

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**Аналитическая химия**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Аналитическая химия, Биоорганическая химия, Высокомолекулярные соединения, Коллоидная химия, Лазерная химия, Медицинская химия и тонкий органический синтез, Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии, Неорганическая химия, Нефтехимия, Органическая химия, Радиохимия, Физическая химия, Фундаментальная и прикладная энзимология, Химия ионных и молекулярных систем, Химическая кинетика, Химия высоких энергий, Химия и технология веществ и материалов, Химия твердого тела, Электрохимия

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №7 от 07.07.2021)  
Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770.

Год (годы) приема на обучение 2021/2022

---

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок ХД, модуль «Аналитическая химия».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>УК-1.С</b> Способен формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности	<b>УК-1.С.1</b> Осуществляет поиск, критический анализ и синтез информации с использованием требований системного подхода	<b>Уметь:</b> находить необходимые для работы сведения в открытых источниках информации <b>Уметь:</b> сопоставлять информацию из разных источников, оценивать ее достоверность <b>Владеть</b> навыками поиска и критического анализа информации по теме научного проекта
	<b>УК-1.С.2</b> Формулирует научно обоснованные гипотезы, создает теоретические модели явлений и процессов	<b>Уметь:</b> формулировать научные гипотезы при обсуждении литературных и собственных данных
<b>УК-6.</b> Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе, на иностранном языке (иностранных языках), для академического и профессионального взаимодействия	<b>УК-6.С.2</b> Осуществляет письменную и устную коммуникацию на русском и иностранном языке в профессиональной сфере	<b>Уметь:</b> выбирать коммуникативно приемлемый стиль делового общения, использовать необходимые языковые средства, тактики и стратегии для решения коммуникативных задач в академической и профессиональной сферах
	<b>УК-6.С.5.</b> Работает с текстами разного уровня сложности, отвечающими задачам профессиональной деятельности	<b>Уметь:</b> работать с учебными и научными текстами разного уровня сложности, отвечающих задачам профессиональной деятельности
<b>УК-7.</b> Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах	<b>УК-7.С.1</b> Использует современные информационные технологии для обмена информацией в деловой и профессиональной сфере с учетом основных требований информационной безопасности	<b>Уметь:</b> пользоваться программными средствами, автоматизирующими обработку данных (управление базами данных, статистическая обработка, визуализация и т.п.) <b>Владеть:</b> навыками обмена профессиональной информацией с учетом основных требований информационной безопасности

<p><b>ОПК-1.С.</b> Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p><b>ОПК-1.С.1.</b> Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных</p>	<p><b>Знать:</b> основные закономерности химических равновесий и процессов в гомогенных и гетерогенных системах  <b>Знать:</b> теоретические основы химических и современных инструментальных методов анализа, области их практического применения</p>
	<p><b>ОПК-1.С.3.</b> Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии</p>	<p><b>Уметь:</b> формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе аналитической химии</p>
	<p><b>ОПК-1.С.4.</b> Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности</p>	<p><b>Уметь:</b> формулировать заключения и выводы по результатам анализа литературных и собственных экспериментальных данных в области аналитической химии</p>
<p><b>ОПК-2.С.</b> Способен проводить химический эксперимент с соблюдением норм безопасного обращения с химическими материалами, адекватно оценивая возможные риски с учетом свойств веществ</p>	<p><b>ОПК-2.С.1.</b> Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p>	<p><b>Знать:</b> правила техники безопасности при работе в химической лаборатории  <b>Уметь:</b> работать с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p>
	<p><b>ОПК-2.С.3.</b> Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе</p>	<p><b>Уметь:</b> корректно интерпретировать результаты определения химического и фазового состава веществ и материалов различной природы  <b>Владеть:</b> техникой аналитического эксперимента  <b>Владеть</b> навыками работы на современных аналитических приборах</p>
<p><b>ОПК-3.С.</b> Владеет методами регистрации и обработки результатов экспериментов, в том числе, полученных на современном научном оборудовании</p>	<p><b>ОПК-3.С.2.</b> Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений</p>	<p><b>Знать:</b> требования к оформлению и представлению результатов аналитических работ  <b>Уметь:</b> проводить математическую обработку данных химического анализа, обобщать полученные результаты  <b>Владеть:</b> простейшими расчетными методами решения аналитических задач</p>

довании	<b>ОПК-3.С.3.</b> Оценивает возможные источники ошибок при проведении эксперимента и корректность полученных данных	<b>Уметь:</b> оценивать возможные источники ошибок и корректность полученных данных
<b>ОПК-7.С.</b> Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	<b>ОПК-7.С.1</b> Использует современные компьютерные технологии при сборе информации химического профиля с использованием общих и профессиональных баз данных	<b>Знать:</b> основные базы данных химического профиля <b>Уметь:</b> корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания <b>Владеть:</b> навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля
	<b>ОПК-7.С.2</b> Использует современные компьютерные технологии при анализе, обработке и представлении результатов профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> современные подходы к обработке и представлению результатов химического анализа <b>Уметь:</b> корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания <b>Уметь:</b> применять вычислительные технологии при обработке и представлении результатов химического анализа <b>Владеть:</b> навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля
<b>ОПК-9.С.</b> Способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.	<b>ОПК-9.С.1.</b> Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке	<b>Знать:</b> требования к оформлению и представлению результатов работ в области аналитической химии <b>Знать:</b> требования к представлению материала в виде презентации научного доклада <b>Владеть:</b> навыками оформления протоколов химического анализа
	<b>ОПК-9.С.2.</b> Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры	<b>Уметь:</b> представлять результаты своей научной работы в письменном виде согласно требованиям к курсовым работам в соответствующей области химии
	<b>ОПК-9.С.4.</b> Готовит презентацию по теме работы и представляет ее на русском и/или английском языках	<b>Владеть:</b> навыками подготовки презентаций с результатами своей научной работы на русском языке

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

*Объем дисциплины (модуля) составляет 9 зачетных единиц, всего 324 часа, из которых 182 часа составляет контактная работа студента с преподавателем (72 часа - занятия лекционного типа, 72 часа - занятия семинарского типа, 8 часов – групповые консультации, 30 ча-*

сов - мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **142** часа составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.  
Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся должен

**знать:** основные свойства химических элементов и их соединений, закономерности химических равновесий и процессов в гомогенных и гетерогенных системах;

**уметь:** формулировать и решать конкретные задачи на основе усвоенных законов и закономерностей; получать экспериментальные данные, проводить их математическую обработку, обобщать полученные результаты;

**владеть:** техникой химического эксперимента, простейшими расчетными методами решения химических задач, навыками поиска необходимых данных в открытых источниках (в том числе, в информационных базах данных).

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов.п.	Всего
Тема 1. Аналитическая химия, ее задачи и методы.	2	2				-	2			

Тема 2. Химические равновесия в гомогенных системах. Титриметрические методы анализа.	44	18	18			6	42	2		2
Тема 3. Равновесие в гетерогенных системах. Гравиметрия. Методы разделения и концентрирования.	28	10	12			4	26	2		2
Тема 4. Метрологические основы аналитической химии	10	4	4			2	10			
Тема 5. Спектроскопические методы анализа.	36	16	16			2	34	2		2
Тема 6. Электрохимические методы анализа.	28	12	12			2	26	2		2
Тема 7. Хроматографические методы анализа.	24	10	10			2	22	2		2
Курсовая работа	72					4	4			68
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	<b>80</b>			8		8	<b>16</b>			64
<b>Итого</b>	<b>324</b>	72	72	8		30	<b>182</b>	10		<b>142</b>

#### 6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

#### 7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

- Т.В. Поленова, Т.Н. Шеховцова, И.И. Торочешникова Методические указания к курсу аналитической химии для студентов химического факультета МГУ. Москва, 2013. 42 С.
- Методические указания к проведению семинаров по курсу аналитической химии для студентов 2 курса химического факультета МГУ. Коллектив авторов. / под ред. Т.Н. Шеховцовой. Москва, 2012. 143 С.
- Белявская Т.А. Практическое руководство по гравиметрии и титриметрии. Москва. Ньюдиамед. 2006.

Дополнительная литература для самостоятельного изучения:

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. Москва: «Высшая школа», 2004
2. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. Москва: Химия.1989
3. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. Москва: Мир. 1994

8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу. Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются:

<http://nbmgu.ru/>

### **Основная литература**

1. Коллектив авторов. Основы аналитической химии. В 2-х томах. Ред. Золотов Ю.А., Москва: Издательский центр «Академия», 2014
2. Коллектив авторов. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы. Ред. Золотов Ю.А., Москва: Издательский центр «Академия», 2019.
3. Коллектив авторов. Основы аналитической химии. Практическое руководство. Ред. Золотов Ю.А., Москва: «Лаборатория знаний», 2017.
4. Золотов Ю. А. Введение в аналитическую химию. Издательство "Лаборатория знаний". 2020.

### **Дополнительная литература**

1. Кристиан Г. Аналитическая химия. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009
  2. Коллектив авторов. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. Москва: Мир. 2004
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):  
[www.analyt.chem.msu.ru](http://www.analyt.chem.msu.ru)



Материально-техническое обеспечение – лекционная аудитория (поточная) с техникой для презентация материала

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

**ШЕХОВЦОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА**, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, [tnshekh@yandex.ru](mailto:tnshekh@yandex.ru)

**ПРОСКУРНИН МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ**, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, [proskurnin@gmail.com](mailto:proskurnin@gmail.com)

**ПИРОГОВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, [pirogov@analyt.chem.msu.ru](mailto:pirogov@analyt.chem.msu.ru)

### **Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения**

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

### **Вопросы к коллоквиумам.**

#### **1 коллоквиум. Равновесие в гомогенных системах. Кислотно-основное равновесие. Кислотно-основное титрование.**

Константы равновесия реакций и процессов. Ионное состояние вещества в идеальных и реальных системах. Структура растворителей и раствора. Сольватация, ионизация, диссоциация. Поведение электролитов и неэлектролитов в растворах. Теория Дебая-Хюккеля. Термодинамическая константа равновесия. Активность и коэффициент активности. Концентрационные константы. Общая и равновесная концентрации. Условные константы.

**Кислотно-основное равновесие.** Современные представления о кислотах и основаниях. Теория Льюиса. Теория Бренстеда-Лоури. Равновесие в системе кислота - сопряженное основание - растворитель. Константы кислотности и основности. Кислотные и основные свойства растворителей. Константа автопротолиза. Влияние природы растворителя на силу кислоты и основания. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя.

Кислотно-основное равновесие в многокомпонентных системах. Буферные растворы и их свойства. Буферная емкость. Вычисление рН растворов одно- и многоосновных кислот и оснований, смесей кислот и оснований. Графическое описание кислотно-основного равновесия (распределительные диаграммы).

**Титриметрические методы.** Классификация методов. Требования, предъявляемые к реакции в титриметрическом анализе. Прямое, обратное и косвенное титрование. Способы выражения концентраций растворов в титриметрии. Эквивалент. Молярная масса эквивалента. Первичные стандартные растворы, требования к ним. Вторичные стандартные растворы. Виды кривых титрования. Скачок титрования. Точка эквивалентности и конечная точка титрования.

**Кисотно-основное титрование.** Построение кривых титрования. Влияние величин констант кислотности или основности, концентрации кислот или оснований, температуры на характер кривых титрования. Кисотно-основное титрование в неводных средах. Кислотно-основные индикаторы. Погрешности титрования при определении сильных и слабых кислот и оснований, многоосновных кислот и оснований.

Практическое применение. Первичные стандартные растворы для установления концентрации растворов кислот и оснований. Приготовление и стандартизация растворов соляной кислоты и гидроксида натрия. Титрование кислот, оснований, смесей кислот и смесей оснований. *Анализ смесей карбоната и гидрокарбоната натрия, карбоната и гидроксида натрия. Определение солей аммония и азота по методу Кьельдаля. Определение нитратов и нитритов.*

## **2 коллоквиум. Равновесия реакций комплексообразования и окисления-восстановления. Комплексометрическое и окислительно-восстановительное титрование.**

**Комплексообразование.** Основные признаки комплексных соединений. Координационное число. Дентатность. Классификация комплексных соединений по характеру взаимодействия металл-лиганд, по однородности лиганда и комплексообразователя: внутрисферные и внешнесферные, однороднолигандные и смешаннолигандные, полиядерные комплексы. Хелаты, внутрикомплексные соединения. Свойства комплексных соединений, имеющие аналитическое значение: устойчивость, растворимость, окраска, летучесть.

Ступенчатое комплексообразование. Количественные характеристики реакций образования комплексных соединений: константы устойчивости (ступенчатые и общие), функция и степень образования. Скорость реакций комплексообразования. Факторы, влияющие на устойчивость комплексов. Хелатный эффект.

Органические реагенты. Функционально-аналитические группы. Влияние структуры органических реагентов на их свойства. Роль различных функциональных групп. Теории взаимодействия ионов металлов с неорганическими и органическими реагентами. Важнейшие органические реагенты, применяемые в анализе.

Влияние комплексообразования на кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства соединений, растворимость, стабилизацию различных степеней окисления элементов. Возможности использования комплексных соединений в различных методах анализа.

**Окислительно-восстановительные реакции.** Электродный потенциал. Уравнение Нернста. Стандартный и формальный потенциалы. Влияние электростатических и химических взаимодействий на потенциал: ионной силы, pH, образования комплексных и малорастворимых соединений. Константы равновесия и направление окислительно-восстановительного процесса. Факторы, влияющие на направление окислительно-восстановительных реакций. Понятие о смешанном потенциале. Механизмы окислительно-восстановительных реакций. Основные окислители и восстановители, применяемые в анализе.

**Комплексометрическое титрование.** Неорганические и органические титранты в комплексометрии. Использование аминополикарбоновых кислот в комплексометрии. Построение кривых титрования. Металлохромные индикаторы и требования, предъявляемые к ним. Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Прямое, обратное, вытеснительное и косвенное титрование. Селективность титрования и способы ее повышения. Погрешность титрования.

Практическое применение.

**Окислительно-восстановительное титрование.** Построение кривых титрования. Факторы, влияющие на характер кривых титрования: концентрация ионов водорода, комплексообразование, ионная сила. Способы определения конечной точки титрования. Индикаторы. Погрешность титрования. Методы окислительно-восстановительного титрования.

Перманганатометрия. Иодометрия и иодиметрия. Система иод-иодид как окислитель или восстановитель. Бихроматометрия. Броматометрия, цериметрия, ванадатометрия, титанометрия. Первичные и вторичные стандарты. Индикаторы. Определение неорганических и органических соединений.

**Скорость реакций в химическом анализе.** Быстрые и медленные реакции. Элементарные стадии реакции. Скоростьюопределяющая стадия. Кинетические уравнения. Молекулярность и порядок реакций. Факторы, влияющие на скорость реакций. Катализаторы, ингибиторы. Автокаталитические реакции. Индуцированные и сопряженные реакции. Понятие об индукторе, акторе, акцепторе. Индукционный фактор. Примеры ускорения и замедления реакций и процессов, используемых в химическом анализе.

**3 коллоквиум. Равновесие в системе осадок - раствор. Гравиметрический метод. Методы разделения и концентрирования: осаждение и экстракция. Пробоотбор и пробоподготовка.**

**Равновесие в системе осадок - раствор.** Произведение растворимости. Правило произведения растворимости. Растворимость. Факторы, влияющие на растворимость: температура, ионная сила, присутствие одноименного иона, конкурирующие реакции, структура и размер частиц.

**Гравиметрический метод.** Сущность гравиметрического анализа, преимущества и недостатки. Требования к осаждаемой и гравиметрической формам. Образование осадка. Образование и свойства коллоидных частиц. Кристаллические и аморфные осадки. Зависимость структуры осадка от его индивидуальных свойств (растворимости, полярности молекул) и условий осаждения (концентрации осаждаемого иона и осадителя, солевого состава раствора и pH, температуры). Зависимость формы осадка от скорости образования первичных частиц, их роста. Условия получения кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Старение осадка. Причины загрязнения осадка (совместное осаждение, соосаждение, последующее осаждение). Классификация различных видов соосаждения (адсорбция, окклюзия, изоморфизм и др.). Способы уменьшения соосаждения. Положительное и отрицательное значения явления соосаждения в анализе. Погрешности в гравиметрическом анализе. Изменения состава осадка при высушивании и прокаливании.

Практическое применение. Прямые и косвенные методы определения. Важнейшие органические и неорганические осадители.

**Методы разделения и концентрирования.** Роль в химическом анализе, выбор и оценка. Сочетание методов разделения и концентрирования с методами определения; гибридные методы. Разделение сопоставимых количеств элементов и отделение малых количеств от больших. Одноступенчатые и многоступенчатые процессы разделения. Константы распределения. Коэффициент распределения. Степень извлечения. Фактор разделения. Коэффициент концентрирования.

**Осаждение.** Применение неорганических и органических реагентов для осаждения. Способы разделения путем варьирования pH, образования комплексных соединений и проведения окислительно-восстановительных реакций. Групповые реагенты и предъявляемые к ним требования. Характеристики малорастворимых соединений, наиболее часто используемых в анализе. Концентрирование микроэлементов соосаждением с неорганическими и органическими коллекторами.

**Экстракция.** Теоретические основы. Закон распределения. Классификация экстракционных процессов. Скорость экстракции. Типы экстракционных систем. Условия экстракции неорганических и органических соединений. Реэкстракция. Природа и характеристика экстрагентов.

Разделение элементов методом экстракции. Основные органические реагенты, используемые для разделения элементов методом экстракции. Селективное разделение элементов методом подбора органических растворителей, изменения рН водной фазы, маскирования и демаскирования. Приборы для экстракции.

**Пробоотбор и пробоподготовка.** Представительность пробы; проба и объект анализа; проба и метод анализа. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы твердых, жидких и газообразных веществ; устройства и приемы, используемые при этом; первичная обработка и хранение проб; дозирующие устройства.

Основные способы переведения пробы в форму, необходимую для выбранного вида анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, разложение под действием высоких температур, давления, высокочастотного разряда; комбинирование различных приемов; особенности разложения органических соединений. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

#### **4 коллоквиум.      Спектроскопические методы анализа.**

Спектр электромагнитного излучения. Энергия фотонов, длина волны, частота, волновое число; связь между ними; термины, символы, единицы измерения. Составляющие внутренней энергии частиц и соответствующие им диапазоны электромагнитного излучения. Основные типы взаимодействия вещества с излучением: эмиссия (тепловая, люминесценция), поглощение, рассеяние. Классификация спектроскопических методов по природе частиц, взаимодействующих с излучением (атомные, молекулярные); характеру процесса (абсорбционные, эмиссионные); диапазону электромагнитного излучения.

Спектры атомов. Основные и возбужденные состояния атомов, характеристики состояний. Энергетические переходы, правила отбора. Вероятности электронных переходов и времена жизни возбужденных состояний. Характеристики спектральных линий: положение в спектре, интенсивность, полуширина. Причины уширения спектральных линий.

Спектры молекул; их особенности. Схемы электронных уровней молекулы. Электронные, колебательные и вращательные спектры молекул. Зависимость вида спектра от агрегатного состояния вещества.

Основные законы испускания и поглощения электромагнитного излучения. Связь аналитического сигнала с концентрацией определяемого компонента. Основные способы определения концентрации в спектроскопических методах.

Аппаратура. Способы монохроматизации лучистой энергии. Классификация спектральных приборов, их характеристики: дисперсия, разрешающая способность, светосила. Приемники излучения: фотоэмульсия, фотоэлементы, фотоумножители, полупроводниковые приемники. Инструментальные помехи. Шумы и отношение сигнал-шум.

**Атомно-эмиссионный метод.** Принципиальная схема атомно-эмиссионного спектрометра. Источники атомизации и возбуждения (атомизаторы): электрические разряды (дуговые, искровые, пониженного давления), пламена, плазменные источники (плазмотроны, индуктивно связанная плазма), лазеры. Их основные характеристики: температура, состав атмосферы атомизатора, концентрация электронов.

Физические и химические процессы в атомизаторах. Спектральные и физико-химические помехи, способы их устранения. Особенности подготовки пробы и ее введения в атомизаторы различного типа. Качественный и количественный анализ методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Метрологические характеристики и аналитические возможности.

**Атомно-абсорбционный метод.** Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра. Атомизаторы (пламенные и не-пламенные). Источники излучения (лампы с полым катодом, источники сплошного спектра, лазеры), их характеристики.

Спектральные и физико-химические помехи, способы их устранения. Возможности, достоинства и недостатки метода, его сравнение с атомно-эмиссионным методом. Метрологические характеристики.

Примеры практического применения атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного методов.

**Молекулярная абсорбционная спектроскопия (спектрофотометрия).**

Связь химической структуры соединения с абсорбционным спектром. Способы получения окрашенных соединений. Фотометрические аналитические реагенты, требования к ним. Способы определения концентрации веществ. Измерение высоких, низких оптических плотностей (дифференциальный метод). Анализ многокомпонентных систем. Спектрофотометрия как метод исследования реакций в растворах (комплексообразования, протолитических, агрегации), сопровождающихся изменением спектров поглощения. Метрологические характеристики и аналитические возможности. Примеры практического применения.

Принципиальная схема прибора. Классификация аппаратуры с точки зрения способа монохроматизации (фотометры, спектрофотометры). Главные причины отклонения от основного закона светопоглощения (инструментальные и физико-химические).

**Молекулярная люминесцентная спектроскопия.** Классификация видов люминесценции по источникам возбуждения (хемилюминесценция, биолюминесценция, электролюминесценция, фотолюминесценция и др.); механизму и длительности свечения. Флуоресценция и фосфоресценция. Схема Яблонского. Закон Стокса-Ломмеля, правило зеркальной симметрии Левшина. Принципиальная схема прибора. Факторы, влияющие на интенсивность люминесценции. Тушение люминесценции. Спектральные и физико-химические помехи. Количественный анализ люминесцентным методом. Метрологические характеристики и аналитические возможности метода, сравнение с методом спектрофотометрии. Преимущества люминесцентной спектроскопии при идентификации и определении органических соединений. Примеры использования. Место и роль спектроскопических методов в аналитической химии и химическом анализе.

## **5 коллоквиум. Электрохимические методы анализа.**

Общая характеристика электрохимических методов. Классификация. Электрохимические ячейки. Индикаторный электрод и электрод сравнения. Равновесные и неравновесные электрохимические системы. Явления, возникающие при протекании тока (омическое падение напряжения, концентрационная и кинетическая поляризация). Поляризационные кривые и их использование в различных электрохимических методах.

**Прямая потенциометрия.** Измерение потенциала. Обратимые и необратимые окислительно-восстановительные системы. Индикаторные электроды. Ионметрия. Классификация ионоселективных электродов: электроды с гомогенными и гетерогенными кристаллическими мембранами, стеклянные электроды, электроды с подвижными носителями, ферментные и газочувствительные электроды. Электродная функция, коэффициент селективности, время отклика. Примеры практического применения ионметрии.

**Потенциометрическое титрование.** Изменение электродного потенциала в процессе титрования. Способы обнаружения конечной точки титрования; индикаторы. Использование реакций: кислотно-основных, осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления. Примеры практического применения.

**Вольтамперометрия.** Сущность метода. Классификация вольтамперометрических методов. Индикаторные электроды. Преимущества и недостатки ртутного электрода. Применение твердых электродов. Характеристики вольтамперной кривой. Емкостный, миграционный, диффузионный токи. Предельный диффузионный ток. Полярография. Уравнение Ильковича. Уравнение полярографической волны Ильковича - Гейровского. Потенциал полуволны. Факторы, влияющие на величину потенциала полуволны. Современные виды вольтамперометрии: прямая и инверсионная, переменноточковая; хроноамперометрия с линейной разверткой (осциллополярография). Преимущества и ограничения по сравнению с классической полярографией.

**Амперометрическое титрование.** Сущность метода. Индикаторные электроды. Выбор потенциала индикаторного электрода. Амперометрическое титрование с одним и двумя поляризованными электродами. Виды кривых титрования. Примеры практического применения вольтамперометрических методов и амперометрического титрования. Регистрация и расшифровка полярограммы индивидуального депольаризатора - иона металла. Регистрация полярографического спектра. Определение концентрации веществ методом градуировочного графика и методом добавок с использованием классической, осциллографической, переменноточковой вольтамперометрии.

**Кулонометрия.** Теоретические основы. Закон Фарадея. Способы определения количества электричества. Прямая кулонометрия и кулонометрическое титрование. Кулонометрия при постоянном токе и постоянном потенциале. Внешняя и внутренняя генерация кулонометрического титранта. Титрование электроактивных и электронеактивных компонентов. Определение конечной точки титрования. Преимущества и ограничения метода кулонометрического титрования по сравнению с другими титриметрическими методами. Примеры практического применения.

Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения электрохимических методов.

## **6 коллоквиум. Хроматографические методы анализа.**

Определение хроматографии. Понятие о подвижной и неподвижной фазах. Классификация методов по агрегатному состоянию фаз, по механизму разделения, по технике выполнения. Способы получения хроматограмм (фронтальный, вытеснительный, элюентный). Параметры удерживания. Основное уравнение хроматографии. Селективность и эффективность хроматографического разделения. Теория теоретических тарелок. Кинетическая теория. Разрешение как фактор оптимизации хроматографического процесса. Качественный и количественный хроматографический анализ.

**Газовая хроматография:** Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) и газо-жидкостная. Сорбенты и носители, требования к ним. Механизм разделения. Схема газового хроматографа. Колонки. Основные типы детекторов, их чувствительность и селективность. Области применения газовой хроматографии.

**Жидкостная хроматография.** Виды жидкостной хроматографии. Преимущества высокоэффективной жидкостной хроматографии. Схема жидкостного хроматографа. Детекторы, их чувствительность и селективность.

**Адсорбционная жидкостная хроматография.** Нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Полярные и неполярные неподвижные фазы и принципы их выбора. Модифицированные силикагели как сорбенты. Подвижные фазы и принципы их выбора. Области применения адсорбционной жидкостной хроматографии.

**Ионообменная хроматография.** Строение и физико-химические свойства ионообменников. Ионообменное равновесие. Селективность ионного обмена и факторы, определяющие его. Области применения ионообменной хроматографии. Ионная хроматография как вариант высокоэффективной ионообменной хроматографии. Особенности строения и свойства сорбентов для ионной хроматографии. Одноколоночная и двухколоночная ионная хроматография, их преимущества и недостатки. Ионохроматографическое определение катионов и анионов. Ион-парная и лигандообменная хроматография. Общие принципы. Подвижные и неподвижные фазы. Области применения.

**Эксклюзионная хроматография.** Общие принципы метода. Подвижные и неподвижные фазы. Особенности механизма разделения. Определяемые вещества и области применения метода.

**Планарная хроматография.** Общие принципы разделения. Способы получения плоскостных хроматограмм (восходящей, нисходящей, круговой, двумерной). Реагенты для проявления хроматограмм. Бумажная хроматография. Механизмы разделения. Подвижные фазы. Преимущества и недостатки. Тонкослойная хроматография. Механизмы разделения. Сорбенты и подвижные фазы. Области применения.

## **Образцы задач вариантов контрольных работ**

### **Химическое равновесие**

1. Рассчитайте активности ионов калия и сульфата в 0,0200 М растворе сульфата калия.
2. Термодинамическая константа диссоциации азотистой кислоты равна  $6,2 \cdot 10^{-4}$ . Рассчитайте реальную константу диссоциации кислоты в растворе с ионной силой 0,10.
3. Рассчитайте равновесную концентрацию сульфит-иона в 0,0500 М растворе сульфита калия при pH 7,00.  
Для  $\text{H}_2\text{SO}_3$ :  $K_{a,1} = 1,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_{a,2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$
4. При каком pH равновесная концентрация карбонат-иона в 0,0100 М растворе карбоната натрия равна 0,0080 М?  
Для  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :  $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$
5. Рассчитайте общую концентрацию оксалата натрия, обеспечивающую равновесную концентрацию оксалат-иона  $2 \cdot 10^{-3}$  М при pH 3,00.  
Для  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ :  $K_{a,1} = 5,6 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_{a,2} = 5,4 \cdot 10^{-5}$

### **Кислотно-основное равновесие и кислотно-основное титрование**

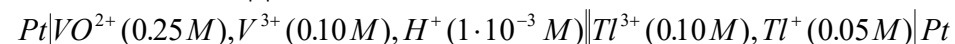
1. Рассчитайте pH раствора, полученного смешением 20,0 мл 0,0500 М HCl и 20,0 мл раствора, в котором  $[\text{HCO}_3^-] = 0,1000$  моль/л.  
Для  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :  $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$ .

- Каков состав карбонатного буфера, способного обеспечить постоянство  $pH = 10,00 \pm 0,05$  при добавлении к 200,0 мл его 0,0050 моль сильного основания или кислоты? Для  $H_2CO_3$ :  $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$ .
- Сколько граммов твердого формиата натрия следует добавить к 0,200 л безводной муравьиной кислоты ( $pK_{SH} = 6,7$ ), чтобы  $pH$  полученного раствора составил 5,0? Ионную силу не учитывать.
- Вычислить интервал изменения  $pH$  буферного раствора 0,4000 М по  $NaHCO_3$  и 0,5000 М по  $Na_2CO_3$ , если к 100,0 мл его добавить: а) 10,00 ммоль  $HCl$ ; б) 40,00 ммоль  $NaOH$ . Для  $H_2CO_3$ :  $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$ .
- При титровании 0,0100 М раствора  $HCl$  0,0100 М  $NaOH$  использовали индикаторы фенолфталеин ( $pT=9,0$ ) и метиловый оранжевый ( $pT=4,0$ ). Покажите расчетами, какой из индикаторов использовать целесообразнее.
- Какой индикатор даст возможность оттитровать 0,1000 М раствор  $NH_3$  0,1000 М раствором  $HCl$  с меньшей погрешностью: метиловый оранжевый ( $pT=4,0$ ) или метиловый красный ( $pT=5,0$ )? Подтвердите расчетами индикаторных погрешностей. Для  $NH_3$ :  $K_b = 1,76 \cdot 10^{-5}$

### Окислительно-восстановительное равновесие и окислительно-восстановительное титрование

- Вычислите равновесные концентрации ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $MnO_4^-$  в растворе, полученном при смешивании 20 мл 0.1 М раствора  $KMnO_4$  и 20 мл 0.1 М раствора  $FeSO_4$  при  $pH$  0.  $E_{MnO_4^-/Mn^{2+}}^0 = 1.51B$ ,  $E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0.77B$ .
- Рассчитайте константу равновесия реакции между ионами  $BrO_3^-$  и  $Br^-$  при  $pH$  2.0. Укажите фактор эквивалентности окислителя.  $E_{BrO_3^-,H^+/Br_2}^0 = 1.52B$ ,  $E_{Br_2/2Br^-}^0 = 1.09B$ .
- Рассчитайте константу равновесия реакции между ионами  $IO_3^-$  и  $I^-$  в растворе, в котором потенциал водородного электрода равен -0.30В. При каком значении  $pH$  реакция не происходит ( $K \leq 1$ )?  $E_{IO_3^-/I_2}^0 = 1.17B$ ,  $E_{I_2/2I^-}^0 = 0.54B$ .
- Может ли железо(III) окислить иодид-ион в 1М растворе фторида натрия? Ответ подтвердите расчетами.  $E_{I_2/2I^-}^0 = 0.54B$ ;  $E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0.77B$ ;  $\beta_{FeF_6^{3-}} = 1.26 \cdot 10^6$ .

5. Рассчитайте ЭДС ячейки:



и укажите, является она гальваническим элементом или электролитической ячейкой.  $E_{VO^{2+}/V^{3+}}^0 = 0.36B$ ,  $E_{Ti^{3+}/Ti^+}^0 = 1.25B$ .

$$E_{инд}^0 = 0.30B, E_{TiO^{2+}/Ti^{3+}}^0 = 0.10B, E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0.77B$$

### Равновесие в растворах комплексных соединений и комплексонометрическое титрование

- Сколько моль  $NaF$  нужно ввести в 100 мл  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствор  $LaCl_3$ , при  $pH$  3,0, чтобы понизить концентрацию  $La^{3+}$  до  $1 \cdot 10^{-6}$  М?  $\lg \beta_{LaF^{2+}} = 3.56$ ;  $K_{HF}^a = 6.8 \cdot 10^{-4}$ .



2. Рассчитайте максимальное значение рН, при котором в 0,02 М растворе  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  99% кадмия находится в виде аквакомплекса, а 1% - в виде гидроксокомплекса.  $\lg \beta_{\text{своб}} = 4,3$ .
3. Вычислите условную константу устойчивости для  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$  в присутствии  $3 \cdot 10^{-3}$  М  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .  
 $\beta_{\text{Ag}(\text{CN})_2^-} = 7.8 \cdot 10^{19}$ ,  $\beta_{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-} = 6.61 \cdot 10^8$ ,  $\beta_{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}} = 2.88 \cdot 10^{13}$ .
4. Вычислите ориентировочно интервал перехода окраски металлоиндикатора при комплексонометрическом титровании никеля при рН 5,0. Можно ли применять этот индикатор для титрования 0,01 М раствора никеля 0,01 М раствором ЭДТА? Ответ обоснуйте.  $\beta_{\text{NiY}} = 10^{12}$ .
5. 0,1 М раствор  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  в 0,5 М  $\text{NH}_3$  оттитровали 0,1 М раствором ЭДТА. Вычислите условную константу устойчивости комплекса с подходящим индикатором, если известно, что изменение окраски раствора становится заметным при соотношении концентраций комплекса металл-индикатор и несвязанного индикатора 10:1.  
 $\beta_{\text{CdY}^{2-}} = 10^{16.6}$ ,  $\alpha_{\text{Y}^{4-}} = 10^{-0.7}$ ,  
 Для  $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ :  $k_1 = 3,24 \cdot 10^2$ ,  $k_2 = 91,2$ ,  $k_3 = 20,0$ ,  $k_4 = 6,17$ .
6. 0,01 М раствор кальция титруют 0,01 М раствором ЭДТА при рН 10,0 ( $\beta_{\text{CaY}} = 10^{10.2}$ ). Вычислите  $\beta_{\text{CaInd}}$ , при рН 10,0, если в точке эквивалентности  $\text{CaInd}$  и  $\text{Ind}$  присутствуют в равных концентрациях.

### Гетерогенное равновесие и гравиметрия

1. В 100 мл 0,01 М  $\text{HNO}_3$  растворяется  $4,00 \cdot 10^{-5}$  г  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ . Рассчитайте концентрацию ртути г/л в насыщенном растворе  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  в присутствии 0,001 М  $\text{HCl}$ . Мол. массы:  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  - 472,09;  $\text{Hg}$  - 200,59.
2. Рассчитайте растворимость  $\text{CuC}_2\text{O}_4$  в воде и в  $1,0 \cdot 10^{-3}$  М  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Изобразите графически зависимость растворимости от концентрации  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ -ионов в координатах  $\text{pS}$  -  $\text{pC}(\text{C}_2\text{O}_4)$ . Ионной силой, гидролизом ионов и образованием других ионных комплексных форм пренебрегите.  $K_s^0 = 2,3 \cdot 10^{-8}$ ;  $\beta\{\text{CuC}_2\text{O}_4\} = 5,0 \cdot 10^6$ .
3. Какова общая и молекулярная растворимость оксихинолината железа при рН 4,0 в присутствии 0,01 М избытка реагента? Примите  $\gamma = 1$ .  
 $K_s^0 \{\text{Fe}(\text{Ox})_3\} = 3,1 \cdot 10^{-44}$ ;  $K_a\{\text{HOx}\} = 1,5 \cdot 10^{-10}$ ;  $\beta_3 = 8,0 \cdot 10^{34}$ .
5. Осадок  $\text{ZnS}$  массой 0,1949 г промыли 800 мл 0,001 М  $\text{HCl}$ , насыщенной  $\text{H}_2\text{S}$ , ( $\text{C}_{\text{H}_2\text{S}} = 0,1$  М). Рассчитайте потерю цинка при промывании. Ионной силой пренебрегите.  
 $K_s^0 \{\text{ZnS}\} = 2,51 \cdot 10^{-22}$ ;  $K_{a1}\{\text{H}_2\text{S}\} = 1,0 \cdot 10^{-7}$ ;  $K_{a2}\{\text{HS}^-\} = 1,3 \cdot 10^{-13}$ ;  
 $F_{\text{Zn}/\text{ZnS}} = 0,6709$ ; мол. массы:  $\text{Zn}$  - 65,37,  $\text{ZnS}$  - 97,43.
6. Можно ли пренебречь молекулярной растворимостью соединения АВ в воде, если его произведение растворимости  $K_s^0 = 1 \cdot 10^{-10}$ , а константа диссоциации  $K_a$ : а)  $1 \cdot 10^{-4}$ ; б)  $1 \cdot 10^{-8}$ ?
9. Какова должна быть равновесная концентрация  $\text{NH}_3$ , чтобы растворить 0,0035 моль  $\text{AgCl}$  в 200 мл водного раствора аммиака?  
 $K_s^0 \{\text{AgCl}\} = 1,8 \cdot 10^{-10}$ ;  $\beta \{\text{Ag}(\text{NH}_3)^+\} = 2,03 \cdot 10^3$ ;  $\beta \{\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+\} = 1,62 \cdot 10^7$ .

### Экстракция

1. Раствор 2-нитрозо-1-нафтола (НЛ) в  $\text{CHCl}_3$  неизвестной концентрации встряхнули с равным объемом боратного буферного раствора с рН 8. Концентрация НЛ в водной фазе после достижения равновесия составила  $5,67 \cdot 10^{-4}$  М. Растворимость НЛ в воде ( $S_{\text{H}_2\text{O}}$ )  $8,4 \cdot 10^{-4}$  М, а в  $\text{CHCl}_3$  ( $S_{\text{CHCl}_3}$ ) -  $9,6 \cdot 10^{-2}$  М. Рассчитайте исходную концентрацию НЛ в  $\text{CHCl}_3$ , если  $\text{p}K_{\text{a, НЛ}} = 7,24$ .
2. Изучено распределение кислоты НА между равными объемами воды и нитробензола. Константа распределения кислоты равна  $10^3$ , а коэффициент распределения при рН 6 -  $10^2$ . Рассчитайте константу диссоциации кислоты ( $K_{\text{a, НА}}$ ). Нарисуйте кривую распределения кислоты и укажите интервал рН, в котором константа распределения равна коэффициенту распределения.
3. Какой общий объем растворителя ( $\text{CHCl}_3$ ) необходим для понижения концентрации вещества X до  $1 \cdot 10^{-4}$  М, если 25 мл 0,05 М раствора X проэкстрагировали порциями растворителя по 10 мл. Коэффициент распределения X равен 35.
4. Ион  $\text{Zn}^{2+}$  ( $c_{\text{Zn}^{2+}} = 1 \cdot 10^{-4}$  М) экстрагируется на 20% в виде хелата  $\text{Zn}(\text{Ox})_2$  при рН 3 с помощью равного объема 0,1 М раствора 8-гидроксихинолина (Ox) в хлороформе. Рассчитайте рН, при котором в тех же условиях ион цинка будет экстрагироваться на 96%.
5. Ионы  $\text{Co}^{2+}$  экстрагируются раствором 8-гидроксихинолина (НОx) в  $\text{CHCl}_3$  в виде комплекса  $\text{Co}(\text{Ox})_2(\text{НОx})_2$ . Напишите уравнение реакции и выражение для константы экстракции. Изобразите зависимость  $\lg D - \lg[\text{НОx}]$  при рН = const. Какую информацию и как можно получить из этой зависимости?

### Спектроскопические методы анализа

1. Рассчитайте минимальное содержание циркония (%), которое можно определить люминесцентным методом в виде комплекса с морином, пользуясь следующими данными: 1) навеску массой 1.000 г перевели в 250.0 мл раствора; 2) максимальной величине регистрируемого фототока, равной 250 мкА, отвечает концентрация циркония 0.1 мкг/мл; 3) минимальная величина фототока, регистрируемая микроамперметром, равна 1 мкА.
2. Относительная оптическая плотность моносulfосалицилатного комплекса железа при  $\lambda = 510$  нм в кювете  $l = 5.00$  см равна 0.225. Раствор сравнения содержал 0.050 мг железа в объеме 50.00 мл. Определите концентрацию железа (мг/л) в растворе, если молярный коэффициент поглощения комплекса при  $\lambda = 510$  нм равен  $\varepsilon = 1.8 \cdot 10^3$  л·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.
3. Навеску урановой руды 0.1500 г растворили и после соответствующей обработки раствор разбавили водой до 100.00 мл. Интенсивность флуоресценции раствора составила 60.0 у.е. После добавления к 20.00 мл этого раствора 5.0 мкг урана интенсивность флуоресценции увеличилась до 110.0 у.е. Определить массовую долю урана ( $\omega, \%$ ), считая, что интенсивность флуоресценции пропорциональна концентрации урана, а интенсивность флуоресценции контрольного опыта эквивалентна флуоресценции 1 мкг урана. Какое количество урана (кг) содержится в 1 т руды?
5. Молярный коэффициент поглощения салициловой кислоты в форме  $\text{H}_2\text{A}$  при 320 нм равен  $1.70 \cdot 10^3$ , а в форме НА -  $7.50 \cdot 10^2$ . Насыщенный водный раствор салициловой кислоты при рН 3.3 имеет оптическую плотность 0.492 при 320 нм ( $l = 0.25$  мм). Рассчитайте молекулярную растворимость салициловой кислоты, если показатели констант ее кислотной диссоциации равны  $\text{p}K_{\text{a}1} = 2.97$ ,  $\text{p}K_{\text{a}2} = 13.4$ .
6. При определении кадмия в сточных водах к анализируемому раствору добавляют девятикратный объем органического реагента L с концентрацией  $1.00 \cdot 10^{-3}$  М и измеряют поглощение образующегося комплекса  $\text{CdL}_2^{2+}$  в кюветах  $l = 1.00$  см при  $\lambda = 610$  нм. Поглощение рас-

твор, приготовленного смешением раствора соли кадмия, содержащего 2.81 мкг металла в 1 мл, и раствора реагента, оказалось равным 0.150. Поглощение раствора реагента при  $\lambda=610$  нм равно 0.040. Рассчитайте молярные коэффициенты поглощения комплекса кадмия и органического реагента при указанной длине волны.

## Электрохимические методы анализа

### Потенциометрия

1. При каком потенциале катода (относительно НКЭ) концентрация  $\text{HgBr}_4^{2-}$  снизится до  $1 \cdot 10^{-6}$  М, если до начала электролиза раствор со- держал 0,01 М  $\text{Hg}^{2+}$  и 0,25 М  $\text{KBr}$ ?  $E_{\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}}^0 = 0,854$  В;  $E_{\text{НКЭ}} = 0,242$  В;  $\beta_4 = 4,4 \cdot 10^{21}$ ,  $t = 25^\circ \text{C}$ .
2. ЭДС гальванического элемента  $\text{H}_2(1\text{атм.}), \text{Pt} | \text{HA} (0,150 \text{ М}), \text{NaA} (0,250 \text{ М}) || \text{СВЭ}$  при  $20^\circ \text{C}$  равна 0,310 В. Рассчитайте величину  $K_a \{ \text{HA} \}$ .
3. Напишите уравнение для зависимости потенциала стеклянного электрода от рН и рассчитайте значение потенциала в буферном рас- творе с рН 5,0 относительно хлоридсеребряного электрода сравнения.  
 $\text{const} = 0,350$  В,  $E_{\text{AgCl}/\text{Ag}}^0 = 0,222$  В,  $t = 25^\circ \text{C}$ .
4. Потенциал Са-селективного электрода в 20,00 мл пробы при  $30^\circ \text{C}$  равен 20 мВ. После добавки 0,20 мл 0,1000 М раствора  $\text{Ca}^{2+}$  он стал равным 35 мВ. Крутизна электродной функции на 2 мВ ниже теоретической. Сколько мг кальция содержится в пробе? Мол.масса Са 40,08.

### Вольтамперометрия

1. Волна восстановления  $\text{CrO}_4^{2-}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  имеет  $E_{1/2} = -0,3$  В, а волна восстановления  $\text{Cr}^{3+}$  до  $\text{Cr}(0)$   $-1,4$  В. На полярограмме сточной воды пре- дельный ток при  $-0,7$  В равен 10,5 мкА, а при  $-0,8$  В, 42,0 мкА. Каково соотношение концентраций  $\text{CrO}_4^{2-}$ -и  $\text{Cr}^{3+}$  в анализируемой воде ( $D_{\text{CrO}_4^{2-}} = D_{\text{Cr}^{3+}}$ )? Нарисуйте полярограмму.
2. Предельный диффузионный ток в  $2 \cdot 10^{-3}$  М растворе  $\text{Cd}^{2+}$  равен 8,10 мкА. Из капилляра за 1 мин вытекает 15 капель ртути, а масса 25 ка- пель равна 0,100 г. Рассчитайте коэффициент диффузии  $\text{Cd}^{2+}$  в этих условиях.
3. Предельный диффузионный ток восстановления 0,004 М  $\text{TeO}_3^{2-}$  на р.к.э равен 61,9 мкА. Масса 20 капель ртути, вытекающих за 63 с, рав- на 0,0945 г. Коэффициент диффузии  $\text{TeO}_3^{2-}$   $7,5 \cdot 10^{-6}$   $\text{см}^2\text{с}^{-1}$ . Используя эти данные, напишите уравнение электродной реакции.

### Кулонометрия

1. На титрование 25,00 мл  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  электрогенерированными ионами  $\text{Fe}^{2+}$  из  $\text{Fe}^{3+}$  затрачено 1800 с при силе тока 200 мА. Рассчитайте кон- центрацию  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (М). Напишите уравнения реакций титрования и генерации титранта.
2. На колбе с раствором стерлась надпись. Это мог быть раствор соли  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Al}^{3+}$  с концентрацией 30 мкг/мл. Из 5,0 мл раствора ион ме- талла осадили 8-гидроксихинолином, осадок промыли, растворили в  $\text{HCl}$  и 8-гидроксихинолин оттитровали электрогенерированным  $\text{Br}_2$ , затратив 5 мин 22 с при  $I = 20$  мА. Выход по току 100%. Какой это раствор? Мол. масса: Al - 26,98; Mg - 24,32.

3. На титрование 8,10 мг I электрогенерированными ионами  $MnO_4^-$  затрачено 5 мин при силе тока 25 мА. Рассчитайте выход по току. Мол. масса I - 126,9.

### **Хроматографические методы анализа**

1. На хроматограмме получены пики при 0,84 мин (неудерживаемый компонент А), при 10,60 мин (компонент В) и 11,08 мин (компонент С). Ширина пиков В и С соответствует 0,56 и 0,59 мин соответственно. Длина колонки - 28,3 см, объем стационарной фазы - 12,3 мл, подвижной фазы - 17,6 мл. Рассчитайте: а) число теоретических тарелок колонки; б) высоту, эквивалентную теоретической тарелке, и укажите, что характеризует эта величина; в) коэффициент удерживания для компонентов В и С; г) коэффициенты распределения компонентов В и С; д) коэффициент селективности и разрешение пиков компонентов В и С. Нарисуйте хроматограмму.
2. При разделении на хроматографической колонке с объемом неподвижной фазы 1,5 мл и объемом удерживания неудерживаемого компонента 2,5 мл, соединения А и В имеют коэффициенты распределения 5,0 и 15,0 соответственно. Эффективность колонки - 20 теоретических тарелок. Рассчитайте, будет ли полным разделением веществ А и В. Какова должна быть эффективность колонки, чтобы получить 6 $\sigma$ -разделение компонентов А и В?
3. Стандартные отклонения хроматографического пика, связанные с некоторыми факторами размывания, составляют 0,0041; 0,0011; 0,0091 и 0,0470 см. Вычислите: а) стандартное отклонение ширины пика; б) эффективность колонки (Н, мкм) длиной 15 см; в) число теоретических тарелок, необходимое для 4 $\sigma$ -разделения двух веществ, если коэффициент селективности равен 1,03.
4. Определите удерживаемый объем н-пентанола, если при 77°C и скорости потока газа-носителя 90 мл/мин на сорбенте Chromaton N AW DMCS, покрытом Carbowax 1500, получены следующие времена удерживания спиртов: метанол - 72,3 с; этанол - 126 с; бутанол - 509 с. Пик неудерживаемого компонента появляется на хроматограмме через 30 с.

### **Вопросы для подготовки к экзаменам:**

#### **3 семестр**

1. Виды анализа. Стадии химического анализа. Основные характеристики методов анализа. Абсолютные и относительные методы. Выбор метода анализа. Способы повышения чувствительности и избирательности методов. Автоматизация анализа.
2. Пробоотбор и пробоподготовка. Представительность пробы в химическом анализе. Отбор средней пробы. Подготовка пробы к анализу.
3. Основные типы химических реакций, используемых в аналитической химии. Химическое равновесие в гомогенных и гетерогенных системах. Термодинамическая, концентрационная и условная константы равновесия.
4. Скорость химических реакций, используемых в аналитической химии. Факторы, влияющие на скорость реакции. Индуцированные цепные и сопряженные реакции окисления-восстановления, их роль в химическом анализе.

5. Протолитическая теория кислот и оснований. Равновесие в системе: кислота - сопряженное основание - растворитель. Константы кислотности, основности, автопротолиза. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя.
6. Кислотно-основное титрование. Кривые титрования. Кислотно-основные индикаторы. Погрешности метода кислотно-основного титрования. Титрование смесей кислот и оснований. Титрование в неводных средах.
7. Типы и свойства комплексных соединений, используемых в аналитической химии. Количественная характеристика реакций комплексообразования: константа устойчивости. Ступенчатое комплексообразование. Использование комплексных соединений для разделения, концентрирования, маскирования, обнаружения, определения элементов.
8. Органические реагенты в химическом анализе. Функционально-аналитические и аналитико-активные группы. Влияние строения молекулы на свойства реагента. Применение органических реагентов в анализе.
9. Комплексометрическое титрование. Преимущества аминополикарбонновых кислот перед другими органическими титрантами. Металлохромные индикаторы, требования к ним. Способы титрования. Практическое применение.
10. Обратимые и необратимые окислительно-восстановительные системы и их потенциалы. Уравнение Нернста. Стандартный и реальный окислительно-восстановительные потенциалы. Направление окислительно-восстановительных реакций.
11. Окислительно-восстановительное титрование. Факторы, влияющие на величину скачка потенциала, способы обнаружения конечной точки титрования.
12. Перманганатометрическое, бихроматометрическое, иодометрическое титрование. Первичные и вторичные стандарты. Индикаторы. Примеры практического применения.
13. Константы равновесия реакций осаждения. Растворимость осадков. Факторы, влияющие на растворимость. Образование осадков. Кристаллические и аморфные осадки, условия осаждения.
14. Причины загрязнения осадков: совместное осаждение, соосаждение, последующее осаждение. Виды соосаждения. Приемы, способствующие получению чистых осадков.
15. Сущность гравиметрических методов. Сущность. Осаждаемая и гравиметрическая формы. Примеры практического применения.
16. Методы разделения элементов, основанные на осаждении неорганическими и органическими реагентами. Использование соосаждения для концентрирования микрокомпонентов. Неорганические и органические коллекторы.
17. Основы экстракции как метода разделения и концентрирования. Константа распределения, коэффициент распределения. Константа экстракции. Фактор разделения. Условия экстракции неорганических и органических соединений. Практическое применение экстракции.

#### **4 семестр**

1. Хроматографические методы. Принципы и классификация. Хроматограммы и способы их получения. Основные теоретические положения и характеристики методов. Газовая хроматография. Требования к стационарным и подвижным фазам. Примеры практического применения.
2. Жидкостная хроматография. Требования к стационарным и подвижным фазам. Ионная хроматография. Бумажная и тонкослойная хроматография. Принципы методов. Примеры практического применения.

3. Электрохимические методы. Природа аналитического сигнала. Классификация методов. Электрохимическая ячейка. Индикаторные электроды и электроды сравнения.
4. Прямая потенциометрия. Индикаторные электроды. Классификация ионоселективных электродов. Характеристики ионоселективных электродов: электродная функция, коэффициент селективности, время отклика. Способы определения коэффициента селективности. Способы прямых потенциометрических измерений. Практическое применение ионометрии.
5. Потенциометрическое титрование. Общая характеристика метода. Способы нахождения конечной точки титрования. Индикаторные электроды в кислотно-основном, окислительно-восстановительном и осадительном титровании.
6. Кулонометрия. Законы Фарадея. Прямая кулонометрия. Условия потенциометрических измерений: достижение 100%-ного выхода по току; измерение количества электричества; определение конца электрохимической реакции.
7. Кулонометрическое титрование. Примеры определения электро-активных и электронеактивных веществ. Электрогенерированные кулонометрические титранты. Условия титрования: обеспечение 100%-ного выхода по току; измерение количества электричества; определение конца химической реакции. Преимущества перед другими титриметрическими методами.
8. Вольтамперометрия. Основы метода. Особенности электрохимической ячейки. Теоретические основы классической полярографии. Характеристики полярограммы. Потенциал полуволны. Диффузионный ток. Уравнение Ильковича. Практическое применение полярографии.
9. Полярографический спектр. Качественный анализ. Количественный анализ. Способы определения концентрации вещества. Возможности и ограничения метода.
10. Современные разновидности полярографии. Способы улучшения соотношения фарадеевский/емкостный ток. Возможности и ограничения осциллографической, импульсной и переменноточковой полярографии. Суть метода инверсионной вольтамперометрии.
11. Амперометрическое титрование. Выбор условий амперометрического титрования. Виды кривых титрования. Примеры практического применения.
12. Кинетические методы. Принцип методов. Индикаторные реакции. Метрологические характеристики некаталитических и каталитических методов.
13. Важнейшие характеристики спектральных линий (положение, интенсивность, ширина). Атомные и молекулярные спектры. Взаимосвязь основных характеристик спектральных линий с природой и количеством вещества (качественный и количественный анализ).
14. Атомно-эмиссионный метод. Источники возбуждения и атомизации. Физико-химические процессы в плазме. Качественный и количественный анализ. Области применения, метрологические характеристики методов.
15. Атомно-абсорбционный метод. Основные принципы. Использование пламен для атомизации вещества. Физико-химические процессы в пламенах. Непламенные методы атомизации. Селективность и чувствительность метода. Примеры практического применения.
16. Спектрофотометрический метод. Основной закон поглощения электромагнитного излучения. Молярный коэффициент поглощения. Применение метода для определения концентрации веществ. Чувствительность и селективность метода. Выбор оптимальных условий проведения фотометрических реакций. Интервал определяемых оптических плотностей.
17. Метод дифференциальной спектрофотометрии, его возможности и преимущества. Спектрофотометрические методы изучения равновесий в растворах. Определение констант кислотной диссоциации органических соединений.

18. Люминесцентный метод. Основные закономерности молекулярной люминесценции. Закон Вавилова. Закон Стокса-Ломмеля. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции (правило Левшина).
19. Тушение люминесценции. Классификация люминесценции. Чувствительность и селективность метода. Примеры практического применения.
20. Рентгеновские методы. Основные положения. Метрологические характеристики. Области применения.
21. Масс-спектрометрические методы. Основные положения. Метрологические характеристики. Области применения.
22. Аналитический сигнал. Способы выражения зависимости аналитический сигнал-содержание. Соотношение аналитический сигнал/шум. Контрольный опыт. Способы определения концентрации веществ. Правильность и воспроизводимость. Классификация погрешностей. Систематические погрешности. Проверка правильности анализа. Стандартные образцы.
23. Случайные погрешности. Статистическая обработка результатов измерений. Закон нормального распределения. t-Распределение. Сравнение дисперсий и средних двух методов анализа.

**Вопросы для домашних заданий по темам:**

1. Построение диаграммы распределения двухосновной кислоты или основания.
2. Построение кривой титрования кислоты или основания, выбор индикатора.
3. Построение кривой комплексометрического титрования растворов ионов металлов.
4. Построение кривой окислительно-восстановительного титрования растворов ионов металлов.
3. Составление схемы разделения смеси катионов и анионов.
4. Решение задач по соответствующим темам из задачника.

**Курсовая работа (примеры тем)**

- Хроматографическое определение биотина в мультивитаминных препаратах.
- Хромато-масс-спектрометрическое определение пантотеновой кислоты и пиридоксина в молочнокислых смесях.
- Полиэлектродные сорбенты на основе матрицы стирола-дивинилбензола для ионной хроматографии анионов.
- Химически привитые анионообменники с новыми функциональными группами для ионной хроматографии.
- Одновременное определение НДМГ и продуктов его разложения методом ион-парной хроматографии.
- Влияние ртути и ряда серосодержащих соединений на каталитическую активность пероксидазы сои.
- Ферментативный метод определения биологически активных фенольных соединений в водно-органических средах.
- Анализ поверхности многокомпонентного металлического сплава методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
- Использование метода ICP-MS для определения некоторых элементов в биологических жидкостях.
- Определение некоторых элементов в биологических жидкостях методом ICP-MS в сочетании с пробоподготовкой в микроволновом поле.
- Сорбционно-ВЭЖХ определение фенола и хлорфенолов в природных водах на фоне гуминовых и фульвокислот.

- Определение тетрациклина по сенсibilизированной люминесценции Eu (III).
- Определение V(V) методом твердофазной спектроскопии.
- Определение глюкозы в биологических жидкостях при помощи биосенсоров на основе глюкозооксидазы.
- Биосенсоры третьего поколения на основе гидрогеназы для определения водорода.
- Определение гликозилированных белков с использованием аффинной экстракции в органическую фазу.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
Знать: основные закономерности химических равновесий и процессов в гомогенных и гетерогенных системах Знать: теоретические основы химических и современных инструментальных методов анализа, области их практического применения Знать: правила техники безопасности при работе в химической лаборатории Знать: требования к оформлению и представлению результатов аналитических работ Знать: основные базы данных химического профиля	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене, защита курсовой работы



<p>Знать: основные базы данных химического профиля  Знать: требования к оформлению и представлению результатов работ в области аналитической химии  Знать: требования к представлению материала в виде презентации научного доклада</p>	
<p>Уметь: находить необходимые для работы сведения в открытых источниках информации  Уметь: сопоставлять информацию из разных источников, оценивать ее достоверность  Уметь: формулировать научные гипотезы при обсуждении литературных и собственных данных  Уметь: выбирать коммуникативно приемлемый стиль делового общения, использовать необходимые языковые средства, тактики и стратегии для решения коммуникативных задач в академической и профессиональной сферах  Уметь: работать с учебными и научными текстами разного уровня сложности, отвечающих задачам профессиональной деятельности  Уметь: пользоваться программными средствами, автоматизирующими обработку данных (управление базами данных, статистическая обработка, визуализация и т.п.)  Уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе аналитической химии  Уметь: работать с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности  Уметь: корректно интерпретировать результаты определения химического и фазового состава веществ и материалов различной природы  Уметь: проводить математическую обработку данных химического анализа, обобщать полученные результаты  Уметь: оценивать возможные источники ошибок и корректность полученных данных  Уметь: корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания  Уметь: корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания  Уметь: представлять результаты своей научной работы в письменном виде согласно требованиям к курсовым работам в соответствующей области химии</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене, защита курсовой работы</p>
<p>Владеть навыками поиска и критического анализа информации по теме научного проекта  Владеть: навыками обмена профессиональной информацией с учетом основных требований информационной безопасности  Владеть: техникой аналитического эксперимента  Владеть навыками работы на современных аналитических приборах  Владеть: простейшими расчетными методами решения аналитических задач  Владеть: навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля  Владеть: навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля  Владеть: навыками оформления протоколов химического анализа  Владеть: навыками подготовки презентаций с результатами своей научной работы на русском языке</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, защита курсовой работы</p>