

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Факультет наук о материалах

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

**(для осуществления приема на обучение по образовательным
программам высшего образования - программам подготовки научных
и научно-педагогических кадров в аспирантуре)**

1.4.2. Аналитическая химия

Москва - 2024

I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.4.2 Аналитическая химия (химические науки) предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. ВВЕДЕНИЕ

Предмет аналитической химии. Место и роль аналитической химии среди других научных дисциплин. Аналитическая химия и аналитическая служба. Аналитические задачи: обнаружение, идентификация, определение, тестирование веществ.

Виды химического анализа: качественный, количественный, полуколичественный; изотопный, элементный, структурный, структурно-групповой (функциональный), молекулярный, вещественный, фазовый; макро-, микро-, ультрамикрoанализ; локальный, неразрушающий, дистанционный, непрерывный, внелабораторный (полевой); целевой (таргетный, направленный), нецелевой (нетаргетный, ненаправленный).

Химические, физические и биологические методы аналитической химии. Методы обнаружения, идентификации, разделения и концентрирования, определения; гибридные и комбинированные методы.

2. РЕАКЦИИ И ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Равновесные и неравновесные процессы. Использование законов термодинамики (химическое равновесие) и кинетики для описания и управления реальными гомогенными и гетерогенными системами. Химический потенциал, закон действующих масс. Общая схема равновесий в растворах: сольватация, ионизация, диссоциация, ионная и молекулярная ассоциация, полимеризация, поликонденсация частиц, комплексообразование, окисление-восстановление, гетерогенные процессы. Количественные характеристики равновесий: термодинамическая, концентрационные и условные константы, степень образования (мольная доля) компонента. Коэффициенты активности. Теория Дебая–Хюккеля и ее ограничения. Расчет активностей и равновесных концентраций компонентов. Буферность систем (рН, рМ и редокс буферы).

Кислотно-основное равновесие. Современные представления о кислотах и основаниях. Протолитическая Теория Брэнстеда–Лоури. Использование протолитической теории для описания равновесий в растворах и расплавах кислот и оснований. Влияние свойств растворителя (донорно-акцепторных, диэлектрической проницаемости, автопротолиза); их классификация. Константы кислотности и основности. Кислотно-основные буферные растворы. Расчет рН растворов сильных и слабых кислот и оснований, амфолитов, смесей кислот или оснований, буферных смесей. Способы повышения

чувствительности и избирательности анализа с использованием протолитических равновесий.

Комплексообразование. Теория Льюиса–Пирсона. Типы комплексных соединений, используемых в аналитической химии. Классификация комплексных соединений по характеру взаимодействия металл–лиганд, по однородности лиганда и центрального иона (комплексообразователя). Комплексные соединения в растворе. Ступенчатое комплексообразование; константы устойчивости. Кинетика реакций комплексообразования; инертные и лабильные комплексы. Использование кинетической устойчивости комплексных соединений в химическом анализе. Влияние комплексообразования на растворимость соединений, кислотно-основное равновесие, окислительно-восстановительный потенциал систем, стабилизацию различных степеней окисления элементов. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием комплексных соединений.

Окислительно-восстановительное равновесие. Уравнение Нернста. Стандартный и формальный потенциалы, их связь. Методы измерения потенциалов. Смешанный потенциал. Направление и константы равновесия окислительно-восстановительных реакций. Управление реакциями с помощью изменения концентраций реагирующих веществ, pH, конкурирующих реакций с окисленной и восстановленной формами. Механизм окислительно-восстановительных реакций. Каталитические, автокаталитические, сопряженные и индуцированные окислительно-восстановительные реакции. Основные неорганические и органические окислители и восстановители, применяемые в анализе. Методы предварительного окисления и восстановления определяемых веществ. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием окислительно-восстановительных реакций.

Процессы осаждения–растворения. Равновесия в системе жидкость–твердая фаза. Осадки и их свойства. Константы равновесия (термодинамическое и реальное произведение растворимости); растворимость. Схема образования осадка. Кристаллические и аморфные осадки. Зависимость структуры осадка от его индивидуальных свойств и условий осаждения. Зависимость формы осадка от скорости образования и роста первичных частиц. Влияние температуры, ионной силы, конкурирующих реакций, природы растворителя, размеров частиц осадка, модификации осадка на растворимость. Механизм образования и свойства кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Условия полного осаждения и растворения осадков. Старение осадка. Причины загрязнения осадка. Классификация различных видов соосаждения. Особенности образования коллоидно-дисперсных систем. Коллоидные системы. Использование коллоидных систем в химическом анализе. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием гетерогенных реакций.

Органические реагенты в химическом анализе. Теоретические основы взаимодействия органических реагентов с ионами металлов. Функционально-аналитические группы. Влияние структуры органических реагентов на их свойства. Основные типы соединений, образуемых с участием органических реагентов. Хелатный эффект; хелаты, внутрикомплексные соединения; факторы, определяющие устойчивость хелатов. Важнейшие органические аналитические реагенты для разделения, обнаружения, определения ионов металлов, маскирования и демаскирования. Органические реагенты для органического анализа.

3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Гравиметрические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методы осаждения и отгонки, прямые и косвенные гравиметрические методы. Требования, предъявляемые к осаждаемой и гравиметрической формам. Выбор условий осаждения. Этапы определения. Важнейшие неорганические и органические осадители. Термогравиметрия. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность гравиметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Титриметрические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Выражение концентраций растворов в титриметрии. Кривые титрования. Точка эквивалентности, конечная точка титрования. Расчет молярной массы эквивалента в разных методах титрования. Способы пробоотбора и пробоподготовки, первичные и вторичные стандарты. Способы титрования: кислотно-основное титрование в водных и неводных средах; окислительно-восстановительное титрование; комплексометрическое титрование, использование аминокислот (комплексометрия). Универсальные и специфические индикаторы, индикаторные погрешности. Инструментальные варианты титриметрии. Способы обнаружения конечной точки титрования. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность титриметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Кинетические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индикаторная реакция и индикаторное вещество. Каталитические и некаталитические кинетические методы. Методы определения индикаторных веществ. Дифференциальный и интегральный варианты методов. Способы определения определяемого вещества по данным кинетических измерений. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кинетических методов, объекты и области применения.

Электрохимические методы. Электрохимическая реакция. Электрохимическая ячейка, основные процессы, протекающие на электродах в электрохимической ячейке. Кинетика электрохимических процессов. Неравновесные явления в растворах электролитов. Поляризационная кривая. Классификация электрохимических методов. Основные конструктивные узлы электрохимических приборов.

Потенциометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Равновесные электрохимические системы и их характеристики. Индикаторные электроды и электроды сравнения. Обратимые и необратимые электрохимические системы. Ионметрия. Мембранное равновесие и мембранный потенциал. Типы ионоселективных электродов и их характеристики. Потенциометрическое титрование с неполяризованными и поляризованными электродами. Кривые титрования. Зависимость формы кривой и скачка потенциалов от различных факторов. Титрование в водных и неводных средах. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность потенциометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Кулонометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Условия проведения кулонометрических измерений. Прямая потенциостатическая и гальваностатическая кулонометрия. Кулонометрическое титрование, его возможности и

преимущества. Определение электроактивных и электронеактивных компонентов. Способы электрогенерирования кулонометрических титрантов. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кулонометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Вольтамперометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Явления поляризации и перенапряжения. Кривые поляризации. Обратимые и необратимые электродные процессы. Зависимость величины диффузионного тока от концентрации деполяризатора (уравнение Гейровского–Ильковича). Характеристики вольтамперограмм, используемые для изучения и определения органических и неорганических соединений. Варианты вольтамперометрии: импульсные (нормальный и дифференциальный), переменноточковый (с фазовой и временной селекцией аналитического сигнала), инверсионные (вольтамперометрия и хронопотенциометрия). Их особенности, Метрологические характеристики, возможности и ограничения методов. Амперометрическое титрование (кривые титрования, выбор потенциала, электроды). Особенности амперометрического титрования с одним и двумя поляризованными электродами. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность вольтамперометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ) МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Кондуктометрия. Прямая низкочастотная кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Использование кондуктометрических датчиков в хроматографии и других методах анализа. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кондуктометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

ОПТИЧЕСКАЯ АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Атомные спектры эмиссии, поглощения и флуоресценции. Резонансное поглощение. Самопоглощение, ионизация. Аналитические линии. Зависимость аналитического сигнала от концентрации. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической атомной спектроскопии.

Атомно-эмиссионная спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индуктивно-связанная плазма, испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Возбуждение проб в пламени, в дуговом и искровом разрядах. Регистрация спектров. Качественный и количественный анализ. Физические и химические помехи. Внутренний стандарт. Подавление мешающих влияний матрицы и сопутствующих элементов. Способы подготовки пробы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность атомно-эмиссионной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Атомно-абсорбционная спектрометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Источники излучения. Пламенная атомизация. Электротермическая атомизация; типы электротермических атомизаторов, кварцевая ячейка. Регистрация спектров. Физические и химические помехи. Способы подготовки пробы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки,

стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность атомно-абсорбционной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

РЕНТГЕНОВСКАЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Основные свойства и характеристики рентгеновского излучения и электронного пучка. Спектры излучения, поглощения и флуоресценции и их связь со строением атома. Дифракция рентгеновских лучей. Эмиссия фотоэлектронов, фотоэлектронный спектр. Способы измерения аналитического сигнала. Основные конструкционные узлы приборов для рентгеновской и электронной спектроскопии.

Методы рентгеноспектрального анализа: рентгеноэмиссионный, рентгенофлуоресцентный, рентгеноабсорбционный, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Природа флуоресцентного рентгеновского излучения. Выход флуоресценции и его зависимость от атомного номера элемента. Факторы, определяющие интенсивность рентгенофлуоресцентной линии. Рентгенофлуоресцентный анализ с полным внешним отражением. Аппаратная реализация методов. Типы рентгеновских спектрометров. Сравнительная характеристика методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность рентгеноспектрального анализа, объекты и области рутинного и характерного применения.

Рентгеновская фотоэлектронная и Оже-электронная спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Возможности неразрушающего контроля. Метрологические характеристики, достоинства и ограничения методов. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность рентгеновской фотоэлектронной и Оже-электронной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МИКРОСКОПИИ, ЛОКАЛЬНОГО АНАЛИЗА И АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ

Классификация, основы, достоинства и области применения. Понятия продольной и поперечной локальности. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методы, используемые в локальном анализе: масс-спектрометрия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеноэлектронная спектроскопия, Оже-электронная спектроскопия, методы ИК-спектроскопии поверхности, люминесцентные методы микроанализа, ядерный микроанализ. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность методов локального анализа и методов анализа поверхности, объекты и области рутинного и характерного применения.

Микроскопия в аналитической химии. Микроспектроскопия. Многоволновые, мультиспектральные, полноспектральные и гиперспектральные измерения. Дистанционные методы спектроскопического анализа; применение их в микроаналитической химии, сенсорах, дистанционном анализе.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Молекулярные спектры поглощения, испускания; электронно-колебательно-вращательные (электронные), колебательно-вращательные (колебательные) и вращательные спектры. Основные законы светопоглощения и испускания. Рассеяние света, его виды. Поляризация и оптическая активность. Способы монохроматизации светового

потока. Способы измерения аналитического сигнала. Дифференциальная спектроскопия; производная спектроскопия. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической молекулярной спектроскопии.

Спектрофотометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методические особенности эксперимента. Возможности анализа многокомпонентных систем. *Спектроскопия диффузного отражения*. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектрофотометрии и спектроскопии диффузного отражения, объекты и области рутинного и характерного применения.

Люминесцентные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Виды люминесценции, флуоресценция и фосфоресценция. Основные характеристики люминесценции (спектры поглощения и возбуждения люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выходы люминесценции). Закономерности молекулярной люминесценции (закон Стокса–Ломмеля, правила Каши и Левшина, закон Вавилова). Тушение люминесценции. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность люминесцентной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Абсорбционная ИК-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Метод Фурье-спектрометрии. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Методические особенности эксперимента, особенности анализа проб в различном агрегатном состоянии. Спектроскопия с нарушенным полным внутренним отражением. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность ИК-спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния, КР), сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Методические особенности эксперимента. Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность КР спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Нефелометрия и турбидиметрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Методические особенности эксперимента. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность люминесцентной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЯДЕР И ЭЛЕКТРОНОВ

Магнитно-дипольные переходы. Механизмы релаксации: спин-решеточная и спин-спиновая релаксация. Гиромагнитное отношение. Основные конструкционные узлы приборов для ЯМР и ЭПР спектроскопии.

ЯМР-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Магнитный момент ядра и его взаимодействие с магнитным полем; реализация магнитного резонанса; химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие. Классы соединений, пригодные для анализа методами ЯМР; применение в структурных исследованиях. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЯМР, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЭПР-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения.: положение резонансного сигнала и g-фактора; электрон-ядерное и электрон-электронное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР; классы соединений, пригодные для анализа методами ЭПР. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЭПР, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Элементарные частицы. Основные виды радиоактивного распада и ядерных излучений. Основные конструкционные узлы приборов для ядерно-физических и радиохимических методов.

Активационный анализ. Нейтронно-активационный анализ, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные виды взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. Источники нейтронов. Нейтронно-активационный анализ на тепловых, резонансных и быстрых нейтронах. Особенности и источники погрешностей при облучении нейтронами. Основные особенности методов, основанных на активации заряженными частицами и гамма-активационного анализа. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность активационного анализа, объекты и области рутинного и характерного применения.

Радиохимические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методы радиоактивных индикаторов и изотопного разбавления. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность радиохимических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Атомная масс-спектрометрия. Основные способы образования атомных ионов: в индуктивно-связанной плазме, тлеющем разряде, вакуумной искре и др. Энергия ионизации.

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индуктивно-связанная плазма, испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Основные

конструкционные узлы масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой; аппаратная реализация методов. Масс-сепараторы в атомной масс-спектрометрии: квадрупольный, магнитосекторный, времяпролетный; разрешение масс-сепараторов; достоинства и недостатки, принципы выбора. Интерференции в ИСП-МС: причины возникновения, методы компенсации и устранения. Коллизионно-реакционные интерфейсы и ячейки. Масс-спектрометры с тройным квадруполем. ИСП-МС с лазерной абляцией. Практическое применение ИСП-МС: качественный и количественный анализ; анализ форм существования элементов. ИСП-МС в сочетании с газовой и жидкостной хроматографией. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность методов атомной масс-спектрометрии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Молекулярная масс-спектрометрия. Основные способы образования молекулярных ионов: электронная ионизация, химическая ионизация, ионизация при атмосферном давлении (электрораспыление, химическая ионизация, фотоионизация), ионизация под действием излучения лазера и др. Методы фрагментации молекул. Аппаратная реализация источников ионизации. Достоинства и недостатки различных методов ионизации. Разрешение масс-сепараторов в молекулярной масс-спектрометрии.

Масс-спектрометрия низкого разрешения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра низкого разрешения и аппаратная реализация методов: масс-сепараторы (квадрупольные, линейные ионные ловушки, квадрупольные ионные ловушки); масс-спектрометры с тройным квадруполем; гибридные масс-спектрометры низкого разрешения. Особенности масс-спектрометров для газовой и жидкостной хроматографии. Качественный и количественный анализ. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность методов молекулярной масс-спектрометрии низкого разрешения, объекты и области рутинного и характерного применения.

Масс-спектрометрия высокого разрешения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра высокого разрешения и аппаратная реализация методов: (масс-сепараторы: времяпролетные, орбитальные ионные ловушки, ячейки ионного циклотронного резонанса); детекторы. Гибридные масс-спектрометры высокого разрешения. Прямой ввод и сочетание с газовой и жидкостной хроматографией. Качественный анализ: установление брутто-формулы и структуры молекул. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность методов молекулярной масс-спектрометрии высокого разрешения, объекты и области рутинного и характерного применения.

5. БИОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Биохимические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Каталитические и аффинные взаимодействия. Иммунизация биологических молекул. Ферментативные индикаторные реакции. Химическая природа и структура ферментов. Сущность иммунных методов. Аптасенсоры. Сущность ПЦР-анализа. Регистрация аналитического сигнала в биохимических методах. Способы пробоотбора и

пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность биохимических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Биологические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индикаторные организмы, их типы. Аналитический сигнал и способы его регистрации. Определение физиологически неактивных соединений (химико-биологические методы). Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

6. 6. ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Основные понятия. Теория равновесной хроматографии. Классификация хроматографических методов по применяемым фазам, механизмам разделения и технике эксперимента. Методы получения хроматограмм (фронтальная, элюентная и вытеснительная хроматография). Эффективность и селективность хроматографического разделения. Основные параметры удерживания веществ. Концепция теоретических тарелок и ее недостатки. Уравнение Ван Деемтера. Общие подходы к оптимизации процесса хроматографического разделения веществ. Способы осуществления хроматографического процесса. Особенности наполненных, капиллярных и PLOT-колонок. Способы элюирования веществ. Основные способы ввода пробы, комбинированные методы. Основные конструкционные узлы оптических приборов для хроматографии.

ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Изотермы адсорбции. Адсорбенты, газы-носители и требования к ним. Химическое и адсорбционное модифицирование поверхности адсорбента. Основные типы неподвижных фаз. Влияние температуры на удерживание и разделение. Газовая хроматография с программированным подъемом температуры. Принципы выбора начальной и конечной температуры и скорости нагрева. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Газо-жидкостная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Требования к носителям и неподвижным жидким фазам. Основные типы неподвижных фаз. Проблемы деструкции неподвижных фаз при высокой температуре и пути ее устранения. Влияние природы жидкой фазы и разделяемых веществ на эффективность разделения. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Высокоэффективная капиллярная газовая хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные типы детекторов, их достоинства, недостатки и области применения. Требования к детекторам и их основные характеристики. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (идентификация веществ, анализ сложных смесей, объектов окружающей среды). Понятие о двумерной газовой хроматографии, ее достоинства и недостатки. Парофазный анализ, техника эксперимента, достоинства и недостатки.

Варианты газовой хроматографии с предварительной термодесорбцией. Понятие о реакционной и пиролитической газовой хроматографии.

Сверхкритическая флюидная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности и отличия от газовой и жидкостной хроматографии. Основные типы подвижных фаз. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Высокоэффективная жидкостная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Требования к неподвижной и подвижной фазам. Влияние природы и состава элюента на эффективность разделения. Элюирующая сила подвижных фаз. Влияние pH на удерживание веществ. Разновидности метода в зависимости от полярности неподвижной фазы: нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Понятие о хроматографии гидрофильных взаимодействий. Основные типы неподвижных фаз. Типы и варианты модифицированных силикагелей, их достоинства и недостатки. Принципы выбора условий разделения. Детекторы, их основные характеристики, области применения. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (анализ сложных смесей).

Ионообменная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные закономерности ионного обмена. Неорганические и органические ионообменники и их свойства. Комплексообразующие ионообменники. Кинетика и селективность ионного обмена. Влияние природы и состава элюента на селективность разделения веществ. Концентрирование и разделение неорганических и органических ионов. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Ионная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные типы подвижных фаз, их особенности и области применения. Требования к сорбентам, их строение и классификация. Варианты ионной хроматографии с подавлением фоновой электропроводности и без нее. Типы устройств подавления электропроводности, их основные характеристики. Понятие о «безреагентной» хроматографии. Кондуктометрический детектор, принцип его работы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Ион-парная хроматография, сущность и принцип, достоинства и ограничения. Основные модели (механизмы) удерживания. Роль неподвижной фазы и вводимого в элюент противоиона. Типы противоионов и закономерности удерживания веществ. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Достоинства и недостатки метода. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Аффинная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Адсорбенты. Условия проведения процесса разделения. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность,

чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Эксклюзионная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности механизма удерживания молекул. Характеристики сорбентов и подвижных фаз.

Гель-хроматография (гельпроникающая или гelfильтрационная) в органическом и неорганическом анализе. Механизм разделения веществ. Характеристика гелей. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Тонкослойная (планарная) хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные формулы и характеристики. Аппаратная реализация. Способы получения планарных хроматограмм (восходящий, нисходящий, круговой, двумерный). Механизмы разделения. Сорбенты и подвижные фазы. Требования к проведению анализа и хранению пластин для анализа. Реагенты для проявления хроматограмм. Понятие о двумерной тонкослойной хроматографии. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Особенности бумаги как неподвижной фазы. Требования к проведению анализа. Подвижные фазы. Детектирование и подходы к количественному анализу. Область применения.

ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Варианты электромиграционных методов: капиллярный зонный электрофорез; мицеллярная и микроэмульсионная электрокинетическая хроматография; капиллярный гель-электрофорез; изотахофорез; электрофокусирование в капиллярах. Причины высокой эффективности разделения. Аппаратная реализация. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Особенности механизма разделения молекул и типы подвижных фаз. Достоинства и недостатки методов. Особенности детектирования. Понятие о проведении анализа на микрочипе. Строение микрочипов, достоинства и недостатки. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

7. МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ

Процессы и реакции, лежащие в основе методов разделения и концентрирования в аналитической химии. Классификация методов разделения и концентрирования по природе процессов, числу и природе фаз, природе матрицы и концентрата. Термодинамические и кинетические характеристики разделения и концентрирования. Количественные параметры разделения и концентрирования: коэффициент распределения, степень извлечения, коэффициенты разделения и концентрирования. Сочетание разделения и концентрирования с методами определения. Принципы выбора метода.

Сорбционные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Сорбенты, классификация по механизму взаимодействия вещества с сорбентом, способу осуществления процесса, геометрическим признакам неподвижной фазы. Количественное описание сорбционных процессов. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Экстракционные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Экстракция как процесс и метод. Закон распределения. Основные количественные характеристики. Способы осуществления экстракции. Требования к экстрагентам и растворителям. Классификация экстракционных процессов по типу используемого экстрагента, типу образующихся соединений, технике осуществления. Основные типы соединений, используемых в экстракции. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Методы осаждения и соосаждения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Использование неорганических и органических осадителей и соосадителей для разделения и концентрирования элементов. Виды соосаждения. Основные типы коллекторов. Органические соосадители. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Испарение, сублимация и родственные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Испарение, сублимация или отгонка, отгонка после химических превращений. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Препаративная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

8. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ХЕМОМЕТРИКА

Химический анализ как метрологическая процедура. Аналитический сигнал. Способы представления зависимости аналитический сигнал — содержание определяемого компонента. Основные характеристики аналитических методов: точность, правильность, прецизионность, чувствительность, селективность, избирательность, прослеживаемость.

Погрешности, способы их классификации, основные источники погрешностей в химическом анализе. Систематические погрешности в химическом анализе. Способы проверки правильности. Контрольный опыт как метрологическое понятие. Случайные погрешности в химическом анализе. Генеральная и выборочная совокупности результатов химического анализа. Закон нормального распределения. Статистика малых выборок. Прецизионность. Статистическая обработка результатов серийных анализов. Законы распространения систематических и случайных погрешностей. Погрешности отдельных стадий анализа и конечного результата. Применение дисперсионного анализа для оценки погрешностей отдельных стадий и операций химического анализа.

Неопределенность измерений как мера оценки аналитических методов, сравнение и взаимосвязь с теорией и практикой точности измерений.

Чувствительность, способы ее выражения. Коэффициент чувствительности, предел обнаружения, предел определения, их статистическая оценка. Применение регрессионного анализа для построения градуировочных зависимостей. Обработка нелинейных зависимостей в химическом анализе. Обработка спектральной информации. Аппроксимация экспериментальных зависимостей, ее основные разновидности. Дифференцирование и интегрирование экспериментальных данных. Фурье-преобразование, его использование. Корреляционный анализ; использование корреляционного анализа для проверки независимости двух аналитических методик.

Метод и методика. Продолжительность (экспрессность), трудоемкость, стоимость, приборное обеспечение методики анализа; результат химического анализа как показатель качества. Арбитражный анализ. Принципы унификации и стандартизации аналитических методов. Метрологическое обеспечение контроля состава веществ и материалов. Стандартные образцы. Аттестация и стандартизация методик. Аккредитация аналитических лабораторий.

Хеометрика в аналитической химии и химическом анализе, математические методы изучения и моделирования химических явлений в области химического анализа, получение химико-аналитических данных с помощью математических методов обработки и добычи данных (глубинного анализа данных). Базы данных и знаний, принципы их построения и использования в химическом анализе, поисковые системы информации, обнаружение знаний в базах данных при помощи хеометрических методов. Математическое планирование и оптимизация аналитического эксперимента. Использование дисперсионного и многомерного регрессионного анализа. Многомерные данные в химическом анализе. Векторы и матрицы аналитических сигналов (признаков); факторный анализ. Хемоинформатика.

8. АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ

Основные задачи анализа, аналитический цикл. Выбор метода и схемы анализа, отбор пробы, подготовка пробы (разложение, разделение, концентрирование и другие операции), получение аналитической формы, измерение аналитического сигнала, обработка результатов измерений. Определение суммарных показателей (ХПК, БПК и др.). Скрининг. Тест-методы. Аналитический мониторинг, принципы, методы, организация, задачи. Аналитическая химия элементов. Основные методы выделения и определения элементов и изотопов элементов.

Автоматизация лабораторного анализа и производственного контроля; периодического, дискретного анализа и непрерывного анализа в потоке. Автоматизированные приборы, системы и комплексы, автоматы-анализаторы для лабораторного и производственного анализа, роботы. Микрофлюидные чипы и микроаналитические системы полного анализа.

Сенсоры в химическом анализе, их связь с информационными технологиями. Понятие сенсора и трансдюсера, другие основные понятия сенсоров. Техническое и приборное обеспечение сенсоров. Сенсоры для качественного и количественного анализа. Классификация сенсоров по принципу действия (химические, физические, физико-химические, биологические). Биосенсоры, молекулярное и биомолекулярное распознавание. Оптические (хемо- и биосенсоры), электрохимические, пьезоэлектрические (включая кварцевые микровесы), электрические сенсоры, термические, термометрические сенсоры; масс-сенсоры, микроэлектронные датчики для биомедицинских исследований. Мультиплексные сенсоры, наносенсорика. Аналитические возможности, области применения.

Теория и практика пробоотбора и пробоподготовки. Представительность пробы; взаимосвязь с объектом и методом анализа. Генеральная, лабораторная и анализируемая пробы. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы

твердых, жидких и газообразных веществ; токсичных и радиоактивных проб устройства и приемы, используемые при этом; первичная обработка и хранение проб; дозирующие устройства. Основные способы перевода пробы в форму, необходимую для данного вида анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, разложение под действием высоких температур, давления, излучения, ультразвука, высокочастотного разряда; комбинирование различных приемов; особенности разложения органических соединений. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

Основные объекты анализа, особенности, виды анализа таких объектов и соответствующие методы и задачи их анализа. Анализ *in situ* и *in vivo*. Контроль и мониторинг производства.

Объекты окружающей среды: воздух, природные и сточные воды, атмосферные осадки, почвы, донные отложения, флора. **Объекты экологического контроля** Промышленные, технологические и бытовые *отходы*.

Геологические объекты, минеральное промышленное сырье.

Неорганические соединения. Чистые и сверхчистые вещества и материалы; определение в них примесных и легирующих микроэлементов. Минеральные удобрения. Послойный и локальный анализ.

Металлы, сплавы и другие продукты металлургической промышленности. Определение черных, цветных, редких, благородных металлов и анализ их сплавов. Анализ неметаллических включений и определение газообразующих примесей в металлах. Контроль производства. **Материалы атомной промышленности. Другие промышленные материалы. Композиционные и наноматериалы**

Природные и синтетические органические вещества и элементоорганические соединения; органические материалы, полимерные материалы. Углеводородное сырье, нефтепродукты.

Биомедицинские объекты. Биологические и живые объекты, лекарственное сырье и фармацевтические препараты, медицинские объекты, объекты клинической лабораторной диагностики; объекты криминалистической экспертизы; пищевое сырье и продукты питания. Санитарно-гигиенический контроль.

Специальные объекты и задачи анализа: газы, токсичные и радиоактивные вещества, наркотики, взрывчатые и легковоспламеняющиеся вещества, космические объекты, археологические объекты и объекты культурного наследия.

III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и список литературных источников. Объем реферата — 15–20 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

Вопрос 1. Теоретические основы методов разделения и концентрирования элементов

(значение, классификация, количественные характеристики).

Вопрос 2. Молекулярная спектроскопия (спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, флуоресцентная спектроскопия). Теоретические основы, практическое применение.

Вопрос 3. Содержание реферата по теме планируемого диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ОСНОВНАЯ

1. Основы аналитической химии (в 2-х книгах) (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Академия, 2014, 400 с.
2. Основы аналитической химии. Практическое руководство (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Высшая школа, 2018, 462 с.
3. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Высшая школа, 2020, 413 с.
4. Аналитическая химия (под ред. А. А. Ищенко) А.А. Гречников, Л.А. Грибов, Ю.А. Ефимова и др. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2019, 470 с.
5. Методы и достижения современной аналитической химии (под ред. В.И. Вершинина), 2-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2021, 588 с.
6. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ (под ред. Л.Н. Москвина), 4-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 584 с.
7. Кристиан Г.. Аналитическая химия. в 2 х т., пер. с англ., М. : Бином. Лаборатория Знаний, 2023. - 1127 с.
8. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. Пер. с нем. М.: Техносфера, 2023. 472 с.
9. Снайдер Л. Р., Кирклэнд Д.Д., Долан Д.У. Введение в современную жидкостную хроматографию. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2020. — 960 с.
10. Пупышев А.А., Суриков В.Т. Пупышев А.А., Суриков В.Т. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов. 2-е издание, исправленное и дополненное. LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 389 с.
11. Экман Р., Зильберинг Е., Вестман-Бринкмальм Э., Край А. Масс-спектрометрия: аппаратура, толкование и приложения Москва: Техносфера, 2022, 368 с.
12. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды Москва: Техносфера, 2013, 632 с.
13. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии Изд. второе, переработанное и дополненное. М: Техносфера, 2015, 704 с.
14. Лаваньини И., Маньо Ф., Сералья Р., Тральди П. Количественные методы в масс-спектрометрии Москва: Техносфера, 2008., 176 с.
15. Ефимова А.И., Зайцев В.Б., Казанцев Д.В., Болдырев Н.Ю. Современная инфракрасная спектроскопия: основы, методы, приборная база: учебное пособие для вузов. СПб: Лань, 2023. — 356 с.
16. Отто М. Современные методы аналитической химии, 5-е издание. М.: Техносфера, 2021, 656 с.

17. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе, 6-е изд., М: Лаборатория знаний, 2020, 858 с.
18. Изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов / Под ред. В.С. Севастьянова; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В. . Вернадского РАН. — 2011, 240 с.
19. Внелабораторный химический анализ. Под ред. Ю.А.Золотова. М.: Наука, 2010. 564 с.
20. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ М.: Техносфера, 2009, 784 с.
21. Ганеев А.А., Шолупов С.Е., Пупышев А.А., Большаков А.А., Погарев С.Е. Атомно-абсорбционный анализ. Учебное пособие. СПб.: «Лань», 2011. 304 с.
22. Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях (под ред. В.Б. Барановской, И.В. Болдырева) М.: Техносфера, 2022. – 106 с.
23. Дворкин В.И. Метрология и обеспечение качества химического анализа. 2-е изд., М.: Техносфера, 2023. – 318 с.
24. Кристал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяненок А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Москва: Техносфера 2009, 208 с.
25. Бёккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009, 528 с.
26. Кельнер Р. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. Пер. с англ. М: Мир, 2004, 608 с.
27. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
28. Пупышев А.А., Данилова Д.А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно связанной плазмой и тлеющим разрядом по Гримму. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 202 с.
29. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгено-спектрального флуоресцентного анализа. М. Химия 1982.
30. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии М.: Техносфера, 2010, 304 с.
31. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: ВО “Наука”, 1994. 264 с.
32. Дерффель К. Статистика в аналитической химии (пер. с нем.) М.: Мир. 1994.
33. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии (пер. с англ.) М.: Химия. 1984.
34. Шараф М.А., Иллмен Л., Ковальски Б.Р. Хемометрика (пер. с англ). Л.: Химия. 1989.
35. Морф В. Принципы работы с ионоселективными электродами. М.: Мир, 1985.
36. —Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2009, 368 с.
37. Петерс Д., Хайес Дж., Хифтье Г. Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии. В двух книгах. М: Химия, 1978. 477, 338 с.
38. Лёвшин Л.В., Салецкий А.М., «Оптические методы исследования молекулярных систем. Молекулярная спектроскопия», М.: МГУ, 1994
39. Бенуэлл К., Основы молекулярной спектроскопии М.: Мир, 1985
40. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем – М.: Техносфера, 2005. – 256 с.
41. Проблемы аналитической химии. Т.12: Биохимические методы анализа (ферментативный анализ, биосенсоры, иммуноанализ). (Под ред. Дзантиева Б.Б.). М.: Наука, 2010. 391 с.
42. Тернер Э. Биосенсоры: Основы и приложения (пер. с англ.). М.: Мир. 1992.

43. Тельдеши Ю.. Радиоаналитическая химия. Пер. со словац. М.: Энергоатомиздат. 1987.
44. Сысоев А.А., Изотопная масс-спектрометрия, 1993.

2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Ганеев А.А., Зенкевич И.Г., Карцова Л.А., Москвин Л.Н., Родинков О.В. Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа. 3-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 332 с.
2. Зенкевич И. Г., Ермаков С. С., Карцова Л. А. и др. Аналитическая химия. Химический анализ : учебник для вузов, 2-е изд., стер. , Санкт-Петербург: Лань, 2022, 444 с.
3. Долгоносков А. М., Рудаков О. Б., Прудковский А. Г. Колоночная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. 3-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 468 с
4. Аналитический контроль благородных металлов. Коллективная монография (под ред. Ю.А. Карпова, В.Б. Барановской, Л.П. Житенко), Москва: Техносфера, 2019. – 400 с.
5. Галль, Л. Н. Физические основы масс-спектрометрии и ее применение в аналитике и биофизике / Л. Н. Галль. — Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, 161 с.
6. Тахистов В.В., Пономарев Д.А. Органическая масс-спектрометрия. СПб.: ВВМ, 2005, 345 с
7. Майер В.Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография, М: Техносфера, 2017, 408 с
8. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Сальников В.Д Аналитический контроль в металлургическом производстве. М.: Академкнига, 2006, 352 с.
9. Цизин Г.И., Статкус М.А. Сорбционное концентрирование микроэлементов в динамических условиях. М.: ЛЕНАНД, 2016. 480 с.
10. Конюхов, В. Ю. Хроматография: учебник. Санкт-Петербург : Лань, 2012. 224 с.
11. Нестеренко П., Джонс Ф., Полл Б. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов. Москва: Техносфера, 2013 - 312 с.
12. Жуховицкий, С. М. Яновский, И. А. Ревельский. Хромадистилляция и хроматография: монография. Москва: Техносфера, 2021, 288 с.
13. Хенке, Х. Жидкостная хроматография. Москва : Техносфера, 2009, 264 с.
14. Сычев, С. Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография: аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем: учебное пособие Санкт-Петербург: Лань, 2013, 256 с.
15. Майер Вероника Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. 5-е изд., Москва: Техносфера, 2019, 408 с.
16. Дятлов В. А., Серегина Т. С., Семикин В. В. Фурье ИК-спектроскопия многокомпонентных систем: учебно-методическое пособие. Москва : РТУ МИРЭА, 2022, 79 с.
17. Барановская В.Б., Кошель Е.С. Дуговой атомно-эмиссионный анализ редкоземельных металлов и их оксидов Москва: Техносфера, 2020. – 132 с.
18. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров Москва: Техносфера, 2013, 696 с.
19. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Глинская И.В. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Курс лекций. Изд-во МИСиС. 2001.
20. Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А. Концентрирование следов элементов. М.: Наука, 1988.
21. Сабадвари Ф., Робинсон А. История аналитической химии. (пер. с англ). М.: Мир, 1984.

22. Рамендик Г.И. Элементный масс-спектральный анализ твердых тел. М.: Химия. 1993.
23. Терек Т., Мика Й., Гегуш Э. Эмиссионный спектральный анализ (в 2-х частях, пер. с англ.) М.: Мир. 1982.
24. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия. 1982.
25. Головина А.П., Левшин Л.В. Химический люминесцентный анализ неорганических веществ. М.: Химия, 1978.
26. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
27. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография. М.: Изд-во МГУ. 1990.
28. Гольдберг К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. М.: Химия. 1990.
29. Даванков В.А., Навратил Дж., Уолтон Х. Лигандообменная хроматография. М.: Мир, 1989.
30. Березкин В.Г., Бочков А.С. Количественная тонкослойная хроматография. Инструментальные методы. М.: Наука, 1980.
31. Макроциклические соединения в аналитической химии. Под ред. Золотова Ю.А. и Кузьмина Н.М. М.: Наука, 1993.
32. Перес-Бендито Д., Сильва М. Кинетические методы в аналитической химии. М.: Мир, 1991.
33. Бонд А.М. Современные полярографические методы в аналитической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
34. Никольский Б.П., Матерова Е.А. Ионоселективные электроды. Л.: Химия, 1980.
35. Иоффе Б.В., Зенкевич И.Г., Кузнецов М.А., Берштейн И.Я. Новые физико-химические методы исследования органических соединений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.
36. Хмельницкий Р.А., Бродский Е.С. Хромато-масс-спектрометрия. М.: Химия, 1983.
37. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989.
38. Плинер Ю.Л., Кузьмин Н.М. Метрологические проблемы аналитического контроля качества металлопродукции. М.: Металлургия. 1989.
39. Карпов Ю.А., Гиммельфарб Ф.А., Савостин А.П., Сальников В.Д. Аналитический контроль металлургического производства. Учебник для вузов М.: «Металлургия», 1995г. , 400 стр.
45. Пабло Г. Этчегоин, Эрик К. Ле Ру, Юлинг Ванг. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS): аналитические, биофизические и биомедицинские приложения; ред. оригинального изд. С. Шлюкер ; пер. с англ., М: Техносфера, 2017., 331с.
46. Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика (под ред. Г.М. Кингстона и Л.Б. Джесси . пер. с англ) М.:Мир. 1991.
47. Лебстнер Л. Буйташ П. Химия в криминалистике. М.: Мир. 1990.
48. Каплан Б.Я., Филимонов Л.Н., Майоров И.А. Метрология аналитического контроля производства в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1989.
49. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг (в 2- х томах) СПб. Крисмас. 1998.
50. Москвин Л.Н., Царицына Л.Г. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. Л.: Химия. 1991.

VI. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил семь баллов и выше.

Критерии и показатели оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности поступающих в аспирантуру Химического факультета МГУ

Вступительный экзамен по специальности в аспирантуру химического факультета проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из трех вопросов (двух вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопроса по реферату).

Ответ поступающего в аспирантуру оценивается по 10-балльной шкале.

Минимальный уровень знаний	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

VII. АВТОРЫ

1. Проф. Проскурнин М.А.
2. Проф. Веселова И.А.
3. в.н.с. Волков Д.С.
4. Проф. Пирогов А.В.