m(\text{BaCl}_2) = 26 \text{ г}; V(\text{H}_2\text{O}) = 12 \text{ л}$ | $c_3(\text{BaCl}_2)$ |
| 15 | $\omega(\text{HNO}_3) = 38\%; \rho = 1,19 \text{ г/мл}$ | $c(\text{HNO}_3); c_3(\text{HNO}_3)$ |
| 16 | $c_3(\text{KOH}) = 0,01 \text{ моль/л}$ | $M(\text{KOH})$ |
| 17 | $c(\text{KCl}) = 0,02 \text{ моль/л}; V(\text{H}_2\text{O}) = 5 \text{ л}$ | $M(\text{KCl})$ |
| 18 | $\omega(\text{HF}) = 18\%; \rho = 1,05 \text{ г/мл}$ | $c(\text{HF}); c_3(\text{HF})$ |
| 19 | $m(p-pa) = 1424 \text{ г}; m(\text{HNO}_3) = 224 \text{ г}$ | $\omega(\%); c(\text{HNO}_3)$ |
| 20 | $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 32,8\%; \rho = 1,124 \text{ г/мл}; V = 2 \text{ л}$ | $c(\text{H}_2\text{SO}_4); m(\text{H}_2\text{SO}_4)$ |
| 21 | $m(\text{AlCl}_3) = 428 \text{ г}; \rho = 1,193 \text{ г/мл}; V = 1 \text{ л}$ | $c_3(\text{AlCl}_3); \omega(\%)$ |
| 22 | $V = 250 \text{ мл}; c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ моль/л};$ $c_3(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль/л}$ | $m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4);$ $m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ |
| 23 | $\omega(\text{HNO}_3) = 30\%; \rho = 1,1 \text{ г/мл};$ $V = 18 \text{ л}; c(\text{HNO}_3) = 0,2 \text{ моль/л}$ | $V(\text{HNO}_3)$ |
| 24 | $m(\text{NaOH}) = 53,2 \text{ г}; m(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 18,2 \text{ г};$ $V = 1 \text{ л}$ | $c(\text{NaOH});$ $c_3(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$ |

Основные вопросы темы:

1. Что представляет собой концентрация вещества? Что она показывает?
2. Дайте определение молярной концентрации вещества.
3. Чем отличается молярная концентрация эквивалентов вещества от молярной концентрации этого же вещества? Приведите примеры.
4. Сформулируйте понятие массовой доли вещества.
5. Что такое титр раствора вещества и титр по определяемому веществу? Приведите примеры.
6. Перечислите все известные Вам способы выражения концентрации веществ. Напишите их математические выражения.

III. Сильные электролиты. Ионная сила растворов. Вычисление коэффициентов активности и активности ионов.

Электролиты – вещества способные в растворах диссоциировать на ионы. Количественной мерой диссоциации веществ является степень диссоциации (α):

$$\alpha = \frac{\text{число распавшихся на ионы частиц}}{\text{общее число частиц в растворе}}$$

В зависимости от значения α , электролиты разделяют на сильные ($\alpha > 30\%$), средней силы ($5\% < \alpha < 30\%$) и слабые ($\alpha < 5\%$). К растворам сильных электролитов не применим закон действия масс.

Растворы сильных электролитов не являются идеальными, для них необходимо учитывать концентрационную поправку, связывающую общую концентрацию иона (c) с его активностью (a).

Активность иона (a) – эффективная концентрация иона, соответственно которой он действует в химических реакциях: $a = f \cdot c$, где f – коэффициент активности иона. Коэффициент активности иона можно рассчитать, зная ионную силу раствора.

Ионной силой раствора (μ или I) называют величину электрического поля в растворе, которая является мерой электростатического взаимодействия между ионами:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (c_i \cdot z_i^2) = \frac{1}{2} (c_1 \cdot z_1^2 + c_2 \cdot z_2^2 + \dots + c_n \cdot z_n^2), \text{ где:}$$

c_1, c_2, \dots, c_n – молярные концентрации отдельных ионов;

$z_1^2, z_2^2, \dots, z_n^2$ – квадраты зарядов ионов. Коэффициенты активности ионов (f)

можно рассчитать по формулам Дебая-Хюккеля:

$$\lg f = -\frac{1}{2} \cdot z^2 \sqrt{\mu} \quad (\mu < 0,01);$$

$$\lg f = -\frac{1}{2} \cdot \frac{z^2 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \quad (0,1 > \mu > 0,01);$$

$$\lg f = -\frac{1}{2} \cdot \frac{z^2 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} + 0,1 z^2 \mu \quad (\mu > 0,1).$$

Приближенные значения коэффициентов активности ионов при различных значения ионной силы раствора представлены в табл.3.

Таблица 3. Приближенные значения коэффициентов активности ионов (f) при различной ионной силе раствора (μ)

| Заряд иона | Ионная сила раствора, μ | | | | | |
|------------|-----------------------------|------|-------|------|------|------|
| | 0,005 | 0,01 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 |
| 1 | 0,930 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,70 |
| 2 | 0,742 | 0,67 | 0,55 | 0,45 | 0,37 | 0,24 |
| 3 | 0,51 | 0,44 | 0,32 | 0,24 | 0,18 | 0,08 |
| 4 | 0,35 | 0,25 | 0,15 | 0,10 | 0,06 | 0,03 |
| H^+ | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,83 | 0,76 |
| OH^- | 0,926 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,70 |

Пример 1. Вычислите ионную силу раствора $BaCl_2$, концентрация которого равна 0,1 моль/л.

Решение.

$BaCl_2$ – сильный электролит, который диссоциирует в водном растворе практически нацело по уравнению: $BaCl_2 \rightarrow Ba^{2+} + 2Cl^-$.

Находим концентрации ионов Ba^{2+} и Cl^- :

$$[\text{Ba}^{2+}] = c(\text{BaCl}_2) = 0,1 \text{ моль/л}; [\text{Cl}^-] = 2 c(\text{BaCl}_2) = 0,2 \text{ моль/л}.$$

$$\mu = 0,5 \cdot (0,1 \cdot 2^2 + 0,2 \cdot 1^2) = 0,3.$$

Пример 2. Вычислите ионную силу и активность ионов Fe^{3+} в растворе FeCl_3 , концентрация которого равна 0,017 моль/л.

Р е ш е н и е.

FeCl_3 - сильный электролит, запишем уравнение его диссоциации:



$$[\text{Fe}^{3+}] = c(\text{FeCl}_3) = 0,017 \text{ моль/л}; [\text{Cl}^-] = 3 c(\text{FeCl}_3) = 0,051 \text{ моль/л}.$$

$$\mu = 0,5 \cdot (0,017 \cdot 3^2 + 0,051 \cdot 1^2) = 0,102 \approx 0,1.$$

По табл.3 находим значение коэффициента активности, соответствующий 3^x -зарядному иону при ионной силе 0,1 – $f = 0,18$. Рассчитываем активность данного иона: $a(\text{Fe}^{3+}) = f \cdot c = 0,18 \cdot 0,017 = 0,00306$ (моль/л).

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|--|
| 25 | $c(\text{CaCl}_2) = 0,02$ моль/л | μ |
| 26 | $c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = c(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,02$ моль/л | μ |
| 27 | $c(\text{KCl}) = 0,02$ моль/л; $c(\text{AlCl}_3) = 0,01$ моль/л | μ ; $a(\text{Al}^{3+})$ |
| 28 | $c(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л; $c(\text{CaCl}_2) = 0,02$ моль/л | μ ; $a(\text{Ca}^{2+})$ |
| 29 | $m(\text{BaCl}_2) = 8,6$ г; $V = 1$ л | μ |
| 30 | $\mu(\text{FeCl}_3) = 0,08$ | $[\text{Fe}^{3+}]$ |
| 31 | $m(\text{KOH}) = 12$ г; $V = 10$ л | $a(\text{OH}^-)$ |
| 32 | $c_{\text{эк}}(\text{CoCl}_2) = 0,02$ моль/л | $a(\text{Co}^{2+})$; $a(\text{Cl}^-)$ |
| 33 | $\omega(\text{HCl}) = 1,1\%$; $\rho = 1,05$ г/мл | μ |
| 34 | $c(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,06$ моль/л | $a(\text{OH}^-)$ |
| 35 | $m(\text{MgSO}_4) = 12$ г; $V = 1$ л | μ |
| 36 | $\mu(\text{CoCl}_2) = 0,02$ | $[\text{Co}^{2+}]$; $[\text{Cl}^-]$ |

Основные вопросы темы:

1. Что представляют собой электролиты? Приведите примеры.

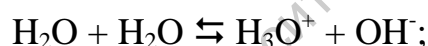
2. Как классифицируют электролиты по их силе? Какой количественный параметр лежит в основе этой классификации?
3. Чем характеризуются растворы сильных электролитов?
4. Дайте определение понятию ионной силы раствора. Напишите математическое выражение.
5. Дайте определение активности и коэффициенту активности иона. Как они вычисляются?
6. Приведите формулы расчета коэффициентов активности ионов.

IV. Ионное произведение воды. Водородный и гидроксильный показатели.

Расчет pH (pOH) в растворах сильных электролитов.

Вода, важнейший растворитель в химии, относится к амфолитам и вступает в реакцию автопротолиза (самодиссоциация).

Реакция автопротолиза воды представлена следующим уравнением:



или в упрощенном виде:



Вода – слабый электролит, поэтому к реакции диссоциации воды применим закон действия масс:

$$K_{\text{равн}}(25^\circ\text{C}) = \frac{[\text{H}^+]\cdot[\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,6 \cdot 10^{-16}.$$

Поскольку концентрация недиссоциированных молекул воды остается величиной практически постоянной (~ 55 моль/л), то выражение для константы диссоциации воды упрощается:

$$K_{\text{w}} = [\text{H}^+]\cdot[\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}.$$

Константу K_{w} называют константой ионного произведения воды или константой автопротолиза воды.

Водородный показатель (pH) – отрицательный десятичный логарифм активности протонов в растворе: $\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+)$.

Гидроксильный показатель (рОН) – отрицательный десятичный логарифм активности гидроксильных ионов в растворе: $pOH = -\lg a(OH^-)$.

При решении задач в ряде случаев удобно пользоваться следующими упрощенными формулами: $pH = -\lg[H^+]$; $pOH = -\lg[OH^-]$; $[H^+][OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$; $pH + pOH = 14$.

Пример 1. Рассчитайте концентрацию катионов водорода в растворе, рН которого равен 5,6.

Р е ш е н и е.

$$pH = -\lg[H^+]; [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-5,6} = 2,5 \cdot 10^{-6}.$$

Пример 2. Активность протонов в растворе равна $5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Рассчитайте рН и рОН.

Р е ш е н и е.

$$pH = -\lg a(H^+) = -\lg 5 \cdot 10^{-2} = 2 - \lg 5 = 1,31.$$

$$pOH = 14 - pH = 14 - 1,31 = 12,69.$$

Концентрацию и активность протонов и гидроксильных ионов, а также рН и рОН в растворах сильных электролитов (кислот и оснований) рассчитывают с учетом ионной силы раствора, если общая концентрация данного электролита превышает $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л (такие растворы не являются идеальными).

Пример 3. Вычислите рН раствора HCl с концентрацией 0,1 моль/л.

Р е ш е н и е.

Хлороводородная кислота (HCl) - сильный электролит:



Рассчитаем ионную силу раствора: $\mu = 0,5 \cdot (0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,1$. По значению ионной силы раствора находим в табл.3 коэффициент активности для протона: $f(H^+) = 0,83$. Тогда активность протонов в 0,1 М растворе HCl равна: $a(H^+) = f(H^+) \cdot C(HCl) = 0,83 \cdot 0,1 = 8,3 \cdot 10^{-2}$ (моль/л).

Рассчитываем водородный показатель: $pH = -\lg a(H^+) = -\lg(8,3 \cdot 10^{-2}) = 2 - \lg 8,3 = 1,17$.

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|-------------------------|
| 37 | pH = 4,34 | [H ⁺] |
| 38 | [OH ⁻] = 2,2 · 10 ⁻⁴ моль/л | pOH; pH |
| 39 | a(H ⁺) = 1,6 · 10 ⁻⁸ моль/л | a(OH ⁻); pH |
| 40 | pOH = 2,8 | [OH ⁻] |
| 41 | a(H ⁺) = 5,6 · 10 ⁻⁸ моль/л | [OH ⁻]; pH |
| 42 | [OH ⁻] = 3,2 · 10 ⁻⁴ моль/л | [H ⁺]; pH |

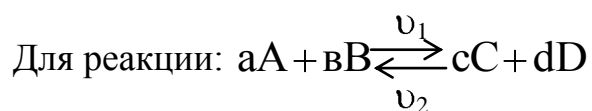
Основные вопросы темы:

1. Почему вода относится к амфолитам? Что представляет собой автопротолиз воды? Напишите соответствующее уравнение химической реакции.
2. Напишите формулу и укажите численное значение ионного произведения воды.
3. Что такое водородный и гидроксильный показатели? Как их вычисляют?
4. Какую величину называют термодинамическим ионным произведением воды?
5. Какие факторы влияют на величину ионного произведения воды?

V. Слабые электролиты

Расчет pH в растворах слабых электролитов.

Растворы слабых электролитов подчиняются *закону действия масс* (ЗДМ): скорость химической реакции прямо пропорциональна концентрациям реагирующих веществ возведенных в степень, равную их стехиометрическим коэффициентам.



$$v_1 = k_1 \cdot [A]^a \cdot [B]^b; v_2 = k_2 \cdot [C]^c \cdot [D]^d; \text{ где:}$$

k_1 и k_2 – константы скорости прямой и обратной реакции соответственно.

Константа равновесия реакции имеет вид:

$$K_{\text{равн}} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

Слабые электролиты подчиняются **закону разбавления (разведения)**

Оствальда: для растворов слабых электролитов соотношение степени диссоциации (α) и разведения (разбавления) при данной температуре остается постоянным:

$$K_{\text{д}} = \frac{\alpha^2 \cdot c}{1 - \alpha}, \text{ где:}$$

α - степень диссоциации слабого электролита; c – молярная концентрация; $K_{\text{д}}$ – константа диссоциации данного электролита (не зависит от его концентрации).

Если степень диссоциации слабого электролита мала ($\alpha < 5\%$), то формула упрощается: $K_{\text{д}} = \alpha^2 \cdot c$ или $\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{д}}}{c}}$.

Пример. Вычислите степень диссоциации раствора HCN, с концентрацией 0,1 моль/л. $K_{\text{д}} = 4,9 \cdot 10^{-10}$.

Р е ш е н и е.

Поскольку HCN электролит слабый, то степень ее диссоциации можно рассчитать по упрощенной формуле закона разведения Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{д}}}{c(\text{HCN})}} = \sqrt{\frac{4,9 \cdot 10^{-10}}{0,1}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ или } 7 \cdot 10^{-3}\%.$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|-----------------------|
| 43 | $c(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,2$ моль/л; $K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ | α |
| 44 | $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2$ моль/л; $K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ | α |
| 45 | $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-2}$; $K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ | [OH ⁻] |
| 46 | $c(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л; $\alpha = 56\%$ | pH; [H ⁺] |
| 47 | $c(\text{HCOOH}) = 0,1$ моль/л; $K_{\text{д}}(\text{HCOOH}) = 1,7 \cdot 10^{-14}$ | α |

Основные вопросы темы:

1. Сформулируйте закон действия масс и запишите его математическое выражение. К каким системам применим этот закон?

2. В чем заключается физический смысл константы скорости и константы равновесия химической реакции?
3. Дайте определение скорости химической реакции.
4. Какие факторы влияют на константу равновесия химической реакции? Приведите примеры.
5. Что такое условная кажущаяся степень диссоциации вещества?
6. Сформулируйте закон разведения Оствальда. Напишите его математическое выражение.
7. Приведите примеры влияния различных факторов на состояние химического равновесия. Сформулируйте принцип Ле-Шателье.

Расчет pH растворов слабых кислот и оснований.

Концентрацию катионов водорода и pH в растворах слабых кислот и оснований можно рассчитать с учетом их степени диссоциации.

Пример 1. Рассчитайте pH раствора HCN, с концентрацией 0,2 моль/л, если степень диссоциации кислоты (α) равна 0,1%.

Р е ш е н и е.

Запишем уравнение диссоциации слабой одноосновной кислоты:



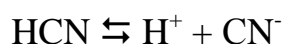
Исходя из понятия степени диссоциации кислоты можно записать:

$[\text{H}^+] = \alpha \cdot c_{\text{HCN}} = 0,001 \cdot 0,2 = 2 \cdot 10^{-4}$ (моль/л). Тогда $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 2 \cdot 10^{-4} = 4 - \lg 2 = 4 - 0,15 = 3,85$.

Расчет $[\text{H}^+]$ и pH растворов слабых кислот и оснований можно проводить, применяя значения констант их диссоциации (степень диссоциации не должна превышать 5%). Варианты расчета $[\text{H}^+]$ и pH для растворов слабых кислот и оснований приводятся в табл.4.

Пример 2. Вычислите концентрацию катионов водорода и pH 0,1 молярного раствора HCN. $K_d = 4,9 \cdot 10^{-10}$.

Р е ш е н и е.



По табл.4 находим формулу для вычисления $[H^+]$ растворов слабых кислот: $[H^+]^+ = \sqrt{K_D(НА) \cdot c(НА)} = \sqrt{4,9 \cdot 10^{-10} \cdot 0,1} = 7 \cdot 10^{-6}$ (моль/л). Затем рассчитываем рН: $pH = -\lg[H^+] = -\lg 7 \cdot 10^{-6} = 6 - \lg 7 = 6 - 0,84 = 5,16$. рН раствора синильной кислоты можно также рассчитать, если воспользоваться формулой из табл.4 логарифмического вида: $pH = \frac{1}{2}(pK_{НА} - c_{НА})$.

Таблица 4. Варианты расчета $[H^+]$ и рН для слабых кислот и оснований

| Система | Уравнение | $[H^+]$ | рН |
|---|---|--|---|
| 1. Слабая кислота (НА) | $НА \rightleftharpoons H^+ + A^-$ | $\sqrt{K_{НА} \cdot c_{НА}}$ | $\frac{1}{2}(pK_{НА} - c_{НА})$ |
| 2. Слабое основание (ВОН) | $ВОН \rightleftharpoons B^+ + OH^-$ | $\frac{K_w}{\sqrt{K_{ВОН} \cdot c_{ВОН}}}$ | $14 - \frac{1}{2}(pK_{ВОН} - c_{ВОН})$ |
| 3. Слабая кислота (НА) и др. сильный электролит | $НА \rightleftharpoons H^+ + A^-$ $MeA \rightarrow Me^+ + A^-$ | $\sqrt{\frac{K_{НА} \cdot c_{НА}}{f^2}}$ | $\lg f + \frac{1}{2}(pK_{НА} - c_{НА})$ |

Пример 3. Вычислите концентрацию ионов $[H^+]$, $[OH^-]$ и рН 0,1 молярного раствора аммиака. $K_D = 1,76 \cdot 10^{-5}$.

Решение.



По табл.4 находим формулу для вычисления $[H^+]$ растворов слабых оснований: $[H^+]^+ = \frac{K_w}{\sqrt{K_{ВОН} \cdot c_{ВОН}}} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{\sqrt{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}} = 7,58 \cdot 10^{-12}$ (моль/л).

Рассчитываем $[OH^-]$: $[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{7,58 \cdot 10^{-12}} = 1,32 \cdot 10^{-3}$ (моль/л); и рН:

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 7,58 \cdot 10^{-12} = 12 - \lg 7,58 = 12 - 0,88 = 11,12.$$

Водородный показатель раствора аммиака можно также рассчитать, применяя логарифмическую формулу (табл.4).

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|---------------------------------------|
| 48 | $c(\text{HCOOH}) = 0,1$ моль/л; $K_d(\text{HCOOH}) = 1,7 \cdot 10^{-14}$ | $[\text{H}^+]$; pH |
| 49 | $c(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,2$ моль/л; $K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ | $[\text{H}^+]$; $[\text{OH}^-]$; pH |
| 50 | $c(\text{HCOOH}) = 0,02$ моль/л; $c(\text{HCN}) = 0,4$ моль/л; $K_d(\text{HCOOH}) = 1,7 \cdot 10^{-14}$; $K_d(\text{HCN}) = 4,9 \cdot 10^{-10}$ | $[\text{H}^+]$; pH |
| 51 | $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2$ моль/л; $K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ | $[\text{H}^+]$; pH |
| 52 | $c(\text{HCN}) = 0,1$ моль/л; $c(\text{NaCl}) = 0,2$ моль/л; $K_d(\text{HCN}) = 4,9 \cdot 10^{-10}$ | $[\text{H}^+]$; pH |

Расчет pH буферных растворов.

Буферные растворы - это растворы, которые сохраняют постоянство значения pH при добавлении к ним небольших количеств сильной кислоты, щелочи или при разбавлении. Основные типы буферных растворов и формулы расчета $[\text{H}^+]$ и pH в таких системах представлены в табл.5.

Пример 1. Вычислите pH буферного раствора, в котором концентрация уксусной кислоты равна 0,1 моль/л, а концентрация ацетата натрия 0,02 моль/л. $pK(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76$.

Р е ш е н и е.

В табл.5 находим формулу для вычисления pH буферных растворов, образованных слабой кислотой и солью этой слабой кислоты:

$$pH = pK_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}} = 4,76 - \lg \frac{0,1}{0,02} = 4,76 - \lg 5 = 4,06.$$

Пример 2. Рассчитайте pH буферного раствора, составленного из 0,1 молярного раствора Na_2CO_3 и 0,2 молярного NaHCO_3 . $pK(\text{HA}^-) = 10,32$.

Р е ш е н и е.

В табл.5 находим формулу для вычисления pH буферных растворов, образованных из средней и кислой соли слабой двухосновной кислоты и рассчитываем pH:

$$pH = pK_{\text{HA}^-} - \lg \frac{c_{\text{A}^{2-}}}{c_{\text{HA}^-}} = pH = 10,32 + \lg \frac{0,1}{0,2} = 10,02.$$

Таблица 5. Варианты расчета $[H^+]$ и pH для буферных растворов

| Тип буферного раствора (пример) | Расчет | |
|--|--|---|
| | $[H^+]$ | pH |
| 1. Слабая кислота + соль слабой кислоты (HCN + KCN) | $\frac{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}}$ | $pK_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}}$ |
| 2. Слабое основание + соль слабого основания (NH ₄ OH + NH ₄ Cl) | $\frac{K_{\text{осн}} \cdot c_{\text{осн}}}{K_w \cdot c_{\text{соли}}}$ | $14 - pK_{\text{осн}} + \lg \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}}$ |
| 3. Смесь средней и кислой соли слабой кислоты (Na ₂ S + NaHS) | $\frac{K_{\text{HA}^-} \cdot c_{\text{HA}^-}}{c_{\text{A}^{2-}}}$ | $pK_{\text{HA}^-} + \lg \frac{c_{\text{A}^{2-}}}{c_{\text{HA}^-}}$ |
| 4. Смесь двух кислых солей слабой кислоты (Na ₂ HPO ₄ + NaH ₂ PO ₄) | $\frac{K_{\text{H}_2\text{A}^-} \cdot c_{\text{H}_2\text{A}^-}}{c_{\text{HA}^{2-}}}$ | $pK_{\text{H}_2\text{A}^-} + \lg \frac{c_{\text{HA}^{2-}}}{c_{\text{H}_2\text{A}^-}}$ |

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|-------|
| 53 | $c(\text{HCOOH}) = 0,03$ моль/л; $c(\text{HCOONa}) = 0,02$ моль/л; | pH |
| 54 | $c(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,2$ моль/л; $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,04$ моль/л; | pH |
| 55 | $c(\text{HCN}) = 0,2$ моль/л, $V(\text{HCN}) = 20$ мл + + $c(\text{KCN}) = 0,01$ моль/л, $V(\text{KCN}) = 30$ мл | pH |
| 56 | $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,01$ моль/л; $c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,03$ моль/л; | pH |

Основные вопросы темы:

1. Какие растворы называются буферными? Для каких целей они применяются?
2. В чем заключается механизм буферного действия?
3. Что называется буферной емкостью? Как ее рассчитывают?
4. От каких факторов зависит буферная емкость растворов?
5. Приведите примеры основных типов буферных растворов.

Расчет pH в растворах солей, подвергающихся гидролизу.

Гидролиз – реакция взаимодействия ионов растворенной соли с молекулами воды. Гидролиз является частным случаем более общего понятия – сольволиза (взаимодействие ионов соли с молекулами растворителя). Существуют две основные количественные характеристики гидролиза: степень (h) и константа (K_r) гидролиза.

Степень гидролиза показывает отношение концентрации гидролизованной части соли к ее общей молярной концентрации в данном растворе:

$$h = \frac{C_{\text{гидр.}}}{C_{\text{общ.}}}$$

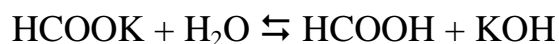
Гидролизу подвергаются соли, анион и (или) катион которых, образованы слабой кислотой (CH_3COONa , KCN , Na_3PO_4 , K_2CO_3) или слабым основанием (FeCl_3 , CuSO_4 , NH_4Cl , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, ZnCl_2) соответственно. Соли, образованные сильным и кислотой, и основанием, гидролизу не подвергаются (NaCl , KNO_3 , BaCl_2 , Na_2SO_4 и т.д.).

Формулы расчета константы гидролиза (K_r), степени гидролиза (h), а также $[\text{H}^+]$ и pH представлены в табл.6.

В ряде случаев, для многоосновных слабых кислот и оснований, расчет степени гидролиза и pH необходимо проводить с учетом констант гидролиза по первой, второй или третьей ступени.

Пример 1. Вычислите константу и степень гидролиза 0,1 молярного раствора HCOOK , если $K_d(\text{HCOOH}) = 1,8 \cdot 10^{-4}$.

Р е ш е н и е.



В табл.6 находим формулу для вычисления соответствующих количественных характеристик для солей, образованных слабой одноосновной кислотой и сильным основанием.

$$K_r = \frac{K_w}{K_{\text{HCOOH}}} = \frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-4}} = 5,6 \cdot 10^{-11}$$

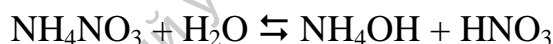
$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{соли}}}} = \sqrt{\frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1}} = 2,37 \cdot 10^{-5} \text{ или } 2,37 \cdot 10^{-3}\%$$

Таблица 6. Варианты расчета K_r , h , $[H^+]$ и pH гидролизующихся солей

| Тип соли | K_r | h | $[H^+]$ | pH |
|--------------------|--|--|--|---|
| KCN | $\frac{K_w}{K_{\text{кисл}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{соли}}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w \cdot K_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}}}$ | $7 + \frac{1}{2}(pK_{\text{кисл}} + \lg c_{\text{соли}})$ |
| NH ₄ Cl | $\frac{K_w}{K_{\text{осн}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{осн}} \cdot c_{\text{соли}}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w \cdot c_{\text{соли}}}{K_{\text{осн}}}}$ | $7 - \frac{1}{2}(pK_{\text{осн}} + \lg c_{\text{соли}})$ |
| NH ₄ CN | $\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot K_{\text{осн}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot K_{\text{осн}}}}$ | $\sqrt{\frac{K_w \cdot K_{\text{кисл}}}{K_{\text{осн}}}}$ | $7 + \frac{1}{2}(pK_{\text{кисл}} - pK_{\text{осн}})$ |

Пример 2. Рассчитайте pH раствора нитрата аммония, концентрация которого равна 0,01 моль/л.

Р е ш е н и е.



NH₄NO₃ – соль, образованная слабым однокислотным основанием и сильной кислотой. В табл.6 находим формулу для вычисления pH соответствующих солей. $pH = 7 - \frac{1}{2}(pK_{\text{осн}} + \lg c_{\text{соли}}) = 7 - \frac{1}{2}(4,76 + \lg 0,01) = 5,62$.

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|--------------|
| 57 | $c(NH_4Cl) = 0,1$ моль/л; $K_d(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ | K_r ; h |
| 58 | $c(HCOOK) = 0,002$ моль/л; $K_d(HCOOH) = 1,8 \cdot 10^{-4}$ | K_r ; h |
| 59 | $c(KClO) = 0,001$ моль/л; $K_d(HClO) = 5 \cdot 10^{-8}$ | pH ; pOH |
| 60 | $c(NH_4NO_3) = 0,1$ моль/л; $K_d(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ | K_r ; h |
| 61 | $c(CH_3COONH_4) = 0,01$ моль/л; $K_d(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ $K_d(CH_3COOH) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ | pH |

Основные вопросы темы:

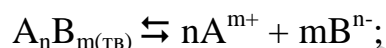
1. Какая реакция называется гидролизом?
2. Какими количественными характеристиками характеризуется гидролиз?

Напишите их математические выражения и дайте определения.

3. Напишите уравнения гидролиза фосфата калия, сульфата алюминия и ацетата меди.
4. Как вычисляется рН в растворах солей, подвергающихся гидролизу?
5. Какие факторы влияют на степень гидролиза солей?

VI. Равновесие в гетерогенной системе. Произведение растворимости.

К реакциям образования малорастворимых соединений (осадков) применим закон действующих масс. Для реакции:



константа равновесия выражается уравнением:

$$K_{равн} = \frac{[A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m}{[A_n B_m]}.$$

Поскольку равновесная концентрация твердой фазы в насыщенном растворе остается величиной практически постоянной, то константу равновесия в гетерогенной системе называют произведением растворимости (ПР) и математическое выражение для нее упрощается:

$$ПР = [A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m$$

Для более точного вычисления величины произведения растворимости следует пользоваться не концентрациями ионов, а их активностями, так как в растворе электролита действуют электростатические силы взаимодействия. В этом случае выражение для ПР приобретает вид:

$$ПР = (a_{A^{m+}})^n \cdot (a_{B^{n-}})^m.$$

Поскольку активность иона (a) равна произведению его равновесной концентрации на коэффициент активности $a(A) = [A]f_A$, то:

$$IP^T = [A^{m+}]^n \cdot f_{A^{m+}}^n \cdot [B^{n-}]^m \cdot f_{B^{n-}}^m$$

В насыщенных растворах малорастворимых электролитов концентрации ионов малы, поэтому и сила их электростатического взаимодействия выражена настолько слабо, что без заметной погрешности можно принять коэффициенты активности $f_a \approx 1$. Поэтому, при решении задач обычно пользуются правилом произведения растворимости в его упрощенной форме. Учет коэффициентов активности ионов осуществляют согласно условию задачи, например, при решении задач на солевой эффект. **Солевым эффектом** называют повышение растворимости малорастворимых электролитов при добавлении к их насыщенному раствору постороннего сильного электролита, не содержащего одноименные ионы.

Константа произведения растворимости может быть представлена активностью (термодинамическая IP^T), равновесной (концентрационная IP^K) или общей молярной концентрацией (условная IP^y) иона в растворе.

Правило произведения растворимости: произведение активностей ионов, возведенных в степень их стехиометрических коэффициентов, в насыщенном растворе малорастворимого электролита есть величина постоянная при данной температуре в данном растворителе.

Насыщенный раствор – раствор, находящийся в состоянии химического динамического равновесия с соответствующей твердой фазой.

Произведение растворимости осадков связано с их растворимостью. Под **растворимостью** малорастворимых электролитов понимают их общую концентрацию в насыщенном растворе. Различают молярную растворимость веществ S (моль/л) и массовую растворимость P (г/л). Молярная растворимость осадков связана с величиной их произведения растворимости соотношением:

$$S = (n+m) \sqrt{\frac{IP}{n \cdot m}}, \text{ где:}$$

n и m – стехиометрические коэффициенты или заряды ионов осадка.

Условия образования осадков. Осадок в растворе образуется при условии, что ионное произведение (ИП) больше произведения растворимости: $IP >$

ПР. Ионное произведение осадка – произведение равновесных концентраций ионов данного осадка.

Пример 1. В 1 л насыщенного раствора содержится $1,196 \cdot 10^{-11}$ г сульфида свинца. Вычислите произведение растворимости PbS.

Р е ш е н и е.



$\text{ПР}_{\text{PbS}} = [\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}]$. По уравнению реакции видно, что $[\text{Pb}^{2+}] = [\text{S}^{2-}] = S_{\text{PbS}}$.

$$S(\text{PbS}) = \frac{m(\text{PbS})}{M(\text{PbS}) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{1,196 \cdot 10^{-11} \text{ г}}{239 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} = 5 \cdot 10^{-14} \text{ (моль/л)}.$$

$$\text{ПР}_{\text{PbS}} = [\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}] = S^2 = (5 \cdot 10^{-14})^2 = 2,5 \cdot 10^{-27}.$$

Пример 2. Произведение растворимости сульфида висмута (III) равно $1 \cdot 10^{-97}$. Рассчитайте молярную и массовую растворимость сульфида висмута в насыщенном растворе.

Р е ш е н и е.



$\text{ПР}(\text{Bi}_2\text{S}_3) = [\text{Bi}^{3+}]^2[\text{S}^{2-}]^3$. Молярную растворимость сульфида висмута рассчитываем по формуле:

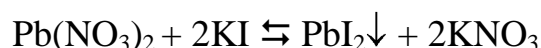
$$S(\text{Bi}_2\text{S}_3) = (3+2) \sqrt{\frac{\text{ПР}(\text{Bi}_2\text{S}_3)}{3^3 \cdot 2^2}} = 5 \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-97}}{108}} = 1,933 \cdot 10^{-20} \text{ (моль/л)}.$$

Массовая растворимость (P) связана с молярной растворимостью соотношением: $P(\text{B}) = S(\text{B}) \cdot M(\text{B})$. Тогда:

$$P(\text{Bi}_2\text{S}_3) = S(\text{Bi}_2\text{S}_3) \cdot M(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 1,933 \cdot 10^{-20} \cdot 514 = 9,94 \cdot 10^{-18} \text{ (г/л)}$$

Пример 3. Выпадет ли осадок PbI_2 , при сливании 10 мл 0,1 молярного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и 5 мл 0,02 молярного раствора KI? $\text{ПР}(\text{PbI}_2) = 1 \cdot 10^{-9}$.

Р е ш е н и е.



Рассчитаем молярные концентрации катионов свинца и иодид-ионов после смешивания растворов по формуле $c_1 V_1 = c_2 V_2$. Общий объем раствора $V = 10 + 5 = 15$ мл.

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{10 \cdot 0,1}{15} = 6,7 \cdot 10^{-2} \text{ (моль/л)}; [\text{I}^-] = \frac{5 \cdot 0,02}{15} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}.$$

Рассчитаем ионное произведение ионов:

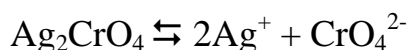
$$\text{ИП} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2 = (6,7 \cdot 10^{-2}) \cdot (6,6 \cdot 10^{-3})^2 = 2,91 \cdot 10^{-6}.$$

Поскольку ИП ($2,91 \cdot 10^{-6}$) > ПР ($1 \cdot 10^{-9}$), следовательно, осадок иодида свинца образуется.

Пример 4. Во сколько раз растворимость Ag_2CrO_4 в 0,1 М растворе AgNO_3 меньше, чем в чистой воде? $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$.

Р е ш е н и е.

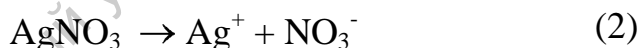
1) Вычислим растворимость хромата серебра в чистой воде.



Пусть молярная растворимость Ag_2CrO_4 равна x , тогда согласно уравнению реакции диссоциации равновесная концентрация ионов серебра в растворе $[\text{Ag}^+] = 2x$, $[\text{CrO}_4^{2-}] = x$. $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot x = 4x^3$.

$$S_1 = x = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{4}} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ (моль/л)}.$$

2) Вычислим растворимость хромата серебра в 0,1 М растворе нитрата серебра.



В этом случае концентрация ионов серебра равна сумме концентраций ионов серебра, образующихся в результате диссоциации хромата серебра и нитрата серебра. Однако при диссоциации сильного электролита (AgNO_3) катионов серебра образуется значительно больше, чем при диссоциации слабого электролита (Ag_2CrO_4). Поэтому без большой погрешности можно принять, в соответствии с уравнением (2), что: $[\text{Ag}^+] \approx c(\text{AgNO}_3) = 0,1$ моль/л. Тогда: $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}]$, $1,1 \cdot 10^{-12} = (0,1)^2 \cdot x$,

$$S_2 = x = \frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{0,01} = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ (моль/л)}.$$

3) Рассчитаем во сколько раз растворимость Ag_2CrO_4 в присутствии нитрата серебра меньше, чем в чистой воде.

$$n = \frac{S_1}{S_2} = \frac{6,5 \cdot 10^{-5}}{1,1 \cdot 10^{-10}} = 5,9 \cdot 10^5 \text{ раз.}$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|------------------------------|
| 62 | $P(\text{PbSO}_4) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$ | $S(\text{PbSO}_4)$ |
| 63 | $P(\text{CaSO}_3) = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$ | $PP(\text{CaSO}_3)$ |
| 64 | $V(\text{AgNO}_3) = 20 \text{ мл}, c(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль/л}; V(\text{KCl}) = 25 \text{ мл}, c(\text{KCl}) = 0,02 \text{ моль/л. } PP(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-10}$ | Выпадет ли осадок |
| 65 | $PP(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-10}, c(\text{NaCl}) = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ | $S(\text{AgCl})$ |
| 66 | $PP(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 9 \cdot 10^{-12}$ | $S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$ |
| 67 | $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,005 \text{ моль/л}, PP(\text{PbSO}_4) = 1,6 \cdot 10^{-8}$ | $S(\text{PbSO}_4)$ |

P – массовая растворимость, г/л

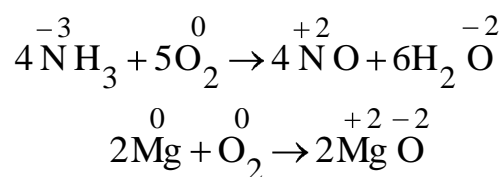
Основные вопросы темы:

1. Как формулируется правило произведения растворимости?
2. Каковы условия выпадения осадков?
3. К каким системам применяется правило произведения растворимости?
4. Выведите полную и упрощенную формулу произведения растворимости на конкретном примере.
5. Как по известной константе произведения растворимости вычислить молярную (моль/л) и массовую (г/л) растворимость?
6. Какое количество осадителя необходимо для полного осаждения определяемого иона? Приведите примеры.

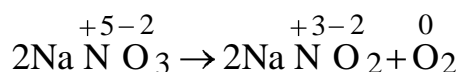
VII. Окислительно-восстановительные реакции.

Окислительно-восстановительная реакция - реакция, протекающая с изменением степени окисления атомов химических элементов, входящих в состав молекул реагирующих веществ. Все окислительно-восстановительные реакции делятся на три основные группы: межмолекулярные, внутримолекулярные и реакции диспропорционирования.

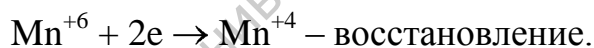
В межмолекулярных окислительно-восстановительных реакциях окислитель и восстановитель находятся в молекулах (или атомах) разных веществ, например:



Внутримолекулярные окислительно-восстановительные реакции протекают с изменением степени окисления атомов химических элементов в одной и той же молекуле. В этом случае атом с большей положительной степенью окисления будет окислять другой атом с меньшей степенью окисления, например:



Реакции диспропорционирования сопровождаются одновременным увеличением и уменьшением степени окисления атомов одного и того же химического элемента:



В этой реакции в двух ионах MnO_4^{2-} атомы марганца отдают по одному электрону, а в третьем ионе MnO_4^{2-} атом марганца принимает два электрона, т.е. манганат (VI) калия (K_2MnO_4) выступает и как окислитель, и как восстановитель.

Направление окислительно-восстановительных реакций. О направлении окислительно-восстановительных реакций можно судить по значениям стандартных окислительно-восстановительных потенциалов (E°). Реакция окисления-восстановления протекает в заданном направлении в том случае, когда разность между окислительно-восстановительными потенциалами окислителя (Ox) и восстановителя (Red) будет величиной положительной:

$$\text{ЭДС}(E) = E^\circ \text{Ox} - E^\circ \text{Red} > 0.$$

Пример 1. Может ли протекать реакция $2\text{I}^- + 2\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{Fe}^{2+}$ в прямом направлении? $E^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0,77\text{В}$; $E^\circ(\text{I}_2/2\text{I}^-) = +0,54\text{В}$.

Р е ш е н и е.

Рассчитаем разность стандартных окислительно-восстановительных потенциалов данной системы: $E = E^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) - E^\circ(\text{I}_2/2\text{I}) = 0,77 - 0,54 = 0,23\text{В}$. Т.к. величина разности потенциалов > 0 , то реакция будет протекать в прямом направлении при стандартных условиях. Если составить из данных пар гальванический элемент, то отрицательным электродом будет служить пара $(\text{I}_2/2\text{I})$, а положительным - пара $(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})$.

Большинство окислительно-восстановительных реакций протекает в условиях, отличных от стандартных. В данном случае нельзя применять значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов для оценки направленности этих реакций, а рассчитывают реальные Red-Ox потенциалы. Количественная зависимость реальных окислительно-восстановительных потенциалов (E) от стандартных потенциалов (E°) описывается уравнением Нернста:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}, \text{ где:}$$

R – универсальная газовая постоянная ($8,3143 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$); T – абсолютная температура (К); F – число Фарадея (96500 Кл); n – количество электронов, участвующих в окислительно-восстановительной полуреакции; $[\text{Ox}]$ и $[\text{Red}]$ – равновесные концентрации окисленной и восстановленной форм соответственно.

Подставив числовые значения констант и, перейдя к десятичному логарифму, получается выражение наиболее удобное для расчетов:

$$E = E^\circ + \frac{0,059}{n} \lg \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}.$$

Пример 2. Чему равен равновесный (реальный) потенциал для окислительно-восстановительной пары $(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})$ при концентрациях: $[\text{Fe}^{3+}] = 0,0001 \text{ моль/л}$; $[\text{Fe}^{2+}] = 0,1 \text{ моль/л}$?

Р е ш е н и е.

По уравнению Нернста рассчитываем значение равновесного потенциала Red-Ox пары:

$$E(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) + \frac{0,059}{1} \lg \frac{1 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 0,77 - 0,177 = 0,593 \text{ (В)}.$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|------------------------------------|
| 68 | $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{NaCl} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 +$ $+ \text{MnSO}_4 + \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ $+ \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{I}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KIO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{FeCl}_2 + \text{HClO} + \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | Расставить коэффициенты |
| 69 | $[\text{Fe}^{3+}] = 0,42$ моль/л; $[\text{Fe}^{2+}] = 0,12$ моль/л | $E(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})$ |
| 70 | $[\text{Sn}^{4+}] = 0,26$ моль/л; $[\text{Sn}^{2+}] = 0,04$ моль/л | $E(\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+})$ |
| 71 | $[\text{MnO}_4^-] = 0,18$ моль/л; $[\text{Mn}^{2+}] = 0,32$ моль/л; $[\text{H}^+] = 0,1$ моль/л | $E(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+})$ |
| 72 | $[\text{Zn}^{2+}] = 0,2$ моль/л; | $E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$ |

Основные вопросы темы:

1. Какие реакции называются окислительно-восстановительными?
2. Какие типы окислительно-восстановительных реакций Вам известны?

Приведите соответствующие примеры.

3. Что представляет собой стандартный водородный электрод? Объясните его устройство. Чему равен потенциал стандартного водородного электрода?

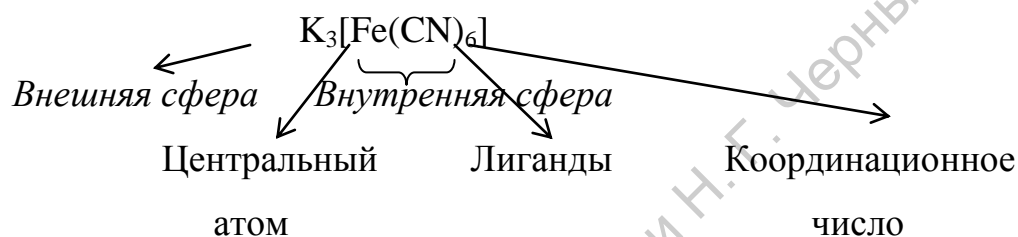
4. Какой потенциал называется стандартным окислительно-восстановительным потенциалом данной Red-Ox пары?

5. Чем различаются стандартный и реальный потенциалы окислительно-восстановительной пары?

6. Какую зависимость устанавливает уравнение Нернста? Напишите его математическое выражение.

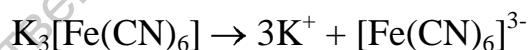
VIII. Реакции в растворах комплексных соединений.

Согласно теории строения комплексных соединений, предложенной в 1983 г. швейцарским химиком Вернером, **комплексное соединение** – это молекулярная частица, состоящая из способных к независимому существованию центрального атома (комплексообразователя) и лигандов.



Для гексацианоферрата (III) калия комплексная частица – это анион $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, в котором комплексообразователь – катион железа (Fe^{3+}), а лиганды – цианид-анионы (CN^-).

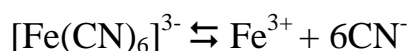
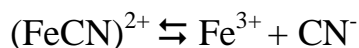
Комплексные соединения подвергаются в растворах первичной и вторичной диссоциации. Первичная диссоциация протекает по внутренней и внешней сфере комплексного соединения, как правило, необратимо (по типу сильных электролитов):



Вторичная диссоциация сопровождается отрывом в растворах лигандов от комплексной частицы. Данный процесс является обратимым, и к нему применим закон действующих масс.



.....

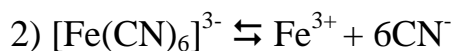
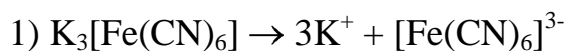


Суммарная константа равновесия данного процесса может быть представлена константой устойчивости (K) или константой нестойкости ($K_{\text{н}}$) комплексного соединения, причем $K = 1/K_{\text{н}}$:

$$K_{\text{H}} = \frac{[\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{CN}^{-}]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}} = 1 \cdot 10^{-44}$$

Пример 1. Рассчитайте равновесные концентрации ионов Fe^{3+} и CN^{-} в растворе $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ с концентрацией 0,1 моль/л.

Р е ш е н и е.



Обозначим $[\text{Fe}^{3+}]$ через x , тогда $[\text{CN}^{-}] = 6x$, а $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = 0,1 - x$. Поскольку величина константы нестойкости комплекса очень мала (устойчивость комплекса, напротив, велика), то: $0,1 - x \approx 0,1$. Подставим соответствующие значения равновесных концентраций в выражение для константы нестойкости комплексной частицы:

$$K_{\text{H}} = \frac{[\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{CN}^{-}]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}} = \frac{x \cdot (6x)^6}{0,1} = 1 \cdot 10^{-44}$$

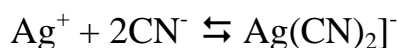
$$x = \sqrt[7]{\frac{1 \cdot 10^{-45}}{46656}} = \sqrt[7]{2,1 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-45}} = \sqrt[7]{0,21 \cdot 10^{-49}} = 0,8 \cdot 10^{-7} = 8 \cdot 10^{-8} \text{ (моль/л)}.$$

Следовательно $[\text{Fe}^{3+}] = 8 \cdot 10^{-8}$ моль/л, а концентрация цианид-ионов в 6 раз больше концентрации ионов железа: $[\text{CN}^{-}] = 6 \cdot [\text{Fe}^{3+}] = 4,8 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

Пример 2. Рассчитайте остаточную концентрацию катионов серебра (I) в 0,001 М растворе дицианоаргентат (I)-ионов в присутствии цианид-ионов с концентрацией 0,05 М ($\beta_2 = 7,1 \cdot 10^{19}$).

Р е ш е н и е.

Запишем суммарное уравнение образования дицианоаргентат-ионов и выражение для константы устойчивости комплексной частицы:



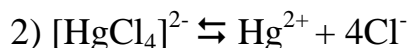
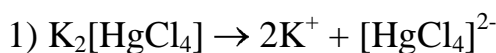
$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2]^{-}}{[\text{Ag}^{+}] \cdot [\text{CN}^{-}]^2}$$

Поскольку константа устойчивости комплекса очень высока, то общие концентрации $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ и CN^- можно приравнять к равновесным их концентрациям. Следовательно:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{c([\text{Ag}(\text{CN})_2]^-)}{\beta_2 \cdot c_{\text{CN}^-}^2} = \frac{0,001}{(7,1 \cdot 10^{19}) \cdot 0,05^2} = 5,75 \cdot 10^{-24} \text{ моль/л}$$

Пример 3. Рассчитайте концентрации ионов Hg^{2+} и Cl^- в 0,01 М растворе $\text{K}_2[\text{HgCl}_4]$ ($K_{\text{н}(4)} = 6 \cdot 10^{-17}$).

Р е ш е н и е.



Обозначим $[\text{Hg}^{2+}]$ через x , тогда $[\text{Cl}^-] = 4x$, а $[\text{HgCl}_4]^{2-} = 0,01 - x$. Поскольку величина константы нестойкости комплекса очень мала, то: $0,01 - x \approx 0,01$. Подставим соответствующие значения равновесных концентраций в выражение для константы нестойкости комплексной частицы:

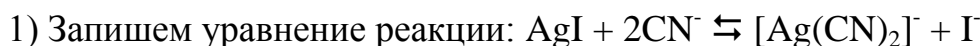
$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Hg}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]^4}{[\text{HgCl}_4]^{2-}} = \frac{x \cdot (4x)^4}{0,1} = 6 \cdot 10^{-17}$$

$$x = \sqrt[5]{\frac{6 \cdot 10^{-19}}{256}} = \sqrt[5]{2,34 \cdot 10^{-21}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (моль/л)}.$$

Следовательно $[\text{Hg}^{2+}] = 1,2 \cdot 10^{-5}$ М, а концентрация хлорид-ионов в 4 раза больше концентрации ионов ртути: $[\text{Cl}^-] = 4[\text{Hg}^{2+}] = 4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = 4,8 \cdot 10^{-5}$ М.

Пример 4. Рассчитайте растворимость иодида серебра в 0,1 М растворе цианида калия.

Р е ш е н и е.



Выражение для константы равновесия реакции, учитывая наличие в равновесии твердой фазы AgI , имеет вид:

$$K = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- \cdot [\text{I}^-]}{[\text{CN}^-]^2}.$$

Умножим числитель и знаменатель дроби на равновесную концентрацию ионов серебра, тогда получим:

$$K = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-] \cdot [\text{I}^-] \cdot [\text{Ag}^+]}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{CN}^-]^2} = \text{IP}_{\text{AgI}} \cdot \beta_2$$

Находим в приложении соответствующие значения констант IP и β_2 и получаем: $K = \text{IP}_{\text{AgI}} \cdot \beta_2 = 9,98 \cdot 10^{-17} \cdot 7,08 \cdot 10^{19} = 7,07 \cdot 10^3$.

2) Примем растворимость AgI за S, тогда $[\text{Ag}(\text{CN})_2^-] = [\text{I}^-] = S$, а $[\text{CN}^-] = 0,1 - 2S$. Подставим все переменные в первое выражение, и решая его получа-

ем: $\frac{S^2}{(0,1-2S)^2} = 7,07 \cdot 10^3$, отсюда $S = 5 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Варианты заданий для самостоятельной работы

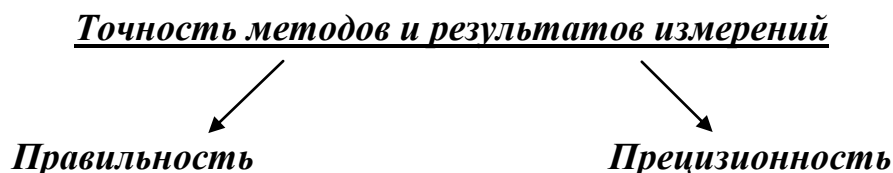
| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|--------------------------------------|
| 73 | $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$; $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$; $\text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ | Координационное число |
| 74 | $c([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}) = 0,01$ моль/л; $K_{\text{H}} = 7,2 \cdot 10^{-8}$ | $[\text{Ag}^+]$; $[\text{NH}_3]$ |
| 75 | $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$; $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{OH})_4]$ | Заряд центрального атома |
| 76 | $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{NO}_3$; $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ | Названия КС |
| 77 | $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 0,002$ М; $[\text{CN}^-] = 0,02$ М; $K_{\text{H}} = 7,76 \cdot 10^{-18}$ | $[\text{Cd}^{2+}]$ |
| 78 | $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} = 0,02$ М; $K_{\text{H}} = 6,2 \cdot 10^{-36}$ | $[\text{Co}^{3+}]$; $[\text{NH}_3]$ |
| 79 | $c(\text{HI}) = 0,02$ М; $\text{IP}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}$ | $S(\text{HgS})$ |

*КС – комплексное соединение.

Основные вопросы темы:

1. Дайте определение комплексным соединениям.
2. Перечислите типы комплексных соединений.
3. Чем отличаются комплексные соединения от двойных солей?
4. Что называется общей константой нестойкости комплексного соединения? Напишите соответствующее математическое выражение.
5. Напишите уравнения реакции образования и диссоциации роданидного комплекса кобальта (II).
6. Какие виды изомерии характерны для комплексных соединений?
7. Какие комплексные соединения называют хелатами, кластерами?

IX. Элементы математической статистики в анализе



Правильность - соответствие полученного результата истинному его значению.

Прецизионность - степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях. Независимые результаты измерений (или испытаний) - результаты, полученные способом, на который не оказывает влияние никакой предшествующий результат, полученный при испытаниях того же самого или подобного объекта.

Повторяемость (сходимость) результатов измерений - прецизионность в условиях повторяемости - степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в условиях повторяемости (одним и тем же методом на идентичных объектах, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, с использованием одного и того же оборудования, в пределах короткого промежутка времени).

Воспроизводимость результатов измерений - прецизионность в условиях воспроизводимости - степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в условиях воспроизводимости - одним и тем же методом на идентичных объектах, в разных лабораториях, разными операторами, с использованием различного оборудования. Сходимость и воспроизводимость характеризуются значением стандартного отклонения.

В количественном химическом анализе полученные результаты независимо от метода или методики всегда искажены погрешностями определения и имеют лишь приближенные значения. Погрешности анализа подразделяют на: **случайные** (возникают за счет неконтролируемых причин) и **систематические** (преимущественно погрешности известной природы и их можно устранить). При оценке погрешностей рассчитывают их **абсолютные** ($\delta_{xi} = x_i - x_{ист}$) или

относительные ($\varepsilon_{xi} = \delta_{xi} / x_{ист}$) значения. Если значение истинного результата ($x_{ист}$) не известно, то вместо него подставляют величину среднего значения (\bar{x}).

Наличие случайных погрешностей позволяет оценить **статистическая обработка результатов анализа**, которая проводится в несколько этапов. Для серии текущих результатов формируют выборку: x_1, x_2, \dots, x_n ($n \leq 20$).

1. Рассчитывают среднее арифметическое (\bar{x}). $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$

2. Находят единичные отклонения (ε_i). $\varepsilon_{xi} = x_i - \bar{x}$

3. Оценивают дисперсию (S^2), которая характеризуется рассеянием результатов анализа относительно среднего значения. $S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}$.

4. Рассчитывают стандартное отклонение (S), величина которого характеризует наличие случайных погрешностей. Чем меньше величина S , тем меньше случайных погрешностей и лучше полученные результаты.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Оценка правильности результатов определений ($\bar{\Delta}$ -доверительный интервал). Если воспроизводимость результата характеризуется стандартным отклонением, то сам результат характеризуют доверительным интервалом среднего значения ($\bar{\Delta}$), который рассчитывают по формуле:

$$\bar{\Delta} = \frac{t_{p,f} \cdot S}{\sqrt{n}}, \text{ где:}$$

$t_{p,f}$ – величина коэффициента Стьюдента (приложение 10); S – стандартное отклонение; n – число опытов; p – доверительная вероятность (как правило, 0,95 или 95%); f – число степеней свободы ($f = n - 1$).

Чем меньше величина $\bar{\Delta}$, тем лучше результат и меньше область, внутри которой (при отсутствии систематической погрешности) находится истинное значение определяемой величины. Результат анализа представляют в виде ($\bar{x} \pm \bar{\Delta} x$).

Определение промахов (Q критерий). Определение грубых погрешностей (промахов) при малых выборках ($n < 10$) в серии параллельных измерений

оценивают при помощи размаха варьирования по Q-критерию: $Q = |x_1 - x_2| / R$, где: x_1 - подозреваемый результат; x_2 - результат единичного определения ближайший по значению к x_1 ; R - размах варьирования; $R = x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}$, разница между наибольшим и наименьшим значениями в ряду измеренных величин.

Вычисленное значение Q сопоставляют с табличным значением Q ($P = 0,95; n_i$) (приложение 11). Если $Q_{\text{эсп}} > Q(P_{\text{ср}}, n_i)$, то подозреваемый результат - промах и его следует отбросить.

Сравнение двух средних значений искомой величины (F-критерий, t-критерий). Проводится по критериям Фишера (F-критерий) и t-критерию когда один и тот же образец проанализирован в одной лаборатории, но в разное время; в разных лабораториях. Пусть имеется 2 серии результатов: I серия ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) n_1, \bar{x}_1, S_1^2 ; II серия ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) n_2, \bar{x}_2, S_2^2 .

Вычисляют F-критерий, исходя из значений дисперсий двух серий, причем в числителе находится большая по абсолютному значению величина

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Критерий Фишера всегда больше единицы. Затем сравнивается вычисленное значение F с $F_{\text{табл.}}(p, f_1, f_2)$ (приложение 12). Если $F < F_{\text{табл.}}(p, f_1, f_2)$, то F-критерий обнаруживает незначимое различие, и, следовательно, между двумя сериями результатов отсутствует значимая случайная погрешность.

Для оценки наличия систематической погрешности между двумя сериями результатов находят t-критерий Стьюдента по уравнению:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}$$

Сравнивают полученное значение t , с $t_{\text{табл.}}$ (приложение 10) при 5 % - ном уровне значимости и при $f = n_1 + n_2 - 2$. Если $t_{\text{табл.}} > t$, то можно считать, что $x_1 - x_2 = 0$. Следовательно, можно рассматривать все результаты как ряд из $n_1 + n_2$ вариантов.

Пример 1. В анализируемой пробе методом нейтрализации при определении содержания щавелевой кислоты получены результаты: 79,87; 79,83; 79,87;

79,80; 79,92; 80,06; 80,05; 80,01; 80,38 (%). При этом истинное значение – 80,05 %. Рассчитайте содержание щавелевой кислоты.

Р е ш е н и е.

1. Результаты эксперимента располагаем в порядке возрастания: 79,80; 79,83; 79,87; 79,92; 80,01; 80,05; 80,06; 80,38, $n = 9$.

2. Рассчитаем R : $x_1 = 79,80$; $x_9 = 80,38$; $R = 80,38 - 79,80 = 0,58$.

3. Определяем Q : $(x_9 - x_8)/0,58 = (80,06 - 80,38)/0,58 = 0,55$. $Q(P, n) = Q(95\%, 9) = 0,46$ (приложение 11), что меньше экспериментального значения Q , следовательно результат 80,38 отбрасываем.

Для получения уменьшенной выборки выполняем новый цикл вычислений с целью проверки её однородности: $n = 8$, $R = x_8 - x_1 = 80,06 - 79,80 = 0,26$; $Q = 0,04$; $Q(95\%, 8) = 0,48$, следовательно, выборка однородна. В этом случае для результатов 79,80; 79,83; 79,87; 79,92; 80,01; 80,05; 80,06 проводим вычисления следующих величин:

4. $\bar{x} = 79,93$; $S^2 = 1,027 \cdot 10^{-2}$; $S = 10,13 \cdot 10^{-2}$; $\Delta = \pm 0,08$

Ответ: содержание щавелевой кислоты в анализируемой пробе составляет $79,93 \pm 0,08$ %

Пример 2. При определении щавелевой кислоты перманганатометрическим (1) и методом кислотно-основного титрования (2) получены следующие результаты: 1. 89,04; 89,07; 89,23; 89,25; 89,36 (%); 2. 89,18; 89,20; 89,23; 89,24; 89,26 (%). Необходимо оценить воспроизводимость двух методов.

Р е ш е н и е.

1. Проверяем однородность выборки результатов: $R_1 = 89,36 - 89,04 = 0,32$; $R_2 = 89,26 - 89,18 = 0,08$.

2. Рассчитываем Q

1) $Q_1 = |89,04 - 89,07| / 0,32 = 0,09$; $Q_2 = |89,25 - 89,36| / 0,32 = 0,30$

Выборка признается однородной, если ни одно из значений Q не превышает $Q_{\text{табл.}}(P, n) = Q(95\%, 5) = 0,64$ (приложение 11).

2) $Q_1 = |89,18 - 89,20| / 0,08 = 0,25$; $Q_2 = |89,26 - 89,24| / 0,08 = 0,25$

Выборки (1) и (2) однородны, т.к. $0,09 < 0,30 < 0,64$; $0,25 < 0,64$.

3. Рассчитаем S^2 :

$$1) \bar{x}_1 = 89,19; S_1^2 = 1,78 \cdot 10^{-2}; 2) \bar{x}_2 = 89,22; S_2^2 = 1,025 \cdot 10^{-3}$$

4. Вычисляем F: $F = 1,78 \cdot 10^{-2} / 1,025 \cdot 10^{-3} = 17,37$. Сравниваем с табличным значением F (P, f_1, f_2) = 6,39 ($P = 95\%$) (приложение 12). Т.к. рассчитанное значение F больше табличного значения, то различие дисперсий S_1^2 и S_2^2 значимо ($17,37 > 6,39$).

Ответ: результаты кислотно-основного определения щавелевой кислоты являются более воспроизводимыми.

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|--|
| 80 | $x_1=11,31, x_2=11,26, x_3=11,21, x_4=11,55, x_5=11,27$ | $\bar{x}, R, \bar{\Delta} (P=0,95)$ |
| 81 | $x_1=0,1180, x_2=0,1188, x_3=0,1163, x_4=0,1170, x_5=0,1161$ | S |
| 82 | $x_1=0,2003, x_2=0,2004, x_3=0,2003, x_4=0,2008$ | Следует ли исключить выпадающий результат? |
| 83 | $x_1=6,27 \cdot 10^{-4}, x_2=6,63 \cdot 10^{-4}, x_3=6,18 \cdot 10^{-4}$ | Следует ли оставить все результаты для дальнейшей обработки? |
| 84 | 1 серия: $x_1=0,1213, x_2=0,1212, x_3=0,1209, x_4=0,1211$; 2 серия: $x_1=0,1206, x_2=0,1203, x_3=0,1207, x_4=0,1205$ $P = 0,99$ | Значима ли разница между результатами? |

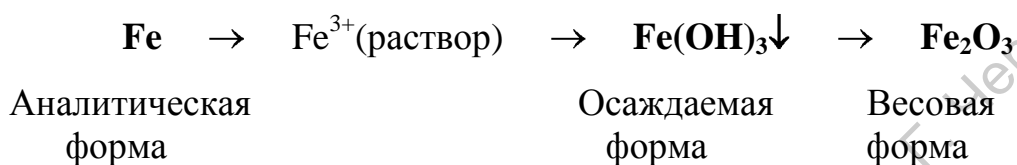
Основные вопросы темы:

1. Сформулируйте понятие погрешности определения?
2. Назовите способы выявления систематических погрешностей.
3. Что такое результат единичного определения?
4. Какие критерии применяют для оценки воспроизводимости?
5. Что такое параллельные определения?
6. Дайте определение среднего отклонения, размаха варьирования, дисперсии, стандартного отклонения.
7. Что такое правильность?
8. Приведите формулу для расчета доверительного интервала.

Х. Гравиметрический анализ

Гравиметрический анализ - химический (классический) метод определения количества вещества, основанный на точном измерении массы определяемого компонента. Метод отличается достаточно высокой точностью, является доступным, но требует большой трудоемкости, длителен.

В гравиметрии определяемый компонент в анализируемом объекте проходит через ряд операций, схематично представленный на примере определения железа:



К осаждаемой и весовой (гравиметрической) формам предъявляют ряд требований, ограничивающих их применение.

В количественных расчетах (определение массы аналитической формы) удобно применять фактор пересчета, F:

$$F = \frac{\text{Молекулярная масса определяемого вещества}}{\text{Молекулярная масса весовой формы}}$$

Массу определяемого вещества (g) рассчитывают по формуле:

$$g = a \cdot F, \text{ где:}$$

a – масса гравиметрической формы; F – фактор пересчета.

Расчет массовой доли определяемого компонента в анализируемом объекте проводят по формуле:

$$\omega(\%) = \frac{a \cdot F \cdot 100}{g}$$

Данная формула пригодна для расчета навески объекта анализа (g) с приближенным содержанием определяемого компонента (ω , %). Для этого массу гравиметрической формы (a) принимают равной 0,50 г – для кристаллических осадков и (0,1-0,3) г – для аморфных осадков.

Пример 1. Из навески образца, содержащего алюминий, получена гравиметрическая форма Al_2O_3 массой 0,1244 г. Определите массу алюминия в данной навеске.

Р е ш е н и е.

$$\text{Рассчитаем фактор пересчета: } F = \frac{2M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{2 \cdot 26,982}{101,9622} = 0,5293.$$

Тогда масса алюминия равна: $g = a \cdot F = 0,5293 \cdot 0,1244 = 0,0658 \text{ г (Al)}$.

Пример 2. Навеска CaCO_3 (1,8641 г) после высушивания до постоянной массы уменьшилась до значения 1,2482 г. Сколько % влаги содержало вещество?

Р е ш е н и е.

Найдем массу воды: $m(\text{H}_2\text{O}) = 1,8641 - 1,2482 = 0,6159 \text{ г}$. Тогда массовая

$$\text{доля влаги в веществе равна: } \omega(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,6159}{1,8641} \cdot 100\% = 33,04\%.$$

Пример 3. Какую навеску сплава, содержащего около 20% Zn, нужно взять для определения в нем цинка в виде $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$, чтобы масса этой формы была не менее 0,2 г?

Р е ш е н и е.

Расчет навески сплава (g) будем проводить по формуле: $\omega(\%) = \frac{a \cdot F \cdot 100}{g}$.

$$\text{Сначала рассчитаем фактор пересчета: } F = \frac{2M(\text{Zn})}{M(\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7)} = \frac{2 \cdot 65,37}{304,684} = 0,4291.$$

$$\text{Тогда: } g = \frac{a \cdot F \cdot 100}{\omega} = \frac{0,2 \cdot 0,4291 \cdot 100}{20} = 0,4291.$$

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|---|------------------------------|
| 85 | $m(\text{бюкса}) = 5,2626 \text{ г}; m_1(\text{бюкса}) \text{ с нав.} - 5,8422 \text{ г};$ $m_2(\text{бюкса}) \text{ после высушивания} - 5,6824 \text{ г}.$ | $\omega\%$ (влаги) |
| 86 | $m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,5246 \text{ г}; m(\text{навески}) \text{ после}$ $\text{высушивания} - 0,5012 \text{ г}.$ | Полностью ли обезвожена соль |
| 87 | Аналитическая форма: Mn, Ba, W; Весовая форма: MnO , BaO , WO_3 . | F |
| 88 | $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,1834 \text{ г}; m(\text{CuO}) = 0,1246 \text{ г}.$ | $\omega(\text{Cu})$, % |
| 89 | $m(\text{CaCO}_3) = 2,1648 \text{ г}; m(\text{CaSO}_4) = 1,8423 \text{ г}.$ | $\omega(\text{Ca})$, % |
| 90 | $m(\text{CaO}) = 0,1800 \text{ г}.$ | $m(\text{CaCO}_3)$ |
| 91 | $m(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,1600 \text{ г}.$ | $m(\text{FeCl}_3)$ |
| 92 | $m_{\text{нав}} = 0,09422 \text{ г}; m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,1648 \text{ г}.$ | $\omega(\text{Al})$, % |

Основные вопросы темы:

1. Что называется аналитической навеской?
2. Основные методы гравиметрического анализа.
3. Осаждаемая форма. Какие требования предъявляются к осаждаемой форме?
4. Весовая (гравиметрическая) форма. Требования, предъявляемые к этой форме.
5. Что лежит в основе гравиметрического анализа?
6. Как рассчитывается фактор пересчета?
7. Какие ошибки могут быть допущены при проведении гравиметрического анализа? Точность гравиметрии.
8. Как проводится выбор осадителя?
9. Как рассчитывают количество осадителя и промывной жидкости?

XI. Титриметрический анализ

Титриметрический анализ - метод количественного анализа, основанный на измерении объема раствора реагента известной концентрации, расходуемого для реакции с определяемым веществом.

Титрант (титрованный раствор, стандартный раствор) - раствор с известной концентрацией.

Титранд - титруемый раствор, концентрация которого определяется.

Первичный стандарт - раствор, концентрация которого точно известна, приготовленный из вещества, удовлетворяющего ряду требований: вещество должно быть химически чистым; состав вещества должен точно соответствовать формуле; вещество должно быть устойчивым при хранении; вещество должно иметь возможно большую молярную массу эквивалентов.

Фиксанал - запаянная ампула, в которой находится определенное количество вещества. Фиксаналы применяют для приготовления первичных стандартов.

Вторичный стандарт – раствор, приготовленный с приблизительной концентрацией, точную концентрацию которого устанавливают с помощью первичного стандарта (стандартизация).

Методы титриметрического анализа можно классифицировать по характеру химической реакции, лежащей в основе определения веществ:

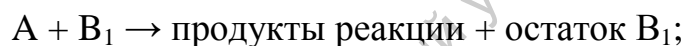
1. Методы кислотно-основного титрования (алкалиметрия, ацидиметрия).
2. Методы осаждения, основанные на осаждении иона (аргентометрия).
3. Методы комплексообразования, основанные на образовании прочных комплексных соединений (например, комплексонометрия).
4. Методы окисления-восстановления, основанные на реакциях, которые происходят с изменением окислительно-восстановительных потенциалов в системе титрования (перманганатометрия, иодометрия, хроматометрия).

Методы титриметрического анализа также можно классифицировать по способу титрования:

1. Методы прямого титрования – определяемое вещество (А) в процессе титрования непосредственно реагирует с раствором титранта (В):



2. Методы обратного титрования – к раствору определяемого вещества (А) добавляют точно известное количество титранта I (V_1 в избытке), не вступившее в реакцию количество титранта I оттитровывают титрантом II (V_2):



3. Методы заместительного титрования – к раствору определяемого вещества (А) добавляют вспомогательный раствор (D в избытке), продукт реакции (С, заместитель), количество эквивалентов которого равно количеству эквивалентов определяемого вещества, оттитровывают раствором титранта (В):



Расчеты в титриметрии. При титровании применяют количество титранта химически эквивалентное количеству определяемого вещества. Для двух реагирующих веществ применимо данное равенство:

$$c_{31} \cdot V_1 = c_{32} \cdot V_2$$

$$c_{3(B)} = \frac{T_B \cdot 1000}{M_3(B)}; c(B) = \frac{T_B \cdot 1000}{M_r(B)}; T_B = \frac{m(B)}{V_{p-pa}}$$

где c_3 – молярная концентрация эквивалента, V – объем раствора, T – титр раствора (см. также раздел II).

Пример 1. Для приготовления 500 мл раствора взято 2,5 г Na_2CO_3 . Рассчитайте для этого раствора T_B , $c_3(B)$, $c(B)$.

Р е ш е н и е.

Находим сначала титр раствора Na_2CO_3 по формуле: $T_B = \frac{m(B)}{V_{p-pa}}$ (см. раз-

дел II), $T(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,5/500 = 0,005$ г/мл; далее находим молярную концентра-

цию эквивалентов Na_2CO_3 : $c_3(B) = c_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{T_B \cdot 1000}{M_3(B)} = (0,005 \cdot 1000)/52,83 =$

0,0943 моль/л и молярную концентрацию раствора Na_2CO_3 $c(B) = c(\text{Na}_2\text{CO}_3) =$

$\frac{T_B \cdot 1000}{M_T(B)} = (0,005 \cdot 1000)/105,66 = 0,0472$ моль/л.

Ответ: $T_B = 0,005$ г/мл, $c_3(B) = 0,0943$ моль/л, $c(B) = 0,0472$ моль/л.

Пример 2. Сколько грамм $\text{Ba}(\text{OH})_2$ находилось в мерной колбе емкостью 250 мл, если после растворения его и разбавления водой до метки, на титрование 10 мл полученного раствора израсходовано 12,20 мл HCl ($c_3(\text{HCl}) = 0,09876$ М)?

Р е ш е н и е.

$c_3(\text{Ba}(\text{OH})_2)/c_3(\text{HCl}) = V(\text{HCl})/V(\text{Ba}(\text{OH})_2)$, следовательно:

$c_3(\text{Ba}(\text{OH})_2) = (V(\text{HCl}) \cdot c_3(\text{HCl}))/V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = (12,20 \cdot 0,09876)/10 = 0,1204$

моль/л.

Находим T_B : $T(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{c_3(B) \cdot M_3(B)}{1000} = (0,1204 \cdot 85,68)/1000 = 0,01032$

г/мл. Далее m_B : $m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = T_B \cdot V_B = 0,01032 \cdot 250 = 2,58$ г.

Ответ: $m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2,58$ г.

Пример 3. Какая масса H_2SO_4 содержится в растворе, если на нейтрализацию требуется 20,00 мл раствора NaOH ($T_B = 0,0046$ г/мл)?

Р е ш е н и е.

Найдем m_B NaOH в 20,00 мл раствора: $m(\text{NaOH}) = T_B \cdot V_B = 0,0046 \cdot 20,00 = 0,09228$ г. Так как:

98 г/моль 80 г/моль

$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

х г 0,09228 г

$$x = (98 \cdot 0,09228) / 80 = 0,1130 \text{ г H}_2\text{SO}_4$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1130 \text{ г}$.

Пример 4. Сколько мл 10 % раствора Na_2CO_3 плотностью $\rho_B = 1,1 \text{ г/см}^3$ требуется для приготовления 1 л раствора $T_B = 0,005 \text{ г/мл}$.

Р е ш е н и е.

$$m_B(\text{Na}_2\text{CO}_3) = T_B \cdot V_B = 0,005 \cdot 1000 = 5 \text{ г}$$

100 г раствора содержит 10 г Na_2CO_3

x г раствора содержит 5 г Na_2CO_3

$$x = m(\text{раствора}) = (100 \cdot 5) / 10 = 50 \text{ г}$$

$$V_B = V(10\% \text{ Na}_2\text{CO}_3) = m_B / \rho_B = 50 / 1,1 = 45,24 \text{ мл}$$

Ответ: $V(10\% \text{ Na}_2\text{CO}_3) = 45,24 \text{ мл}$.

Пример 5. Вычислить титр раствора серной кислоты, концентрация которой $c_3(B) = 0,1 \text{ моль/л}$ по карбонату натрия?

Р е ш е н и е.

$$T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Na}_2\text{CO}_3) = (c_3(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3)) / 1000 = (0,1 \cdot 53) / 1000 = 0,0053 \text{ г/мл}$$

Ответ: $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,0053 \text{ г/мл}$.

Варианты заданий для самостоятельной работы

| № задачи | Дано | Найти |
|----------|--|-------------------------------|
| 93 | $m_B(\text{KCl}) = 1,2 \text{ г}$, $V_{\text{р-ра}} = 800 \text{ мл}$ | T_B , $c_3(B)$ |
| 94 | $T_B(\text{CaCO}_3) = 0,60042 \text{ г/мл}$ | $c(B)$, $c_3(B)$ |
| 95 | $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 22\%$, $\rho_B = 1,2 \text{ г/см}^3$ приготовить 0,5 л раствора $T_B = 0,002 \text{ г/мл}$ | $V_{\text{р-ра}}$ |
| 96 | $V_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) = 200 \text{ мл}$, $V(\text{KOH}) = 12,24 \text{ мл}$, $V(\text{HCl}) = 14,56 \text{ мл}$, $c_3(\text{HCl}) = 0,0942 \text{ моль/л}$ | $m_1(\text{KOH})$ |
| 97 | $V_{\text{р-ра}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 250 \text{ мл}$, $V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 11,16 \text{ мл}$, $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9,26 \text{ мл}$, $c_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1211 \text{ моль/л}$ | $m_1(\text{Ba}(\text{OH})_2)$ |
| 98 | $V_{\text{р-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 8,15 \text{ мл}$, $V(\text{HCl}) = 11,85 \text{ мл}$, $c_3(\text{HCl}) = 0,09856 \text{ моль/л}$ | $T_B(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ |
| 99 | $m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,1588 \text{ г}$, $V(\text{NaOH}) = 22,64 \text{ мл}$ | $c_3(\text{NaOH})$ |
| 100 | $c_3(\text{HCl}) = 0,9988 \text{ моль/л}$ | $T(\text{HCl}/\text{CaO})$ |
| 101 | $c_3(\text{HCl}) = 0,1198 \text{ моль/л}$ | $T(\text{HCl}/\text{NH}_3)$ |

Основные вопросы темы:

1. На чем основан титриметрический метод анализа?

2. Какой раствор называется титрованным, рабочим, стандартным?
3. Классификация титриметрических методов анализа.
4. Какие способы титрования применяются в аналитической химии?
5. Требования предъявляемые к исходным веществам в титриметрическом анализе?
6. Как правильно заполнять бюретку раствором, какие правила необходимо соблюдать при этом?
7. Что такое точка эквивалентности, каким образом она устанавливается?
8. Ионная теория индикаторов.
9. Хромофорная теория индикаторов.
10. Какие индикаторы называются рН – индикаторами?

Контрольные вопросы

1. Какие реакции называются аналитическими? Приведите примеры.
2. Чем характеризуются чувствительность, специфичность и избирательность аналитических реакций? Дайте определения этих понятий и приведите примеры.
3. Какими способами можно повысить чувствительность аналитических реакций?
4. Сформулируйте основные положения теории электролитической диссоциации и покажите ее значение в качественном анализе.
5. Что такое константа и степень диссоциации. Дайте определения и приведите примеры.
6. Как выражается связь между концентрацией и степенью электролитической диссоциации для слабых электролитов? Выведите формулу характеризующую эту зависимость.
7. В чем сущность теории сильных электролитов. Покажите на каких принципах она основана.
8. Что называется активностью иона и как она связана с его концентрацией в растворе?
9. Что понимают под ионной силой раствора и чем она определяется?

10. Напишите математические выражения константы, степени диссоциации и ионного произведения воды.

11. Сформулируйте понятия рН, рОН и покажите взаимосвязь между ними.

12. Какие растворы называются буферными? Приведите примеры буферных смесей, используемых в практике качественного анализа, и объясните их действие.

13. На чем основано буферное действие? Напишите в молекулярной и ионной форме уравнения реакций, которые происходят при добавлении к хлоридно-аммиачному буферному раствору небольших количеств сильных кислот и оснований.

14. Что называется гидролизом и чем отличается гидролиз от реакций гидратации молекул и ионов?

15. Что такое константа гидролиза? Выведите формулу для вычисления константы гидролиза солей, образованных сильным основанием и слабой кислотой.

16. Что показывает степень гидролиза соли? Выведите формулу для вычисления константы гидролиза солей, образованных слабым основанием и сильной кислотой.

17. Какие из перечисленных ниже солей в водном растворе подвергаются гидролизу: хлорид алюминия, сульфат аммония, нитрат калия, сульфат натрия, ацетат железа (III)? Напишите в молекулярной и ионной формах уравнения соответствующих реакций гидролиза. Укажите реакцию среды растворов этих солей.

18. Напишите уравнения реакций гидролиза хлорида железа (III) и укажите, в какую сторону будет сдвигаться равновесие: 1) при повышении температуры раствора; 2) при разбавлении раствора водой; 3) при подкислении раствора.

19. Напишите в молекулярной и ионной формах уравнения реакций гидролиза солей: хлорида, сульфата и сульфида алюминия. Укажите реакцию среды растворов этих солей.

20. Почему гидролиз карбоната натрия нельзя отображать суммарным уравнением: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4$? Напишите в молекулярной и ионной форме уравнения реакций гидролиза и укажите реакцию среды раствора данной соли.

21. Сформулируйте правило произведения растворимости и покажите, к каким системам оно применимо.
22. Выведите формулу для вычисления произведения растворимости малорастворимого электролита. Покажите взаимосвязь между термодинамической, концентрационной и условной константами произведения растворимости.
23. Какое влияние оказывает на растворимость электролитов введение в раствор одноименных ионов? Приведите пример.
24. Что такое солевой эффект и как он объясняется на основе правила произведения растворимости? Приведите пример.
25. Какие соединения называются комплексными? Их строение. Покажите области применения комплексных соединений и процесса комплексообразования в практике качественного анализа.
26. Изложите сущность окислительно-восстановительных реакций. В чем заключается процесс окисления и процесс восстановления? Напишите уравнения реакций обнаружения катионов и анионов действием окислителей и восстановителей.
27. Сформулируйте закон действующих масс и выведите его математическое выражение. Покажите его применение к обратимым процессам.
28. Что такое результат единичного измерения и результат анализа?
29. Дайте определение абсолютной и систематической погрешностей.
30. Какие способы выявления систематической погрешности известны?
31. Как выражается доверительный интервал при разной доверительной вероятности для генеральной и выборочной совокупности?
32. Способы оценки промахов.
33. Сущность гравиметрических определений: а) по методу осаждения; б) по методу отгонки. Приведите примеры.
34. Факторы, влияющие на структуру осадка. Условия осаждения кристаллических и аморфных осадков.
35. Почему при осаждении необходимо брать избыток осадителя? Каким должен быть избыток?
36. Осаждаемая форма. Требования, предъявляемые к ней.

37. Весовая или гравиметрическая форма. Требования, предъявляемые к весовой форме. Способы получения весовой формы.
38. Сущность объемного (титриметрического) метода анализа и его отличие от весового анализа.
39. Требования к химическим реакциям, применяемым в объемном анализе.
40. Основные способы выражения концентраций растворов. Взаимосвязь между ними.
41. Титрованные растворы. Способы выражения их концентрации и классификация титрованных растворов.
42. Основные виды объемных определений: прямое, по остатку (обратное титрование), по замещению (косвенное). Приведите соответствующие примеры.
43. Стандартные вещества, применяемые в объемном анализе. Требования, предъявляемые к стандартным веществам. Фиксаналы.
44. Определения титров растворов методом пипетирования и методом отдельных навесок.
45. Ацидиметрия и алкалиметрия. Их сущность и область применения.
46. Первичные стандартные вещества и титрованные растворы на их основе, применяемые в методе кислотно-основного титрования.
47. Рабочие титрованные растворы в методах кислотно-основного титрования. Способы приготовления и определения их концентраций.
48. Кривые титрования. Их применение при выборе кислотно-основного индикатора.
49. Ионная теория индикаторов. Зависимость окраски кислотно-основных индикаторов от pH раствора.
50. Сходство и различие между гравиметрическим методом и методом осадительного титрования. Классификация осадительных вариантов титрования.
51. Теоретические основы комплексонометрического титрования. Характеристика комплексона III (Трилона Б или ЭДТА). Вещества, используемые для установления титра комплексона III.
52. Сущность метода перманганатометрии и дихроматометрии. Какие определения проводят этими методом? Приведите соответствующие примеры.

53. Основные способы определения точки эквивалентности (конечной точки титрования) в методах осаждения. Химические индикаторы, применяемые для этой цели. На чем основано их действие?

54. Сущность метода иодометрии. Какие определения, основанные на использовании окислительно-восстановительных свойств пары $I_2/2I^-$, можно проводить? Условия, которые необходимо соблюдать при иодометрических определениях.

Контрольные задачи

1. В некотором объеме раствора слабой одноосновной кислоты содержится 1000000 молекул, 10 протонов и 10 ионов кислотного остатка. Какова константа диссоциации кислоты? Ответ: $K_{HA} = 1 \cdot 10^{-4}$.

2. Муравьиную кислоту (23 г) растворяют в 10 л воды при 20°C. Найдено, что концентрация ионов H^+ равна $3 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Рассчитайте константу диссоциации кислоты. Ответ: $K_{HCOOH} = 1,91 \cdot 10^{-4}$.

3. Определите степень диссоциации гидроксида аммония в 0,01 М растворе, если $K(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-2}$ (4,2%).

4. Уксусную кислоту массой 25 г растворяют в таком количестве воды, чтобы общий объем раствора был равен 1 л. Какова молярная концентрация кислоты в растворе и степень ее диссоциации, если $K(CH_3COOH) = 1,74 \cdot 10^{-5}$? Ответ: $c = 0,414$ моль/л; $\alpha = 0,65\%$.

5. Сколько воды нужно прибавить к 100 мл 0,1 М раствора гидроксида аммония, чтобы степень диссоциации его удвоилась ($K(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$)? Ответ: 300 мл.

6. Степень диссоциации 0,1 М раствора CH_3COOH равна $1,35 \cdot 10^{-2}$. Определите концентрацию протонов, ацетат-ионов, недиссоциированных молекул уксусной кислоты. Вычислите константу диссоциации. Ответ: $[H^+] = [CH_3COO^-] = 1,35 \cdot 10^{-3}$ М; $[CH_3COOH] = 9,865 \cdot 10^{-2}$ М; $K(CH_3COOH) = 1,83 \cdot 10^{-5}$.

7. Чему равна константа диссоциации хлорноватистой кислоты, если степень ее диссоциации в 0,2 М растворе равна 0,053%? Ответ: $K_{HOCl} = 5,6 \cdot 10^{-8}$.

8. Вычислите концентрацию раствора гидроксида аммония, при которой степень диссоциации его равна 4%. Ответ: $c(NH_4OH) = 0,011$ моль/л.

9. Вычислите ионную силу раствора, содержащего в 1 л 0,01 моль CaCl_2 и 0,1 моль Na_2SO_4 . Ответ: $\mu = 0,33$.

10. Вычислите ионную силу и активность ионов в 1 л раствора, содержащего 0,01 моль сульфата натрия и 0,005 моль хлорида алюминия. Ответ: $\mu = 0,06$; $a(\text{Na}^+) = 0,016$ моль/л; $a(\text{SO}_4^{2-}) = 0,00435$ моль/л; $a(\text{Al}^{3+}) = 0,00135$ моль/л; $a(\text{Cl}^-) = 0,012$ моль/л.

11. Гидроксид натрия (8 г) растворен в 10 л воды. Вычислите активность гидроксид-ионов в этом растворе. Ответ: $a(\text{OH}^-) = 0,0174$ моль/л.

12. Вычислите ионную силу раствора, содержащего в 1 л 0,01 моль сульфата алюминия и 0,05 моль хлорида натрия. Ответ: $\mu = 0,20$.

13. Рассчитайте ионную силу 0,05 М растворов ацетата калия, хлорида кальция, сульфата натрия, сульфата алюминия. Ответ: $\mu_1 = 0,05$; $\mu_2 = 0,15$; $\mu_3 = 0,15$; $\mu_4 = 0,75$.

14. Вычислите ионную силу, коэффициенты активности и активности ионов в растворе, содержащем 0,00125 М сульфата меди и 0,01 М нитрата натрия. Ответ: $\mu = 0,015$. $f(\text{Na}^+) = f(\text{NO}_3^-) = 0,88$; $f(\text{Cu}^{2+}) = f(\text{SO}_4^{2-}) = 0,61$; $a(\text{Na}^+) = a(\text{NO}_3^-) = 8,8 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a(\text{Cu}^{2+}) = a(\text{SO}_4^{2-}) = 7,6 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

15. Рассчитайте ионную силу, коэффициенты активности и активности ионов 0,02 М раствора соли $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$. Ответ: $\mu = 0,18$. $f(\text{K}^+) = 0,71$; $f(\text{Al}^{3+}) = 0,0458$; $f(\text{SO}_4^{2-}) = 0,2535$; $a(\text{K}^+) = 1,42 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $a(\text{Al}^{3+}) = 9,16 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $a(\text{SO}_4^{2-}) = 1,014 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

16. Вычислите концентрацию ионов OH^- в 0,05 М растворе гидроксида аммония и определите pH и pOH этого раствора. ($K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$). Ответ: $[\text{OH}^-] = 9,38 \cdot 10^{-4}$ моль/л; pH = 10,97; pOH = 3,03.

17. Рассчитайте pH 0,073 %-ного раствора HCl, если степень диссоциации кислоты при таком разбавлении равна 100%, а коэффициент активности равен 1. Ответ: pH = 1,7.

18. Рассчитайте pH 0,1 М раствора соляной кислоты с учетом коэффициентов активности. Ответ: pH = 1,08.

19. Вычислите pH 0,01 М раствора уксусной кислоты, если $\alpha = 0,013$. Ответ: pH = 3,89.

20. Водородный показатель крови здорового человека 7,35. При сильной лихорадке величина рН уменьшается до 5,9. Во сколько раз увеличивается при этом концентрация ионов водорода в крови? Ответ: в 28 раз.

21. Рассчитайте равновесную концентрацию протонов и рН для 0,01 М раствора хлорноватистой кислоты ($K_{\text{HNO}_2} = 5,0 \cdot 10^{-8}$). Ответ: $[\text{H}^+] = 2,24 \cdot 10^{-5}$ моль/л; рН = 4,65.

22. Проба воды содержит в виде загрязнения 1,7 мл/л NH_3 . Вычислите рН воды, если других загрязняющих веществ она не содержит. Ответ: рН = 9,62.

23. Рассчитайте активность гидроксид-ионов, рН и рОН 0,02 М раствора гидроксида калия, если кажущаяся степень диссоциации, по данным криоскопических измерений, равна 84,2%. Ответ: $a(\text{OH}^-) = 0,0168$ М; рН = 12,23; рОН = 1,77.

24. К 1 л 0,1 М раствора КОН прибавили 0,01 моль HCl . Вычислите, как изменится рН раствора. Ответ: рН уменьшился от 12,88 до 12,83.

25. В 10 л воды растворено 7,3 г хлороводорода. Рассчитайте активность ионов водорода и рН этого раствора. Ответ: $a(\text{H}^+) = 0,0178$ моль/л; рН = 1,75.

26. Вычислите концентрацию протонов, рН, рОН 0,01 М раствора бензойной кислоты $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, если $K_a = 6,6 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $[\text{H}^+] = 8,12 \cdot 10^{-4}$ моль/л; рН = 3,09; рОН = 10,91.

27. Рассчитайте концентрацию протонов и гидроксид-ионов раствора, рН которого равен 10,33. Ответ: $[\text{H}^+] = 4,7 \cdot 10^{-11}$ моль/л; $[\text{OH}^-] = 2,1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

28. рН раствора равен 8. Вычислите, во сколько раз больше этот раствор содержит гидроксид-ионов, чем ионов водорода. Ответ: в 100 раз.

29. Чему равен рН буферной смеси, содержащей по 0,1 моль гидроксида и хлорида аммония? Ответ: рН = 9,25.

30. Вычислите концентрацию ионов водорода и рН буферного раствора, содержащего 0,1 моль уксусной кислоты и 0,01 моль ацетата натрия. Ответ: $[\text{H}^+] = 1,78 \cdot 10^{-4}$ моль/л; рН = 3,75.

31. Рассчитайте концентрацию ионов водорода и рН в растворе, содержащем 0,01 моль бензойной кислоты и 0,03 моль бензоата натрия $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$. ($K(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,2 \cdot 10^{-5}$). Ответ: $[\text{H}^+] = 2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; рН = 4,66.

32. Вычислите pH смеси, содержащей 30 мл 0,1 М раствора CH_3COOH и 50 мл 0,3 М раствора CH_3COOK . ($K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$). Ответ: $\text{pH} = 5,46$.

33. Вычислите pH раствора, полученного смешиванием 20 мл 0,1 М раствора аммиака и 18 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Ответ: $\text{pH} = 8,3$.

34. Какова должна быть концентрация формиата натрия в 0,02 М растворе муравьиной кислоты, чтобы получить раствор с $\text{pH} = 4,0$? Ответ $c(\text{HCOONa}) = 0,036$ моль/л.

35. Безводный ацетат натрия (4,1 г) растворен в 250 мл 0,2 М раствора уксусной кислоты. Вычислите pH раствора. Ответ: $\text{pH} = 4,76$.

36. Вычислите pH фосфатной буферной смеси, содержащей по 0,1 моль/л NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4 , если $K_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6,23 \cdot 10^{-8}$. Ответ: $\text{pH} = 7,21$.

37. Рассчитайте константу и степень гидролиза 0,01 М раствора KCN , если $K_{\text{KCN}} = 6,2 \cdot 10^{-10}$. Ответ: $K_r = 1,61 \cdot 10^{-5}$; $h = 4,012\%$.

38. Вычислите константу и степень гидролиза 0,01 М раствора формиата калия HCOOK , если $K_{\text{HCOOH}} = 1,8 \cdot 10^{-4}$. Ответ: $K_r = 5,5 \cdot 10^{-9}$; $h = 7,45 \cdot 10^{-3}\%$.

39. Рассчитайте константу и степень гидролиза 0,02 М раствора NH_4Cl , если $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $K_r = 5,68 \cdot 10^{-10}$; $h = 1,70 \cdot 10^{-2}\%$.

40. Вычислите константу и степень гидролиза раствора арсенита аммония, если $K(\text{HAsO}_2) = 5,8 \cdot 10^{-10}$, а $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $K_r = 0,98$; $h = 49,75\%$.

41. Вычислите константу и степень гидролиза раствора цианида аммония, если $K_{\text{HCN}} = 6,2 \cdot 10^{-10}$, а $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $K_r = 0,917$; $h = 48,91\%$.

42. Рассчитайте константу и степень гидролиза раствора ацетата свинца $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ по первой ступени, если $K_2(\text{Pb}(\text{OH})_2) = 3,0 \cdot 10^{-8}$, а $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $K_{r(1)} = 1,92 \cdot 10^{-2}$; $h_1 = 12\%$.

43. Вычислите константу и степень гидролиза раствора сульфида аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ по первой ступени, если $K_2(\text{H}_2\text{S}) = 1,3 \cdot 10^{-13}$, а $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Ответ: $K_{r(1)} = 4,37 \cdot 10^3$; $h_1 = 98,5\%$.

44. Вычислите степень гидролиза 0,1 М раствора Na_2CO_3 по первой ступени. $K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_2(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-11}$. Ответ: $h_1 = 4,6\%$.

45. Растворимость гидроксида магния при 25°C равна $3,1 \cdot 10^{-2}$ г/л. Вычислите произведение растворимости $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Ответ: $\text{PP}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 6,0 \cdot 10^{-10}$.

46. Рассчитайте константу гидролиза карбоната аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ по 1^{ой} и 2^{ой} ступени. $K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_2(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-11}$, $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$.
Ответ: $K_{г(1)} = 10,0$; $K_{г(2)} = 1,3 \cdot 10^{-3}$.

47. В 1 л насыщенного водного раствора карбоната кальция содержится $6,9 \cdot 10^{-3}$ г соли. Вычислите произведение растворимости карбоната кальция. Ответ: $\text{ПР}(\text{CaCO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-9}$.

48. В 0,2 л насыщенного раствора сульфида серебра содержится $1,25 \cdot 10^{-15}$ г/л соли. Вычислите произведение растворимости сульфида серебра. Ответ: $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{S}) = 6,3 \cdot 10^{-50}$.

49. Произведение растворимости цианида серебра равно $2,3 \cdot 10^{-16}$. Вычислите массовую (г/л) и молярную (моль/л) растворимость соли. Ответ: $S(\text{AgCN}) = 1,517 \cdot 10^{-8}$ моль/л; $P(\text{AgCN}) = 2,03 \cdot 10^{-6}$ г/л.

50. Произведение растворимости карбоната бария равно $5,1 \cdot 10^{-9}$. Вычислите массовую (г/л) и молярную (моль/л) растворимость соли. Ответ: $S(\text{BaCO}_3) = 7,141 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $P(\text{BaCO}_3) = 1,402 \cdot 10^{-2}$ г/л.

51. Произведение растворимости гидроксида алюминия равно $1,9 \cdot 10^{-31}$. Определите растворимость соединения в граммах на 100 мл раствора. Ответ: $P(\text{Al}(\text{OH})_3) = 2,47 \cdot 10^{-8}$ г/100 мл раствора.

52. Вычислите, во сколько раз молярная растворимость сульфата бария в чистой воде превышает растворимость этой соли в 0,05 М растворе сульфата натрия? $\text{ПР}(\text{BaSO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$. Ответ: в 5000 раз.

53. Рассчитайте, во сколько раз массовая растворимость (г/л) оксалата кальция в чистой воде превышает растворимость этой соли в 0,02 М растворе оксалата аммония? $\text{ПР}(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2,3 \cdot 10^{-9}$. Ответ: в 8176 раз.

54. Вычислите, во сколько раз молярная растворимость хромата серебра в чистой воде превышает растворимость этой соли в 0,01 М растворе хромата натрия? $\text{ПР}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$. Ответ: в 6000 раз.

55. Рассчитайте, во сколько раз растворимость карбоната кальция в чистой воде меньше растворимости его в 0,05 М растворе нитрата калия? $\text{ПР}(\text{CaCO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-9}$. Ответ: в 2,1 раза.

56. Вычислите, во сколько раз растворимость хлорида серебра в чистой воде меньше растворимости этой соли в 0,01 М растворе нитрата натрия? $PP_{AgCl} = 1,78 \cdot 10^{-10}$. Ответ: в 1,11 раза.

57. Вычислите, во сколько раз растворимость фосфата железа $FePO_4$ в чистой воде меньше его растворимости в 0,02 М растворе сульфата натрия? $PP(FePO_4) = 1,3 \cdot 10^{-22}$. Ответ: в 4,4 раза.

58. Рассчитайте, выпадет ли осадок сульфата свинца при смешивании равных объемов 0,01 М раствора $Pb(NO_3)_2$ и 0,001 М раствора K_2SO_4 ? $PP(PbSO_4) = 1,8 \cdot 10^{-8}$. Ответ: выпадет.

59. Сколько потребуется воды для растворения 3 г карбоната бария, если $PP(BaCO_3) = 8,1 \cdot 10^{-3}$? Ответ: 171,2 л.

60. Вычислите равновесные концентрации $[Hg^{2+}]$, $[I^-]$ и $[K^+]$ в 0,1 М растворе $K_2[HgI_4]$, если $K_H = 5 \cdot 10^{-31}$. Ответ: $[Hg^{2+}] = 1,8 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $[I^-] = 7,2 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $[K^+] = 0,2$ моль/л.

61. Рассчитайте концентрацию ионов серебра в 0,01 М растворе $K[Ag(CN)_2]$, если $K_H = 1 \cdot 10^{-21}$. Ответ: $[Ag^+] = 1,4 \cdot 10^{-8}$ моль/л.

62. Какие ионы являются комплексообразователями в комплексных солях: $[Cu(NH_3)_4]SO_4$; $K_2[HgI_4]$; $Na_3[Co(NO_2)_6]$ и $K_4[Fe(CN)_6]$? Определите их степень окисления и координационное число.

63. Составьте уравнения реакций: а) образования; б) диссоциации следующих комплексов: $[Ag(NH_3)_2]Cl$; $K_2[HgI_4]$; $K_4[Fe(CN)_6]$ - и напишите формулы соответствующих выражений констант нестойкости.

64. Вычислите концентрацию комплексообразователя и ионов лиганда в 1 М растворе $K_3[Fe(CN)_6]$, если $K([Fe(CN)_6]^{3-}) = 5,0 \cdot 10^{-44}$. Ответ: $[Fe^{3+}] = 1,47 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $[CN^-] = 8,82 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

65. Рассчитайте концентрацию ионов цинка в 1 М растворе $[Zn(NH_3)_4]SO_4$, если константа нестойкости комплексного иона равна $2,6 \cdot 10^{-10}$. Ответ: $4,0 \cdot 10^{-3}$ М.

66. Выпадет ли осадок иодида серебра при действии на 0,2 М раствор $Na[AgS_2O_3]$ равным объемом 0,2 М раствора KI ? $K([AgS_2O_3]) = 1,0 \cdot 10^{-13}$; $PP_{AgI} = 1,5 \cdot 10^{-16}$. Ответ: выпадет.

67. Выпадет ли осадок сульфида серебра, если к 0,5 л 0,01 М раствора $K[Ag(CN)_2]$ прилить равный объем 0,01 М раствора сульфида аммония $(NH_4)_2S$? $K([Ag(CN)_2]^-) = 1,0 \cdot 10^{-21}$; $PP(Ag_2S) = 1,6 \cdot 10^{-49}$. Ответ: выпадет.

68. Методом электронного баланса подберите коэффициенты для уравнений реакций: а) $As_2S_5 + HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3AsO_4 + H_2SO_4 + NO$; б) $CrCl_3 + (NH_4)_2S_2O_8 + H_2O \rightarrow H_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + NH_4Cl$.

69. Методом электронного баланса подберите коэффициенты для уравнений реакций: а) $Sb_2S_3 + HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3SbO_4 + H_2SO_4 + NO$; б) $HgS + HNO_3 + HCl \rightarrow HgCl_2 + S + NO + H_2O$.

70. Подберите коэффициенты и укажите окислитель и восстановитель для следующих реакций: а) $KBr + MnO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Br_2 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$; б) $KCl + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Cl_2 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$; в) $FeCl_3 + HI \rightarrow FeCl_2 + HCl + I_2$.

71. Составьте уравнения реакций (допишите нужное количество молекул воды) и расставьте коэффициенты: а) $K[Cr(OH)_4] + Br_2 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KBr$; б) $Al + NaOH + NaNO_2 + H_2O \rightarrow Na_3[Al(OH)_6] + NH_3$; в) $Zn + KOH + KNO_3 \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + NH_3$.

72. Навеска, равная 2,6248 г каменного угля, после высушивания до постоянной массы стала равной 2,5420 г. Сколько процентов влаги содержал образец? Ответ: 3,15%.

73. При нагревании 100 г хлорида кальция $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ масса его уменьшилась до 67 г. Полностью ли произошло обезвоживание? Если нет, то сколько кристаллизационной воды осталось в нем? Ответ: не полностью; 16,3 г.

74. Для анализа было взято 0,1024 г чистого серебра, найдено 0,1018 г серебра. Рассчитайте абсолютную и относительную ошибки анализа. Ответ: $\epsilon = -0,0006$; $\delta = -0,586\%$.

75. При определении кальция в стандартном образце известняка с содержанием 40,10 % получили следующие результаты: 39,80 %; 39,41 %; 39,90 %; 40,00 %. Допущена ли систематическая погрешность ($P = 0,95$)? Ответ: нет.

76. При выплавке легированной стали определяли содержание углерода в различных пробах и получили следующие результаты: 0,52 %; 0,54 %; 0,57 %;

0,51 %; 0,54 %; 0,53 %; 0,50 %; 0,53 %. Найдите среднее, стандартное отклонение и доверительные границы ($P = 90\%$). Ответ: $(0,53 \pm 0,04)\%$.

77. Имеется ли систематическая погрешность в определении платины новым методом, если при анализе стандартного образца платиновой руды, содержащего 92,97 % Pt, были получены следующие результаты Pt (%): 92,97; 92,71; 92,84; 92,79. Ответ: нет.

78. Найдите среднее результатов определения хлорид-иона в промышленном стоке (мг/л) и выявите наличие промахов: 9,75; 9,81; 9,75; 9,90. Ответ: 9,80 мг/л, нет.

79. Из навески соединения бария получен осадок сульфата бария, масса которого равна 0,5864 г. Какому количеству: а) бария; б) оксида бария; в) соли $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ соответствует масса полученного осадка? (при расчете использовать гравиметрический фактор пересчета). Ответ: $m(\text{Ba}) = 0,5882$ г; $m(\text{BaO}) = 0,6568$ г; $m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 1,0467$ г.

80. Определите процентное содержание железа в железной проволоке, если для анализа взята навеска проволоки, равная 0,0854 г, и найдено 0,1218 г оксида Fe_2O_3 (весовая форма). Ответ: $\omega(\text{Fe}) = 99,72\%$.

81. Из навески 0,3288 г сплава, содержащего алюминий, после соответствующей обработки получено 0,1124 г весовой формы Al_2O_3 . Определите массовую долю алюминия в сплаве. Ответ: 18,09%.

82. Навеска 0,4537 г природного железняка Fe_3O_4 переведена в весовую форму Fe_2O_3 , масса которой оказалась равной 0,3913 г. Вычислите процентное содержание оксида Fe_3O_4 в исследуемом образце. Ответ: $\omega(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 82,69\%$.

83. Какую навеску сульфата $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ следует взять для определения в нем железа в виде оксида железа (III), считая оптимальной массу гидроксида железа (III) приблизительно равной 0,2 г? Ответ: 0,52 г.

84. Какую навеску фосфата кальция следует взять для анализа, чтобы получить не более 0,3 г прокаленного осадка оксида кальция? Ответ: 1,66 г.

85. При определении хлора в виде AgCl желательно, чтобы масса осадка варьировалась в пределах 0,4-0,6 г. Какую требуется взять для такого определения навеску вещества, содержащего около 30% хлора? Ответ: 0,55 г.

86. Какие из соединений кальция наиболее пригодны для использования в качестве осаждаемой формы: сульфат, карбонат, оксалат или фосфат кальция? Почему? Приведите требования, предъявляемые к осаждаемой форме.

87. Сколько необходимо взять 10%-ного раствора хлорида бария для осаждения сульфат-ионов из раствора, содержащего 0,1769 г сульфата калия? Ответ: 3,17 г с учетом 1,5-кратного избытка.

88. Какой объем (с учетом необходимого избытка) 1 М раствора HCl потребуется для осаждения ионов серебра из раствора, полученного растворением 1 г серебра? Ответ: 13,9 мл.

89. Сколько надо взять 5%-ного раствора серной кислоты для осаждения ионов бария из раствора, содержащего 0,2573 г $BaCl_2 \cdot 2H_2O$? Ответ: 2,058 г.

90. Сколько миллилитров 10%-ного раствора HCl потребуется для растворения 0,5 г известняка, содержащего около 90% $CaCO_3$? Ответ: $\approx 3,5$ мл.

91. Навеска 1,5120 г сухого известняка после прокаливания до постоянной массы стала равной 0,8470 г. Сколько процентов оксидов CaO и CO_2 содержал образец? Ответ: $\omega(CaO) = 56,02\%$; $\omega(CO_2) = 43,98\%$.

92. Для анализа каменного угля на содержание в нем серы взята навеска 1,0150 г. После обработки из навески получен прокаленный осадок $BaSO_4$ массой 0,2895 г. Сколько процентов серы содержал образец? Ответ: $\omega(S) = 3,92\%$.

93. Для определения алюминия гравиметрическим методом навеску сплава 0,4620 г поместили в мерную колбу емкостью 100 мл и растворили, а объем раствора довели до метки. Из 25,00 мл исследуемого раствора получено 0,2042 г оксида алюминия. Вычислите процентное содержание алюминия в сплаве. Ответ: $\omega(Al) = 93,62\%$.

94. Навеска 0,5312 г карбоната натрия растворена в мерной колбе емкостью 100 мл. Рассчитайте титр и молярную концентрацию эквивалентов раствора. Ответ: $T(Na_2CO_3) = 0,005312$ г/мл; $c_3 = 0,1002$ моль/л.

95. Чему равен титр раствора серной кислоты, если для получения 3 л этого раствора взято 25 мл серной кислоты с массовой долей 61,54% и плотностью 1,515 г/мл? Ответ: $T(H_2SO_4) = 0,007713$ г/мл.

96. Вычислите титр раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л по гидроксиду натрия, по карбонату натрия и по оксиду кальция. Ответ: $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH}) = 0,004000$ г/мл; $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,005300$ г/мл; $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{CaO}) = 0,002804$ г/мл.

97. Титр серной кислоты по гидроксиду натрия равен 0,005250 г/мл. Вычислите ее молярную концентрацию эквивалентов и титр по рабочему веществу. Ответ: $T(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,006431$ г/мл; $c_3 = 0,1313$ моль/л.

98. Титр хлороводородной кислоты по гидроксиду натрия равен 0,005250 г/мл. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов и простой титр HCl. Ответ: $c_3 = 0,0131$ моль/л; $T_{\text{HCl}} = 0,004786$ г/мл.

99. Какой объем 39%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,30$ г/мл) надо взять для приготовления 1,5 л раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л? Ответ: 16,13 мл.

100. Какой объем 8%-ного раствора аммиака ($\rho = 0,97$ г/мл) требуется для приготовления 2 л раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,15 моль/л? Ответ: 135,5 мл.

101. Навеска 1,5759 г щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) растворена в мерной колбе емкостью 250 мл. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов приготовленного раствора. Ответ: $c_3 = 0,1002$ моль/л.

102. Какова молярная концентрация эквивалентов серной кислоты, если $T(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,004912$ г/мл? Ответ: $c_3 = 0,1002$ моль/л.

103. Сколько 10,52%-ного раствора хлороводородной кислоты ($\rho = 1,05$ г/мл) нужно прибавить к 50 мл 38,32%-ного раствора ($\rho = 1,19$ г/мл), чтобы получился 25%-ный раствор? Ответ: 40,57 мл.

104. Сколько надо прибавить воды к 3753 мл раствора азотной кислоты ($T(\text{HNO}_3) = 0,006316$ г/мл), чтобы получить раствор с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л? Ответ: 7 мл.

105. К 550 мл раствора HCl с молярной концентрацией эквивалентов 0,1925 моль/л прибавлено 50 мл раствора хлороводородной кислоты с титром равным 0,023700 г/мл. Каковы молярная концентрация эквивалентов и титр полученного раствора? Ответ: $c_3 = 0,2307$ моль/л; $T_{\text{HCl}} = 0,008410$ г/мл.

106. Сколько воды нужно прибавить к 725 мл раствора NaOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,2260 моль/л, чтобы получить раствор с молярной концентрацией эквивалентов 0,2000 моль/л? Ответ: 94,2 мл.

107. К 480 мл раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалентов 0,1715 моль/л прилито 20 мл раствора HCl с молярной концентрацией эквивалентов 0,7500 моль/л. Вычислите молярную концентрацию эквивалентов полученного раствора? Ответ: $c_3 = 0,1946$ моль/л.

108. Сколько процентов CH_3COOH содержит концентрированная уксусная кислота, если после растворения 2,6 г ее в мерной колбе емкостью 250 мл на титрование 25 мл полученного раствора израсходовано 22 мл раствора NaOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л? Ответ: $\approx 51\%$.

109. Вычислите, сколько граммов хлороводородной кислоты содержится в 500 мл раствора, если на титрование 25,00 мл его израсходовано 23,50 мл раствора NaOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,15 М. Ответ: 2,5700 г.

110. Определите процентное содержание NaOH в каустической соде, если навеска 4,0626 г ее растворена в воде в мерной колбе емкостью 1000 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора затрачивается 26,75 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалентов 0,0930 моль/л. Ответ: 97,97%.

111. Чему равны молярная концентрация эквивалентов и титр раствора HCl, если на титрование 25,00 мл его израсходовано 22,50 мл раствора тетрабората натрия (буры) с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л? Ответ: $c_3 = 0,0900$ моль/л; $T_{\text{HCl}} = 0,003279$ г/мл.

112. Титр хлороводородной кислоты по оксиду кальция равен 0,002870 г/мл. Сколько миллилитров этого раствора потребуется для реакции с оксидом кальция массой 0,2000 г? Ответ: 69,7 мл.

113. На титрование 0,32 г технического карбоната калия израсходовано 20,00 мл раствора хлороводородной кислоты. $T(\text{HCl}/\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,015000$ г/мл. Вычислите процентное содержание карбоната калия в соли. Ответ: 94%.

114. Определите молярную концентрацию эквивалентов раствора хлорида натрия, в 200 мл которого содержится 1,4615 г соли. Ответ: $c_3 = 0,1250$ моль/л.

115. Вычислите молярную концентрацию эквивалентов раствора нитрата серебра, титр которого по NaCl равен 0,002923 г/мл. Ответ: $c_3 = 0,05000$ моль/л.

116. Раствор нитрата серебра содержит в 200 мл 2 г соли. Сколько нужно добавить нитрата серебра, чтобы получить раствор с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л? Ответ: 1,3980 г.

117. Каковы молярная концентрация, молярная концентрация эквивалентов и титр по хлору раствора роданида аммония, если на титрование 10,00 мл этого раствора затрачено 12,00 мл раствора AgNO_3 с молярной концентрацией эквивалентов 0,0500 моль/л? Ответ: 0,06 моль/л; 0,06 моль/л; 0,00426 г/мл.

118. Сколько нужно добавить воды к 120 мл 18%-ного раствора хлорида натрия ($\rho = 1,1364$ г/мл), чтобы получить раствор с молярной концентрацией эквивалентов 0,8 моль/л? Ответ: 405 мл.

119. Сколько граммов хлорида калия содержится в 250 мл раствора, если на титрование 25,00 мл его затрачено 34,00 мл раствора нитрата серебра с молярной концентрацией эквивалентов 0,1050 моль/л? Ответ: 2,662 г.

120. Сколько процентов серебра содержит сплав, если после растворения навески 0,3000 г его в азотной кислоте на титрование полученного раствора израсходовано 23,8 мл раствора роданида аммония с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л. Ответ: 85,63%.

121. Требуется приготовить 5 л раствора трилона Б с молярной концентрацией 0,05 моль/л. Какую навеску трилона Б следует взять? Ответ: 46,5 г.

122. На титрование 200 мл жесткой воды израсходовано 18,75 мл раствора трилона Б с титром 0,009304 г/мл. Вычислите общую жесткость воды (в ммоль-экв/л). Ответ: 11,72 ммоль-экв/л.

123. Для определения жесткости взято 100 мл воды и на ее титрование израсходовано 15,40 мл раствора трилона Б ($c_3 = 0,0487$ моль/л). Вычислите общую жесткость воды (в ммоль-экв/л). Ответ: 7,5 ммоль-экв/л.

124. Вычислите общую жесткость воды (в ммоль-экв/л), если на титрование 100 мл воды израсходовано 11,2 мл раствора трилона Б с титром 0,009300 г/мл. Ответ: 14 ммоль-экв/л.

125. Вычислите окислительно-восстановительный потенциал пары $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ при концентрации ионов Fe^{3+} , равной 0,2 моль/л, и ионов Fe^{2+} , равной 0,15 моль/л. Ответ: $E(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,83 \text{ В}$.

126. Определите потенциал пары $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ при концентрации ионов MnO_4^- , равной 0,01 моль/л, ионов Mn^{2+} , равной 0,1 моль/л, и pH, равном 3. Ответ: $E(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = 1,21 \text{ В}$.

127. Определите потенциал пары $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$ при концентрации ионов $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = [\text{Cr}^{3+}] = 0,1$ моль/л и при pH = 2. Ответ: 1,066 В.

128. Определите ЭДС гальванического элемента, составленного из пар: Mn^{2+}/Mn и Co^{2+}/Co , при концентрации ионов Mn^{2+} , равной 0,5 М, и ионов Co^{2+} , равной 0,2 моль/л. Ответ: 0,91 В.

129. Какую навеску KMnO_4 необходимо взять для приготовления 2 л его раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,02 моль/л? Ответ: 3,16 г.

130. Сколько граммов щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необходимо взять для приготовления 200 мл ее раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,05 моль/л? Ответ: 0,6303 г.

131. Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 5 л раствора, титр которого равен 0,006321 г/мл? Ответ: 31,6 г.

132. Сколько мл воды надо прибавить к 1500 мл раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л, чтобы получить раствор, в котором титр по железу равен 0,001394 г/мл? Ответ: 1900 мл.

133. Какую навеску чистой железной проволоки надо взять, чтобы после растворения ее в кислоте на титрование соли железа (II) расходовалось около 20 мл раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалентов 0,05 моль/л? Ответ: 0,0558 г.

134. Сколько мл воды надо прибавить к 5 л раствора дихромата калия (титр по железу 0,02570 г/мл), чтобы получить раствор дихромата калия с молярной концентрацией эквивалентов 0,2 моль/л? Ответ: 6,5 л.

135. Какую навеску сплава, содержащего 20% железа, следует взять, чтобы после соответствующей обработки на титрование раствора, содержащего

ионы железа (II), затратить около 25 мл раствора KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалентов 0,0220 моль/л? Ответ: 1,1532 г.

136. Определите массовую долю железа и оксида железа (III) в руде, если после растворения ее навески 2,5700 г и восстановления железа (III) до железа (II) на титрование иона Fe^{2+} затрачено 14,75 мл раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалентов 0,1065 моль/л. Ответ: $\omega(\text{Fe}) = 32,06\%$; $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 45,72\%$.

137. Навеска 1,0854 г нитрита натрия растворена в мерной колбе емкостью 200 мл. На титрование 10,00 мл раствора затрачено 9,4 мл раствора перманганата калия, титр которого 0,004875 г/мл. Определите массовую долю нитрита натрия в навеске. Ответ: 92,09 %.

138. Какая масса дихромата калия требуется для приготовления 0,5 л его раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,02 моль/л? Ответ: 0,4900 г.

139. Рассчитайте навеску йода, необходимого для приготовления 2 л его раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,05 моль/л? Ответ: 12,70 г.

140. Вычислите титр и молярную концентрацию эквивалентов раствора йода, если навеска его 0,4570 г растворена в мерной колбе емкостью 250 мл. Ответ: $T(\text{I}_2) = 0,001828$ г/мл; $c_3 = 0,0144$ моль/л.

141. На титрование 12,50 мл раствора дихромата калия с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л израсходовано 11,75 мл раствора тиосульфата натрия. Определите молярную концентрацию эквивалентов и титр тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Ответ: $c_3 = 0,1064$ моль/л; $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,026400$ г/мл.

142. Сколько граммов хлора содержит 1 л хлорной воды, если на титрование йода, выделенного из иодида калия 20,00 мл ее, затрачено 4,34 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией эквивалентов 0,0568 моль/л? Ответ: 0,4369 г.

143. В навеске 0,6850 г руды медь определяли иодометрически. При добавлении KI к раствору, содержащему ионы Cu^{2+} , выделился йод, на титрование которого затрачено 18,50 мл раствора тиосульфата натрия. $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,005560$ г/мл. Рассчитайте массовую долю меди в руде. Ответ: 3,89%.

Варианты контрольных работ

Вариант № 1

1. Составьте схему хода анализа катионов I аналитической группы, используя кислотно-щелочную систему анализа, и напишите уравнения реакций обнаружения катионов этой группы.

2. Вычислите pH и pOH раствора, если равновесная концентрация протонов в нем равна $5,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

3. Вычислите pH буферной смеси, содержащей 1 моль CH_3COOH и 0,75 моль CH_3COONa в 1 л раствора.

4. Рассчитайте ионную силу раствора, литр которого содержит 0,01 моль SrCl_2 и 0,02 моль NaCl .

5. Изложите сущность окислительно-восстановительных реакций. В чем заключается процесс окисления и восстановления? Приведите примеры аналитических окислительно-восстановительных реакций.

6. Гравиметрический (весовой) анализ, его сущность. Классификация гравиметрических методов.

7. Рассчитайте молярную массу эквивалентов для следующих веществ: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в реакциях с перманганатом калия в кислой среде.

8. Определите процентное содержание алюминия в сплаве, из навески которого, равной 1,5674 г, гравиметрически было получено 0,2680 г Al_2O_3 .

9. Титр раствора серной кислоты по гидроксиду натрия равен 0,000052 г/мл. Вычислите ее молярную концентрацию эквивалентов и титр.

10. Сколько граммов хлора содержит 1 л хлорной воды, если на титрование йода, выделенного из йодида калия обработкой 20,00 мл хлорной воды, затрачено 4,34 мл $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с молярной концентрацией эквивалентов 0,0568 моль/л?

Вариант № 2

1. Составьте схему хода анализа катионов II аналитической группы, используя кислотно-щелочную систему анализа, и напишите уравнения реакций обнаружения катионов этой группы.

2. Вычислите рН и рОН раствора NH_4OH , содержащего 0,035 г/л NH_4OH .
3. Вычислите рН буферной смеси, содержащей 1 моль уксусной кислоты и 1 моль ацетата натрия в 1 л раствора.
4. Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0,1 моль/л KCl и 0,04 моль/л BaCl_2 .
5. Сформулируйте и запишите математическое выражение правила произведения растворимости. К каким системам оно относится?
6. Факторы, влияющие на структуру осадка. При каких условиях получают кристаллические и аморфные осадки?
7. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал пары $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ при концентрации ионов Fe^{3+} , равной 0,2 моль/л, и ионов Fe^{2+} , равной 0,15 моль/л.
8. Из навески соли железа получено 0,1652 г прокаленного осадка оксида железа (III). Сколько граммов железа содержалось в навеске?
9. Титр раствора серной кислоты равен 0,005140 г/мл. Вычислите молярную концентрацию эквивалентов серной кислоты и ее массу, содержащуюся в 500 мл исходного раствора.
10. На титрование 0,3200 г технического карбоната калия израсходовано 20,00 мл раствора HCl . $T(\text{HCl}/\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,01500$ г/мл. Вычислите массовую долю K_2CO_3 в соли.

Вариант № 3

1. Составьте схему хода анализа катионов III аналитической группы, используя кислотно-щелочную систему анализа, и напишите уравнения реакций обнаружения катионов этой группы.
2. Вычислите концентрацию $[\text{OH}^-]$, рН и рОН раствора KOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,02 моль/л.
3. Вычислите рН буферной смеси, содержащей 1 моль NH_4OH и 0,1 моль NH_4Cl в 1 л раствора.
4. Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0,1 моль/л NaCl и 0,03 моль/л AlCl_3 .

5. Что такое константа и степень диссоциации? Дайте определения и приведите формулы для их вычисления.

6. Сущность титриметрического анализа. Преимущества и недостатки в сравнении с гравиметрическим методом анализа. Требования к химическим реакциям, применяемым в объемном анализе.

7. Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 2 л раствора, молярная концентрация эквивалентов которого равна 0,05 моль/л?

8. Какую навеску фосфата кальция следует взять для анализа, чтобы получить не более 0,3 г прокаленного осадка оксида кальция?

9. К 480 мл HCl с молярной концентрацией эквивалентов 0,1715 моль/л прибавлено 20 мл другого раствора, молярная концентрация эквивалентов которого равна 0,1500 моль/л. Определите молярную концентрацию полученного раствора.

10. Сколько сульфата алюминия в образце технического $Al_2(SO_4)_3$, если из навески 0,5278 г получили 0,1552 г осадка оксида алюминия?

Вариант № 4

1. Закон действия масс как теоретическая основа качественного анализа. Примените закон действия масс к обратимому процессу и выведите соответствующую формулу.

2. Вычислите pH и pOH раствора NH_4OH с молярной концентрацией эквивалентов 0,05 моль/л.

3. Вычислите pH буферной смеси, содержащей 0,01 моль CH_3COOH и 0,5 моль CH_3COONa в 1 л раствора.

4. Рассчитайте ионную силу раствора, 1 л которого содержит 0,02 моль/л NaCl и 0,01 моль/л $SrCl_2$.

5. Чем характеризуется чувствительность, специфичность и избирательность аналитических реакций? Дайте определение этих понятий и приведите примеры.

6. Титрованные растворы. Способы выражения концентрации растворов:
а) молярная; б) молярная эквивалентная; в) массовая доля; г) титр по рабочему веществу; д) титр по определяемому веществу.

7. Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 5 л раствора, титр которого равен 0,00632 г/мл?

8. При определении алюминия в сплаве весовым методом из навески 0,5650 г был получен осадок Al_2O_3 массой 0,1140 г. Вычислите процентное содержание алюминия в сплаве.

9. Сколько серной кислоты содержится в растворе, если на нейтрализацию требуется 20 мл раствора NaOH с титром 0,004600 г/мл?

10. Сколько граммов кристаллогидрата $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ нужно взять, чтобы на титрование его в кислой среде затрачивалось 30 мл раствора $KMnO_4$, молярная концентрация эквивалента которого равна 0,05 моль/л?

Вариант № 5

1. Сформулируйте правило произведения растворимости и покажите влияние на растворимость веществ электролитов с одноименным ионом. Приведите примеры.

2. Вычислите концентрацию гидроксильных ионов и pH в растворе едкого натра, молярная концентрация эквивалентов которого равна 0,02 моль/л.

3. В 2 литрах воды растворено $3,3 \cdot 10^{-4}$ г AgBr. Вычислите произведение растворимости бромида серебра.

4. Вычислите pH буферной смеси, содержащей в 1 л 0,05 моль CH_3COOH и 0,1 моль CH_3COONa .

5. Сформулируйте понятия pH и pOH и покажите взаимосвязь между ними.

6. Стандартные и рабочие титрованные растворы, применяемые в методах кислотно-основного титрования. Способы приготовления растворов и определения их концентрации.

7. Сколько HCl содержится в 500 мл раствора, если на титрование 25 мл его пошло 23,50 мл раствора NaOH, молярная концентрация которого равна 0,1500 моль/л?

8. Вычислите окислительно-восстановительный потенциал пары Ag^+/Ag при концентрации ионов серебра, равной $0,0001$ моль/л.

9. Определите процентное содержание железа в железной проволоке массой $0,0854$ г. Масса весовой формы (Fe_2O_3) – $0,1218$ г.

10. Для приготовления раствора уксусной кислоты, 20 г уксусной эссенции (80% -ный раствор CH_3COOH) смешали с 230 мл воды. Рассчитайте массовую долю CH_3COOH в полученном растворе.

Вариант № 6

1. Что представляют собой буферные растворы, и какими свойствами они обладают? Выведите формулу для расчета pH в ацетатном буферном растворе.

2. Вычислите концентрацию гидроксильных ионов, если концентрация протонов в растворе равна $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

3. Рассчитайте произведение растворимости, зная, что насыщенный раствор его содержит $0,0018$ г этой соли в 1 л.

4. Рассчитайте ионную силу, содержащего в 1 л $0,01$ моль BaCl_2 и $0,1$ моль NaNO_3 .

5. Что называется гидролизом? Что такое константа и степень гидролиза? Дайте определение и приведите математические выражения h и K_f .

6. Ионная теория индикаторов. Зависимость окраски кислотно-основных индикаторов от pH раствора.

7. Вычислите титр и молярную концентрацию эквивалента раствора иода, если навеска его $0,4570$ г растворена в мерной колбе на 250 мл.

8. Для определения содержания меди в сплаве взяли навеску $0,2152$ г и из нее электролизом получили осадок чистой меди массой $0,0898$ г. Определите массовую долю меди в сплаве.

9. Навеска $1,5420$ г щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворена в 250 мл воды. На титрование $25,00$ мл этого раствора затрачено $24,00$ мл раствора перманганата калия. Рассчитайте титр раствора перманганата калия.

10. Сколько хлороводородной кислоты содержится в 500 мл раствора, если на титрование $25,00$ мл его пошло $23,50$ мл раствора NaOH , молярная концентрация эквивалентов которого равна $0,1500$ моль/л.

Вариант № 7

1. Сформулируйте сущность теории электролитической диссоциации, дайте определение понятиям: константа диссоциации и степень диссоциации для растворов слабых электролитов.

2. Определите рН 0,012 М раствора NaOH и вычислите концентрацию $[\text{OH}^-]$ и $[\text{H}^+]$ ионов в растворе.

3. Вычислите константу диссоциации 0,015 М раствора NH_4OH , если степень диссоциации раствора составляет 0,03451.

4. Рассчитайте равновесные концентрации $[\text{Hg}^{2+}]$, $[\text{I}^-]$ и $[\text{K}^+]$ в 0,1 М растворе $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$, если $K(\text{K}_2[\text{HgI}_4]) = 5 \cdot 10^{-31}$.

5. Какая взаимосвязь существует между открываемым минимумом, предельной концентрацией, предельным разбавлением и минимальным объемом разбавленного раствора? Приведите соответствующие формулы.

6. Сущность иодометрии. Какие определения, основанные на применении окислительно-восстановительных свойств пары $\text{I}_2/2\text{I}^-$, можно проводить?

7. Чему равны молярная концентрация эквивалентов и титр раствора, если на титрование 25,00 мл его израсходовано 22,50 мл раствора тетрабората натрия, молярная концентрация эквивалентов которого равна 0,1 моль/л?

8. Для анализа образца BaCl_2 взята навеска 0,6878 г, из которой был получен прокаленный осадок сульфата бария, массой 0,6165 г. Рассчитайте массовую долю бария в хлориде бария.

9. Какой объем 8%-ного раствора аммиака ($\rho = 0,97$ г/мл) требуется для приготовления 2 л раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,15 М?

10. Вычислите $T(\text{HCl}/\text{NH}_3)$ раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалентов 0,0943 моль/л.

Вариант № 8

1. Дайте определения константы ионного произведения воды, рН и рОН. Покажите взаимосвязь между ними.

2. Концентрация $[\text{OH}^-]$ в растворе равна $5,6 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Вычислите рН и рОН раствора.

3. Рассчитайте растворимость сульфида свинца в моль/л и г/л, если $PP(\text{PbS}) = 1,1 \cdot 10^{-29}$.

4. Определите степень диссоциации гидроксида аммония в растворе с молярной концентрацией эквивалентов 0,01 моль/л, если $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$.

5. Механизм буферного действия. Напишите в молекулярной и ионной форме уравнения реакций, которые происходят при добавлении к ацетатному буферному раствору небольших количеств кислот и оснований.

6. Сущность перманганатометрии. Зависимость течения реакции окисления перманганатом от концентрации водородных ионов в растворе. Определите эквивалент перманганата калия в кислой, нейтральной и щелочной среде.

7. Сколько процентов CH_3COOH содержит концентрированная уксусная кислота, если после растворения 2,6 г ее в мерной колбе емкостью 250 мл на титрование 25 мл полученного раствора израсходовано 22 мл раствора NaOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л.

8. Навеска 1,5120 г сухого известняка после прокаливания до постоянной массы стала равной 0,8470 г. Рассчитайте массовые доли CaO и CO_2 в исследуемом образце.

9. Сколько нужно прибавить воды к 2 л 40%-ного раствора NaOH ($\rho = 1,43$ г/мл), чтобы получить 10%-ный раствор щелочи?

10. Вычислите окислительно-восстановительный потенциал пары $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ при концентрациях ионов железа (III) и железа (II) 0,2 моль/л и 0,15 моль/л соответственно.

Вариант № 9

1. В чем сущность процесса гидролиза соли по катиону? Выведите формулы для вычисления константы и степени гидролиза в растворах таких солей.

2. Вычислите pH 0,005 М раствора HCl .

3. Рассчитайте произведение растворимости углекислого магния, если 1 л насыщенного раствора содержит 0,27 г этой соли.

4. Подберите коэффициенты и укажите окислитель и восстановитель для следующих реакций: а) $\text{KCl} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
б) $\text{FeCl}_3 + \text{HI} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{I}_2 + \text{HCl}$.

5. Как выражается связь между концентрацией и степенью электролитической диссоциации для слабых электролитов? Приведите математическое выражение и сформулируйте закон, отражающий эту зависимость.

6. Чем руководствуются при выборе осадителя при весовых определениях методом осаждения? Расчет количества осадителя. Примеры.

7. Какой объем 39%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,30$ г/мл) надо для приготовления 1,5 л ее раствора с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л?

8. Из 1,3162 г сплава получено 0,1234 г оксида алюминия и 0,0267 г диоксида кремния. Сколько массовых процентов алюминия и кремния содержалось в сплаве?

9. Сколько граммов HCl было в растворе, если на титрование его затрачено 35 мл раствора KOH с молярной концентрацией эквивалентов 0,2 моль/л.

10. На титрование 12,50 мл раствора $K_2Cr_2O_7$ с молярной концентрацией эквивалентов 0,1 моль/л израсходовано 11,75 мл раствора тиосульфата натрия. Определите молярную концентрацию эквивалентов и титр раствора тиосульфата натрия.

Вариант № 10

1. В чем сущность гидролиза соли по аниону? Выведите формулы для вычисления константы и степени гидролиза в растворах таких солей.

2. Концентрация гидроксильных ионов $[OH^-]$ в растворе равна $6,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вычислите pH и pOH.

3. Рассчитайте растворимость гидроксида алюминия, если $PP(Al(OH)_3) = 1,9 \cdot 10^{-31}$.

4. Вычислите константу и степень гидролиза раствора NH_4Cl , молярная концентрация эквивалентов которого равна 0,02 моль/л и $K_d(NH_4OH) = 1,76 \cdot 10^{-5}$.

5. Какие реакции называются аналитическими? Приведите примеры.

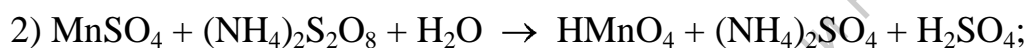
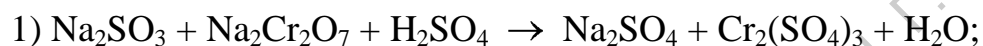
6. Осаждаемая и весовая формы осадков. Требования, предъявляемые к ним. Способы получения весовой формы.

7. Навеска 1,5759 г щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворена в 250 мл воды. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов щавелевой кислоты в полученном растворе.

8. Определите %-ное содержание NaOH в каустической соде, если навеска 4,0626 г ее растворена в воде в мерной колбе на 1000 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора затрачивается 26,75 мл 0,0930 н. Раствора серной кислоты.

9. Рассчитайте массовую долю никеля в стали, если масса навески 0,5220 г, а масса весовой формы NiO – 0,2391 г.

10. Подберите коэффициенты для уравнений окислительно-восстановительных реакций, применяя метод электронного баланса:



Ответы

1. 1 мкг.
2. $2 \cdot 10^{-4}$ мл.
3. $6 \cdot 10^{-4}$ мл.
4. $2 \cdot 10^{-3}$ мл.
5. 5 мкг.
6. $2 \cdot 10^3$ г/мл; $5 \cdot 10^2$ мл/г.
7. 0,1 мкг.
8. 2 мкг.
9. $4,1 \cdot 10^4$ мл/г.
10. 68; 104; 81,25; 57.
11. 79,03%.
12. 0,48 моль/л.
13. 3,84%.
14. 0,24 моль/л.
15. $C_{\text{экв}}=0,71$ моль/л.
16. 0,56 г.
17. 0,29 г.
18. $c=c_3=0,99$ моль/л.
19. 2,49 моль/л; 24,90%.
20. 737,3 г; 7,52 моль/л
21. $c=3,87$ моль/л; $c_3=11,63$ моль/л;
35,87%.
22. 56,84 г; 113,6 г.
23. 4909 мл.
24. $c=1,33$ моль/л; $c_3=5,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
25. 0,36.
26. 0,68.
27. 0,16; $a(\text{Al}^{3+})=1,8 \cdot 10^{-3}$ моль/л
28. 0,16; $a(\text{Ca}^{2+})=8 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
29. 0,12.
30. $[\text{Fe}^{3+}]=6,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
31. $a(\text{OH}^-)=1,6 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
32. $a(\text{Co}^{2+})=5,7 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a(\text{Cl}^-)=1,7 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
33. 0,31
34. $a(\text{OH}^-)=4,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
35. 0,4
36. $[\text{Co}^{2+}]=3,3 \cdot 10^{-3}$ моль/л;
 $[\text{Cl}^-]=6,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
37. $4,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
38. $\text{pOH}=12,65$; $\text{pH}=1,35$.
39. $a(\text{OH}^-)=6,25 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $\text{pH}=7,80$.
40. $[\text{H}^+]=6,6 \cdot 10^{-12}$ моль/л; $\text{pH}=11,19$.
41. 6,74
42. $[\text{H}^+]=3,12 \cdot 10^{-11}$ моль/л; $\text{pH}=3,59$.
43. $9,38 \cdot 10^{-3}$
44. $1,15 \cdot 10^{-2}$
45. $[\text{OH}^-]=1,1 \cdot 10^{-2}$ моль/л
46. 1,26; $[\text{H}^+]=5,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л
47. $4,12 \cdot 10^{-7}$
48. $4,12 \cdot 10^{-8}$, 7,39
49. $5,32 \cdot 10^{-12}$, 11,28
50. $1,4 \cdot 10^{-5}$, 4,85
51. $1,87 \cdot 10^{-3}$, 2,73
52. $1,00 \cdot 10^{-5}$, 5,00
53. 4,59.
54. 8,65.
55. 11,30.
56. 5,29.
57. $5,68 \cdot 10^{-10}$; $5,68 \cdot 10^{-11}$

58. $5,5 \cdot 10^{-11}$; $5,5 \cdot 10^{-14}$
59. 9,34; 4,66
60. $5,6 \cdot 10^{-10}$; $7,53 \cdot 10^{-6}$
61. 7
62. $1,6 \cdot 10^{-4}$ моль/л
63. $1,26 \cdot 10^{-8}$
64. $4,4 \cdot 10^{-4} > 1,7 \cdot 10^{-10}$ выпадет
65. $4,8 \cdot 10^{-9}$
66. $1,31 \cdot 10^{-4}$ моль/л
67. $3,2 \cdot 10^{-6}$ моль/л
68. 1,1,1,1,1,1; 3,8,3,2,4; 10,2,8,5,1,2,5,8;
3,1,4,3,1,1,4; 6,12,2,10,6; 2,2,2,2,1,2
69. 0,97 В
70. 0,17 В
71. 1,495 В
72. -0,78 В
73. 4; 4; 2.
74. $[Ag^+] = 9,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[NH_3] = 1,8 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
75. 2^+ ; 2^+ .
76. Нитрат динитритотетраммино ко-
бальта (III); триоксалатоферрат (III)
калия
77. $7,76 \cdot 10^{-19}$ М
78. $1,15 \cdot 10^{-6}$ М, $6,87 \cdot 10^{-6}$ М
79. $3,24 \cdot 10^{-11}$ М
80. 11,32; 0,34; 0,165
81. $1,2 \cdot 10^{-3}$
82. Да
83. Да
84. Нет
85. 27,57%.
86. Нет.
87. 0,7744; 0,8956; 0,7930.
88. 54,21%.
89. 25,03%.
90. 0,3214 г.
91. 0,2352 г.
92. 92,56%.
93. 0,015 г/мл; 0,0434 моль/л.
94. 0,0421 моль/л; 0,0846 моль/л.
95. 37,87 мл.
96. 1,25 г.
97. 0,92 г.
98. 0,0037 г/мл.
99. 0,1129 моль/л.
100. 0,0025 г/мл.
101. 0,0020

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Основные фундаментальные физико-химические константы

| | |
|-----------------------------|---|
| Атомная единица массы | $1 \text{ а.е.м.} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $6,022169 \cdot 10^{23} \text{ а.е.м.} = 1 \text{ г}$ |
| Заряд электрона | $\bar{e} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |
| Масса покоя нейтрона | $m_n = 1,00866 \text{ а.е.м.} = 1,67495 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ |
| Масса покоя протона | $m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.} = 1,67265 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ |
| Масса покоя электрона | $m_e = 5,48580 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.} = 9,10953 \cdot 10^{-28} \text{ г}$ |
| Молярная газовая постоянная | $R = 8,3144 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)} =$ $= 0,082057 \text{ л} \cdot \text{атм/К} \cdot \text{моль}$ |
| Постоянная Больцмана | $k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ |
| Постоянная Планка | $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ |
| Постоянная Фарадея | $F = N_e = 9,6485 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$ |
| Скорость света в вакууме | $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ |
| Постоянная Авогадро | $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ |
| Число π (пи) | $\pi = 3,1415926536$ |

Приложение 2. Относительные атомные массы химических элементов

| Название | Символ | A_r | Название | Символ | A_r |
|-----------|--------|----------|-------------|--------|-----------|
| Азот | N | 14,0067 | Неодим | Nd | 144,24 |
| Актиний | Ac | 227,03 | Неон | Ne | 20,179 |
| Алюминий | Al | 26,9815 | Никель | Ni | 58,70 |
| Аргон | Ar | 39,948 | Ниобий | Nb | 92,9064 |
| Барий | Ba | 137,33 | Олово | Sn | 118,71 |
| Бериллий | Be | 9,0122 | Осмий | Os | 190,2 |
| Бор | B | 10,811 | Палладий | Pd | 106,4 |
| Бром | Br | 79,904 | Платина | Pt | 195,08 |
| Ванадий | V | 50,942 | Полоний | Po | 209 |
| Висмут | Bi | 208,9804 | Празеодим | Pr | 140,9077 |
| Водород | H | 1,00797 | Протактиний | Pa | 231,0359 |
| Вольфрам | W | 183,85 | Радий | Ra | 226,0254 |
| Гадолиний | Gd | 157,25 | Радон | Rn | 222 |
| Галлий | Ga | 69,72 | Рений | Re | 186,207 |
| Гафний | Hf | 178,49 | Родий | Rh | 102,9055 |
| Гелий | He | 4,0026 | Ртуть | Hg | 200,59 |
| Германий | Ge | 72,59 | Рубидий | Rb | 85,4678 |
| Гольмий | Gm | 164,9304 | Рутений | Ru | 101,07 |
| Диспрозий | Dp | 162,50 | Самарий | Sm | 150,4 |
| Европий | Dy | 151,96 | Свинец | Pb | 207,2 |
| Железо | Fe | 55,847 | Селен | Se | 78,96 |
| Золото | Au | 196,9665 | Сера | S | 32,06 |
| Индий | In | 114,82 | Серебро | Ag | 107,868 |
| Иод | I | 126,9045 | Скандий | Sc | 44,9559 |
| Иридий | Ir | 192,22 | Стронций | Sr | 87,62 |
| Иттербий | Yb | 173,04 | Сурьма | Sb | 121,75 |
| Иттрий | Yt | 88,9059 | Таллий | Tl | 204,38 |
| Кадмий | Cd | 112,41 | Тантал | Ta | 180,9479 |
| Калий | K | 39,0983 | Теллур | Te | 127,60 |
| Кальций | Ca | 40,08 | Тербий | Tb | 158,9254 |
| Кислород | O | 15,9994 | Титан | Ti | 47,88 |
| Кобальт | Co | 58,9332 | Торий | Th | 232,0381 |
| Кремний | Si | 28,0855 | Тулий | Tm | 168,9342 |
| Криптон | Kr | 83,80 | Углерод | C | 12,011 |
| Ксенон | Xe | 131,30 | Уран | U | 238,029 |
| Лантан | La | 138,9055 | Фосфор | P | 30,97376 |
| Литий | Li | 6,941 | Фтор | F | 18,998403 |
| Лютеций | Lu | 174,967 | Хлор | Cl | 35,453 |
| Магний | Mg | 24,305 | Хром | Cr | 51,996 |
| Марганец | Mn | 54,9380 | Цезий | Cs | 132,9054 |
| Медь | Cu | 63,546 | Церий | Ce | 140,12 |
| Молибден | Mo | 95,94 | Цинк | Zn | 65,38 |
| Мышьяк | As | 74,9216 | Цирконий | Zr | 91,22 |
| Натрий | Na | 22,9898 | Эрбий | Er | 167,26 |

Приложение 3. Массовые доли и плотность водных растворов некоторых кислот и оснований (кг/м³)

| w, % | H ₂ SO ₄ | HCl | HNO ₃ | H ₃ PO ₄ | CH ₃ COOH | NaOH | KOH | NH ₃ |
|------|--------------------------------|------|------------------|--------------------------------|----------------------|------|------|-----------------|
| 1 | 1005 | 1003 | 1004 | 1004 | 1000 | 1010 | 1007 | 994 |
| 2 | 1012 | 1008 | 1009 | 1009 | 1001 | 1021 | 1017 | 990 |
| 3 | 1018 | 1013 | 1015 | 1015 | 1003 | 1032 | 1026 | 985 |
| 4 | 1025 | 1018 | 1020 | 1020 | 1004 | 1043 | 1035 | 981 |
| 5 | 1032 | 1023 | 1026 | 1026 | 1006 | 1054 | 1044 | 977 |
| 6 | 1039 | 1028 | 1031 | 1031 | 1007 | 1065 | 1053 | 973 |
| 7 | 1045 | 1033 | 1037 | 1037 | 1008 | 1076 | 1062 | 969 |
| 8 | 1052 | 1038 | 1043 | 1042 | 1010 | 1087 | 1072 | 965 |
| 9 | 1059 | 1043 | 1049 | 1048 | 1011 | 1098 | 1081 | 961 |
| 10 | 1066 | 1047 | 1054 | 1053 | 1013 | 1109 | 1090 | 958 |
| 12 | 1080 | 1057 | 1066 | 1065 | 1015 | 1131 | 1109 | 950 |
| 14 | 1095 | 1068 | 1078 | 1076 | 1018 | 1153 | 1128 | 943 |
| 16 | 1109 | 1078 | 1090 | 1088 | 1021 | 1175 | 1148 | 936 |
| 18 | 1124 | 1088 | 1103 | 1101 | 1024 | 1197 | 1167 | 930 |
| 20 | 1139 | 1098 | 1115 | 1113 | 1026 | 1219 | 1186 | 923 |
| 22 | 1155 | 1108 | 1128 | 1126 | 1029 | 1241 | 1206 | 916 |
| 24 | 1170 | 1119 | 1140 | 1140 | 1031 | 1263 | 1226 | 910 |
| 26 | 1186 | 1129 | 1153 | 1153 | 1034 | 1285 | 1247 | 904 |
| 28 | 1202 | 1139 | 1167 | 1167 | 1036 | 1306 | 1267 | 898 |
| 30 | 1219 | 1149 | 1180 | 1181 | 1038 | 1328 | 1288 | 892 |
| 35 | 1260 | 1174 | 1214 | 1216 | 1044 | 1380 | 1341 | |
| 40 | 1303 | 1198 | 1246 | 1254 | 1049 | 1430 | 1396 | |
| 45 | 1348 | | 1278 | 1293 | 1053 | 1478 | 1452 | |
| 50 | 1395 | | 1310 | 1335 | 1058 | 1525 | 1511 | |
| 55 | 1445 | | 1339 | 1379 | 1061 | | | |
| 60 | 1498 | | 1367 | 1426 | 1064 | | | |
| 65 | 1553 | | 1391 | 1476 | 1067 | | | |
| 70 | 1611 | | 1413 | 1526 | 1069 | | | |
| 75 | 1669 | | 1434 | 1579 | 1070 | | | |
| 80 | 1727 | | 1452 | 1633 | 1070 | | | |
| 85 | 1779 | | 1469 | 1689 | 1069 | | | |
| 90 | 1814 | | 1483 | 1746 | 1066 | | | |
| 92 | 1824 | | 1487 | 1770 | 1064 | | | |
| 94 | 1831 | | 1491 | 1794 | 1062 | | | |
| 96 | 1836 | | 1495 | 1819 | 1059 | | | |
| 98 | 1836 | | 1501 | 1844 | 1055 | | | |
| 100 | 1831 | | 1513 | 1870 | 1050 | | | |

Приложение 4. Растворимость солей и оснований в воде

| Катионы | Анионы | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | OH ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | I ⁻ | NO ₃ ⁻ | S ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | CO ₃ ²⁻ | PO ₄ ³⁻ | CH ₃ COO ⁻ |
| NH ₄ ⁺ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| Na ⁺ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| K ⁺ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| Mg ²⁺ | н | р | р | р | р | - | р | н | н | р |
| Ca ²⁺ | м | р | р | р | р | м | м | н | н | р |
| Sr ²⁺ | р | р | р | р | р | р | н | н | н | р |
| Ba ²⁺ | р | р | р | р | р | р | н | н | н | р |
| Zn ²⁺ | н | р | р | р | р | н | р | н | н | р |
| Mn ²⁺ | н | р | р | р | р | н | р | н | н | р |
| Al ³⁺ | н | р | р | р | р | - | р | - | н | - |
| Cr ³⁺ | н | р | р | р | р | - | р | - | н | - |
| Fe ²⁺ | н | р | р | р | р | н | р | н | н | р |
| Fe ³⁺ | н | р | р | - | р | н | р | - | н | - |
| Cu ²⁺ | н | р | р | - | р | н | р | - | н | р |
| Ag ⁺ | - | н | н | н | р | н | м | н | н | м |
| Pb ²⁺ | н | м | м | м | р | н | н | н | н | р |
| Hg ²⁺ | - | р | м | н | р | н | р | - | н | р |

Обозначения: р - растворимое вещество; м - малорастворимое вещество; н - практически нерастворимое; черта означает, что вещество не существует или разлагается водой.

Приложение 5. Растворимость некоторых веществ в воде при различной температуре (в г вещества в 100 г воды)

| Вещество | 0°C | 20°C | 50°C | 80°C | 100°C |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Алюминия сульфат | 31,2 | 36,4 | 57,2 | 73,1 | 89,0 |
| Алюминия хлорид | 43,8 | 45,9 | 46,4 | 48,6 | 49,0 |
| Аммиак | 89,7 | 52,9 | 23,5 | 6,5 | 0 |
| Аммония хлорид | 29,4 | 37,2 | 50,4 | 65,6 | 77,3 |
| Бария гидроксид | 1,67 | 3,89 | 13,12 | 101,4 | |
| Бария нитрат | 5,0 | 9,2 | 17,1 | 27,0 | 34,2 |
| Бария хлорид | 31,6 | 35,7 | 43,6 | 52,4 | 58,8 |
| Борная кислота | 2,66 | 5,04 | 11,54 | 23,62 | 40,3 |
| Бромоводород | 221,0 | 198,2 | 171,4 | | 130,0 |
| Железа (II) хлорид | 74,4 | 91,9 | 315,2 | 525,0 | 536,9 |
| Калия бромид | 53,5 | 65,5 | 80,2 | 95,0 | 104,0 |
| Калия гидроксид | 97,0 | 112,0 | 140,0 | 160,0 | 178,0 |
| Калия иодид | 127,5 | 144,0 | 168,0 | 192,0 | 208,0 |
| Калия карбонат | 105,3 | 110,0 | 121,3 | 139,8 | 155,7 |
| Калия нитрат | 13,3 | 31,6 | 85,5 | 169,0 | 246,0 |
| Калия перманганат | 2,83 | 6,4 | 16,89 | | |
| Калия сульфат | 7,35 | 11,11 | 16,56 | 21,4 | 24,1 |
| Калия фосфат | 79,4 | 98,5 | | | |
| Калия хлорид | 27,6 | 34,0 | 42,6 | 51,1 | 56,7 |
| Кальция гидроксид | 0,185 | 0,165 | 0,128 | 0,094 | 0,077 |
| Кальция сульфат | 0,176 | 0,204 | 0,180 | 0,194 | 0,162 |
| Кальция хлорид | 59,5 | 74,5 | 132,0 | 147,0 | 159,0 |
| Лития гидроксид | 11,9 | 12,3 | 13,8 | 16,6 | 19,1 |
| Магния сульфат | 22,0 | 35,5 | 50,4 | 64,2 | 68,3 |
| Меди (II) сульфат | 14,3 | 20,7 | 33,3 | 55,0 | 75,4 |
| Меди (II) хлорид | 68,6 | 72,7 | 84,2 | 96,1 | 110,0 |
| Натрия бромид | 79,5 | 90,5 | 116,0 | 118,3 | 121,3 |
| Натрия гидрокарбонат | 6,9 | 9,6 | 14,45 | 20,2 | 24,3 |
| Натрия гидроксид | 42,0 | 109,0 | 145,0 | 314,0 | 347,0 |
| Натрия иодид | 158,7 | 178,7 | 227,8 | 296,0 | 302,0 |
| Натрия карбонат | 7,0 | 21,5 | 47,3 | 45,8 | 45,5 |
| Натрия сульфат | 5,0 | 19,4 | 46,7 | 43,7 | 42,5 |
| Натрия фосфат | 1,5 | 11,0 | 43,0 | 81,0 | 108,0 |
| Натрия хлорид | 35,7 | 36,0 | 37,0 | 38,4 | 39,8 |
| Серебра нитрат | 125,2 | 227,9 | 405,1 | 635,3 | 900,0 |
| Сероводород | 0,699 | 0,378 | 0,186 | 0,076 | 0,0 |
| Серы (IV) оксид | 22,83 | 11,29 | 4,5 | 2,1 | 0,0 |
| Углерода (IV) оксид | 0,335 | 0,169 | 0,076 | | 0,0 |
| Хлор | 1,46 | 0,716 | 0,386 | 0,219 | 0,0 |
| Хлороводород | 82,3 | | 59,6 | | |
| Цинка сульфат | 41,9 | 54,4 | | 66,7 | 60,5 |

Приложение 6. Константы диссоциации кислот и оснований ($t^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$)

| Название | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Кислоты | | | | |
| Бензойная | $1,62 \cdot 10^{-6}$ | | | |
| Борная | $5,75 \cdot 10^{-10}$ | | | |
| Винная | $1,05 \cdot 10^{-3}$ | $1,57 \cdot 10^{-5}$ | | |
| Лимонная | $7,94 \cdot 10^{-3}$ | $1,74 \cdot 10^{-5}$ | $3,98 \cdot 10^{-7}$ | |
| Маннитборная | $6 \cdot 10^{-5}$ | | | |
| Мышьяклевистая | $5,00 \cdot 10^{-10}$ | $3,2 \cdot 10^{-14}$ | | |
| Мышьяковая | $6,46 \cdot 10^{-3}$ | $1,15 \cdot 10^{-7}$ | $3,16 \cdot 10^{-12}$ | |
| Муравьиная | $1,78 \cdot 10^{-4}$ | | | |
| Сернистая | $1,3 \cdot 10^{-2}$ | $6,8 \cdot 10^{-8}$ | | |
| Сероводородная | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | $1,3 \cdot 10^{-13}$ | | |
| Угольная | $4,5 \cdot 10^{-7}$ | $5,0 \cdot 10^{-11}$ | | |
| Уксусная | $1,75 \cdot 10^{-5}$ | | | |
| Феноловый красный | $1 \cdot 10^{-8}$ | | | |
| Фосфорная | $7,08 \cdot 10^{-3}$ | $6,17 \cdot 10^{-8}$ | $4,68 \cdot 10^{-13}$ | |
| Цианистоводородная | $6,6 \cdot 10^{-10}$ | | | |
| Щавелевая | $5,62 \cdot 10^{-2}$ | $5,89 \cdot 10^{-5}$ | | |
| ЭДТА | $1,0 \cdot 10^{-2}$ | $2,1 \cdot 10^{-3}$ | $6,9 \cdot 10^{-7}$ | $5,5 \cdot 10^{-12}$ |
| Основания | | | | |
| Аммиак | $1,76 \cdot 10^{-5}$ | | | |
| Гидразин | $9,33 \cdot 10^{-7}$ | $1,86 \cdot 10^{-14}$ | | |
| Гидроксиламин | $9,33 \cdot 10^{-9}$ | | | |
| Диэтиламин | $9,55 \cdot 10^{-4}$ | | | |
| Мочевина | $1,5 \cdot 10^{-14}$ | | | |
| Пиридин | $1,51 \cdot 10^{-9}$ | | | |

Приложение 7. Произведения растворимости некоторых солей ($t^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$)

| | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| AgBr | $4,90 \cdot 10^{-13}$ | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | $2,00 \cdot 10^{-29}$ |
| AgCl | $1,78 \cdot 10^{-10}$ | CdS | $7,94 \cdot 10^{-27}$ |
| AgI | $9,98 \cdot 10^{-17}$ | Cu_2S | $2,51 \cdot 10^{-48}$ |
| Ag_2CrO_4 | $1,29 \cdot 10^{-12}$ | $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | $3,72 \cdot 10^{-40}$ |
| Ag_2S | $6,31 \cdot 10^{-50}$ | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | $1,12 \cdot 10^{-11}$ |
| BaCO_3 | $5,13 \cdot 10^{-9}$ | MgNH_4PO_4 | $2,51 \cdot 10^{-13}$ |
| BaC_2O_4 | $1,10 \cdot 10^{-7}$ | $\text{Pb}_2(\text{PO}_4)_3$ | $7,94 \cdot 10^{-43}$ |
| BaCrO_4 | $1,18 \cdot 10^{-10}$ | PbSO_4 | $1,59 \cdot 10^{-8}$ |
| $\text{Bi}(\text{OH})_3$ | $4,27 \cdot 10^{-31}$ | PbMoO_4 | $1,00 \cdot 10^{-13}$ |
| CaSO_4 | $9,12 \cdot 10^{-6}$ | SrSO_4 | $3,47 \cdot 10^{-7}$ |
| $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | $2,29 \cdot 10^{-9}$ | HgS | $1,59 \cdot 10^{-52}$ |
| CaCO_3 | $2,88 \cdot 10^{-9}$ | $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ | $9,12 \cdot 10^{-33}$ |

**Приложение 8. Значения стандартных потенциалов некоторых
окислительно-восстановительных систем (t°=25°C)**

| Окисленная форма | Восстановленная форма | Уравнение реакции | E°, В |
|--------------------------------|-------------------------------|---|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Li ⁺ | Li (ТВ) | Li ⁺ + e ⁻ ⇌ Li | -3,02 |
| K ⁺ | K (ТВ) | K ⁺ + e ⁻ ⇌ K | -2,92 |
| Ba ²⁺ | Ba (ТВ) | Ba ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ba | -2,90 |
| Sr ²⁺ | Sr (ТВ) | Sr ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sr | -2,89 |
| Ca ²⁺ | Ca (ТВ) | Ca ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ca | -2,87 |
| Na ⁺ | Na (ТВ) | Na ⁺ + e ⁻ ⇌ Na | -2,71 |
| Mg ²⁺ | Mg (ТВ) | Mg ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Mg | -2,34 |
| Al ³⁺ | Al (ТВ) | Al ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Al | -1,67 |
| Mn ²⁺ | Mn (ТВ) | Mn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Mn | -1,05 |
| SO ₄ ²⁻ | SO ₃ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ + 2e ⁻ + H ₂ O ⇌ SO ₃ ²⁻ + 2OH ⁻ | -0,90 |
| NO ₃ ⁻ | NO ₂ (Г) | NO ₃ ⁻ + e ⁻ + H ₂ O ⇌ NO ₂ + 2OH ⁻ | -0,85 |
| Zn ²⁺ | Zn (ТВ) | Zn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Zn | -0,76 |
| Cr ³⁺ | Cr (ТВ) | Cr ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Cr | -0,71 |
| AsO ₄ ³⁻ | AsO ₂ ⁻ | AsO ₄ ³⁻ + 2e ⁻ + 2H ₂ O ⇌ AsO ₂ ⁻ + 4OH ⁻ | -0,71 |
| Fe(OH) ₃ | Fe(OH) ₂ (ТВ) | Fe(OH) ₃ + e ⁻ ⇌ Fe(OH) ₂ + OH ⁻ | -0,56 |
| Fe ²⁺ | Fe (ТВ) | Fe ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Fe | -0,44 |
| Cd ²⁺ | Cd (ТВ) | Cd ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Cd | -0,40 |
| Co ²⁺ | Co (ТВ) | Co ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Co | -0,28 |
| Ni ²⁺ | Ni (ТВ) | Ni ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ni | -0,25 |
| NO ₃ ⁻ | NO (Г) | NO ₃ ⁻ + 3e ⁻ + 2H ₂ O ⇌ NO + 4OH ⁻ | -0,14 |
| Sn ²⁺ | Sn (ТВ) | Sn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn | -0,14 |
| Pb ²⁺ | Pb (ТВ) | Pb ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Pb | -0,13 |
| CrO ₄ ²⁻ | Cr(OH) ₃ | CrO ₄ ²⁻ + 2e ⁻ + 4H ₂ O ⇌ Cr(OH) ₃ + 5OH ⁻ | -0,12 |
| 2H⁺ | H₂ | 2H⁺ + 2e⁻ ⇌ H₂ | 0,00 |
| NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ + 2e ⁻ + H ₂ O ⇌ NO ₂ + 2OH ⁻ | +0,01 |
| S(ТВ) | H ₂ S | S + 2e ⁻ + 2H ⁺ ⇌ H ₂ S | +0,14 |
| Sn ⁴⁺ | Sn ²⁺ | Sn ⁴⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn ²⁺ | +0,15 |
| Co(OH) ₃ | Co(OH) ₂ | Co(OH) ₃ + e ⁻ ⇌ Co(OH) ₂ + OH ⁻ | +0,20 |

Окончание приложения 8

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------|-----------------------------|---|-------|
| SO_4^{2-} | H_2SO_3 | $\text{SO}_4^{2-} + 2e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | +0,20 |
| Cu^{2+} | Cu (ТВ) | $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$ | +0,34 |
| Co^{3+} | Co (ТВ) | $\text{Co}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Co}$ | +0,43 |
| H_2SO_3 | S(ТВ) | $\text{H}_2\text{SO}_3 + 4e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$ | +0,45 |
| Ni(OH)_3 | Ni(OH)_2 | $\text{Ni(OH)}_3 + e^- \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$ | +0,49 |
| ClO_4^- | Cl^- | $\text{ClO}_4^- + 8e^- + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$ | +0,51 |
| I_2 | 2I^- | $\text{I}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{I}^- + 2\text{OH}^-$ | +0,53 |
| MnO_4^- | MnO_4^{2-} | $\text{MnO}_4^- + e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$ | +0,54 |
| MnO_4^- | $\text{MnO}_2 \text{ (ТВ)}$ | $\text{MnO}_4^- + 3e^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$ | +0,57 |
| MnO_4^{2-} | $\text{MnO}_2 \text{ (ТВ)}$ | $\text{MnO}_4^{2-} + 2e^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$ | +0,58 |
| BrO_3^- | Br^- | $\text{BrO}_3^- + 6e^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$ | +0,60 |
| O_2 | H_2O_2 | $\text{O}_2 + 2e^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$ | +0,68 |
| H_2SeO_3 | Se | $\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$ | +0,74 |
| Fe^{3+} | Fe^{2+} | $\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ | +0,77 |
| NO_3^- | $\text{NO}_2 \text{ (Г)}$ | $\text{NO}_3^- + e^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | +0,81 |
| NO_3^- | NH_4^+ | $\text{NO}_3^- + 8e^- + 10\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$ | +0,87 |
| NO_3^- | NO(Г) | $\text{NO}_3^- + 3e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,96 |
| HNO_2 | NO(Г) | $\text{HNO}_2 + e^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ | +0,99 |
| $\text{Br}_2 \text{ (ж)}$ | 2Br^- | $\text{Br}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$ | +1,08 |
| IO_3^- | I^- | $\text{IO}_3^- + 6e^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ | +1,09 |
| $\text{MnO}_2 \text{ (ТВ)}$ | Mn^{2+} | $\text{MnO}_2 + 2e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,28 |
| ClO_4^- | Cl^- | $\text{ClO}_4^- + 8e^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,34 |
| $\text{Cl}_2 \text{ (Г)}$ | 2Cl^- | $\text{Cl}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$ | +1,36 |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ | 2Cr^{3+} | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6e^- + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ | +1,36 |
| ClO_3^- | Cl^- | $\text{ClO}_3^- + 6e^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ | +1,45 |
| $\text{PbO}_2 \text{ (ТВ)}$ | Pb^{2+} | $\text{PbO}_2 + 2e^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,46 |
| HClO | Cl^- | $\text{HClO} + 2e^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ | +1,50 |
| MnO_4^- | Mn^{2+} | $\text{MnO}_4^- + 5e^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,52 |
| H_2O_2 | H_2O | $\text{H}_2\text{O}_2 + 2e^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,77 |
| Co^{3+} | Co^{2+} | $\text{Co}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$ | +1,84 |
| $\text{F}_2 \text{ (Г)}$ | 2F^- | $\text{F}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$ | +2,85 |

**Приложение 9. Константы устойчивости
комплексных соединений (t°=25°C)**

| Комплекс | β_2 | β_3 | β_4 | β_5 | β_6 |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ag[(NH ₃) ₂] ⁺ | 1,62·10 ⁷ | | | | |
| Al(OH) ₄ ⁻ | | | 1,00·10 ³³ | | |
| AlF ₆ ³⁻ | 9,55·10 ¹¹ | 6,76·10 ¹⁵ | 3,39·10 ¹⁸ | | |
| Ag(S ₂ O ₃) ₃ ⁵⁻ | 2,88·10 ¹³ | 1,41·10 ¹⁴ | | 1,59·10 ²⁰ | 4,68·10 ²⁰ |
| Ag(CN) ₄ ³⁻ | 7,08·10 ¹⁹ | 3,55·10 ²⁰ | 2,63·10 ¹⁹ | | |
| CaY ²⁻ | | | | | |
| Cd(NH ₃) ₄ ²⁺ | 2,95·10 ⁴ | 5,89·10 ⁵ | 3,63·10 ⁶ | | |
| CdCl ₄ ²⁻ | 3,98·10 ² | 2,51·10 ² | 7,94·10 ² | | |
| Co(NH ₃) ₆ ²⁺ | 3,16·10 ³ | 2,69·10 ⁴ | 1,18·10 ⁵ | 1,35·10 ⁵ | 2,45·10 ⁴ |
| Co(NH ₃) ₆ ³⁺ | 1,00·10 ¹⁴ | 1,26·10 ²⁰ | 5,01·10 ²⁵ | 6,31·10 ³⁰ | 4,57·10 ³³ |
| Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ | 2,14·10 ⁷ | 1,15·10 ¹⁰ | 1,07·10 ¹² | | |
| Cu(CN) ₄ ³⁻ | 1,00·10 ²⁴ | 3,98·10 ²⁸ | 8,00·10 ³⁰ | | |
| Fe(CN) ₆ ³⁻ | | | | | 1,00·10 ³¹ |
| Fe(CN) ₆ ⁴⁻ | | | | | 1,00·10 ²⁴ |
| Fe(H ₂ PO ₄) ₄ ⁻ | | | 1,41·10 ⁹ | | |
| FeF ₅ ²⁻ | 5,50·10 ¹⁰ | 5,5·10 ¹³ | 5,50·10 ¹³ | 5,50·10 ¹⁵ | 1,26·10 ¹⁶ |
| Pb(OH) ₃ ⁻ | 6,31·10 ¹⁰ | 2,00·10 ¹¹ | | | |
| HgI ₄ ²⁻ | 6,61·10 ²³ | 3,98·10 ²⁷ | 6,61·10 ³⁰ | | |

Приложение 10. Численные значения коэффициента Стьюдента t_{р,п}

| Число степеней свободы | Значение t при доверительной вероятности, % | | | |
|------------------------|---|------|------|------|
| | 90 | 95 | 99 | 99,5 |
| 1 | 6,31 | 12,7 | 63,7 | 637 |
| 2 | 2,92 | 4,30 | 9,92 | 31,6 |
| 3 | 2,35 | 3,18 | 5,84 | 12,9 |
| 4 | 2,13 | 2,78 | 4,60 | 8,60 |
| 5 | 2,02 | 2,57 | 4,03 | 6,86 |
| 6 | 1,94 | 2,45 | 3,71 | 5,96 |
| 7 | 1,90 | 2,36 | 3,50 | 5,40 |
| 8 | 1,86 | 2,31 | 3,36 | 5,04 |
| 9 | 1,83 | 2,26 | 3,25 | 4,78 |
| 10 | 1,81 | 2,23 | 3,17 | 4,59 |
| 11 | 1,80 | 2,20 | 3,11 | 4,44 |
| 12 | 1,78 | 2,18 | 3,06 | 4,32 |
| 13 | 1,77 | 2,16 | 3,01 | 4,22 |
| 14 | 1,76 | 2,14 | 2,98 | 4,14 |
| ∞ | 1,64 | 1,96 | 2,58 | 3,29 |

Приложение 11. Численные значения критерия $Q_{p,n}$

| n | $Q_{крит}$ | n | $Q_{крит}$ |
|---|------------|----|------------|
| 3 | 0,94 | 7 | 0,51 |
| 4 | 0,76 | 8 | 0,47 |
| 5 | 0,64 | 9 | 0,44 |
| 6 | 0,56 | 10 | 0,41 |

Приложение 12. Численные значения критерия $F_{0,95;n}$

| f | $f_1=1$ | $f_1=2$ | $f_1=3$ | $f_1=4$ | $f_1=5$ | $f_1=6$ | $f_1=8$ | $f_1=10$ | $f_1=12$ | $f_1=20$ |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 161 | 200 | 216 | 225 | 230 | 234 | 239 | 242 | 244 | 241 |
| 2 | 18,51 | 19,00 | 19,16 | 19,25 | 19,30 | 19,33 | 19,37 | 19,39 | 19,41 | 19,44 |
| 3 | 10,13 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,84 | 8,78 | 8,74 | 8,66 |
| 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,04 | 5,96 | 5,91 | 5,80 |
| 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,82 | 4,74 | 4,68 | 4,56 |
| 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,15 | 4,06 | 4,00 | 4,87 |
| 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,73 | 3,63 | 3,57 | 3,44 |
| 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,44 | 3,34 | 3,28 | 3,15 |
| 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,23 | 3,13 | 3,07 | 3,93 |
| 10 | 4,96 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,07 | 2,97 | 2,91 | 2,77 |

Приложение 13.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

| ПЕРИОДЫ | ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--|---|--|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|---|---|--|
| | IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VII B | VIII B | | IB | II B | IIIA | IVA | VA | VI A | VII A | VIII A | |
| 1 | H ¹ 1,00795 ВОДОРОД 1s ¹ | | | | | | | | | | | | | | | H ¹ | He ² 4,002603 ГЕЛИЙ 1s ² | |
| 2 | Li ³ 6,941 ЛИТИЙ 2s ¹ | Be ⁴ 9,01218 БЕРИЛЛИЙ 2s ² | | | | | | | | | | | B ⁵ 10,811 БОР 2s ² 2p ¹ | C ⁶ 12,011 УГЛЕРОД 2s ² 2p ² | N ⁷ 14,0067 АЗОТ 2s ² 2p ³ | O ⁸ 15,9994 КИСЛОРОД 2s ² 2p ⁴ | F ⁹ 18,998404 ФТОР 2s ² 2p ⁵ | Ne ¹⁰ 20,1797 НЕОН 2s ² 2p ⁶ |
| 3 | Na ¹¹ 22,98977 НАТРИЙ 3s ¹ | Mg ¹² 24,305 МАГНИЙ 3s ² | | | | | | | | | | | Al ¹³ 26,98154 АЛЮМИНИЙ 3s ² 3p ¹ | Si ¹⁴ 28,0855 КРЕМНИЙ 3s ² 3p ² | P ¹⁵ 30,97376 ФОСФОР 3s ² 3p ³ | S ¹⁶ 32,064 СЕРА 3s ² 3p ⁴ | Cl ¹⁷ 35,4527 ХЛОР 3s ² 3p ⁵ | Ar ¹⁸ 39,948 АРГОН 3s ² 3p ⁶ |
| 4 | K ¹⁹ 39,0983 КАЛИЙ 4s ¹ | Ca ²⁰ 40,078 КАЛЬЦИЙ 4s ² | Sc ²¹ 44,95591 СКАНДИЙ 3d ¹ 4s ² | Ti ²² 47,88 ТИТАН 3d ² 4s ² | V ²³ 50,9415 ВАНАДИЙ 3d ³ 4s ² | Cr ²⁴ 51,9961 ХРОМ 3d ⁵ 4s ¹ | Mn ²⁵ 54,93805 МАРГАНЕЦ 3d ⁵ 4s ² | Fe ²⁶ 55,847 ЖЕЛЕЗО 3d ⁶ 4s ² | Co ²⁷ 58,9332 КОБАЛЬТ 3d ⁷ 4s ² | Ni ²⁸ 58,69 НИКЕЛЬ 3d ⁸ 4s ² | Cu ²⁹ 63,546 МЕДЬ 3d ¹⁰ 4s ¹ | Zn ³⁰ 65,39 ЦИНК 3d ¹⁰ 4s ² | Ga ³¹ 69,723 ГАЛЛИЙ 4s ² 4p ¹ | Ge ³² 72,61 ГЕРМАНИЙ 4s ² 4p ² | As ³³ 74,9215 МЬШАЧЬК 4s ² 4p ³ | Se ³⁴ 78,96 СЕЛЕН 4s ² 4p ⁴ | Br ³⁵ 79,904 БРОМ 4s ² 4p ⁵ | Kr ³⁶ 83,80 КРИПТОН 4s ² 4p ⁶ |
| 5 | Rb ³⁷ 85,4678 РУБИДИЙ 5s ¹ | Sr ³⁸ 87,62 СТРОНЦИЙ 5s ² | Y ³⁹ 88,9057 ИТРИЙ 4d ¹ 5s ² | Zr ⁴⁰ 91,224 ЦИРКОНИЙ 3d ² 4s ² | Nb ⁴¹ 92,9064 НИОБИЙ 4d ⁴ 5s ¹ | Mo ⁴² 95,94 МОЛИБДЕН 4d ⁵ 5s ¹ | Tc ⁴³ [98] ТЕХНЕЦИЙ 4d ⁵ 5s ² | Ru ⁴⁴ 101,07 РУТЕРИЙ 4d ⁷ 5s ¹ | Rh ⁴⁵ 102,9055 РОДИЙ 4d ⁸ 5s ¹ | Pd ⁴⁶ 106,42 ПАЛЛАДИЙ 4d ¹⁰ 5s ⁰ | Ag ⁴⁷ 107,8682 СЕРЕБРО 4d ¹⁰ 5s ¹ | Cd ⁴⁸ 112,411 КАДМИЙ 4d ¹⁰ 5s ² | In ⁴⁹ 114,82 ИНДИЙ 5s ² 5p ¹ | Sn ⁵⁰ 118,710 ОЛОВО 5s ² 5p ² | Sb ⁵¹ 121,75 СУРЬМА 5s ² 5p ³ | Te ⁵² 127,60 ТЕЛЛУР 5s ² 5p ⁴ | I ⁵³ 126,9044 ИОД 5s ² 5p ⁵ | Xe ⁵⁴ 131,29 КСЕНОН 5s ² 5p ⁶ |
| 6 | Cs ⁵⁵ 132,9054 ЦЕЗИЙ 6s ¹ | Ba ⁵⁶ 137,327 БАРИЙ 6s ² | La ⁵⁷ 138,9055 ЛАНТАН 5d ¹ 6s ² | Hf ⁷² 178,49 ГАФНИЙ 4f ¹⁴ 5d ² 6s ² | Ta ⁷³ 180,9479 ТАНТАЛ 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² | W ⁷⁴ 183,85 ВОЛЬФРАМ 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² | Re ⁷⁵ 186,207 РЕВЕНИЙ 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² | Os ⁷⁶ 190,2 ОСМИЙ 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² | Ir ⁷⁷ 192,22 ИРИДИЙ 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² | Pt ⁷⁸ 195,08 ПЛАТИНА 5d ⁹ 6s ¹ | Au ⁷⁹ 196,9665 ЗОЛОТО 5d ¹⁰ 6s ¹ | Hg ⁸⁰ 200,59 РУТУТЬ 5d ¹⁰ 6s ² | Tl ⁸¹ 204,383 ТАЛЛИЙ 6s ² 6p ¹ | Pb ⁸² 207,2 СВЯЩЕЦ 6s ² 6p ² | Bi ⁸³ 208,9804 ВИСМУТ 6s ² 6p ³ | Po ⁸⁴ [209] ПОЛОНИЙ 6s ² 6p ⁴ | At ⁸⁵ [210] АСТАТ 6s ² 6p ⁵ | Rn ⁸⁶ [222] РАДОН 6s ² 6p ⁶ |
| 7 | Fr ⁸⁷ [223] ФРАНЦИЙ 7s ¹ | Ra ⁸⁸ [226] РАДИЙ 7s ² | Ac ⁸⁹ [227] АКТИНИЙ 6d ¹ 7s ² | Rf ¹⁰⁴ [261] РЕЗЕРФОРДИЙ 5f ¹⁴ 6d ² 7s ² | Db ¹⁰⁵ [262] ДУБИНИЙ 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ² | Sg ¹⁰⁶ [263] СГЕОРГИЙ 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ² | Bh ¹⁰⁷ [264] БОРИЙ 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ² | Hs ¹⁰⁸ [265] ГАССИЙ 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ² | Mt ¹⁰⁹ [266] МЕНТЕНЕВИЙ 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ² | 110 | 111 | | | | | | | |



ЛАНТАНОИДЫ

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|---|--|--|
| 58 Ce 140,115 ЦЕРИЙ 4f ¹ 5d ¹ 6s ² | 59 Pr 140,9077 ПРАЗЕОДИМ 4f ³ 5d ⁰ 6s ² | 60 Nd 144,24 НЕОДИМ 4f ⁴ 5d ⁰ 6s ² | 61 Pm [145] ПРОМЕТИЙ 4f ⁵ 5d ⁰ 6s ² | 62 Sm 150,36 САМАРИЙ 4f ⁶ 5d ⁰ 6s ² | 63 Eu 151,965 ЕВРОПИЙ 4f ⁷ 5d ⁰ 6s ² | 64 Gd 157,25 ГАДОЛИНИЙ 4f ⁷ 5d ¹ 6s ² | 65 Tb 158,9253 ТЕРБИЙ 4f ⁹ 5d ⁰ 6s ² | 66 Dy 162,50 ДИСПРОЗИЙ 4f ¹⁰ 5d ⁰ 6s ² | 67 Ho 164,9303 ГОЛЬМИЙ 4f ¹¹ 5d ⁰ 6s ² | 68 Er 167,26 ЭРБИЙ 4f ¹² 5d ⁰ 6s ² | 69 Tm 168,9342 ТУЛИЙ 4f ¹³ 5d ⁰ 6s ² | 70 Yb 173,04 ИТТЕРБИЙ 4f ¹⁴ 5d ⁰ 6s ² | 71 Lu 174,967 ЛЮТЕЦИЙ 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² |
|---|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|---|--|--|

АКТИНОИДЫ

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|---|--|---|--|---|---|--|--|---|---|
| 90 Th [232,0381] ТОРИЙ 5f ⁰ 6d ² 7s ² | 91 Pa [231] ПРОТАКТИНИЙ 5f ² 6d ¹ 7s ² | 92 U [238,0289] УРАН 5f ³ 6d ¹ 7s ² | 93 Np [237] НЕПУЧИЙ 5f ⁴ 6d ¹ 7s ² | 94 Pu [244] ПУТОНИЙ 5f ⁶ 6d ¹ 7s ² | 95 Am [243] АМЕРИЦИЙ 5f ⁷ 6d ⁰ 7s ² | 96 Cm [247] КЮРИЙ 5f ⁷ 6d ¹ 7s ² | 97 Bk [247] БЕРКИЛИЙ 5f ⁹ 6d ⁰ 7s ² | 98 Cf [251] КАЛИФОРНИЙ 5f ¹⁰ 6d ⁰ 7s ² | 99 Es [252] ЭЙВЕРШТЕРНИЙ 5f ¹¹ 6d ⁰ 7s ² | 100 Fm [257] ФЕРМИЙ 5f ¹² 6d ⁰ 7s ² | 101 Md [258] МЕНДЕЛЕВИЙ 5f ¹³ 6d ⁰ 7s ² | 102 No [259] НОБЕЛИЙ 5f ¹⁴ 6d ⁰ 7s ² | 103 Lr [260] ЛОУРЕНСИЙ 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² |
|--|---|--|---|---|--|---|--|---|---|--|--|---|---|

Приложение 14. Список литературы

Основная литература:

1. Основы аналитической химии. Кн. 1., 2. / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева и др.; Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высшая школа, 2004.
2. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа / Под ред. А.А.Ищенко. М.: Изд. Центр «Академия», 2010. Т. 2. 416 с.
3. Васильев В.П. Аналитическая химия: сб. вопросов, упражнений и задач : учеб. пособие / В. П. Васильев, Р. П. Морозова, Л. А. Кочергина; под ред. В. П. Васильева. - 4-е изд., стер. - М.: Дрофа, 2006. - 318 с.
4. Васильев В.П. Аналитическая химия: учебник: в 2 кн. / В. П. Васильев. - М.: Дрофа, 2007. - 366 с.

Дополнительная литература:

1. Отто М. Современные методы аналитической химии. М.: Техносфера, 2003. Т. I. 416 с.
2. Отто М. Современные методы аналитической химии. М.: Техносфера, 2004. Т. II. 288 с.
3. Дорохова Е.Н. Задачи и вопросы по аналитической химии / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. - М.: Мир, 2001. - 267 с.
4. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы: учеб. пособие / под ред. Ю. А. Золотова. - 2-е изд., испр.. - М.: Высш. шк., 2004. - 411 с.
5. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика: учеб. для студентов вузов, обучающихся по фармацевт. и нехим. специальностям : в 2 кн. / Ю. Я. Харитонов. - 2-е изд., испр.. - М.: Высш. шк., 2003. - Кн. 1 : Общие теоретические основы. Качественный анализ: учебник. - М.: Высш. шк., 2003. - 614 с.
6. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика: учеб. для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по фармацевт. и нехим. специальностям : в 2 кн. / Ю. Я. Харитонов. - 2-е изд., испр. - М.: Высш. шк.. Кн. 2: Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. - 2003. - 558 с.

Интернет-ресурсы:

1. www.chem.msu.su.ru
2. <http://www.wssanalytchem.org/default.aspx>
3. Зональная научная библиотека им. В.И. Артисевич СГУ. Web: library.sgu.ru.
Электронная библиотека учебно-методической литературы.