

Негосударственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Центросоюза Российской Федерации

**СИБИРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ**

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Программа, методические указания и задания
контрольной и самостоятельной работы
для студентов заочной формы обучения
направления *260800.62 Технология продукции и организация
общественного питания*

Новосибирск 2012

Кафедра технологии переработки сельхозпродукции
и управления качеством

Аналитическая химия и физико-химические методы анализа :
программа, методические указания и задания контрольной и само-
стоятельной работы / [О.А. Полунина, канд. тех. наук, доцент]. –
Новосибирск : СибУПК, 2012 – 48 с.

Рецензент Е.И. Терах, канд. хим. наук, доцент

Программа, методические указания и задания утверждены и
рекомендованы к изданию кафедрой технологии переработки сель-
скохозяйственной продукции и управления качеством, протокол от
29 февраля 2012 г. № 4.

© Сибирский университет
потребительской кооперации, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	4
2. Объем дисциплины и виды учебной работы по срокам обучения	5
3. Содержание дисциплины	6
3.1. Тематический план	6
3.2. Темы и их краткое содержание	8
4. Методические указания к выполнению контрольной работы	13
5. Задания контрольной работы.....	17
5.1. Введение в качественный анализ	17
5.2. Аналитические группы катионов	17
5.3. Аналитические группы анионов	19
5.4. Способы выражения концентрации растворов.....	21
5.5. Титриметрический (объемный) анализ	26
5.6. Оптические методы анализа	36
5.7. Электрохимические и хроматографические методы анализа.....	39
6. Задания самостоятельной работы.....	42
Список рекомендуемой литературы	43
Приложение	44

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» включена в базовую часть цикла математических и естественнонаучных дисциплин учебного плана направления 260800.62 *Технология продукции организация общественного питания* и определяет профессиональную подготовку инженера, позволяющую творчески подходить к технологическим процессам приготовления и хранения продуктов питания.

Дисциплина «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» состоит из трех разделов: качественный анализ, количественный химический анализ и физико-химические методы анализа.

Качественный анализ – один из разделов аналитической химии, применяемый для обнаружения и идентификации элементов, радикалов и соединений, входящих в анализируемое вещество. Он основан на характерных реакциях определяемых катионов, анионов или соединений.

Количественный химический анализ – это раздел аналитической химии, в задачу которого входит определение количественного содержания элемента или соединения в анализируемом веществе. Методами химического количественного анализа являются весовой анализ, основанный на измерении массы определяемого вещества, и объёмный (титриметрический) анализ, заключающийся в измерении объёмов растворов реагирующих веществ, одним из которых является раствор исследуемого вещества.

Физико-химические методы анализа основаны на зависимости какой-либо физической величины определяемого вещества от его содержания в исследуемом объекте.

Приступая к изучению аналитической химии и физико-химических методов анализа, необходимо ознакомиться с содержанием программы дисциплины и освоить ее основные разделы и темы.

В соответствии с учебным планом студенты заочной формы обучения по дисциплине «Аналитическая химия и физико-

химические методы анализа» выполняют контрольную работу на втором курсе.

После изучения дисциплины студент выполняет и защищает контрольную работу. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, не оценивается. Без выполнения контрольной работы студент не допускается к зачету.

ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПО СРОКАМ ОБУЧЕНИЯ (ЧАС)

Заочная форма обучения

Вид занятия	2 курс
Аудиторные занятия:	14
лекции	4
лабораторные	10
Контрольная работа	+
Самостоятельная работа	94
Зачетные единицы: всего, <i>в том числе без экзамена</i>	3
	3
<i>Общая трудоемкость</i>	108
Вид итогового контроля	Зачёт

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематический план

Заочная форма обучения

№ п/п	Темы дисциплины	Количество часов на изучение			
		всего	в том числе		
			лекции	лабораторные занятия	СРС
1	Введение в аналитическую химию	6	2	–	6
2	Аналитические группы катионов	13		10	
3	Аналитические группы анионов	13		4	10
4	Анализ смеси катионов и анионов	8		8	
5	Гравиметрический анализ	12	2	–	12
6	Титриметрический анализ	15		4	10
7	Оптические методы	13		2	10
8	Электрохимические методы	14		–	14
9	Хроматографические методы	14		–	14
Итого		108	4	10	94

3.2. Темы и их краткое содержание

Раздел 1. Качественный химический анализ

Тема 1. Введение в аналитическую химию

Задачи аналитической химии и применение её методов для определения качественного состава вещества и количественного содержания в нём компонентов при оценке показателей качества

исследуемого сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов питания.

Классификация методов аналитической химии. Химические, физические, физико-химические методы анализа. Сущность и классификация химических физико-химических методов анализа, их достоинства и недостатки. "Сухой" и "мокрый", дробный и систематический методы анализа. Макро-, микро- и полумикро- методы анализа.

Аналитические реакции, их типы и условия проведения. Аналитические реагенты. Аналитический сигнал реакции. Классификация катионов по кислотно-основной методике. Классификация анионов.

Основные стадии химического и физического анализа. Основные приемы проведения физико-химического анализа: методы прямых измерений (методики градуировочного графика и одного эталона) и косвенные методы (потенциометрическое, кондуктометрическое, фотометрическое титрование). Выбор метода анализа и составление схем анализа.

Основные принципы и способы обеспечения достоверности результатов измерений, погрешности. Способы определения содержания по данным аналитических измерений. Виды погрешностей анализа: систематические и случайные погрешности. Вычисление абсолютной и относительной систематических погрешностей. Математическая обработка результатов измерений.

Тема 2. Аналитические группы катионов

Первая аналитическая группа: Na^+ , K^+ , NH_4^+ . Характеристика группы, причины отсутствия группового реагента, реакции обнаружения катионов и условия их проведения.

Вторая аналитическая группа: Ag^+ , Pb^{2+} , Hg^+ . Характеристика группы. Групповой реагент, продукты его действия, реакции обнаружения катионов и условия их проведения. Контроль содержания катионов серебра, свинца(II) и ртути(I) в пищевых продуктах.

Третья аналитическая группа: Ca^{2+} , Ba^{2+} . Характеристика группы. Групповой реагент, продукты его действия и реакции обнаружения катионов.

Четвертая аналитическая группа: Sn^{2+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} . Характеристика группы. Групповой реагент, особенности его действия на гидроксиды катионов четвертой аналитической группы. Реакции их обнаружения. Контроль содержания катионов олова и цинка в пищевых продуктах.

Пятая аналитическая группа: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} . Характеристика группы. Групповой реагент, продукты его действия на катионы пятой аналитической группы. Реакции обнаружения катионов и условия их проведения. Значение присутствия катионов пятой аналитической группы при оценке качества продуктов.

Шестая аналитическая группа: Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} . Характеристика группы. Групповой реагент, особенности его действия на катионы шестой аналитической группы. Реакции обнаружения. Значение присутствия меди и кобальта в пищевых продуктах.

Анализ смеси катионов отдельных аналитических групп. Анализ смеси катионов первой – третьей аналитических групп. Анализ смеси катионов четвертой – шестой аналитических групп. Анализ смеси катионов всех шести аналитических групп.

Тема 3. Аналитические группы анионов

Первая аналитическая группа: CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Характеристика группы. Групповой реагент, условия его действия. Реакции обнаружения анионов и условия их проведения. Значение присутствия сульфит- и фосфат- ионов в пищевых продуктах.

Вторая аналитическая группа: Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} . Характеристика группы. Групповой реагент, условия и продукты его действия. Реакции обнаружения анионов второй аналитической группы, условия их проведения. Значение присутствия галогенид- и сульфид- ионов в пищевых продуктах.

Третья аналитическая группа: NO_3^- , NO_2^- , CH_3COO^- . Характеристика группы. Обоснование отсутствия группового реагента на анионы третьей аналитической группы, реакции их обнаружения. Значение присутствия нитрат-, нитрит- и ацетат- ионов при оценке качества продуктов питания.

Анализ смеси анионов дробным и систематическим методом.

Тема 4. Анализ смеси катионов и анионов (анализ сухой соли)

Предварительные испытания: подбор растворителя, приготовление раствора, определение рН раствора. Предварительные выводы о составе исследуемой соли, приготовление ее раствора.

Определение катионов. Определение анионов. Схема анализа сухой соли.

Раздел 2. Количественный химический анализ

Тема 5. Гравиметрический анализ

Сущность, классификация и практическое применение методов гравиметрического анализа.

Метод осаждения: основные операции, требования к применяемым реакциям, выбор осадителя, осаждаемая и гравиметрическая (весовая) формы и предъявляемые к ним требования. Вычисления результатов анализа, гравиметрический фактор.

Методы отгонки: прямые и косвенные методы, особенности вычислений результатов анализа в методах отгонки.

Тема 6. Титриметрический (объемный) анализ

Сущность и классификация методов титриметрического анализа.

Первичные стандартные вещества и предъявляемые к ним требования. Первичные стандартные растворы: способы их приготовления и назначение.

Вторичные стандартные вещества. Вторичные стандартные растворы: способы их приготовления и стандартизация.

Понятие о титровании, его приемы. Точка эквивалентности и конечная точка титрования, методы их определения.

Способы выражения концентрации растворов и вычисления в объемных методах анализа. Закон эквивалентов, его формулировка и математическое выражение.

Методы кислотно-основного титрования (методы нейтрализации). Классификация методов. Рабочие растворы методов: способы их приготовления и стандартизация. Определение точки эквивалентности. Понятие о кривых титрования и их назначение. Кислотно-основные индикаторы: их характеристики и правило выбора.

Применение методов нейтрализации в оценке качества пищевых продуктов.

Методы окислительно-восстановительного титрования (методы редоксиметрии). Классификация методов. Окислительно-восстановительные пары и стандартные окислительно-восстановительные потенциалы. ЭДС окислительно-восстановительных реакций, определение их направления.

Метод перманганатометрии. Рабочий раствор метода: его приготовление и стандартизация. Окислительные свойства перманганата калия в кислой и нейтральной средах. Определение точки эквивалентности. Применение метода для определения восстановителей в пищевых продуктах.

Метод йодометрии. Окислительно-восстановительные свойства пары $I_2 / 2I^-$. Рабочие растворы (йод, йодид калия, тиосульфат натрия), их приготовление. Индикатор метода. Определение окислителей методом замещения и восстановителей методом обратного титрования. Условия проведения анализа. Применение метода в анализе сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов питания.

Методы осадительного титрования: методы Мора и Фольгарда, их сущность и области применения. Метод Мора: рабочий раствор, его приготовление и стандартизация. Индикатор метода Мора и его ограничения.

Методы комплексонометрического титрования, понятие о комплексонах. Метод трилонометрии: рабочий раствор, его приготовление. Трилон Б, особенности его взаимодействия с катионами металлов. Металлохромные индикаторы. Условия проведения анализа. Области применения метода трилонометрии.

Раздел 3. Физико-химические методы анализа

Тема 7. Оптические методы

Классификация оптических методов, их сравнительная характеристика и отличительные особенности.

Метод фотометрии. Поглощение света окрашенными растворами. Кривая светопоглощения. Оптическая плотность раствора и коэффициент пропускания. Закон Бугера-Ламберта-Бера.

Метод рефрактометрии. Преломление света и показатель преломления. Поляризация вещества под действием света и поляризуемость. Понятие о рефракции: рефракция удельная, молярная, атомная и рефракция связей. Аддитивность рефракции.

Метод поляриметрии. Оптически активные вещества. Поляризованный свет. Угол вращения плоскости поляризации плоскополяризованного света и факторы, влияющие на его величину.

Методы нефелометрии и турбидиметрии. Рассеяние света частицами дисперсной фазы. Зависимость интенсивности рассеянного света от концентрации анализируемой системы. Особенности проведения анализа. Области применения методов.

Эмиссионный спектральный анализ. Спектральные линии и спектры излучения, способы их регистрации. Спектральные линии элемента: «последние», аналитические, линии сравнения и аналитические пары. Применение метода.

Люминесцентный анализ: понятие о люминесценции, ее виды. Люминесцентные спектры излучения, их отличие от эмиссионных спектров. Сортной люминесцентный анализ, его применение при оценке качества пищевых продуктов.

Тема 8. Электрохимические методы

Классификация электрохимических методов, их сравнительная характеристика и отличительные особенности.

Метод потенциометрии: понятия об электродах сравнения и индикаторных электродах, электродном потенциале, гальваническом элементе и его электродвижущей силе. Прямая и косвенная потенциометрия. Применение метода в анализе продуктов питания.

Метод кондуктометрии: электропроводность растворов и подвижность ионов. Прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование, их применение.

Метод полярографии: потенциал восстановления, полярографическая волна, потенциал полуволны, диффузионный ток. Применение метода, его достоинства и недостатки.

Тема 9. Хроматографические методы

Классификация хроматографических методов анализа. Хроматография распределительная, осадочная, ионообменная. Колоноч-

ная, тонкослойная и бумажная хроматография. Области их применения.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Перед выполнением контрольной работы необходимо внимательно прочитать вопросы задания и методические рекомендации к ним, изучить рекомендованную литературу и строго соблюдать изложенные ниже правила выполнения и оформления работы.

1. Контрольная работа включает девять заданий. Номера заданий контрольной работы определяются согласно таблице по двум последним цифрам личного дела (шифра) студента. В таблице по горизонтали и вертикали размещаются цифры от 0 до 9, по вертикали – предпоследняя, а по горизонтали – последняя цифра шифра.

2. Контрольную работу выполняют в отдельной тетради с пронумерованными страницами и полями для замечаний рецензента. Текст работы должен быть рукописным, почерк разборчивым, сокращения слов не допускаются.

3. Задания контрольной работы выполняют в порядке их нумерации, переписывают номер, название темы, номер задания, содержание вопросов (задач) и приводят ответы (решение).

4. При необходимости приводят уравнения реакций, расставляют в них коэффициенты и дают соответствующие пояснения.

5. Графики строят на миллиметровой бумаге и клеивают их в тетрадь (располагают в соответствии с текстом).

6. В расчетных задачах необходимо написать нужные формулы и пояснить входящие в них величины, после чего выполняют вычисления, обосновывая каждое действие и соблюдая соответствие единиц системе СИ.

7. В конце работы приводится список использованной литературы, ставится подпись автора и дата выполнения работы.

8. Контрольную работу, не содержащую серьезных недочетов, рецензент подписывает с пометкой «К собеседованию», которое проводится в межсессионный период или во время сессии после того, как студент письменно ответит на все замечания рецензента.

Таблица определения номеров заданий контрольной работы

Последняя цифра в шифре											
П р е д п о с л е д н я я	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		9, 44, 82	6, 48, 83	3, 46, 84	8, 45, 85	10, 47, 86	2, 41, 87	4, 46, 88	7, 49, 89	5, 42, 90	1, 43, 81
		17, 58	14, 58	12, 57	11, 56	18, 59	15, 60	19, 53	13,55	20, 51	16, 56
		25, 69	26, 61	23, 65	27, 66	29, 67	21, 68	30, 62	22, 64	28, 63	24, 70
	40, 71	32, 80	39, 77	38, 74	36, 73	34, 79	33, 76	37, 78	35, 72	31,75	
	1	7, 45, 81	4, 49, 90	9, 47, 82	1, 44, 89	10, 48, 86	5, 43, 88	8, 42, 84	6, 41, 87	2, 50, 85	3, 46, 83
		18, 53	15, 58	15, 55	12, 60	17, 57	16,54	20, 56	14, 52	11, 57	19, 51
		26, 70	27, 62	24, 66	28, 67	25, 61	22, 69	21, 63	23, 65	29, 64	30, 68
		31, 72	33, 71	40, 78	39, 75	32, 76	37, 80	34, 77	38, 79	36, 73	35, 74
	2	8, 46, 90	5, 50, 88	4, 47, 86	2, 45, 84	10, 43, 82	6, 44, 81	9, 43, 83	7, 42, 85	3, 41, 87	1, 49, 89
		19, 54	17, 59	20, 52	13,51	14, 56	16, 55	11, 57	15, 53	12,58	18, 60
		27, 61	28, 63	21, 69	29, 68	25, 67	23, 70	22, 64	24, 66	30, 65	26, 62
32, 73		34, 72	36, 75	40, 76	31,79	38, 71	35, 78	39, 80	37, 74	33, 77	
3	9, 47, 81	6, 41, 82	1, 49, 83	3, 46, 84	10, 44, 85	7, 45, 86	5, 48, 87	8, 43, 88	4, 42, 89	2, 50, 90	
	20, 55	17, 60	15, 57	14, 52	12, 58	18, 56	11, 53	16, 54	13, 59	19, 58	
	28, 62	29, 64	26, 68	30. 69	23, 65	24, 61	22, 70	25, 67	21, 66	27, 63	
	33, 74	35, 73	32, 80	31, 77	36, 79	39, 72	37, 76	40, 71	38, 75	34, 78	
4	6, 49, 90	7, 42, 89	2, 50, 88	4, 47, 87	10, 48, 86	8, 46, 85	1, 45, 84	9, 44, 83	5, 43, 82	3, 41, 81	
	12, 54	18, 51	16, 58	15, 53	11, 56	19, 57	13, 59	17, 55	14, 60	20, 52	
	23, 61	30, 65	27, 69	21, 70	29, 63	25, 62	24, 66	26, 68	22, 67	28, 64	
	38, 77	36, 74	33, 71	32, 78	34, 75	40, 73	37, 80	31, 72	39, 76	35, 79	

Окончание

ц	5	1, 49, 82	8, 43, 84	3, 41, 86	5, 48, 88	10, 44, 90	9, 47, 81	2, 46, 83	6, 45, 85	7, 50, 87	4, 42, 89
		12, 57	19, 52	17, 59	16, 57	15, 56	20, 58	14, 60	18, 51	13, 55	11, 53
		30, 64	21, 66	28, 70	22, 61	23, 68	26, 63	25, 67	27, 69	24, 62	29, 65
		35, 76	37, 75	34, 72	33, 79	40, 77	31, 74	38, 71	32, 78	39, 73	36, 80
ф	6	2, 50, 90	9, 44, 81	4, 42, 89	6, 49, 82	10, 47, 88	3, 43, 83	8, 41, 87	1, 46, 84	7, 45, 86	5, 43, 85
		13, 58	20, 53	18, 60	17, 55	15, 59	11, 48	14, 56	19, 57	16, 52	12, 54
		21, 65	22, 67	29, 61	23, 62	26, 68	27, 64	25, 63	28, 70	24, 69	30, 66
		36, 77	38, 76	34, 73	40, 80	33, 72	39, 75	32, 79	31, 74	37, 78	35, 71
в	7	3, 41, 81	9, 42, 82	5, 43, 83	7, 50, 84	10, 45, 85	1, 49, 86	4, 48, 87	2, 47, 88	8, 46, 89	6, 44, 90
		14, 59	15, 57	19, 51	18, 56	11, 54	12, 60	16, 55	20, 58	17, 53	13, 55
		22, 66	26, 64	30, 62	24, 63	23, 68	28, 65	27, 69	29, 61	25, 70	21, 67
		37, 78	31, 80	36, 74	35, 71	39, 77	33, 76	40, 73	34, 75	32, 79	38, 72
ш	8	4, 42, 83	1, 46, 85	6, 44, 87	8, 41, 89	10, 49, 82	2, 45, 84	5, 43, 86	3, 47, 88	9, 45, 90	7, 43, 81
		15, 60	12, 55	20, 52	19, 57	13, 58	16, 51	17, 48	11, 59	18, 54	14, 56
		23, 67	24, 69	21, 63	25, 64	29, 66	27, 65	28, 70	30, 62	26, 61	23, 68
		38, 79	40, 78	37, 75	36, 72	31, 77	32, 71	35, 74	33, 76	39, 80	34, 73
ф	9	5, 43, 90	2, 47, 89	7, 45, 88	9, 42, 87	10, 48, 86	3, 41, 85	6, 50, 84	4, 49, 83	1, 44, 82	8, 46, 81
		16, 51	13, 56	11, 53	20, 58	19, 55	14, 52	18, 59	12, 60	17, 59	15, 57
		24, 68	25, 70	22, 64	26, 65	27, 62	30, 67	29, 61	21, 63	28, 66	23, 69
		39, 80	31, 79	38, 76	37, 73	34, 71	35, 78	32, 75	36, 77	33, 72	40, 74
р	е										

5. ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

5.1. Введение в качественный анализ

Задания 1–10

Содержание заданий

1. Задачи качественного анализа, классификация его методов.
2. Классификация методов качественного анализа по способу регистрации результатов анализа, агрегатному состоянию и количеству исследуемого вещества.
3. Характеристика и примеры применения дробного и систематического анализа.
4. Аналитические реакции, их типы и предъявляемые к ним требования.
5. Условия проведения аналитических реакций.
6. Аналитические и групповые реагенты. Аналитические эффекты реакций.
7. Кислотно-основная методика классификации катионов.
8. Классификация анионов по растворимости солей бария и серебра.
9. Произведение растворимости. Его вывод и применение в аналитической химии.
10. Условия образования и растворения осадков.

Методические указания

Для ответа на вопросы заданий 1–10 используйте любые учебные пособия по аналитической химии (раздел «Качественный анализ»). Изучите по ним теоретический материал и приведите краткие ответы на указанные в заданиях вопросы.

5.2. Аналитические группы катионов

Задания 11–20

Содержание заданий

1. Укажите, к каким аналитическим группам относятся перечисленные катионы.

2. Отметьте групповые реагенты и покажите их действие на примере приведенных катионов.

3. Составьте уравнения реакций обнаружения указанных катионов, условия их проведения и аналитические эффекты.

Таблица 5.1

Качественный химический анализ (катионы)

Номер задания	Ионы	Номер задания	Ионы
11	NH_4^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+}	16	Ag^+ , Mn^{2+} , Co^{2+}
12	Na^+ , Fe^{2+} , Cr^{3+}	17	K^+ , Cr^{3+} , Zn^{2+}
13	Ca^{2+} , Sn^{2+} , K^+	18	Ba^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+}
14	K^+ , Cu^{2+} , Mn^{2+}	19	NH_4^+ , Sn^{2+} , Ca^{2+}
15	Pb^{2+} , Fe^{3+} , Ag^+	20	Na^+ , Zn^{2+} , Pb^{2+}

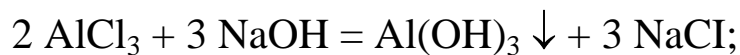
Методические указания

Выполняя задания 11–20, используйте таблицу 1 Приложения. В ней Вы найдете ответы на все вопросы заданий.

Например: катион Al^{3+} .

Примерная схема ответа на вопросы задания:

- Al^{3+} – катион четвертой аналитической группы по кислотно-основной классификации.
- Групповый реагент на катионы этой группы – раствор NaOH .
- Уравнение реакции действия группового реагента:



белый цвет



- Уравнение реакции обнаружения катиона Al^{3+} :



синий цвет

5. Условия проведения реакции: нагрев.

6. Аналитический эффект реакции: синее окрашивание.

Примечание:

а) составляя уравнения реакций, используйте только растворимые соли данного иона (табл. 4 Приложения);

б) написав уравнения любых реакций, не забудьте расставить в них коэффициенты и отметить аналитические эффекты.

5.3. Аналитические группы анионов

Задания 21–30

Содержание заданий

1. Укажите, к каким аналитическим группам относятся перечисленные анионы.

2. Отметьте групповые реагенты и покажите их действие на примере приведенных анионов.

3. Составьте уравнения реакций обнаружения указанных анионов, отметьте типы реакций, условия их проведения и аналитические эффекты.

Таблица 5.2

Качественный химический анализ (анионы)

Номер задания	Ионы	Номер задания	Ионы
21	Cl^- , NO_2^-	26	SO_3^{2-} , NO_3^-
22	CO_3^{2-} , I^-	27	CO_3^{2-} , CH_3COO^-
23	PO_4^{3-} , CH_3COO^-	28	Br^- , SO_4^{2-}
24	J^- , SO_3^{2-}	29	NO_2^- , PO_4^{3-}
25	SO_4^{2-} , Br^-	30	S^{2-} , SO_3^{2-}

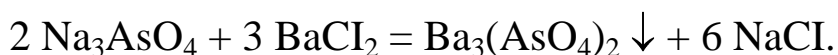
Методические указания

Выполняя задания 21–30, используйте таблицы 2 Приложения. В ней Вы найдете ответы на все вопросы заданий.

Например: ион AsO_4^{3-} .

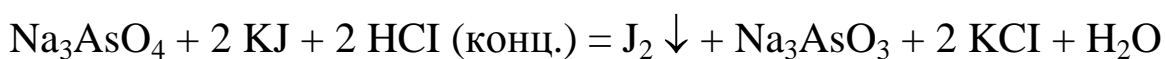
Примерная схема ответа на вопросы задания:

1. AsO_4^{3-} – анион первой аналитической группы.
2. Групповой реагент на анионы этой группы – раствор BaCl_2 .
3. Уравнение реакции действия группового реагента:



белый крист.

4. Уравнение реакции обнаружения аниона AsO_4^{3-} :



темно-серый

5. Условия проведения реакции: температура (комнатная), раствор HCl (концентрированный), реагент на J_2 (крахмальный клейстер).

6. Аналитический эффект реакции: синее окрашивание крахмала.

7. Тип реакции: окислительно-восстановительная.

Таблица 5.3

Подбор коэффициентов методом электронного баланса

Природа атома	Процессы	Электроны	Наименьшее общее кратное	Коэффициенты
Окислитель	$\text{As}^{+5} + 2 e = \text{As}^{+3}$ восстановление	2	2	1
Восстановитель	$2 \text{J}^- - 2 e = \text{J}_2^0$ окисление	2		1

Примечание:

а) составляя уравнения реакций, используйте только растворимые соли данного иона (табл. 3 Приложения);

б) написав уравнения любых реакций, не забудьте расставить в них коэффициенты и отметить аналитические эффекты.

5.4. Способы выражения концентрации растворов

Задания 31–40

Содержание заданий

Дайте определение и рассчитайте массовую долю и массовую концентрацию растворённого вещества, его молярную и моляльную концентрации, молярную концентрацию эквивалентов и титр раствора на основании данных (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Способы выражения концентрации растворов

Номер задания	Формула вещества	Масса вещества, г	Масса воды, г	Плотность раствора, г/мл
31	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	32	538	1,0360
32	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	16	884	1,0095
33	H_2SO_4	20	597	1,0200
34	Na_2CO_3	23	337	1,0072
35	H_3PO_4	47	163	1,1100
36	MgCl_2	58	622	1,0220
37	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	65	991	1,0060
38	FeCl_3	24	446	1,0052
39	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	15	230	1,0003
40	Na_3PO_4	40	700	1,0046

Методические указания

Раствор – это гомогенная система, состоящая из растворенного вещества, растворителя и продуктов их взаимодействия.

Важнейшей количественной характеристикой раствора является его концентрация, которая показывает содержание растворенного вещества в определенном количестве раствора или растворителя.

Концентрацию растворов выражают разными способами:

1. Массовая доля вещества В (символ ω (В), безразмерная величина), равная отношению массы компонента В в исследуемом образце к массе всего образца или массы растворенного вещества В к массе раствора. ω (В) выражается в долях единицы и рассчитывается по формулам

$$\omega (B) = \frac{m(B)}{m_{\text{р-ра}}} = \frac{m(B)}{m(B) + m_{\text{р-ля}}} = \frac{m(B)}{\rho \cdot V},$$

где $m(B)$ – масса растворенного вещества В, г (мг, кг);

$m(\text{р-ра})$ – масса раствора, г (мг, кг);

$m(\text{р-ля})$ – масса растворителя, г (мг, кг);

ρ – плотность раствора, г/мл (г/см^3);

V – объем раствора, мл.

В практической деятельности часто приходится рассчитывать процентное содержание растворенного вещества. Для этого используется формула

$$\omega (\%) = \frac{m(B) \cdot 100}{m_{\text{р-ра}}}.$$

2. Массовая концентрация вещества В (символ γ (В), единица г/л) равна массе растворенного вещества В в одном литре раствора. Рассчитывается γ (В) по формуле

$$\gamma (B) = \frac{m (B)}{V},$$

где $m (B)$ – масса растворенного вещества B , г;

V – объем раствора, л.

3. Молярная концентрация вещества B (символ $C (B)$, единица моль/л) равна количеству вещества B , содержащегося в одном литре раствора. Рассчитывается $C (B)$ по формуле

$$C (B) = \frac{n (B)}{V \text{ (л)}} = \frac{m (B)}{M (B) \cdot V \text{ (л)}} = \frac{m (B) \cdot 1000}{M (B) \cdot V \text{ (мл)}}$$

где $n (B)$ – количество растворенного вещества B , моль;

$m (B)$ – масса растворенного вещества B , г;

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

V – объем раствора, л (мл).

Молярная масса вещества B равна сумме атомных масс элементов, составляющих молекулу вещества B .

4. Моляльная концентрация вещества B (символ $C m (B)$, единица моль/кг) равна количеству вещества B в одном килограмме растворителя. Рассчитывается $C m (B)$ по формуле

$$C m (B) = \frac{n (B)}{m_{\text{р-ля}} \text{ (кг)}} = \frac{m (B) \cdot 1000}{M (B) \cdot m_{\text{р-ля}} \text{ (г)}}$$

где $n (B)$ – количество вещества B , моль;

$m (B)$ – масса вещества B , г;

$m_{\text{р-ля}}$ – масса растворителя, кг (г);

$M (B)$ – молярная масса вещества B , г/моль.

5. Молярная концентрация эквивалентов вещества B (символ $C_{\text{эк}} (B)$, единица моль/л) равна количеству эквивалентов веще-

ства В, содержащегося в одном литре раствора. Рассчитывается $C_{\text{эк}}(B)$ по формуле

$$C_{\text{эк}}(B) = \frac{n_{\text{эк}}(B)}{V_{\text{л}}} = \frac{m(B)}{M_{\text{эк}}(B) \cdot V_{\text{л}}} = \frac{m(B) \cdot 1000}{M_{\text{эк}}(B) \cdot V_{\text{мл}}}$$

где $n_{\text{эк}}(B)$ – количество эквивалентов вещества В, моль;

$m(B)$ – масса растворенного вещества В, г;

$M_{\text{эк}}(B)$ – молярная масса эквивалентов вещества В, г/моль;

V – объем раствора, л (мл).

Молярная масса эквивалентов вещества В определяется из соотношения

$$M_{\text{эк}}(B) = \frac{M(B)}{Z(B)},$$

где $M(B)$ – молярная масса вещества В, г/моль;

$Z(B)$ – эквивалентное число.

При вычислении молярных масс эквивалентов кислот, оснований или солей, используемых в расчетах при приготовлении растворов этих веществ, эквивалентные числа соответственно равны:

Z кислоты равно числу ионов H^+ [$H_2SO_4 \rightarrow 2$];

Z основания равно числу ионов OH^- [$Ba(OH)_2 \rightarrow 2$];

Z соли равно суммарному заряду всех катионов данной соли [$Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 3 \times 2 = 6$].

Значения $Z(B)$ в обменных реакциях определяются по величине стехиометрических коэффициентов каждой конкретной реакции.

Так, в реакции $H_2SO_4 + 2 KOH = K_2SO_4 + 2 H_2O$ эквивалентное число серной кислоты равно 2 [$Z(H_2SO_4) = 2$], так как 2 иона H^+ обмениваются на 2 иона K^+ .

В окислительно-восстановительных реакциях значения $Z(B)$ определяются числом принятых или отданных электронов. Так, для

KMnO_4 в зависимости от значения рН среды Z (В) может быть равно 1, 3 или 5.

6. Титр (символ T (В), единица г/мл) равен массе растворенного вещества В в 1 мл раствора и рассчитывается по формуле

$$T (B) = \frac{m (B)}{V \text{ (мл)}}$$

где $m (B)$ – масса растворенного вещества В, г;

V – объем раствора, мл.

7. Титр раствора по определяемому веществу (символ T (А/В), единица г/мл) равен массе определяемого вещества В, реагирующего с 1 мл раствора вещества А.

$$T (A/B) = \frac{C_{\text{эк}} (A) \cdot M_{\text{эк}} (B)}{1000},$$

где $C_{\text{эк}} (A)$ – молярная концентрация эквивалентов вещества А, моль/л;

$M_{\text{эк}} (B)$ – молярная масса эквивалентов определяемого вещества В, г/моль.

Примечание. Ознакомившись со способами выражения концентрации растворов, приступайте к решению задач 21 – 30. Для облегчения и ускорения вычислений выполните следующие рекомендации в указанной последовательности:

а) вычислите объем раствора, используя формулу

$$m (p\text{-ра}) = \rho \cdot V (p\text{-ра});$$

б) вычислите молярную массу растворенного вещества $M (B)$, (см. с. 21 п. 3);

в) вычислите молярную массу эквивалентов растворенного вещества $M_{\text{эк}} (B)$, (см. с. 22 п. 5);

г) проведите вычисления всех концентраций, соблюдая последовательность, указанную в задании, для чего выберите соответствующую формулу, внесите значения указанных в ней величин

(данных в условии задачи или вычисленных) и закончите вычисление, указав размерность полученной величины;

5.5. Титриметрический (объемный) анализ

Задания 41–50

Содержание заданий

Номер задания	Вопросы
41.	Титриметрический (объемный) анализ. Сущность и классификация его методов. Требования к реакциям, применяемым в титриметрических методах анализа.
42.	Титрованные растворы и способы их приготовления. Установочные вещества (первичные стандарты), их назначение и предъявляемые к ним требования.
43.	Метод кислотно-основного титрования. Индикаторы метода. Область перехода окраски индикатора и показатель титрования. Правило выбора индикатора.
44.	Метод алкалометрии. Рабочий раствор метода, его характеристика и приготовление. Применение метода.
45.	Метод ацидиметрии. Рабочий раствор метода, его характеристика и приготовление. Применение метода.
46.	Методы окислительно-восстановительного титрования. Сущность методов и их классификация. Окислительно-восстановительный потенциал. Уравнение Нернста. Вычисление молярных масс эквивалентов окислителей и восстановителей.
47.	Метод перманганатометрии. Окислительные свойства KMnO_4 в различных средах. Рабочий раствор метода, его приготовление и стандартизация. Определение точки эквивалентности. Практическое значение метода.
48.	Общая характеристика метода йодометрии. Рабочие растворы метода, их приготовление и стандартизация. Индикатор метода. Особенности определения окислителей.
49.	Методы осадительного титрования. Требования, предъявляемые к реакциям метода. Методы аргентометрии (метод Мора). Рабочий раствор, его приготовление и стандартизация. Индикатор метода. Ограничение метода Мора и его применение.

Номер задания	Вопросы
50.	Общая характеристика методов комплексонометрического титрования. Метод трилонометрии. Рабочий раствор и индикаторы метода. Вычисление молярных масс эквивалентов трилона Б и металлов. Применение метода.
51.	Массовая доля нерастворимых примесей в поваренной соли составляет 0,0835. Определите массу примесей и чистой соли в её партии массой 400 кг.
52.	Вычислите массу и массовую долю гигроскопической влаги в поваренной соли по следующим данным: масса сухого бюкса – 27,1282 г; масса бюкса с влажной солью – 27,7698 г; масса бюкса с сухой солью – 27,7506 г.
53.	Определите объём раствора KOH с массовой долей 0,3 и плотностью 1,29 г/мл, если на его титрование затрачено 15,00 мл 0,2500 н раствора HCl.
54.	Рассчитайте массовую долю NaOH в навеске вещества массой 1,0122 г, если на ее титрование после растворения необходимо 25,00 мл серной кислоты с $T(H_2SO_4 / NaOH) = 0,0170$ г/мл.
55.	Вычислите массовую концентрацию (г/л) уксусной кислоты в маринаде, если на титрование 20,00 мл маринада израсходовано 3,85 мл 0,0935 н раствора NaOH.
56.	Вычислите массовую долю молочной кислоты $CH_3CHOHCOOH$ в огуречном рассоле, если на титрование 25,00 мл отфильтрованного рассола с плотностью 1 г/мл израсходовано 19,60 мл 0,0100 н раствора NaOH.
57.	Определите молярную концентрацию эквивалентов уксусной кислоты и её массу в 1 л томатного маринада, если на титрование 20,00 мл маринада израсходовано 2,75 мл 0,1054 н раствора NaOH.
58.	Из 15,00 г вареной колбасы приготовили 100 мл водной вытяжки, на титрование 20,00 мл которой израсходовали 24,60 мл 0,0624 н раствора $KMnO_4$ в кислой среде. Рассчитайте массу и массовую долю $NaNO_2$ в образце.
59.	При растворении 5,4550 г анализируемого образца, содержащего железо, получено 250 мл раствора, на титрование 25,00 мл которого затрачено 25,00 мл 0,0186 н раствора $KMnO_4$. Рассчитайте $T(KMnO_4 / Fe)$, массу и массовую долю железа в образце.

Номер задания	Вопросы
60.	В мерной колбе объёмом 100 мл приготовлен раствор щавелевой кислоты, молярная концентрация которого составляет 0,0500 моль/л. На титрование 10 мл этого раствора затрачено 9,10 мл раствора KMnO_4 . Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов, $T(\text{KMnO}_4)$ и $T(\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$.
61.	На титрование раствора, полученного растворением 0,1420 г образца, содержащего железо, затрачено 24,85 мл 0,1005 н раствора KMnO_4 . Рассчитайте массу и массовую долю железа в образце.
62.	Определите массу и массовую долю Na_2SO_3 в образце, если на титрование 20,00 мл раствора, полученного растворением 0,5450 г навески образца в мерной колбе объёмом 250 мл, израсходовано 20,00 мл 0,0250 н раствора I_2 .
63.	0,6300 г образца, содержащего медь, растворили и получили раствор, на титрование которого методом йодометрии затрачено 15,20 мл раствора тиосульфата натрия с титром по меди 0,0065 г/мл. Вычислите массу и массовую долю меди в образце.
64.	Определите массу и массовую долю SO_2 во фруктовом пюре, если из его пробы массой 20,00 г приготовили раствор, на титрование которого израсходовали 25,50 мл 0,0252 н раствора I_2 .
65.	Определите общую жесткость воды, если на титрование 50,00 мл её израсходовано 4,40 мл 0,05 н раствора трилона Б с поправочным коэффициентом 0,96. Чему равен титр трилона Б по кальцию и магнию?
66.	Вычислите молярную концентрацию эквивалентов и титр раствора трилона-Б, если на титрование 10,00 мл 0,0500 н раствора хлорида магния затрачено 9,70 мл раствора трилона-Б.
67.	Растворением 0,2842 г образца, содержащего хлорид магния, получено 250 мл раствора, на титрование 10,00 мл которого израсходовано 5,7 мл 0,0200 н раствора трилона-Б. Вычислите массу и массовую долю хлорида магния в образце.
68.	Вычислите массу и массовую долю NaCl в коровьем масле, если из 10,00 г масла приготовили 100,00 мл водной вытяжки и на титрование 20,00 мл её израсходовали 6,45 мл 0,0569 н раствора AgNO_3 в присутствии K_2CrO_4 .

Номер задания	Вопросы
69.	Навеску технического хлорида натрия массой 2,4080 г растворили в мерной колбе объёмом 500 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора затратили 20,35 мл 0,1 н раствора нитрата серебра. Рассчитайте массу и массовую долю хлорида натрия в образце.
70.	Растворением в азотной кислоте серебряного сплава массой 0,1900 г приготовлен раствор, на титрование которого израсходовано 21,12 мл 0,0500 н раствора NaCl. Вычислите массу и массовую долю серебра в сплаве.

Методические указания

1. Приступая к выполнению заданий 41 – 50, изучите теоретический материал в учебных пособиях по аналитической химии (раздел «Количественный анализ») и приведите краткие ответы на вопросы заданий согласно их условиям.

1.1. Приводя общую характеристику химических методов количественного анализа, отметьте следующие позиции:

- а) сущность методов и их классификацию,
- б) требования, предъявляемые к реакциям;
- в) рабочие растворы методов;
- г) особенности определения точки эквивалентности.

1.2. Описывая конкретный метод анализа, укажите:

- а) основную реакцию метода;
- б) рабочий раствор и способы его приготовления;
- в) установочное вещество и методику определения точной концентрации рабочего раствора;
- г) определение точки эквивалентности в данном методе;
- д) расчетные формулы, применяемые при вычислениях по результатам титрования;
- е) области применения метода.

2. При выполнении заданий 51 – 70 внимательно прочитайте их условия, повторите методические указания к заданиям 31 – 40, определите представленные в заданиях методы количественного химического анализа и учтите перечисленные ниже рекомендации.

2.1. В гравиметрическом методе анализа при вычислениях массы вещества или его массовой доли используйте расчетную формулу

$$\omega (B) = \frac{m (B)}{m_{\text{обр.}}},$$

где $\omega (B)$ – массовая доля определяемого вещества B;

$m (B)$ – масса определяемого вещества B, г (мг, кг);

$m (\text{обр.})$ – масса образца, г (мг, кг).

Примечание. Указанную формулу используйте и в титриметрических методах анализа, когда требуется вычислить массовую долю определяемого вещества в исследуемом образце.

2.2. В титриметрических методах анализа в основе всех расчетов лежит закон эквивалентов: «Массы реагирующих друг с другом элементов или веществ пропорциональны молярным массам их эквивалентов», что выражается соотношением

$$\frac{m (A)}{m (B)} = \frac{M_{\text{эк}} (A)}{M_{\text{эк}} (B)},$$

где $m (A)$ и $m (B)$ – массы веществ A и B, г;

$M_{\text{эк}} (A)$ и $M_{\text{эк}} (B)$ – молярные массы эквивалентов веществ A и B, г/моль.

Если известны $m (A)$, $M_{\text{эк}} (A)$ и $M_{\text{эк}} (B)$, то вычисление $m (B)$ проводится по формуле

$$m (B) = \frac{m (A) \cdot M_{\text{эк}} (B)}{M_{\text{эк}} (A)}.$$

2.3. При выполнении вычислений по результатам титрования используйте математическое выражение следствия из закона эквивалентов (так называемое правило пропорциональности):

$$C_{\text{эк}}(A) \cdot V(A) = C_{\text{эк}}(B) \cdot V(B),$$

где $C_{\text{эк}}(A)$ и $C_{\text{эк}}(B)$ – молярные концентрации эквивалентов веществ A и B , моль/л;

$V(A)$ и $V(B)$ – объемы растворов веществ A и B , мл.

Если в указанном соотношении известны $C_{\text{эк}}(A)$, $V(A)$ и $V(B)$, то не трудно вычислить $C_{\text{эк}}(B)$ по формуле

$$C_{\text{эк}}(B) = \frac{C_{\text{эк}}(A) \cdot V(A)}{V(B)}.$$

Вычислив $C_{\text{эк}}(B)$, можно определить массу вещества B , используя формулу

$$C_{\text{эк}}(B) = \frac{m(B)}{M_{\text{эк}}(B) \cdot V(\text{л})} = \frac{m(B) \cdot 1000}{M_{\text{эк}}(B) \cdot V(\text{мл})}$$

из которой следует, что

$$m(B) = \frac{C_{\text{эк}}(B) \cdot M_{\text{эк}}(B) \cdot V(\text{мл})}{1000}.$$

2.4. Если в условии задачи указан поправочный коэффициент (K), то для его вычисления используйте формулы

$$K = \frac{C_{\text{эк, оп.}}}{C_{\text{эк, теор.}}} \text{ или } K = \frac{T_{\text{оп.}}}{T_{\text{теор.}}},$$

где $C_{\text{эк, оп.}}$ – молярная концентрация эквивалентов раствора, вычисленная по результатам титрования, моль/л;

$C_{\text{эк, теор.}}$ – молярная концентрация эквивалентов приготовленного раствора, моль/л;

$T_{\text{оп.}}$ – титр раствора, вычисленный по результатам титрования, г/мл;

$T_{\text{теор.}}$ – титр приготовленного раствора, г/мл.

2.5. Если в задаче требуется вычислить значение титра по определяемому веществу – $T (A / B)$, то используйте определение этого понятия и формулу для его вычисления (см. с. 25 п. 7).

2.6. Если в условии задачи указаны разные способы выражения концентрации растворов, то обратитесь к вычислениям в заданиях 31 – 40, найдите соответствующие формулы и проведите аналогичные вычисления.

2.7. Если в условии задачи представлен какой-то из методов редоксиметрии, то необходимо написать уравнение соответствующей окислительно-восстановительной реакции, составить схему ионного или ионно-электронного баланса и подобрать коэффициенты к окислителю и восстановителю. Далее следует расставить коэффициенты в уравнении реакции и вычислить молярные массы эквивалентов окислителя и восстановителя, разделив их молярные массы на число принятых окислителем и отданных восстановителем электронов.

Примеры решения типовых задач

Пример 1.

Определить молярную концентрацию раствора и молярную концентрацию эквивалентов раствора H_2SO_4 , массовая доля которого равна 0,62. Плотность раствора составляет 1,52 г/мл.

Решение.

1. Вычисляем массу безводной H_2SO_4 в 1 л исходного раствора, используя формулу

$$\omega (H_2SO_4) = \frac{m (H_2SO_4)}{\rho \cdot V},$$

откуда

$$m (H_2SO_4) = \omega (H_2SO_4) \cdot \rho \cdot V = 0,62 \cdot 1,52 \cdot 1000 = 942,4 \text{ г.}$$

2. Находим молярную массу H_2SO_4 :

$$M(H_2SO_4) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 98 \text{ г / моль.}$$

3. Находим молярную концентрацию раствора H_2SO_4 :

$$C(H_2SO_4) = \frac{m(H_2SO_4)}{M(H_2SO_4)} = \frac{942,4}{98} = 9,6 \text{ моль / л.}$$

4. Находим молярную массу эквивалентов H_2SO_4 :

$$M_{\text{эк}}(H_2SO_4) = \frac{M(H_2SO_4)}{Z(H_2SO_4)} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г / моль.}$$

3. Находим молярную концентрацию эквивалентов раствора H_2SO_4 :

$$C_{\text{эк}}(H_2SO_4) = \frac{m(H_2SO_4)}{M_{\text{эк}}(H_2SO_4)} = \frac{942,4}{49} = 19,2 \text{ моль / л.}$$

Ответ: $C(H_2SO_4) = 9,6 \text{ моль / л; } C_{\text{эк}}(H_2SO_4) = 19,2 \text{ моль / л.}$

Пример 2.

Определить титр 0,1020 н раствора HCl по определяемому веществу $NaOH$ [$T(HCl / NaOH)$].

Решение.

1. Находим молярную массу эквивалентов $NaOH$:

$$M_{\text{эк}}(NaOH) = \frac{M(NaOH)}{1} = 40 \text{ г / моль.}$$

2. Вычисляем титр раствора HCl по определяемому раствору $NaOH$:

$$T(HCl/NaOH) = \frac{C_{\text{эк}}(HCl) \cdot M_{\text{эк}}(NaOH)}{1000} = \frac{0,1020 \cdot 40}{1000} = 0,00408 \text{ г / мл.}$$

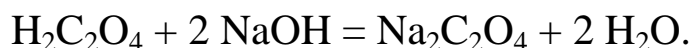
Ответ: $T(HCl / NaOH) = 0,00408 \text{ г / мл.}$

Пример 3.

Навеску щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) массой 3,1513 г растворили в мерной колбе объёмом 500 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора затратили 24,36 мл раствора NaOH. Рассчитать С эк (NaOH) и Т (NaOH).

Решение.

1. Записываем уравнение реакции:



2. Рассчитываем молярные массы эквивалентов щавелевой кислоты – М эк ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) и гидроксида натрия – М эк (NaOH):

$$\text{а) } M_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})}{2} = \frac{126,07}{2} = 63,03 \text{ г/моль},$$

$$\text{б) } M_{\text{эк}}(\text{NaOH}) = \frac{M(\text{NaOH})}{1} = 40 \text{ г / моль}.$$

3. Находим молярную концентрацию эквивалентов щавелевой кислоты – С эк ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$):

$$C_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) \cdot 1000}{M_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) \cdot V} = \frac{3,1513 \cdot 1000}{63,03 \cdot 500} = 0,0999 \text{ моль / л}.$$

4. Находим молярную концентрацию эквивалентов NaOH, используя формулу

$$C_{\text{эк}}(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{NaOH}} = C_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}),$$

из которой следует, что

$$C_{\text{эк}}(\text{NaOH}) = \frac{0,0999 \cdot 25,0}{24,36} = 0,1025 \text{ моль / л.}$$

5. Находим титр раствора NaOH – T (NaOH):

$$T(\text{NaOH}) = \frac{C_{\text{эк}}(\text{NaOH}) \cdot M_{\text{эк}}(\text{NaOH})}{1000} = \frac{0,1025 \cdot 40}{1000} = 0,0041 \text{ г / мл.}$$

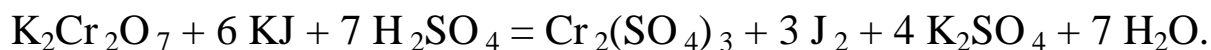
Ответ: $C_{\text{эк}}(\text{NaOH}) = 0,1025 \text{ моль / л; } T(\text{NaOH}) = 0,0041 \text{ г / мл.}$

Пример 5.

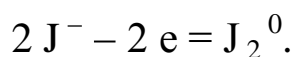
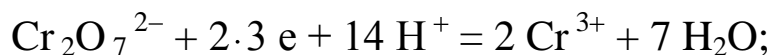
К раствору бихромата калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) добавили избыток раствора КJ. Выделившийся J_2 оттитровали 35,20 мл 0,05 н раствора тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Рассчитать массу $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в исследуемом растворе.

Решение.

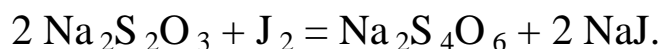
1. Составляем уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей до титрования:



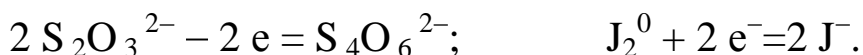
Пишем схему ионно-электронного баланса:



2. Составляем уравнение реакции, протекающей при титровании:



Пишем схему ионно-электронного баланса:



3. Рассчитаем молярные массы эквивалентов $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:

$$\text{а) } M_{\text{эк}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{6} = 49,03 \text{ г/моль};$$

$$\text{б) } M_{\text{эк}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{1} = 248 \text{ г/моль}.$$

4. Определяем титр тиосульфата натрия по бихромату калия:

$$\begin{aligned} T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= \frac{C_{\text{эк}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot M_{\text{эк}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{1000} = \\ &= \frac{0,05 \cdot 49,03}{1000} = 0,00245 \text{ г/мл} \end{aligned}$$

5. Находим массу бихромата калия в исследуемом растворе:

$$\begin{aligned} m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \\ &= 0,00245 \cdot 35,20 = 0,086 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,086 \text{ г}$.

5.6. Оптические методы анализа

Задания 71–80

Содержание заданий

Привести ответы на вопросы (А) и решить задачи (Б).

Таблица 5.5

Номер задания	Вопросы	Задачи
	А	Б
71	Рефрактометрический анализ. Сущность метода и его применение	Показатель преломления водно-ацетонового раствора равен 1,35. Определить массовую долю ацетона в растворе на основании следующих данных: ω (%) 10 20 30 40 50 n 1,336 1,339 1,342 1,345 1,348
72	Понятие о молярной рефракции, ее физический смысл и вычисление	Вычислить значения молярной рефракции C_2H_5OH :
		а) на основании данных: $n = 1,36$; $\rho = 0,789$ г/см ³ ;
		б) по свойству аддитивности: $R(C) = 2,418$; $R(H) = 1,1$;
		$R(O \text{ в } OH) = 1,525$ см ³ / моль
73	Понятие об удельной рефракции, ее размерность и вычисление	Вычислить значения удельной рефракции раствора CH_3COOH :
		а) на основании данных: $n = 1,3698$; $\rho = 1,0493$ г/см ³ ; б) по свойству аддитивности: $R(C) = 2,418$; $R(H) = 1,1$; $R(O \text{ в } C=O) = 2,211$; $R(O \text{ в } OH) = 1,525$ см ³ /моль
74	Поляриметрический анализ: сущность метода и применение	Рассчитать массовую концентрацию исследуемого раствора глюкозы (г/100 мл) на основании данных: угол вращения плоскости поляризации исследуемого раствора глюкозы равен 12 °, угол удельного вращения равен 52,7 °, а длина трубки – 20 см
75	Фотометрический анализ: сущность метода и области его применения	Оптические плотности исследуемых растворов $K_2Cr_2O_7$ равны 0,357 и 0,548. Определить молярные концентрации этих растворов, используя данные: $C \cdot 10^{-4}$, моль/л 1,0 2,5 3,5 4,0 4,5 5,5 D 0,11 0,27 0,38 0,43 0,50 0,60

7 6	Оптическая плотность. Основной закон фотометрии. Понятие об основном и дополнительном цвете	Вычислить молярную концентрацию меди в ее аммиачном растворе, его молярный и удельный коэффициенты погашения, если оптическая плотность раствора при толщине слоя в 2 см равна 0,264, а 50 мл этого раствора содержат 0,23 мг ионов меди
7 7	Люминесцентный анализ: виды люминесценции и области их применения	Интенсивность флуоресценции раствора, содержащего ионы Al^{3+} , составляет 49 условных единиц. Определить методами градуировочного графика и одного эталона (эт. 3) содержание ионов Al^{3+} в исследуемом растворе на основании следующих данных: γ , мкг/мл 0,02 0,04 0,06 0,08 0,10 I, усл. ед. 18 36 54 72 90
7 8	Проведение фотометрического анализа методами градуировочного графика и одного эталона	Оптическая плотность раствора, содержащего окрашенный комплекс никеля с диметилглиоксимом, равна 0,46. Определить массу и массовую концентрацию никеля в 100 мл исследуемого раствора на основании данных: γ , мкг / мл 0,8 1,6 2,4 3,2 4,0 D 0,18 0,36 0,54 0,72 0,90
7 9	Определение состава смеси методом рефрактометрии	Определить состав смеси бензола с толуолом, используя экспериментальные данные: n (бензола) = 1,502; ρ (бензола) = 0,879 г/см ³ ; n (толуола) = 1,497; ρ (толуола) = 0,867 г/см ³ ; n (смеси) = 1,495; ρ (смеси) = 0,865 г/см ³
8 0	Проведение поляриметрического анализа методами калибровочного графика и одного эталона	При анализе стандартных растворов винной кислоты методом поляриметрии получены следующие результаты: ω , % 10 20 30 40 α , градус 9,9 19,1 27,3 34,9. Сколько граммов винной кислоты необходимо растворить в 250 мл воды, чтобы угол вращения плоскости поляризации полученного раствора оказался равным 23,5°?

Методические указания

1. Для выполнения заданий 71–80 изучите теоретический материал в учебных пособиях (раздел «Физико-химические методы анализа») и приведите краткие ответы на вопросы заданий.

1.1. Приводя общую характеристику физико-химических методов анализа, отметьте группу методов, их отличительные особенности и изучаемые ими физические свойства веществ.

1.2. Характеризуя конкретный метод, отметьте его сущность, математическое выражение основного закона и области применения.

2. Выполняя расчетные задания, используйте для вычислений соответствующие формулы (см. учебные пособия и лабораторный практикум по физико-химическим методам анализа).

2.1. Физико-химические (инструментальные) методы количественного анализа основаны на зависимости физических свойств исследуемых растворов от их концентрации.

2.2. Если в условии расчетной задачи указано несколько значений концентрации и соответствующих им показаний прибора, то по этим данным постройте градуировочный график. Используйте для его построения миллиметровую бумагу. Значения концентрации отложите на оси абсцисс, а показания приборов – на оси ординат. Масштаб по осям координат выберите таким образом, чтобы угол наклона графика был $\sim 45^\circ$. Зависимость между показаниями приборов и концентрациями растворов изобразите прямой линией, которую (в случае разброса точек) проведите усреднённо.

2.3. Используя построенный график, определите концентрацию анализируемого раствора и вычислите содержание определяемого вещества в растворе или в образце.

5.7. Электрохимические и хроматографические методы анализа

Задания 81–90

Содержание заданий

Привести ответы на вопросы (А) и решить задачи (Б).

Таблица 5.6

Номер задания	Вопросы	Задачи
	А	Б
81	Методы электрохимического анализа: понятие и их классификация	Определить удельную и эквивалентную электропроводности 0,1н раствора хлорида натрия, если сопротивление этого раствора, помещенного в ячейку с площадью электродов $1,5 \text{ см}^2$ и расстоянием между ними 0,75 см, равно 48,6 Ом
82	Метод потенциометрии, его сущность. Прямая потенциометрия	При прямой потенциометрии стандартных растворов, содержащих нитрат-ионы, получены данные: C , моль/л 0,00001 0,0001 0,001 0,01 0,1 ЭДС, мВ 330 275 225 170 120. Построить градуировочный график в координатах ЭДС – (- lg C) и определить концентрацию нитрат-ионов в исследуемых растворах при значениях ЭДС, равных 250 и 150 мВ
83	Метод потенциометрии, его сущность. Потенциометрическое титрование	При потенциометрическом титровании раствора HCl 0,1н раствором NaOH получены данные: $V(\text{NaOH})$, мл 18,0 19,0 20,0 21,0 22,0 pH 2,28 2,59 7,00 11,49 11,68. Найти графически объем 0,1н раствора NaOH при значениях pH, равных 3,5 и 10,5, и рассчитать молярную концентрацию и массу HCl в 20 мл ее раствора
84	Метод кондуктометрии, его сущность. Прямая кондуктометрия	Рассчитать молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалентов раствора BaCl_2 , если удельная и эквивалентная электропроводности этого раствора равны соответственно: $\chi = 1,191 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и $\lambda = 119,1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$
85	Метод кондуктометрии, его сущность. Кондуктометрическое титрование	Удельное сопротивление исследуемого раствора NH_4Cl равно 4,4 Ом·см. Определить его массовую долю (в %), используя данные: <hr/> $\omega, \%$ 5 10 15 20 25 $\chi, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ 0,092 0,178 0,239 0,337 0,403

86	Метод полярографии, его сущность и применение метода	<p>Определить массу и массовую долю (%) олова в 2,5 г сплава, если при анализе 50 мл его раствора высота полярографической волны составила 10 мм, а при анализе стандартных растворов получены следующие данные:</p> <table> <tr> <td>γ, мг/мл</td> <td>0,5</td> <td>1,0</td> <td>1,5</td> <td>2,0</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>h, мм</td> <td>4,0</td> <td>8,0</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>20</td> </tr> </table>	γ , мг/мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	h , мм	4,0	8,0	12	16	20
γ , мг/мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5									
h , мм	4,0	8,0	12	16	20									
87	Хроматографический анализ: сущность и классификация методов	Через две колонки с катионитом пропустили воду с общей жесткостью 10 ммоль/л и вычислили жесткость умягченной воды (элюата). Оценить качество умягчения воды (K, %) и вычислить погрешности опыта, если истинная жесткость элюатов составляет 3 ммоль/л, а вычисленная оказалась равной 2,5 и 2 ммоль/л												
88	Ионообменная хроматография: сущность метода и его применение	Определить массу анионита, необходимого для извлечения хлорид-ионов из 300 мл 0,2н раствора, если обменная емкость анионита по хлорид-иону равна 3,5 моль ионов/г. Сколько литров 0,2н раствора хлорид-ионов может извлечь 1 кг указанного ионита?												
89	Газовая хроматография: сущность и применение метода	<p>При исследовании стандартных растворов этилового спирта методом газовой хроматографии на хроматограмме получены данные зависимости высоты пиков от массовой концентрации:</p> <table> <tr> <td>γ, мг / 0,02 мл</td> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>h, мм</td> <td>17</td> <td>35</td> <td>48</td> <td>66</td> <td>83.</td> </tr> </table> <p>Определить массу и массовую долю этилового спирта в 0,02 мл исследуемых растворов с плотностью 0,91 г/мл и высотой пиков на хроматограмме, равной 55 и 70 мм</p>	γ , мг / 0,02 мл	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	h , мм	17	35	48	66	83.
γ , мг / 0,02 мл	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0									
h , мм	17	35	48	66	83.									
90	Газожидкостная хроматография: сущность и применение метода	<p>Для вычисления массы определяемого компонента (m_k) методом ГЖХ приготовили пять стандартных растворов, измерили на хроматограммах отношение площадей пиков внутреннего стандарта и определяемого компонента ($S_{ст} / S_k$) в зависимости от отношения их масс ($m_{ст} / m_k$) и получили данные:</p> <table> <tr> <td>$S_{ст} / S_k$</td> <td>0,212</td> <td>0,264</td> <td>0,305</td> <td>0,319</td> <td>0,427</td> </tr> <tr> <td>$m_{ст} / m_k$</td> <td>0,248</td> <td>0,307</td> <td>0,354</td> <td>0,378</td> <td>0,503.</td> </tr> </table> <p>Определить по графику значение отношения ($m_{ст} / m_k$), если значение отношения ($S_{ст} / S_k$) равно 0,360. Используя формулу ($S_{ст} / S_k = k \cdot m_{ст} / m_k$), вычислить поправочный коэффициент (k) и массу компонента (m_k), зная, что масса внутреннего стандарта равна 10 мг</p>	$S_{ст} / S_k$	0,212	0,264	0,305	0,319	0,427	$m_{ст} / m_k$	0,248	0,307	0,354	0,378	0,503.
$S_{ст} / S_k$	0,212	0,264	0,305	0,319	0,427									
$m_{ст} / m_k$	0,248	0,307	0,354	0,378	0,503.									

Методические указания

Методические указания к выполнению заданий 81–90 смотрите на стр. 39.

№ п/п	Темы дисциплины	Источники, рекомендуемые для самостоятельной работы
1	Введение в аналитическую химию	1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12
2	Аналитические группы катионов	3, 4, 5, 6, 9, 10, 12
3	Аналитические группы анионов	3, 4, 5, 6, 9, 10, 12
4	Анализ смеси катионов и анионов	3, 4, 5, 6, 9, 10, 12
5	Гравиметрический анализ	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12
6	Титриметрический анализ	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12
7	Оптические методы	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11
8	Электрохимические методы	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11
9	Хроматографические методы	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

5.1. Основная литература

1. Васильев, В.П. Аналитическая химия: в 2-х кн. Кн. 1.: Титриметрические и гравиметрические методы анализа / В.П. Васильев. – М.: Дрофа, 2009.
2. Васильев, В.П. Аналитическая химия: в 2-х кн. Кн. 2.: Физико-химические методы анализа / В.П. Васильев. – М.: Дрофа, 2009.
3. Харитонов, Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика: в 2-х кн. Кн. 1. Общие теоретические основы. Качественный анализ / Ю.Я. Харитонов. – М.: Высшая школа, 2008.

5.2. Дополнительная литература

4. Иванова, М.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа / М.А. Иванова, И.В. Богомоллова, М.В. Белоглазкина. – М.: РИОР, 2011.
5. Цитович, И.К. Курс аналитической химии: учебник для вузов / И.К. Цитович. – СПб.: Изд-во «Лань», 2007.

6. Хаханина, Т.И. Аналитическая химия / Т.И. Хаханина, Н.Г. Никитина. – М.: Высшее образование, 2010.
7. Головачева, В.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: в 2-х томах / В.А. Головачева, Ю.М. Глубоков В.И., Дворкин. – М.: Академия, 2010.
8. Василенко, И.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: в 2-х томах / И.А. Василенко, Н.В. Алов, М.А. Гольдштрах. – М.: Академия, 2010.
9. Харитонов, Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика: в 2-х кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа / Ю.Я. Харитонов. – М.: Высшая школа, 2001.
10. Валова (Копылова), В.Д. Физико-химические методы анализа / В.Д. Валова (Копылова), Л.Т. Абесадзе. – М.: Изд. дом Дашкова и Ко, 2010.
11. Кристиан, Г. Аналитическая химия: в 2-х кн. / Г.Кристиан. – М.: из-во «Бином Лабораторных знаний», 2009.
12. Основы аналитической химии: в 2-х ч. Ч. 1 / Под редакцией Ю.А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2000.
13. Основы аналитической химии: в 2-х ч. Ч. 2 / Под редакцией Ю.А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2000.
14. Основы аналитической химии: Практическое руководство / Под редакцией Ю.А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2000.

Аналитические группы катионов

Номер группы	Характеристика группы	Групповой реагент	Продукты действия группового реагента	Катионы	Реагенты на катионы, условия проведения реакций	Продукты реакций, внешние эффекты	Типы реакций
1	Хлориды, сульфаты, гидроксиды растворимы в воде	Нет	Нет	K^+	$Na_3[Co(NO_2)_6]$ (CH_3COOH)	$NaK_2[Co(NO_2)_6] \downarrow$ желтый крист.	Обмена
				Na^+	KH_2SbO_4	$NaH_2SbO_4 \downarrow$ белый крист.	Обмена
				NH_4^+	$NaOH$ (нагревание)	$NH_3 \uparrow$ запах аммиака	Обмена
2	Хлориды не растворимы в воде	HCl	$AgCl \downarrow$ белый творожистый	Ag^+	HCl NH_4OH HNO_3	$AgCl \downarrow$ $[Ag(NH_3)_2]Cl$ $AgCl \downarrow$	Обмена Образ. к.с. Разруш.к.с.
			$PbCl_2 \downarrow$ белый крист.	Pb^{2+}	KJ	$PbJ_2 \downarrow$ желтый крист.	Обмена
3	Сульфаты не растворимы в воде	H_2SO_4	$CaSO_4 \downarrow$ белый крист.	Ca^{2+}	$(NH_4)_2C_2O_4$ (спирт)	$CaC_2O_4 \downarrow$ белый крист.	Обмена
			$BaSO_4 \downarrow$ белый крист.	Ba^{2+}	$K_2Cr_2O_7 + H_2O +$ $+ CH_3COONa$	$BaCrO_4 \downarrow$ желтый крист.	Обмена

Продолжение приложения
Окончание табл. 1

4	Гидроксиды растворимы в избытке NaOH	Изб. NaOH	$\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$ p-p зеленый	Cr^{3+}	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ (нагревание)	Na_2CrO_4 p-p желтый	ОВР
			$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$ p-p бесцветный	Sn^{2+}	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaOH}$	$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{Bi}\downarrow$ черный	ОВР
			$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ p-p бесцветный	Zn^{2+}	$(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{NCS})_4] + \text{CoCl}_2$ (0,02%)	$\text{ZnCo}[\text{Hg}(\text{NCS})_4]_2\downarrow$ светло-голубой	Обмена
5	Гидроксиды не растворимы в избытке NaOH	Изб. NaOH	$\text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow$ салатный	Fe^{2+}	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (HCl)	$\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2\downarrow$ синий	Обмена
			$\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ красно-коричневый	Fe^{3+}	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (HCl) KNCS	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\downarrow$ Синий $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{NCS})_6]$ p-p кроваво-красн.	Обмена Обмена
			$\text{Mn}(\text{OH})_2\downarrow$ белый	Mn^{2+}	$\text{NaBiO}_3 + \text{HNO}_3$	HMnO_4 p-p красно-фиол.	ОВР
6	Гидроксиды растворимы в избытке NH_4OH	Изб. NH_4OH	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$ p-p коричневый	Co^{2+}	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (к) (спирт)	CoS_2O_3 p-p синий	Обмена
			$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ p-p интенсивно синий	Cu^{2+}	NH_4OH (2н)	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ p-p интенсивно-синий	Обмена
			$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$ p-p сиреневый	Ni^{2+}	Реактив Чугаева (NH_4OH)	Осадок розовый	Обмена

Аналитические группы анионов

Но- мер группы	Характеристи- ка группы	Групповой реагент	Продукт действия группового реагента	Анионы	Реагенты на анионы, условия проведения реакций	Продукты реак- ций, внешние эффекты	Типы реакций
1	Соли бария и серебра не растворимы в воде	BaCl ₂ (нейтраль- ная)	BaSO ₄ ↓ белый крист.	SO ₄ ²⁻	BaCl ₂ (HCl)	BaSO ₄ ↓ белый крист.	Обмена
			BaSO ₃ ↓ белый крист.	SO ₃ ²⁻	HCl J ₂ + H ₂ O	SO ₂ HJ + H ₂ SO ₄	Разлож. ОВР.
			BaCO ₃ ↓ белый крист.	CO ₃ ²⁻	HCl Ca(OH) ₂	CO ₂ ↑ CaCO ₃ ↓	Обмена и раз- лож.
			Ba ₃ (PO ₄) ₂ ↓ белый крист.	PO ₄ ³⁻	MgCl ₂ + NH ₄ Cl	MgNH ₄ PO ₄ ↓ белый крист.	Обмена
			Ba ₃ (AsO ₃) ₂ ↓ белый крист.	AsO ₃ ³⁻	J ₂ + H ₂ O	AsO ₄ ³⁻ + HJ	ОВР
			Ba ₃ (AsO ₄) ₂ ↓ белый крист.	AsO ₄ ³⁻	KJ + HCl (крахмал)	AsO ₃ ³⁻ + J ₂ синее окрашив.	ОВР

Продолжение приложения
Окончание табл. 2

Номер группы	Характеристика группы	Групповой реагент	Продукт действия группового реагента	Анионы	Реагенты на анины, условия проведения реакций	Продукты реакций, внешние эффекты	Типы реакций
2	Соли серебра не растворимы в воде и HNO_3	AgNO_3 (HNO_3)	$\text{AgCl} \downarrow$ белый творожистый	Cl^-	AgNO_3 NH_4OH HNO_3	$\text{AgCl} \downarrow$ $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ $\text{AgCl} \downarrow$	Обмена Образ. к.с. Разруш.к.с.
			$\text{AgBr} \downarrow$ светло-желтый	Br^-	Cl_2 (бензол)	Br_2 оранж. «кольцо»	ОВР
			$\text{AgI} \downarrow$ желтый	I^-	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	$\text{PbI}_2 \downarrow$ желтый	Обмена
	растворяется в изб. HNO_3		$\text{Ag}_2\text{S} \downarrow$ черный	S^{2-}	CdCO_3 (к)	$\text{CdS} \downarrow$ желтый	Обмена
3	Соли бария и серебра растворимы в воде	Нет	Нет	NO_3^-	H_2SO_4 (конц.) Cu	HNO_3 (конц.) $\text{NO}_2 \uparrow$ (бурый)	Обмена ОВР
		Нет	Нет	NO_2^-	KJ + H_2SO_4	$\text{NO} \uparrow + \text{J}_2 \downarrow$ темно-серый	ОВР
		Нет	Нет	CH_3COO^-	H_2SO_4 (нагревание)	$\text{CH}_3\text{COOH} \uparrow$ запах уксуса	Обмена

Растворимость солей, кислот и гидроксидов в воде

Катионы	Анионы											
	OH ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ₂ ⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	CH ₃ COO ⁻
H ⁺		P	P	P	P↑	P↑	P	P	P↑	H	P	P
Na ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	–	P	P
Ba ²⁺	P	P	P	P	P	H	H	H	H	H	P	P
Ca ²⁺	M	P	P	P	M	H	M	H	H	H	P	P
Mg ²⁺	H	P	P	P	M	H	P	H	H	Г	P	P
Al ³⁺	H	P	P	P	Г	–	P	H	–	Г	P	M
Mn ²⁺	H	P	P	P	H	H	P	H	H	Г	P	P
Zn ²⁺	H	P	P	P	H	H	P	H	H	Г	P	P
Cr ³⁺	H	P	P	P	Г	–	P	H	–	Г	P	P
Fe ²⁺	H	P	P	P	H	H	P	H	H	Г	P	P
Fe ³⁺	H	P	P	Г	H	–	P	H	–	Г	P	P
Co ²⁺	H	P	P	P	H	H	P	H	H	Г	P	P
Ni ²⁺	H	P	P	P	H	H	P	H	H	Г	P	P
Sn ²⁺	H	P	P	H	H	Г	P	H	Г	Г	Г	P
Pb ²⁺	H	M ⁰	M ⁰	H	H	H	H	H	H	Г	P	P
Cu ²⁺	H	P	P	–	H	H	P	H	Г	Г	P	P
Ag ⁺	–	H	H	H	H	H	M	H	H	–	P	P
Hg ⁺	–	H	H	H	H	–	M	H	H	–	P	M
Hg ²⁺	–	P	M	H	H	–	P	H	–	–	P	P

Обозначения: P – растворим; H – не растворим; M – мало растворим; Г – подвергается полному гидролизу; «–» – не получен; P↑ – летучий продукт или распадается; M⁰ – растворимость при нагревании повышается.

Произведение растворимости и растворимость
некоторых труднорастворимых электролитов

Электролиты	ПР моль ² / л ²	Растворимость (S _M), моль/л	Растворимость (S), г/100 мл
Галогениды			
AgBr	$4,90 \cdot 10^{-13}$	$7,12 \cdot 10^{-7}$	$1,34 \cdot 10^{-5}$
AgJ	$9,98 \cdot 10^{-17}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$2,41 \cdot 10^{-7}$
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$	$1,93 \cdot 10^{-4}$
PbJ ₂	$1,34 \cdot 10^{-8}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$6,96 \cdot 10^{-2}$
PbCl ₂	$6,02 \cdot 10^{-5}$	$4,13 \cdot 10^{-2}$	1,15
Сульфиды			
Ag ₂ S	$6,31 \cdot 10^{-50}$	$2,51 \cdot 10^{-17}$	$6,22 \cdot 10^{-16}$
CuS	$6,31 \cdot 10^{-36}$	$2,51 \cdot 10^{-18}$	$2,40 \cdot 10^{-17}$
FeS	$5,13 \cdot 10^{-18}$	$2,27 \cdot 10^{-9}$	$1,99 \cdot 10^{-8}$
MnS	$2,51 \cdot 10^{-13}$	$5,01 \cdot 10^{-7}$	$4,36 \cdot 10^{-6}$
NiS	$3,16 \cdot 10^{-19}$	$5,62 \cdot 10^{-10}$	$5,10 \cdot 10^{-9}$
PbS	$2,51 \cdot 10^{-27}$	$5,04 \cdot 10^{-13}$	$1,28 \cdot 10^{-12}$
ZnS	$1,59 \cdot 10^{-24}$	$1,26 \cdot 10^{-12}$	$1,23 \cdot 10^{-11}$
Карбонаты			
Ag ₂ CO ₃	$9,49 \cdot 10^{-12}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3,68 \cdot 10^{-3}$
MgCO ₃	$3,08 \cdot 10^{-5}$	$5,55 \cdot 10^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-2}$
CaCO ₃	$3,26 \cdot 10^{-9}$	$5,71 \cdot 10^{-5}$	$5,72 \cdot 10^{-4}$
BaCO ₃	$5,93 \cdot 10^{-9}$	$7,70 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$

Окончание приложения
Окончания табл. 4

Электролиты	ПР моль ² / л ²	Растворимость (S _M), моль/л	Растворимость (S), г/100 мл
Оксалаты			
Ag ₂ C ₂ O ₄	4,10·10 ⁻¹¹	2,27·10 ⁻⁴	6,89·10 ⁻³
BaC ₂ O ₄	1,49·10 ⁻⁷	3,85·10 ⁻⁴	8,68·10 ⁻³
CaC ₂ O ₄	2,60·10 ⁻⁹	4,86·10 ⁻⁵	6,22·10 ⁻⁴
PbC ₂ O ₄	5,32·10 ⁻¹⁰	2,31·10 ⁻⁵	6,82·10 ⁻⁴
Сульфаты			
Ag ₂ SO ₄	5,02·10 ⁻⁵	2,32·10 ⁻²	0,7244
CaSO ₄	2,30·10 ⁻⁵	4,79·10 ⁻³	6,52·10 ⁻²
BaSO ₄	1,05·10 ⁻¹⁰	1,02·10 ⁻⁵	2,39·10 ⁻⁴
PbSO ₄	1,96·10 ⁻⁸	1,40·10 ⁻⁴	4,24·10 ⁻³
Хроматы			
Ag ₂ CrO ₄	1,44·10 ⁻¹²	7,12·10 ⁻⁵	2,36·10 ⁻³
CaCrO ₄	3,67·10 ⁻³	6,06·10 ⁻²	9,45·10 ⁻¹
BaCrO ₄	1,18·10 ⁻¹⁰	1,08·10 ⁻⁵	2,75·10 ⁻⁴
PbCrO ₄	1,18·10 ⁻¹⁴	1,33·10 ⁻⁷	4,31·10 ⁻⁶