

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана факультета наук о материалах,



Солнцев К.А. /

«8» мая 2024 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.4.2 Аналитическая химия

Шифр и наименование области науки: 1.4. Химические науки  
Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени:  
химические науки

# I. Описание программы

Настоящая программа охватывает основополагающие разделы аналитической химии, задачи, основные методы, средства и объекты анализа.

## II. Основные разделы и вопросы к экзамену

### 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Предмет аналитической химии. Место и роль аналитической химии среди других научных дисциплин. Взаимосвязь аналитической химии с другими науками, значение для общества (народное хозяйство, окружающая среда, медицина, смежные области науки). Этапы развития аналитической химии.

#### 1.1 МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Химические, физические (физико-химические), биохимические и биологические методы. Методы обнаружения, идентификации, разделения и концентрирования, определения; гибридные и комбинированные методы. Методы прямые и косвенные. Классификации аналитических методов, условность классификаций. Принципы унификации и стандартизации аналитических методов.

Основные характеристики методов определения: чувствительность, селективность, точность, прослеживаемость, экспрессность (продолжительность), трудоемкость, стоимость, приборное обеспечение, операционные расходы, экологическая безопасность (greenness). Метод, способ и методика.

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

#### 1.2 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА, АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

Выбор метода и схемы анализа, отбор пробы, консервация пробы, подготовка пробы (разложение, разделение, концентрирование и другие операции), получение аналитической формы, измерение аналитического сигнала, обработка результатов измерений.

Аналитическая химия и аналитическая служба. Аналитические задачи: обнаружение, идентификация, определение, тестирование веществ. Единство аналитического процесса. Диалектическая связь проблемы, метода, объекта анализа и определяемого компонента.

Миниатюризация химического анализа, микроаналитическая химия. Наноаналитика, определение отдельных частиц и молекул, химический анализ отдельных клеток.

Сенсоры, скрининг, тест-методы; связь химического и биохимического анализа с клинической лабораторной диагностикой и тераностикой. Аналитический мониторинг, принципы, методы, организация, задачи.

Тенденции развития аналитической химии: комбинированные, гибридные, мультиплексные методы, высокоинформативные и сверхвысокоинформативные методы, пути увеличения информативности методов; портативные аналитические устройства. Внедрение в аналитическую практику теории подобия (переход от химических, физических и физико-химических величин, определяющих исследуемую систему, к обобщённым величинам комплексного типа, составленным из исходных величин); определение суммарных и обобщённых показателей (ХПК, БПК и др.), распознавание образов.

### **1.3 АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Автоматизация лабораторного анализа и производственного контроля. Принципы применения и средства автоматизации. Полная и частичная автоматизация.

Автоматизация периодического, дискретного анализа и непрерывного анализа в потоке. Микро-, мезо- и нанофлюидика, микрочипы и микрофлюидные чипы для химического и биохимического анализа; микроаналитические системы полного анализа ( $\mu$ TAS). Понятие о проведении анализа на микрочипе. Строение микрочипов, достоинства и недостатки. Математическое моделирование в микрофлюидике: основные положения, управление при помощи тепловых, электрических и магнитных полей. Биочипы.

Автоматизированные приборы, системы и комплексы, автоматы-анализаторы для лабораторного и производственного анализа, роботы. Современные высокоэффективные аналитические приборы-автоматы (газоанализаторы, хромато-масс-спектрометры и другие спектрометры, автоматические приборы и системы для проточно-инжекционного анализа, для отбора и анализа проб космического вещества и др.).

### **1.4 АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ЕГО ОРГАНИЗАЦИЯ**

Виды аналитических лабораторий. Цели и задачи испытательных лабораторий. Технические требования при организации работы испытательных лабораторий. Нормативно-правовые основы метрологии, стандартизации и сертификации. Федеральная служба по аккредитации: функции и полномочия. Международные организации в сфере аккредитации.

Организация контроля качества в химических лабораториях. Основные нормативные документы. Основные документы, устанавливающие нормы погрешности. Проверка квалификации аккредитованной лаборатории посредством межлабораторных сравнительных испытаний. Статистический контроль. Алгоритмы внутрилабораторного контроля качества результатов анализа. Оперативный и статистический контроль.

Менеджмент качества. Становление и развитие систем менеджмента качества. Система менеджмента качества испытательной лаборатории: принципы и организационные аспекты построения. Содержание РК (Руководства по качеству) лаборатории.

Аккредитация и подтверждения компетентности лабораторий: общие сведения, необходимые процедуры и этапы, основные нормативные документы. Критерии аккредитации аналитических лабораторий. Документы аккредитованной лаборатории: функции, права и обязанности аккредитованной лаборатории.

Организация аналитической службы предприятия, ее функции: контроль технологических процессов. Маркировочные анализы. Результат химического анализа как показатель качества продукции. Арбитражный анализ.

Сертификация: продукции, пищевых продуктов, экологическая.

## **2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ХЕМОМЕТРИКА**

### **2.1 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Химический анализ как метрологическая процедура. Аналитический сигнал. Результат анализа как случайная величина. Погрешности, способы их классификации, основные источники погрешностей в химическом анализе.

Систематические погрешности в химическом анализе. Правильность и способы проверки правильности. Метод «введено–найдено». Постоянная (аддитивная) и пропорциональная (мультипликативная) систематическая погрешность. Систематические погрешности I, II, III рода. Законы сложения погрешностей. Релятивизация, контрольный опыт. Рандомизация.

Случайные погрешности в химическом анализе. Генеральная и выборочная совокупности результатов химического анализа. Закон нормального распределения. Статистика малых выборок. Прецизионность, условия повторяемости и воспроизводимости. Статистические критерии: математическое ожидание (генеральное среднее) и генеральная дисперсия случайной величины, выборочное среднее, дисперсия, стандартное отклонение, доверительная вероятность и доверительный интервал. Характер связи между значением величины и ее стандартным отклонением (абсолютным и относительным).

Возможные причины отклонения результатов анализа от нормального распределения. Распределение Пуассона. Проверка нормального закона распределения результатов анализа. Построение гистограмм распределения. Критерий Пирсона.

Статистическая обработка результатов серийных анализов. Выявление промахов. Контрольные карты. Сравнение двух (критерий Фишера) и нескольких (критерии Бартлера, Кохрена) дисперсий. Сравнение двух (критерий Стьюдента) и нескольких (дисперсионный анализ Фишера) средних результатов химического анализа.

Чувствительность. Коэффициент чувствительности. Предел обнаружения, предел определения (нижняя граница определяемых содержаний), их статистическая оценка. Пределы обнаружения и определения прибора (IDL, IDQ) и методики (MDL, MDQ), их взаимосвязь. Линейный динамический диапазон метода. Пути повышения чувствительности методик химического анализа.

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, связь с достоверностью измерений и концепцией точности измерений. Базовые понятия оценки неопределенности. Требования ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 к оцениванию неопределенности измерений в испытательных и калибровочных лабораториях. Вычисление стандартных неопределенностей по типу А и типу В; бюджет неопределенности, его расчет. Оценка неопределенности на основе модельного подхода и на основе данных прецизионности и правильности. Диаграммы «Причина–следствие» (диаграмма Исикавы) для представления и анализа выявленных источников неопределенности. Специфические вклады в неопределенность (примесные компоненты, градуировочная характеристика, пробоотбор).

Корреляции и генерализованный корреляционный анализ. Проверка значимости выборочного коэффициента корреляции. Использование корреляционного анализа для проверки независимости двух аналитических методик.

Применение регрессионного анализа для построения градуировочных характеристик. Способы проверки адекватности регрессионной модели. Нахождение содержания вещества по градуировочной характеристике, статистическая оценка результата.

Обработка нелинейных зависимостей в химическом анализе. Проблема выбора начальных приближений. Построение и использование нелинейных градуировочных зависимостей.

Аппроксимация экспериментальных зависимостей, ее основные разновидности. Дифференцирование и интегрирование экспериментальных данных. Фурье-преобразование, его использование для фильтрации шумов и снижения пределов обнаружения.

Математическое планирование и оптимизация аналитического эксперимента. Использование дисперсионного и многомерного регрессионного анализа в планировании эксперимента. Оценка значимости факторов. Планы второго порядка. Симплекс-оптимизация.

Метрологическое обеспечение контроля состава веществ и материалов. Стандартные образцы. Аттестация и стандартизация методик.

## 2.2 КОМПЬЮТЕРНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ, ХЕМОМЕТРИКА И ХЕМОИНФОРМАТИКА

Сбор, обработка, хранение и отображение результатов анализа, планирование и оптимизация экспериментов, управление аналитическими приборами, создание интегрированных устройств.

Предмет **хеометрики**, ее задачи. Полезная информация и шум. Многомерные данные в химическом анализе. Аналитический сигнал, аналитический признак, аналитическая позиция. Представление спектральных, хроматографических и других данных в векторной форме. Матрицы "объект-свойство". Программное обеспечение для работы с многомерными данными.

Линейные преобразования матриц данных: сдвиг (центрирование), масштабирование, поворот, проекция. Их назначение, алгебраическая и геометрическая интерпретация. Метод главных компонент, матрицы счетов и нагрузок, их свойства, сингулярные числа, формальный и эффективный ранг матрицы. Основные приемы работы с многомерными данными.

**Количественный анализ многокомпонентных систем.** Методы многомерной классификации и идентификации в химическом анализе. Многомерный регрессионный анализ. Математическая формулировка задач градуировки и расчета концентраций в матричной форме. Метод Фирордта и метод множественной линейной регрессии. Метод наименьших квадратов. Прямая и обратная градуировки. Проекционные методы регрессионного анализа. Регрессия по главным компонентам (PCR), проекция на скрытые структуры (PLS1, PLS2). Их использование в анализе многокомпонентных систем. Метрологические аспекты многокомпонентного анализа. Описательная и предсказательная способность регрессионной модели. Метод «введено–найдено» в многокомпонентном анализе. Градуировочная и проверочная выборки. Перекрестная проверка. Среднеквадратичная погрешность. Оптимизация регрессионной модели. Основные принципы многомерной классификации. Классификационные признаки, принципы их выбора. Расстояние от неизвестного объекта до известного класса как главный классификационный критерий. Способы предварительного преобразования пространства признаков и способы вычисления расстояний в нем. Расстояние «метрическое» (Минковского) и «статистическое» (Махаланобиса). Графическое представление результатов классификации. Кластерный анализ, дендрограммы. Основные методы многомерной классификации: линейный дискриминантный анализ, SIMCA, PLS-классификация, метод К ближайших соседей. Оптимизация классификационной модели.

**Методы многомерного разрешения кривых.** Постановка задачи разрешения кривых. Регрессионный анализ с ограничениями. Метод чередующихся наименьших квадратов (ALS), итерационного целевого (ITCFA), эволюционного (EFA) и оконного (WFA) факторного анализа. Разрешение спектральных, хроматографических, кинетических данных. Получение спектров чистых компонентов из спектров смесей, нахождение констант сложных равновесий

Применение теории распознавания образов для идентификации веществ и прогнозирования условий анализа. Понятие об экспертных системах, машинном обучении и искусственном интеллекте. Базы данных, основные принципы их построения и использования. Базы знаний.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Химические превращения вещества — основа химических методов. Использование законов термодинамики (химическое равновесие) и химической кинетики для описания и управления реальными гомогенными и гетерогенными системами. Расчеты химических равновесий: определение равновесных концентраций и констант равновесий.

Химический потенциал, закон действующих масс. Общая схема равновесий в растворах: сольволиз, сольватация, ионизация, диссоциация, ионная и молекулярная ассоциация, полимеризация, поликонденсация частиц, комплексообразование, окисление–восстановление, гетерогенные процессы.

Количественные характеристики равновесий: термодинамическая, концентрационные (реальные) и условные константы, степень образования (молярная доля) компонента. Коэффициенты активности. Теория Дебая–Хюккеля и ее ограничения. Расчет активностей и равновесных концентраций компонентов (рН, рМ и концентрации разных комплексных форм, молекулярной и ионной растворимости). Буферность систем (рН-, рМ- и редокс-буферы).

#### 3.1 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. Функция Гаммета. Кислотно-основные буферные растворы, уравнение Гендерсона–Гассельбаха. Кинетика протолитических реакций.

Расчет рН водных растворов сильных и слабых кислот и оснований, амфолитов, смесей кислот или оснований, буферных смесей. Расчет рН в неводных средах. Свойства буферных систем: уровень рН, область буферирования, буферная емкость (уравнение Ван-Слайка).

Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием протолитических равновесий.

#### 3.2 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. Влияние свойств растворителя (донорно-акцепторных, протолитических диэлектрической

проницаемости). Ступенчатое комплексообразование; константы устойчивости. Хелатный эффект; хелаты, внутрикомплексные соединения; факторы, определяющие устойчивость хелатов.

**Кинетика реакций комплексообразования;** инертные и лабильные комплексы. Использование кинетической устойчивости комплексных соединений в химическом анализе. Ферментативные реакции.

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.

### 3.3 ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ

Обратимые и необратимые реакции. 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, рН, конкурирующих реакций с окисленной и восстановленной формами.

Механизм окислительно-восстановительных реакций. Каталитические, автокаталитические, индуцированные, сопряженные и цепные 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.

### 3.4 ОРГАНИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ. ТЕОРИЯ РЕАГЕНТОВ

Основные типы реакций органической химии, их использование в аналитической химии и химическом анализе. Понятие о целенаправленном синтезе реагентов для неорганического и органического анализа. Синтез материалов для химического анализа (реагентов, адсорбентов, ионообменных материалов, материалов для хроматографии и др.). Химическая модификация поверхности реагентами и функциональными веществами за счет органических реакций.

**Аналитические реагенты.** Теоретические основы взаимодействия реагентов с ионами металлов, неметаллами и органическими соединениями. Функционально-аналитические группы. Влияние структуры реагентов на их свойства. Основные типы соединений, образуемых с участием неорганических и органических реагентов; основные области их использования. Полимерные реагенты, биоактивные соединения как реагенты, супрамолекулярные взаимодействия и реагенты в химическом анализе. Важнейшие аналитические реагенты для разделения, маскирования и демаскирования, концентрирования, обнаружения, определения элементов и основных классов органических соединений.

### 3.5 ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И АДСОРБЦИЯ

Молекулярные взаимодействия и свойства поверхности раздела фаз. Значение смачивания в химических, биологических и производственных процессах. Флотация. Основы теории капиллярности.

Адсорбционные слои и их влияние на свойства дисперсных систем. Поверхностно-активные вещества, классификация ПАВ. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), методы ее определения. Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции Ленгмюра, определение предельной адсорбции. Физическая адсорбция и хемосорбция. Многослойная адсорбция. Определение удельной поверхности адсорбентов по БЭТ. Особенности адсорбции из растворов. Адсорбция электролитов. Ионообменники.

**Электрические свойства** дисперсных систем, электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, потенциалы седиментации и протекания. Электрокапиллярные явления. Двойной электрический слой, его строение. Электрокинетический потенциал, методы его определения. Влияние электролитов на электрокинетический потенциал и строение двойного электрического слоя. Перезарядка поверхности. Строение мицелл в гидрофобных золях. Лиофильные и лиофобные системы. Амфолиты, изоэлектрическое состояние. Устойчивость лиофобных дисперсных систем: кинетическая и агрегативная. Эмульсии. Аэрозоли. Коагуляция, пептизация. Кинетика коагуляции. Солубилизация, ее роль в химических и биологических системах. Высаливание. Пространственные структуры в дисперсных системах. Образование и строение гелей.

**Оптические свойства** коллоидных систем: рассеяние света, окраска коллоидных систем, поверхностный плазмонный резонанс. Определение распределения дисперсных частиц по размерам. Броуновское движение, диффузия.

### 3.6 ПРОЦЕССЫ ОСАЖДЕНИЯ–РАСТВОРЕНИЯ

Равновесия в системе жидкость–твердая фаза. Осадки и их свойства. Константы равновесия (термодинамическое и реальное произведение растворимости); растворимость. 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, свойства и особенности кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Условия полного осаждения и растворения осадков. Старение осадка. Причины загрязнения осадка. Виды загрязнения осадка: совместное, последующее осаждение и соосаждение. Классификация различных видов соосаждения. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием гетерогенных реакций жидкость–твердая фаза.

## **4. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

### **4.1 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, отгоняемым веществам. Выбор условий осаждения и отгонки. Этапы определения. Кинетика в гравиметрических методах. Важнейшие неорганические и органические осадители. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **4.2 ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Виды титрования (прямое, обратное, косвенное), требования к исследуемым системам. Выражение концентраций растворов в титриметрии.

Кривые титрования. Точка эквивалентности, конечная точка титрования. Расчет молярной массы эквивалента в разных методах титрования. Визуальные и индикаторные способы контроля за процессом титрования; универсальные и специфические индикаторы, индикаторные погрешности. Инструментальные варианты титриметрии; способы обнаружения конечной точки титрования.

#### **4.2.1 Кислотно-основное титрование**

Кислотно-основное титрование в водных и неводных средах. Первичные стандартные растворы для установления концентрации растворов кислот и щелочей. Аналитическая информативность метода, кривые титрования одно- и многокомпонентных систем. Способы пробоотбора и пробоподготовки, первичные и вторичные стандарты. Аппаратная реализация методов; автоматизация метода. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **4.2.2 Окислительно-восстановительное титрование**

Первичные и вторичные стандартные растворы. Кривые титрования для одно- и многокомпонентных систем. Предварительное окисление и восстановление определяемых соединений. Аналитическая информативность метода, кривые титрования для одно- и многокомпонентных систем. Краткая характеристика методов: перманганатометрии, иодометрии, иодиметрии, дихроматометрии, броматометрии, цериметрии. Аппаратная реализация методов; автоматизация метода. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 4.2.3 Комплексометрическое титрование

Использование аминокислот, комплексометрия. Этилендиаминтетрауксусная кислота и ее натриевая соль (ЭДТА). Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Аналитическая информативность метода, кривые титрования одно- и многокомпонентных систем. Способы повышения селективности комплексометрического титрования. Аппаратная реализация методов; автоматизация метода. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 4.2.4 Осадительное титрование

Кривые титрования. Методы индикации конечной точки титрования. Индикаторы для осадительного титрования. Аналитическая информативность метода, кривые титрования одно- и многокомпонентных систем. Аппаратная реализация методов; автоматизация метода. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## 4.3 ГАЗОВОЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности и способы выполнения, гравиметрические, пиролизные, термические, хроматографические методы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность методов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Применение газоволуметрических методов в органическом элементном анализе  $\text{CHNO-S}$ , для определения углерода в металлах и сплавах, при анализе дымовых газов, светильного газа.

## 4.4 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 веществ по данным кинетических измерений. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность методов. Точность, чувствительность и избирательность кинетических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

## 5. ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Основные понятия хроматографии. 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 и уравнение Голя, основные факторы, влияющие на размывание пиков в колоночной хроматографии, в капиллярной газовой хроматографии, в ВЭЖХ и УВЭЖХ. Общие подходы к оптимизации процесса хроматографического разделения веществ. Способы осуществления хроматографического процесса. Особенности наполненных, капиллярных и PLOT-колонок. Способы элюирования веществ. Отличительные особенности препаративной и аналитической хроматографии. Основные способы ввода пробы, комбинированные методы. Основные конструкционные узлы приборов для хроматографии.

Место и роль хроматографических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных хроматографических методов.

Хроматография в экологии. Современные способы хроматографического определения нормируемых и токсичных веществ в природных водах, почвах. Современные способы хроматографического определения нормируемых или токсичных веществ в воздухе. Современные способы хроматографического определения нормируемых или токсичных веществ в пищевых продуктах. Хроматография в медицинской химии. Современные способы хроматографического определения лекарственных препаратов, их метаболитов в организме человека и его биологических жидкостях. Современные способы хроматографического определения биомаркеров в организме человека и его биологических жидкостях. Проблемы хроматографического разделения стереоизомеров. Применение хиральной хроматографии в фармацевтике.

## **5.1 ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ**

### **5.1.1 Газоадсорбционная (газотвердофазная) 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. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **5.1.2 Газожидкостная 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. Методические

особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **5.1.3 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. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (индексы удерживания, 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.

### **5.1.4 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. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## **5.2 ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ**

### **5.2.1 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. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (анализ сложных смесей).

### 5.2.2 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. Аппаратная реализация; детекторы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 5.2.3 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. Аппаратная реализация. Кондуктометрический детектор, принцип его работы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

**Ионпарная 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. Аппаратная реализация; детекторы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Достоинства и недостатки метода. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 5.2.4 Аффинная хроматография

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Адсорбенты. Условия проведения процесса разделения. Аппаратная реализация; детекторы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 5.2.5 Эксклюзионная хроматография

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности механизма удерживания молекул. Характеристики сорбентов и подвижных фаз. Гель-хроматография (гельпроникающая или гельфильтрационная) хроматография. Аппаратная реализация; детекторы. Способы пробоотбора и пробоподготовки.

Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **5.2.6 Хиральная хроматография**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Хиральные селекторы в хроматографии и капиллярном электрофорезе. Аппаратная реализация; детекторы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **5.2.7 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. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. 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. Области применения.

## **5.3 ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Варианты электромиграционных методов: капиллярный зонный электрофорез; мицеллярная и микроэмульсионная электрокинетическая хроматография; капиллярный гель-электрофорез; изотахофорез; электрофокусирование в капиллярах. Причины высокой эффективности разделения. Аппаратная реализация, способы ввода пробы, особенности детектирования. Особенности механизма разделения молекул и типы подвижных фаз.

Понятие о проведении электромиграционного анализа на микрочипе. Микрочиповые устройства для электрофореза; конструкция и материалы микрочипов для электрофореза; достоинства и недостатки.

Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## 5.4 ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ

Высокоинформативные методы химического анализа на основе жидкостной и газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией.

Метод капиллярной **газовой хроматографии–масс-спектрометрии**. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация, способы ввода пробы, особенности детектирования. Тандемные масс-спектрометры. Колонки в газовой масс-спектрометрии. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Метод **высокоэффективной жидкостной хроматографии–масс-спектрометрии**. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация, способы ввода пробы, особенности детектирования. Тандемные масс-спектрометры. Параметры, влияющие на проведение ВЭЖХ-МС анализа. Выбор прекурсоров и продукт-ионов. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Понятие о сверхинформативных методах химического анализа на основе жидкостной и газовой хроматографии в сочетании с оптической, ИК- и масс-спектрометрией и термическим анализом.

## 6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Проводники первого и второго рода, электрохимические ячейки. Фарадеевские и нефарадеевские процессы.

Основные конструкционные узлы приборов для электрохимических методов.

Место и роль электрохимических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных электрохимических методов.

### 6.1 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Электрохимический потенциал. Электродвижущая сила (ЭДС) реакции, ее связь со свободной энергией реакции. Электродный потенциал. Определение поляризации. Поляризуемая граница раздела фаз. Идеально поляризуемые и неполяризуемые электроды. Полу-реакции и восстановительные потенциалы. Измерение электродного потенциала. Уравнение Нернста. Формальные потенциалы. Теории строения двойного электрического слоя и их эволюция. Абсолютный потенциал.

### 6.2 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Ток как кинетический параметр. Уравнение разряда обратимой реакции. Ток обмена. Уравнение разряда в отсутствии массопереноса. Ток обмена и электроды сравнения.

Уравнение разряда при малых перенапряжениях. Уравнение Тафеля. Двухэлектродная и трехэлектродная электрохимические ячейки.

### **6.3 МАССОПЕРЕНОС В ЭЛЕКТРОАНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Общие уравнения массопереноса, уравнение Нернста–Планка. Диффузионные законы Фика. Общее решение уравнений диффузионных законов для связи тока с концентрацией. Стационарный ток и диффузионный слой Нернста. Понятие «обратимой электродной реакции».

### **6.4 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА**

Вращающийся дисковый электрод. Предельный ток и толщина диффузионного слоя вращающегося дискового электрода. Раздельное определение диффузионного и кинетического тока. Проточные электроды (детекторы): тонкослойные и wall-jet. Особенности строения диффузионного слоя. Определение кинетических параметров на wall-jet электродах. Проточно-инжекционный анализ.

### **6.5 СТАЦИОНАРНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

**Хроноамперометрия.** Примеры batch и проточно-инжекционного анализа.

#### **6.5.1 Кулонометрия**

Физические основы методов. Закон(ы) Фарадея. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Кулонометрия как безэталонный метод анализа. Кулонометрия в тонком слое. Кулонометрический глюкозный тест, его преимущества по сравнению с амперометрическим. Достоинства и недостатки кулонометрии по сравнению с амперометрией. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **6.5.2 Кондуктометрия**

Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Эквивалентная и удельная электропроводность. Подвижность ионов. Низкочастотная кондуктометрия: прямой метод и кондуктометрическое титрование. Использование кондуктометрических датчиков в хроматографии и других методах анализа. Бесконтактная кондуктометрия. Кондуктометрия на нанопоре. Регистрация единичной молекулы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **6.5.3 Полярография**

Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Уравнение Гейровского–Ильковича. Полярографические волны. Потенциал полуволны.

Стационарные волны квазиобратимой и необратимой реакций. Обратимое связывание одного из компонентов реакции. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 6.6 ЦИКЛИЧЕСКАЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ

Линейная развертка потенциала и циклическая вольтамперометрия. Циклическая вольтамперометрия обратимой, квазиобратимой и необратимой электродных реакций. Определение коэффициента диффузии деполяризатора и электрохимической константы. Определение емкости двойного электрического слоя. Циклическая вольтамперометрия при адсорбции (адсорбированы только одна либо обе, окисленная и восстановленная формы). Циклическая вольтамперометрия каталитической реакции. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 6.7 СКАЧОК ПОТЕНЦИАЛА ИЛИ ТОКА

Скачок потенциала. **Хроноамперометрия** в случае планарной диффузии. Уравнение Котрелла. Временная функция падения емкостного тока. Поправка Лингана к уравнению Котрелла. Преимущества микроэлектродов по сравнению с обычными электродами (сигнал:шум и скорость). Электрохимическая микроскопия.

**Хронопотенциометрия.** Уравнение Санда. Хронопотенциометрия в координатах производной времени по потенциалу от потенциала.

### 6.8 ИМПУЛЬСНЫЕ МЕТОДЫ

Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. **Нормальная и дифференциальная импульсная вольтамперометрия.** Формы задаваемого потенциала и моменты измерения тока. Преимущества дифференциальной импульсной вольтамперометрии по сравнению с полярографией и нормальной импульсной вольтамперометрией. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

**Квадратно-волновая вольтамперометрия.** Форма задаваемого потенциала, параметры метода. Общее уравнение для тока. Квадратно-волновая вольтамперометрия обратимой реакции, выбор амплитуды. Квадратно-волновая вольтамперометрия необратимой и квазиобратимой реакций. Определение коэффициента диффузии деполяризатора и электрохимической константы. Квадратно-волновая вольтамперометрия адсорбированных веществ, общее уравнение для тока. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки.

Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **6.9 STRIPPING (ИНВЕРСИОННАЯ) ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ**

Физические основы метода. Классическая анодная stripping вольтамперометрия. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Адсорбционная stripping вольтамперометрия на примере детектирования иона алюминия в морской воде и одноцепочечной ДНК.

### **6.10 ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ**

Физические основы методов. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Форма задаваемого потенциала. Комплексная амплитуда. Импеданс стадии разряда (переноса заряда). Импеданс электродной реакции (Рендлса–Шевчика). Элемент постоянной фазы. Диффузионный импеданс (импеданс Варбурга). Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **6.11 ИОНОМЕТРИЯ**

Физические основы методов. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Схема измерения. Измерительная ячейка. Природа трансмембранного потенциала: формальный вывод и движущая сила его возникновения. Основное свойство ионоселективной мембраны. Аналитический сигнал как функция активности. Уравнение Никольского-Эйзенмана. Принцип действия стеклянного рН электрода. Мембранные электроды: состав, компоненты мембран их функции. Способ понижения предела обнаружения ИСЭ. Потенциометрический коэффициент селективности и способы его определения. Твердоконтактные ионоселективные электроды. Ионоселективный полевой транзистор (ISFET). Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Амперометрия неэлектроактивных ионов на границе раздела несмешивающихся жидкостей. Схема измерения. Преимущества вольтамперометрии электро-неактивных ионов по сравнению с традиционной потенциометрией.

## **7. ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Физические основы методов. Элементарные частицы. Радиоактивный распад. Основные виды радиоактивного распада и ядерных излучений. Активационный

анализ. Аппаратура и материалы для ядерно-физических и радиохимических методов. Основные конструкционные узлы приборов для ядерно-физических и радиохимических методов. Сцинтилляционные методы измерения радиоактивности.

### **7.1.1 Нейтронно-активационный анализ**

Физические основы методов. Сущность и принципы, 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. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность активационного анализа, объекты и области рутинного и характерного применения. Активация заряженными частицами. Определение легких элементов с низкими пределами обнаружения.

### **7.1.2 Ядерно-физические методы анализа поверхности**

Физические основы методов. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Активационный анализ мгновенного захвата. Ядерный микронзонд. Рентгеноспектральный анализ с ионным возбуждением. Резонансные методы анализа поверхности. Принципы автордиографии. Микроавтордиография. Автордиография высокого разрешения. Цифровая автордиография. Исследование элементного распределения по границам зерен в металлах и полупроводниках.

### **7.1.3 Другие ядерно-физические методы**

Спектроскопия ионного рассеяния. Кинематические и динамические соотношения элементарного акта рассеяния. Спектроскопия рассеяния медленных ионов для анализа поверхностных монослоев. Резерфордская спектроскопия. Послойный неразрушающий анализ.

### **7.1.4 Радиохимические методы**

Физические основы методов. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Методы радиоактивных индикаторов и изотопного разбавления. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## **8. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Физические основы спектроскопии электромагнитного излучения (ЭМИ). Строение атома. Термы. Правило Хунда. Мультиплеты. Электромагнитное излучение и его характеристики. Энергетические переходы. Правила отбора. Спектр электромагнитного излучения. Основные типы взаимодействия вещества с излучением: светопоглощение, отражение, эмиссия (тепловая, люминесценция),

светорассеяние (упругое и неупругое), светопреломление. Классификация ЭМИ спектроскопических методов по энергии излучения.

Классификация ЭМИ спектроскопических методов на основе исследуемого объекта: атомная, молекулярная и ядерная. Классификация спектроскопических методов на основе характера взаимодействия электромагнитного излучения с веществом: абсорбционная спектроскопия (включая спектроскопию отражения), эмиссионная спектроскопия (включая люминесцентную), спектроскопия рассеяния.

Место и роль спектроскопических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных спектроскопических методов.

## **8.1 МЕТОДЫ ГАММА-СПЕКТРОСКОПИИ**

### **8.1.1 Гамма-активационный анализ**

Физические основы методов. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Определение неметаллов. Чувствительность и диапазон определяемых содержаний. Регистрация излучений. Гамма-спектрометры. Деструктивный и недеструктивный гамма-активационный анализ. Способы идентификации и количественного определения элементов. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность активационного анализа, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.1.2 Мессбауэровская спектроскопия**

Физические основы методов. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Параметры спектров. Химический сдвиг. Квадрупольное расщепление. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## **8.2 МЕТОДЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Физические основы методов. Основные свойства и характеристики рентгеновского излучения. Спектры излучения, поглощения и флуоресценции и их связь со строением атома. Дифракция рентгеновских лучей. Способы измерения аналитического сигнала. Аппаратура и материалы для рентгеновской и электронной спектроскопии. Основные конструкционные узлы приборов для рентгеновской и электронной спектроскопии.

Приборы и техника эксперимента. Пробоподготовка. Блок-схема электронного спектрометра. Получение высокого вакуума. Вакуумные насосы. Источники излучения (рентгеновская трубка, электронная пушка, ультрафиолетовое и синхротронное излучение). Типы и характеристики энергоанализаторов (абсолютное и относительное разрешение, разрешающая способность, аппаратная функция).

Методы измерения рентгеновского излучения: спектроскопия с дисперсией по энергии (ЭДС) и спектроскопия с дисперсией по длинам волн (ВДС), детекторы излучения (каналотрон, электронный умножитель диодного типа). Пробоподготовка в анализе поверхности. Способы очистки поверхности образцов различного типа в вакууме (ионное травление, нагрев, механическая очистка, скол монокристаллов).

### **8.2.1 Рентгеноэмиссионный анализ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Закон Мозли. Качественный и количественный анализ. Электронно-зондовый микроанализ: принцип, аналитические особенности, применение. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.2.2 Рентгеноабсорбционный анализ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Зависимость массового коэффициента поглощения от атомной массы и порядкового номера элемента. Критический край поглощения. Аналитические методы, основанные на прямом поглощении и поглощении на критическом крае поглощения; принципы и физические основы методов EXAFS, XANES, NEXAFS, XMCD. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.2.3 Рентгенофлуоресцентный анализ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Природа флуоресцентного рентгеновского излучения. Выход флуоресценции и его зависимость от атомного номера элемента. Факторы, определяющие интенсивность рентгенофлуоресцентной линии. Матричные эффекты. Аппаратная реализация методов, спектрометрия с волновой дисперсией; устройство рентгеновского спектрометра с волновой дисперсией; спектрометрия с энергетической дисперсией; устройство рентгеновского спектрометра с энергетической дисперсией. Техника эксперимента; понятие микрорентгенофлуоресцентного анализа. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.2.4 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС, электронная спектроскопия для химического анализа)**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Физические основы методов. Уравнение Эйнштейна. Работа выхода электрона. Взаимосвязь энергии связи электрона и ядра с энергией фотона рентгеновского излучения и кинетической энергией. Зависимость энергии связи от атомного номера элемента. Качественный анализ. Спектры основных уровней в РФЭС. Тонкая структура рентгеновских фотоэлектронных линий основных уровней (химические эффекты, эффекты конечного состояния, многоэлектронные процессы, плазмонные потери). Химические сдвиги в РФЭС и эмпирические правила их интерпретации. Определение форм нахождения элементов по химическим сдвигам спектральных линий. Математические методы обработки сложных РФЭС спектров. Количественный анализ. Сечение фотоионизации. Средняя длина свободного пробега электрона. Требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Анализ поверхностей. Послойный анализ. РФЭС с угловым разрешением. ФЭС с ультрафиолетовым возбуждением. ФЭС с возбуждением синхротронным излучением.

Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Применение метода РФЭС в гетерогенном катализе, микро- и нанoeлектронике, анализе модифицированных поверхностей твердых тел. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.2.5 Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) с электронным зондом (электронный микрозондовый анализ)**

Физические основы метода. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения, локальный послойный анализ.

#### **8.2.6 Оже-электронная спектроскопия**

Физические основы метода. Эффект Оже. Номенклатура оже-переходов. Кинетические энергии оже-электронов. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный анализ. Тонкая структура Оже-электронных линий (химические эффекты, эффекты конечного состояния, плазмонные потери). Химические сдвиги в ОЭС и их интерпретация. ОЭС с возбуждением рентгеновским излучением. Оже-параметр. Количественный анализ. Сечение ионизации электронным ударом. Выход оже-электронов. Коэффициенты относительной элементной чувствительности.

Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения, локальный послойный анализ гетероструктур и исследования механизмов роста тонких пленок.

### **8.2.7 Аналитическая электронная микроскопия**

Физические основы метода. Принципы растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Формирование изображения анализируемой пробы. Аналитические каналы в растровом и просвечивающем электронных микроскопах. Катодолюминесцентный микроанализ. Принципы рекомбинационной люминесценции, специфика анализа полупроводников и диэлектриков. Количественный катодолюминесцентный анализ субмикронных слоев полупроводниковых гетероструктур. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов. Радиационные дефекты и систематические погрешности аналитической электронной микроскопии. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения

**Аналитическая зондовая микроскопия.** Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Полевая эмиссия. Полевая электронная и ионная микроскопия. Атомный зонд. Принципы формирования изображений анализируемой пробы. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки, требования к образцу, необходимые для корректного количественного анализа. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.3 МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ АТОМНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Физические основы методов. Атомные спектры эмиссии, поглощения и флуоресценции, резонансное поглощение. Самопоглощение, ионизация. Аналитические линии атомов и ионов, термическое равновесие. Потенциалы и энергии атомизации, возбуждения и ионизации атом и атомных ионов, их взаимосвязь. Факторы, влияющие на ширину линии (эффект Доплера, ударное уширение, уширение Ван-дер-Ваальса). Зависимость аналитического сигнала от концентрации.

Аппаратура и материалы для оптической атомной спектроскопии. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической атомной спектроскопии.

Сравнительная характеристика точности, чувствительности и избирательности, областей применения основных методов оптической атомной спектроскопии.

### **8.3.1 Атомно-эмиссионная спектроскопия**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индуктивно-связанная плазма, испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Атомизация и возбуждение в пламени. Атомизация и возбуждение в плазматроне. Атомизация и возбуждение проб в дуговом и искровом разрядах, вызванных электрическим током. Атомизация и возбуждение в плазме лазерного пробоя (лазерной искре). Атомизация и возбуждение в тлеющем разряде. Регистрация спектров, особенности для каждого из атомизаторов. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов для каждого из типов атомизаторов в АЭС, их варианты. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы. Метод внутреннего стандарта как способ повышения прецизионности анализа: способы реализации для анализа растворов и твёрдых тел. Способы пробоотбора и пробоподготовки, лазерная абляция. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Точность, чувствительность и избирательность методов атомно-эмиссионной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.3.2 Атомно-абсорбционная спектроскопия**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Источники излучения: лампа с полым катодом, лазер, ксеноновая лампа, безэлектродная разрядная лампа. Пламенная атомизация; электротермическая атомизация; типы электротермических атомизаторов; кварцевая ячейка. Регистрация спектров. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Матричные эффекты, физические и химические помехи. Инструментальные способы борьбы с поглощением и испусканием фона. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## **8.4 МЕТОДЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ УФ/ВИДИМОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Физические основы методов. Молекулярные спектры поглощения и испускания электромагнитного излучения; электронно-колебательно-вращательные (электронные), колебательно-вращательные (колебательные) и вращательные спектры. Квантово-механическое описание молекулярных ЭМИ спектров. Схемы электронных уровней молекулы. Электронные спектры и энергетические переходы в молекулах. Представление о полной энергии молекул как суммы электронной, колебательной и вращательной энергии (приближение Борна–Оппенгеймера). Связь химической

структуры соединения с молекулярными спектрами. Молекулярные спектры поглощения, испускания и рассеяния.

Законы испускания и поглощения. Вероятности переходов и времена жизни возбужденных состояний. Основные законы поглощения (Бугера–Ламберта–Бера) и излучения электромагнитного излучения (Больцмана). Законы аддитивности. Рассеяние света. Основные виды светорассеяния: упругое (рассеяние Рэлея–Ми и рассеяние Тиндаля), комбинационное рассеяние. Значение и связь коэффициентов экстинкции и поглощения. Поляризация и оптическая активность. Связь аналитических сигналов с концентрацией определяемого соединения.

Аппаратура и материалы для молекулярной спектроскопии. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической молекулярной спектроскопии. Источники излучения. Способы монохроматизации электромагнитного излучения, анализаторы частоты. Классификация спектральных приборов, их характеристики. Модульный принцип построения современного молекулярного спектрометра (УФ/видимая и ИК абсорбционная спектроскопия). Приемники излучения. Инструментальные помехи. Шумы и отношение сигнал-шум; оценка минимального аналитического сигнала. Способы измерения аналитического сигнала. Выбор разрешающей способности прибора в зависимости от пробы и задач. Дифференциальная спектроскопия.

Пострегистрационная обработка спектров. Коррекция фона, сглаживание, усреднение спектров. Идентификация артефактов и их удаление. Преобразование спектров, математические операции со спектрами, нормирование. Автоматическая и ручная идентификация характеристических максимумов полос поглощения. Производные спектры, производная спектроскопия. Разложение спектров на компоненты. Методы анализа многокомпонентных смесей, налагаемые условия. Корреляционная спектроскопия.

Сравнительная характеристика точности, чувствительности и избирательности, областей применения основных методов оптической молекулярной спектроскопии.

#### 8.4.1 Спектрофотометрия

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Качественный и количественный анализ. Возможности анализа многокомпонентных систем. Дифференциальная спектрофотометрия. Производная спектрофотометрия. Спектрофотометрическое титрование. Спектрофотометрические детекторы в комбинированных методах. Понятие о времяразрешенной абсорбционной спектроскопии.

Абсорбционная **микроскопия**, варианты реализации. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента.

Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность абсорбционной микроспектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### 8.4.2 Спектроскопия отражения

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Закон Бугера. Теория спектров диффузного отражения. Преобразование Кубелки–Мунка. Спектроскопия диффузного отражения. Спектроскопия зеркального отражения. Аппаратная реализация методов. Интегрирующие сферы. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, влияние пробоподготовки на вид получаемых спектров. Артефакты в спектрах диффузного и зеркального отражения. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Возможности анализа многокомпонентных систем.

Основные принципы **цветометрии** (колориметрии). Возможности современной цифровой техники с опцией фото-/видеофиксации, в том числе бытового назначения, для целей цветометрического анализа.

#### 8.4.3 Люминесцентная спектроскопия

Виды люминесценции, флуоресценция и фосфоресценция. Классификация методов по источнику (фотолюминесценция, катодолюминесценция, анодолюминесценция, радиолюминесценция, биолюминесценция, хемилюминесценция, хемилюминесценция, электролюминесценция, гальванолюминесценция, сонолюминесценция, пьезолюминесценция, триболюминесценция, кандолюминесценция, термолюминесценция, пиролюминесценция). Особенности лазерного возбуждения спектров флуоресценции.

Основные характеристики люминесценции (спектры поглощения и возбуждения люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выходы люминесценции). Закономерности молекулярной люминесценции (законы Стокса–Ломмеля, правила Каши и Левшина, закон Вавилова). Измерение квантового выхода люминесценции. Корректировка спектральной чувствительности флуориметра.

Двумерные спектры люминесценции. Матрицы возбуждения-эмиссии и их использование в химическом анализе. Артефакты в спектрах фотолюминесценции. Распознавание матриц возбуждения-эмиссии как характеристических образов.

Тушение люминесценции. Тепловое тушение. Тушение посторонней примесью. Формула Штерна–Фольмера. Концентрационное тушение и миграция энергии. Теория резонансной миграции Фёрстера. Сенсибилизированная люминесценция.

Измерение времени жизни возбужденных состояний атомов и молекул. Кинетическая люминесценция. Импульсный метод исследования триплет-триплетных переходов (флеш-фотолиз).

#### 8.4.4 Фотолюминесцентные методы

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Флуориметрическая реакция. Природные флуорофоры. Флуоресценция белков и живых клеток микроорганизмов. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Люминесценция кристаллофосфоров. Люминесценция квантовых точек. Дифференциальная спектрофлуориметрия. Производная спектрофлуориметрия. Люминесцентное титрование. Времяразрешенная спектрофлуориметрия. Флуориметрические детекторы в комбинированных методах. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Флуориметрия: качественный и количественный анализ. Фосфориметрия: качественный и количественный анализ. Возможности анализа многокомпонентных систем.

**Синхронная фотофлуоресценция**, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения, отличия от абсолютных несинхронных измерений, способы реализации (неизменная разница длин волн, неизменная разница в энергиях, нелинейные методы). Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Методы, основанные на **поляризации флуоресценции**. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

**Флуоресцентная микроскопия**, флуоресцентная микроспектроскопия, варианты реализации (эпифлуоресцентная, конфокальная, многофотонная); флуоресцентная микроспектроскопия STED. Флуоресцентная времяразрешенная микроскопия. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента; сочетание с микрофлюидными чипами. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Флуоресцентные молекулярные зонды, наноантенны. Детектирование отдельных молекул. Способы пробоотбора и пробоподготовки; флуоресцентная микроспектроскопия живых систем. Точность, чувствительность и избирательность флуоресцентной микроспектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.4.5 Хемилюминесцентные методы**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Хемилюминесцентная реакция, механизмы, закономерности протекания. Свободный радикал. Электронная структура некоторых радикалов. Классификация радикалов. Роль свободных радикалов в генерации биохемилюминесценции. Кинетическая хемилюминесценция. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитические хемилюминесцентные реакции. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.4.6 Нефелометрия и турбидиметрия**

Рассеяние Релея–Ми и Тиндала. Теория Фраунгофера. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы, внутренний стандарт. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения; анализ иммуноглобулинов, нефелометрические сенсоры, мониторинг, использование в биоанализе и клиническом анализе.

#### **8.4.7 Спектроскопия резонансного (упругого) молекулярного светорассеяния**

Физические основы методов. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные закономерности светорассеяния малыми частицами. Теория упругого резонансного молекулярного рассеяния в конденсированных средах, влияние макропараметров среды, свойств растворителя. Рассеяние Релея–Ми, Мандельштама–Бриллюэна, Рамана–Кришнана, вклад фотонных и фононных факторов. Методы Дебая и двойной экстраполяции Зимма. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы, внутренний стандарт. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.4.8 Спектроскопия динамического светорассеяния**

Физические основы методов. Теория динамического рассеяния света (ДРС), физические основы фотонного корреляционного анализа. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения методов, основанных на динамическом светорассеянии. Аппаратная реализация методов, использование лазерных источников, принципиальная схема спектрометра динамического рассеяния. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента для анализа микро- и наночастиц, стандартные образцы, внутренний стандарт. Способы пробоотбора и

пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Использование спектроскопии ДРС для исследования наночастиц, биологических объектов (плазма и сыворотка крови). Определение гидродинамических радиусов наночастиц, белков, агрегатов и везикулярных частиц. Лазерный анализатор микрочастиц. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### **8.4.9 Фототермоакустическая спектроскопия**

Физические основы фотоакустических и фототермических явлений. Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Фотоакустическая (оптоакустическая) и фототермическая (термооптическая) спектроскопия, основные методы, отличия от спектрофотометрии и спектрофлуориметрии. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Понятие о фототермической радиометрии и фотоакустической микроскопии и томографии.

#### **8.4.10 Поляриметрия, дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Оптическая активность и стереоизомерия. Поляризация (вращение) излучения. Степень вращения, удельное вращение. Зависимость оптической активности соединений от длины волны. Эффект Коттона. Спектры кругового дихроизма и оптической вращательной дисперсии. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.5 МЕТОДЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ И ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Физические основы методов. Колебательные уровни молекул. Классическое и квантовое решение колебательной задачи. Проявление колебательных переходов в инфракрасном (ИК) поглощении и комбинационном рассеянии. Колебательные и вращательные спектры. Квантово-механическое описание ЭМИ спектров. Число нормальных колебаний. Гармонический осциллятор. Следствия закона Гука. Ангармонический осциллятор. Валентные и деформационные колебания. Обертоны и составные полосы. Изотопный эффект.

Характеристические группы и частоты. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Особенности анализа газов, растворов и твердых образцов. Спектроскопия внутреннего отражения. Спектроскопия с нарушенным полным внутренним отражением. Поглощение в микроволновой области.

Сравнительная характеристика точности, чувствительности и избирательности, областей применения основных методов спектроскопии в ИК-области.

### 8.5.1 ИК-спектроскопия

Основные области поглощения в ИК-спектрах. Поглощение в ближней, средней и дальней ИК-областях и микроволновой области. Форма представления ИК-спектров. Ширина линий в зависимости от фазового состояния проб. Влияние температуры на ИК-спектры твердых тел; влияние температуры и давления на ИК-спектры газов.

Принципы спектроскопии Фурье, ее достоинства. Математические основы преобразования Фурье. Понятие о функции аподизации. Интерферометры в современной ИК-спектроскопии: виды и принципиальные схемы, их достоинства и недостатки. Процесс получения интерферограммы, и ее обработка. Интерферограмма моно- и полихроматического излучения. Теоретическая и реальная разрешающая способность фурье-спектрометра. ИК-спектроскопия сверхвысокого разрешения.

Источники излучения в ближней, средней и дальней ИК-областях. Синхротроны как источники ИК-излучения. Виды детекторов ИК-излучения и их особенности. Виды светодетекторов. Материалы, используемые в различных диапазонах ИК-спектра и принципы выбора. Влияние атмосферы на регистрируемые ИК-спектры. Продувка и вакуумирование приборов.

Практические аспекты регистрации ИК-спектров. Параметры, задающие режим работы фурье-спектрометра. Фоновый сигнал, его назначение и вид в реальных спектрах. Регистрация фонового спектра в спектроскопии пропускания, НПВО, диффузного отражения, зеркального отражения. Выбор разрешения, числа сканирований образца и фона. Источники ошибок при работе на ИК-фурье-спектрометрах. Интерференционные полосы в тонких пленках и кюветах. Возможности практического применения для определения толщины.

**ИК-абсорбционная спектроскопия**, особенности, достоинства и недостатки. Кюветы для жидких проб. Способы регистрации твердых проб. Артефакты в спектрах поглощения. Теория спектров нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО); многократное НПВО. Артефакты в спектрах НПВО; НПВО коррекция. Теория спектров зеркального отражения. Преобразование Крамерса–Кронига. Артефакты в спектрах зеркального отражения. Теория оптоакустической спектроскопии. Общие возможности инфракрасной спектроскопии в качественном, количественном, функциональном и структурном анализе. ИК-спектроскопия органических и неорганических соединений. Область функциональных групп и область “отпечатков пальцев”. Интерпретация ИК спектров некоторых классов органических соединений.

Качественный анализ, идентификация соединений. Работа с базами данных ИК-спектров. Алгоритм определения строения неизвестных индивидуальных соединений. Анализ смесей. Количественный анализ в ИК-спектроскопии, закон Бугера-Ламберта-Бера в ИК-области. Растворители в ИК-спектроскопии. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы, внутренний стандарт, анализ твердых и жидких образцов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного

применения. Применение изотопного эффекта для структурного анализа. Особенности ИК-спектроскопии газов. ИК-спектроскопия высокого разрешения, применение для анализа атмосферы.

**Эмиссионная ИК-спектроскопия.** Достоинства и ограничения, Методические особенности эксперимента, стандартные образцы, внутренний стандарт, анализ твердых и жидких образцов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **8.5.2 Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния)**

Физические основы комбинационного рассеяния (КР). Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Правила отбора в колебательных спектрах и их связь с симметрией молекул. Полностью симметричные колебания. Правило альтернативного запрета. Стоксово и антистоксово рассеяние. Влияние рассеяния Релея–Ми и Мандельштама–Бриллюэна. Расчет положений линий КР. Качественный и количественный анализ. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Методические особенности эксперимента. Варианты рамановской спектроскопии, аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

**Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР),** особенности, достоинства и недостатки. Физические основы метода, влияние молекулярного резонанса и плазмонного резонанса. Особенности материалов для ГКР. Аппаратная реализация метода. Методические особенности эксперимента, стандартные образцы, внутренний стандарт, анализ твердых и жидких образцов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Анализ наноматериалов, **зондовые методы** КР-спектроскопии, основанные на плазмонном резонансе.

## **8.6 МЕТОДЫ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЯДЕР И ЭЛЕКТРОНОВ**

Физические основы методов. Магнитные моменты ядер и электронов. Магнитно-дипольные переходы. Поведение магнитно-активных частиц во внешнем магнитном поле. Квантово-механическое описание магнитного резонанса. Зеемановское расщепление уровней, Больцмановское распределение спинов ядер и электронов. Переходы между уровнями, условия ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса. Механизмы релаксации: спин–решеточная и спин–спиновая релаксация. Гиромагнитное отношение. Основные уравнения.

Аппаратура и материалы для ЯМР и ЭПР спектроскопии. Основные конструкционные узлы приборов для ЯМР и ЭПР спектроскопии.

### 8.6.1 ЯМР-спектроскопия

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Магнитный момент ядра и его взаимодействие с магнитным полем; реализация ядерно-магнитного резонанса; химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие. Общий вид спектра ЯМР и его обзорный анализ. Число сигналов, их форма, положение в спектре, интенсивность. Классы соединений, пригодные для анализа методами ЯМР; применение в структурных исследованиях. Основные характеристики ЯМР сигнала: химический сдвиг, спин-спиновое расщепление, времена продольной и поперечной релаксации. Аппаратная реализация методов. Принципиальная блок-схема ЯМР-спектрометра стационарного типа и импульсного Фурье-спектрометра ЯМР. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента.

Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Применение спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$ . Количественный анализ смесей. Изучение быстро протекающих процессов (химический обмен ядер, внутреннее вращение, конформационный анализ). Ядерный магнитный резонанс на тяжелых ядрах ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{19}\text{F}$ ), отличия ЯМР на тяжелых ядрах от резонанса на ядрах  $^1\text{H}$ . Применение ЯМР спектроскопии на тяжелых ядрах (структурный анализ, внутри- и межмолекулярные электронные взаимодействия, стереохимия). Множественный резонанс, двумерная спектроскопия. Ядерный эффект Оверхаузера.

Понятие о двумерных методиках регистрации спектров ЯМР. ЯМР твердого тела CP-MAS с вращением под магическим углом.

Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЯМР, объекты и области рутинного и характерного применения.

### 8.6.2 ЭПР-спектроскопия

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Условия реализации ЭПР,  $g$ -фактор и его значение, положение резонансного сигнала и  $g$ -фактора; электрон-ядерное и электрон-электронное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР при взаимодействии с одним и несколькими ядрами; сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР. Ширина линий. Число компонент мультиплетта, распределение интенсивности. Константа СТС. Тонкое расщепление.

Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Классы соединений, пригодные для анализа методами ЭПР. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЭПР, объекты и области рутинного и характерного применения. Изучение механизмов химических реакций. Химическая поляризация электронов. Определение свободных радикалов и других парамагнитных центров. Использование спиновых меток.

## 9. МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Место и роль масс-спектроскопических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных масс-спектроскопических методов.

### 9.1 МЕТОДЫ АТОМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Физические основы методов. Основные способы образования атомных ионов: в индуктивно-связанной плазме, тлеющем разряде, вакуумной искре и др. Энергия ионизации.

#### 9.1.1 Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)

Конструкция факела (горелки), возникновение плазмы. Аргон как основной газ для индуктивно-связанной плазмы. Зависимость степени ионизации от температуры. Испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой. Система ввода пробы: назначение элементов и принцип выбора. Плазмовакuumный интерфейс: назначение элементов и принципы выбора. Процессы в плазмовакuumном интерфейсе. Вакуумные насосы: форвакуумные и турбомолекулярные. Разрешение масс-сепараторов в атомной масс-спектрометрии. Масс-сепараторы: квадрупольный, магнитосекторный, времяпролетный. Достоинства и недостатки, принципы выбора. Детекторы: чаша Фарадея, электронный умножитель, многоканальный детектор. Интерференции в ИСП-МС: причины возникновения, методы компенсации и устранения. Коллизионно-реакционные интерфейсы и ячейки. Масс-спектрометры с тройным квадруполем.

Практическое применение ИСП-МС: аналитические характеристики, области рутинного применения, достоинства и недостатки метода. Качественный и количественный анализ. Исследовательская ИСП-МС. ИСП-МС с лазерной абляцией. ИСП-МС в сочетании с газовой и жидкостной хроматографией. Анализ форм существования элементов. ИСП-МС единичных частиц. ИСП-МС как детектор методов фракционирования частиц в поперечном потоке.

#### 9.1.2 Изотопная масс-спектрометрия

Изотопы и изотопологи. Изотопное фракционирование, механизмы и практическое значение эффекта. Геохронология и изотопное профилирование. Стандартные образцы. Требования к правильности и прецизионности изотопного анализа. Термоионизационная масс-спектрометрия. Термическая ионизация как источник ионов, достоинства и недостатки для изотопного анализа, сравнение с индуктивно-связанной плазмой. ИСП-МС высокого разрешения в изотопном анализе. Многоколлекторные магнитосекторные масс-спектрометры с индуктивно связанной плазмой. Отличия от одноколлекторных, особенности пробоподготовки и применения. Измерение изотопных отношений легких элементов: С, Н, О, N, S. Сравнение масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии.

### **9.1.3 Ускорительная масс-спектрометрия**

Основные конструкционные узлы ускорительного масс-спектрометра. Аналитические характеристики, области применения, достоинства и недостатки метода.

### **9.1.4 Масс-спектрометрия тлеющего разряда**

Тлеющий разряд как источник ионов. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра тлеющего разряда. Аналитические характеристики, области применения, достоинства и недостатки метода. Сравнение с ИСП-МС.

### **9.1.5 Масс-спектрометрия вторичных ионов**

Физические основы метода и аппаратная реализация. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра вторичных ионов. Аналитические характеристики, области применения, достоинства и недостатки метода.

## **9.2 МЕТОДЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**

Физические основы методов. Основные способы образования молекулярных ионов: электронная ионизация, химическая ионизация, ионизация при атмосферном давлении (электрораспыление, химическая ионизация (APCI), фотоионизация), ионизация под действием излучения лазера и др. Методы фрагментации молекул.

### **9.2.1 Масс-спектрометрия низкого разрешения**

Аппаратная реализация источников ионизации. Достоинства и недостатки различных методов ионизации. Разрешение масс-сепараторов в молекулярной масс-спектрометрии. Масс-сепараторы в масс-спектрометрах низкого разрешения: квадрупольные, линейные ионные ловушки, квадрупольные ионные ловушки. Масс-спектрометры с тройным квадруполем. Гибридные масс-спектрометры низкого разрешения. Вакуумные насосы: форвакуумные и турбомолекулярные. Детекторы в масс-спектрометрах низкого разрешения. Фрагментация молекул. Базы данных масс-спектров. Прямой ввод и сочетание с газовой и жидкостной хроматографией. Особенности масс-спектрометров для газовой и жидкостной хроматографии. Стандартные образцы. Качественный и количественный анализ. Применение для решения рутинных задач.

### **9.2.2 Масс-спектрометрия высокого разрешения**

Масс-сепараторы в масс-спектрометрах высокого разрешения: времяпролетные, орбитальные ионные ловушки, ячейки ионного циклотронного резонанса. Аппаратная реализация масс-спектрометров высокого разрешения. Обратное преобразование Фурье и его применение в масс-спектрометрах с орбитальной ловушкой ионов и ионного циклотронного резонанса. Гибридные масс-спектрометры высокого разрешения. Масс-спектрометры с разделением по ионной подвижности. Детекторы в масс-спектрометрах высокого разрешения. Фрагментация молекул. Базы данных масс-спектров и спектров фрагментации. Прямой ввод и сочетание с газовой и жидкостной хроматографией. Установление брутто-формулы и предположительной структуры молекул. Сочетание с ЯМР-спектроскопией. Профилирование примесей. Решение задач метаболомики и протеомики. Масс-спектрометрия в клинической лабораторной

диагностике. Масс-спектрометрия больших молекул. Лазерная десорбция/ионизация в различных вариантах. Установление последовательности аминокислот в пептидах (структуры белков). Идентификация микроорганизмов.

## **10. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

Термические эффекты как причина или следствие химических реакций, фазовых и структурных превращений. Прямые термические методы анализа. Термический анализ в ряду других физико-химических методов анализа. Классификация методов термического анализа. Дифференциальная сканирующая калориметрия. Термогравиметрия. Дилатометрия. Энтальпиметрия (калориметрия). Катарометрия.

Место и роль физических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных физических методов.

### **10.1 ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация методов, типы термовесов, виды регистраций сигналов. Представление экспериментальных данных. Разрешение и чувствительность. Аналитические и физико-химические параметры, определяемые с помощью термогравиметрии. Способы представления кривой термогравиметрии. Применение термогравиметрии для процессов, протекающих с изменением и без изменения массы образца. Факторы, влияющие на результаты термогравиметрического анализа. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность термогравиметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения, Качественный и количественный анализа неорганических и органических веществ, полимерных материалах. Метод ступенчатого изотермического нагревания.

### **10.2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Термопара. Типы калориметров. Факторы, влияющие на результаты измерений. Международные стандарты. Методика определения температуры начала и конца процесса. Дифференциальная термогравиметрическая кривая и ее применение для определения границ процессов. Температура, соответствующая максимальной скорости изменения массы. Расчет стехиометрических соотношений для индивидуальных сложных веществ, комплексов. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность калориметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **10.3 МЕТОДЫ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные компоненты приборов синхронного термического анализа. Проведение анализа при помощи синхронного термического анализа. Программное обеспечение для обработки результатов синхронного термического анализа. Подбор оптимальных условий для

минимизации влияния внешних факторов на результаты измерений. Применение математических методов для сглаживания экспериментальных кривых.

Термогравиметрия, дифференциально-термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия. Дифференциальная сканирующая калориметрия с тепловым потоком и с компенсацией мощности. Термогравиметрия высокого разрешения. Варианты исполнения приборов синхронного термического анализа (ТГ/ДСК, ТГ/ДТА, ТГ/СДТА). Преимущества синхронных методов анализа. Представление экспериментальных данных. Постоянная времени, разрешение и чувствительность. Факторы, влияющие на результаты измерения: тип тигля, наличие отверстия в крышке тигля, скорость нагревания/охлаждения, физическое состояние образца, тип атмосферы.

Системы анализа выделяющихся газов: ИК-спектроскопия, масс-спектрометрия, газовая хроматография. Капиллярное и скиммерное сопряжение масс-спектрометра с прибором синхронного термического анализа. Количественная калибровка масс-спектрометрического детектора.

## **11. БИОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Место и роль биохимических и биологических методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных биохимических и биологических методов.

### **11.1 БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Каталитические и аффинные взаимодействия. Имобилизация биологических молекул. Ферментативные индикаторные реакции. Химическая природа и структура ферментов. Сущность иммунных методов. Аптасенсоры. Аппаратная реализация методов. Регистрация аналитического сигнала в биохимических методах. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

**ПЦР-анализ**, полимеразная цепная реакция (ПЦР), принципы; Статические, микрочиповые и микрофлюидные устройства для полимеразной цепной реакции; конструкция и материалы микрочипов для ПЦР, достоинства и недостатки. Мультиплексная микродиагностика на основе биоузнавания. Экспресс-анализ олигонуклеотидов и ДНК на планарных микрофлюидных чипах. Сепарационные матрицы для разделения ДНК. ДНК-зонды. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## 11.2 БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Тестовые (индикаторные организмы), их типы. Классификация по уровню организации биологического организма. Аналитический сигнал и способы его регистрации. Определение физиологически неактивных соединений (химико-биологические методы). Биотестирование и биоиндикация. Биологические тест-методы. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Использование в эко- и биомониторинге.

## 12. СЕНСОРЫ И ТЕСТ-МЕТОДЫ В ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Место и роль сенсорики и тест-методов в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных технологий и методов сенсорного анализа и тест-методов.

### 12.1 СЕНСОРЫ

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Связь физических и химических сенсоров с информационными технологиями. Понятие сенсора и трансдюсера, другие основные понятия сенсоров. Основные требования, предъявляемые к методам анализа на основе сенсоров.

Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. 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. Связь с микрофлюидикой и автоматизацией анализа. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

#### 12.1.1 Биосенсоры

Схема биосенсора и принципа его действия. Требования к сенсорам и биосенсорам, их отличия от прочих аналитических устройств. История создания биосенсоров: амперометрический, потенциометрический. Классификация биосенсоров. Способы «биоузнавания» и примеры биомолекул. Типы трансдюсеров. Кварцевые микровесы и поверхностный плазмонный резонанс.

Ферментные электроды: три поколения биосенсоров. Потенциометрические биосенсоры и полевые транзисторы. Биосенсоры II поколения: глюкозооксидаза и персональные глюкозные тесты. Примеры медиаторных систем. Примеры коммерческого использования. Биосенсоры III поколения. Прямой биоэлектродокатализ. Пути повышения эффективности биоэлектродокатализа ферментами. Понятие о предельных эффективностях биоэлектродокатализа. Примеры включения целых клеток микроорганизмов в прямой биоэлектродокатализ. Преимущества и недостатки биоэлектродокатализа ферментами и целыми клетками с точки зрения практического использования.

### **12.1.2 Электронный нос и электронный язык.**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация методов. Техника эксперимента. Методические особенности эксперимента. Аналитическая информативность метода, обработка и интерпретация результатов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Использование в эко- и биомониторинге.

## **12.2 ТЕСТ-МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные требования, предъявляемые к тест-методам анализа. Качественный и полуколичественный анализ с помощью тест-устройств и экспресс-тестов. Классификация химических тестовых устройств: по типу индикаторной реакции, по способу регистрации сигнала, по способу оформления, по типу носителя по области применения. Аналитический сигнал в химических тест-методах. Кинетические методы анализа в тест-устройствах. Бумажные и тонкослойные тест-системы, их микрофлюидные варианты.

### **12.2.1 Биохимические тест-методы и тест-устройства.**

Классификация биохимических тестовых устройств: по типу индикаторной реакции, по биологическому компоненту, по способу оформления, по области применения. Способы иммобилизации биологического компонента; физическая и химическая иммобилизация. Связь с микрофлюидикой и автоматизацией анализа. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

## **13. МЕТОДЫ МИКРОСКОПИИ, ЛОКАЛЬНОГО АНАЛИЗА И АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ**

Место и роль методов микроскопии, локального анализа и анализа поверхности и дистанционного анализа в современных научных исследованиях, химическом анализе и контроле. Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения основных методов микроскопии, локального анализа и анализа поверхности и дистанционного анализа.

### **13.1 МИКРОСКОПИЯ И МИКРОСПЕКТРОСКОПИЯ**

Микроскопия в аналитической химии. Микроспектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные конструкционные узлы оптических приборов для микроспектроскопии. Аппаратная реализация методов. Основные методы микроспектроскопии (абсорбционная, флуоресцентная, ИК, резонансного рассеяния, КР, фототермоакустическая). Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **13.2 ЛОКАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация. Понятия продольной и поперечной локальности. Взаимодействие корпускулярных пучков и электромагнитного излучения с аналитической пробой. Электромагнитный спектр, методы локального анализа в различных диапазонах спектра. Классификация методов по способу генерации аналитического сигнала, по способу отбора аналитической информации, по локальности.

Типы поверхностей. Тонкие пленки. Модифицированные поверхности. Способы физико-химического модифицирования поверхности. Особенности анализа поверхности твердого тела.

Методы, используемые в локальном анализе: масс-спектрометрия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеноэлектронная спектроскопия, Оже-электронная спектроскопия, методы ИК-спектроскопии поверхности, люминесцентные методы микроанализа, ядерный микроанализ, зондовые методы анализа (атомно-силовая микроскопия, термические зонды). Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Послойный анализ. Точность, чувствительность и избирательность методов локального анализа и методов анализа поверхности, объекты и области рутинного и характерного применения.

### **13.3 ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Многоволновые, мультиспектральные, полноспектральные и гиперспектральные измерения в дистанционном анализе, связь объема информации и скорости ее получения. Основные методы, оптический и ИК-мониторинг. Источники излучения, корреляционные измерения. Дистанционное лазерное зондирование. Радарный и лидарный анализ. Мониторинг, связь дистанционного анализа с химико-аналитической сенсорикой.

## **14. МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ**

Аналитические технологии и методы разделения и концентрирования. Теоретические основы, процессы и реакции, лежащие в основе методов разделения и концентрирования. Термодинамические и кинетические характеристики разделения и

концентрирования. Количественные показатели эффективности (коэффициент концентрирования, степень извлечения) и факторы, влияющие на них. Классификация методов по природе процессов, числу и природе фаз, природе матрицы и концентрата. Маскирование и демаскирование.

Принципы выбора метода разделения и концентрирования. Сочетание разделения и концентрирования с методами идентификации и определения. Основные методы концентрирования ионов металлов и органических соединений в природных и сточных водах, в почвах, воздухе, пищевых продуктах, биологических жидкостях. Основные методы концентрирования примесей в особо чистых веществах. Подходы и критерии выбора метода.

#### **14.1 СОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Сорбенты, их классификация по природе и механизму взаимодействия с веществами, морфологическим признакам. Основные типы сорбентов для концентрирования элементов и органических соединений. Активированные угли и углеродсодержащие сорбенты, целлюлозные сорбенты, химически модифицированные кремнеземы. Синтетические полимерные сорбенты: полимерные ионообменники, комплексообразующие полимерные сорбенты, пористые полимерные сорбенты, полимеры с молекулярными отпечатками.

Количественное описание сорбционных процессов. Приемы управления эффективностью и селективностью. Адсорбция, абсорбция, хемосорбция. Способы осуществления сорбционного разделения и концентрирования, их достоинства и недостатки. Сорбция в статических и динамических условиях. Дисперсионная твердофазная экстракция, магнитная твердофазная экстракция, твердофазная микроэкстракция, микротвердофазная экстракция. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.2 ЭКСТРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Экстракция как процесс и метод. Закон распределения. Основные количественные характеристики. Требования к экстрагентам и растворителям. Классификация экстракционных процессов по типу используемого экстрагента, типу образующихся соединений, технике осуществления. Экстракционные системы на основе ионных жидкостей, эвтектических растворителей, двухфазные водные системы. Экстракция органических соединений и ионов металлов. Выбор экстракционной системы, механизмы экстракции, групповое разделение и селективное выделение. Способы повышения эффективности и селективности экстракционного концентрирования. Аппаратная реализация. Способы осуществления экстракции. Дисперсионная и гомогенная жидкостно-жидкостная экстракция, капельная микроэкстракция, мембранная микроэкстракция в полое волокно, мицеллярная экстракция. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

**Жидкостная экстракция** из твердых матриц и способы ее интенсификации. Экстракция в аппарате Сокслета, ультразвуковая экстракция и экстракция в микроволновом поле. Экстракция в субкритических условиях. Экстракция субкритической водой, основные преимущества и недостатки. Аппаратная реализация. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

**Твердофазная экстракция.** Теоретические основы и практическое применение. Метод твердофазной микроэкстракции. Способы осуществления и методические особенности. Магнитная твердофазная экстракция и метод дисперсии матрицы с твердым сорбентом. Теоретические основы и практическое применение. Метод пробоподготовки QuEChERS. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

**Газовая экстракция**, статический и динамический парофазный анализ.

**Сверхкритическая флюидная экстракция;** теоретические основы и практическое применение. Сверхкритическая флюидная экстракция из твердых образцов и из водных растворов. Способы сбора и анализа экстрактов. Аппаратная реализация. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

### **14.3 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. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

### **14.4 ФИЛЬТРАЦИЯ И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

### **14.5 МЕМБРАННЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Диффузионные методы: диализ, испарение через мембрану, газодиффузионное разделение. Баромембранные методы: обратный осмос, ультрафильтрация и микрофильтрация. Электромембранные методы: электродиализ, электроосмос, доннановский диализ. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

### **14.6 ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ В ПОТОКЕ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.7 ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ И УЛЬТРАЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Электровыделение (электроосаждение и электрорастворение), цементация, электрофорез, изотахофорез, электрофорез в свободном потоке. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

**Физические методы управления движением и разделением** микрочастиц в жидких средах; диэлектрофорез, фотофорез, оптофорез, оптический пинцет. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.9 ИСПАРЕНИЕ, СУБЛИМАЦИЯ И РОДСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Испарение, сублимация или отгонка, отгонка после химических превращений. Аппаратная реализация. Техника реализации. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.10 ПРЕПАРАТИВНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ**

Сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

#### **14.11 ИНЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ**

Управляемая кристаллизация (направленная кристаллизация и зонная плавка), пробирная плавка и другие пирометаллургические методы, флотация, химические транспортные реакции, термодиффузия. Аппаратная реализация. Техника реализации. Методические особенности. Области рутинного и характерного применения.

### **15. АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ**

Аналитическая и неаналитическая цель анализа. Таргетный (целевой) и нетаргетный (нецелевой) химический анализ. Неорганические и органические аналиты, группы методов анализа. Принципы и алгоритм выбора метода анализа для решения конкретной задачи.

Выбор метода и схемы, отбор пробы, консервация пробы, подготовка пробы (разложение, разделение, концентрирование и другие операции), получение аналитической формы, измерение аналитического сигнала, обработка результатов измерений. Взаимозаменяемость методов; оптимизация схемы анализа.

### 15.1 ПРОБООТБОР И ПРОБОПОДГОТОВКА

Представительность пробы; взаимосвязь с объектом и методом анализа. Генеральная, лабораторная и анализируемая пробы. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Отбор пробы газов, жидкостей, твердых веществ. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Отбор токсичных и радиоактивных проб. Устройства, приемы и способы получения средней пробы твердых, жидких и газообразных веществ; токсичных и радиоактивных проб. Первичная обработка, хранение проб, транспортировка.

**Способы разложения проб.** Выбор способа разложения пробы с учетом природы (матрица и химический состав) объекта, цели и метода анализа. Растворение, термическое разложение, сплавление и спекание. Виды интенсификации пробоподготовки с использованием высокоактивных реагентов, повышенных температур, повышенного давления, излучений разного типа (ультразвукового, микроволнового, высокочастотного разряда), комбинирование различных приемов. Выделение и концентрирование органических соединений: экстракция по Сокслету, экстракция при повышенном давлении. Твердофазная экстракция. Приборы и устройства для пробоотбора и пробоподготовки; ультразвуковая пробоподготовка; автоклавы и микроволновая пробоподготовка; лазерный пробоотбор и пробоподготовка. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

### 15.2 МЕТОДЫ АНАЛИЗА НА МЕСТЕ

Области применения. Классификация. Области, в которых требуется проведение анализа на месте (медицина и клинический анализ, охрана окружающей среды, сельское хозяйство, производство, химическая безопасность, безопасность жизнедеятельности). Требования, предъявляемые к методам анализа на месте. Классификация методов анализа на месте: передвижные лаборатории, портативные приборы, системы сенсоров, экспресс-тесты. Контроль и мониторинг производства. Анализ *in situ* и *in vivo*.

### 15.3 ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ АНАЛИЗА

Общая характеристика, особенности, виды анализа основных объектов и соответствующие методы и задачи их анализа. Требования, предъявляемые к методам анализа конкретных объектов. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

### 15.4 ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Воздух, природные и сточные воды, почвы, донные отложения, флора. Основные источники загрязнений и основные загрязнители. Особенности объектов окружающей среды с точки зрения анализа. Требования к чистоте; ПДК и их связь с чувствительностью методов. Обзор методов анализа объектов окружающей среды, сравнение их по точности, чувствительности, продолжительности, экономичности, доступности.

**Объекты экологического контроля**, их характеристики. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа. **Экотоксиканты и суперэкотоксиканты**, методы их контроля.

**Мониторинг** как система наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды. Уровни систем мониторинга: санитарно-токсикологический, экологический и биомониторинг. Контролируемые параметры и нормирование загрязнений окружающей среды; классы опасности веществ, ПДК, ПДУ.

Глобальный (биосферный), национальный, региональный, локальный мониторинг; базовый (фоновый) мониторинг. Методы мониторинга, контактные, связь с базовыми методами аналитической химии, бесконтактные (дистанционные), понятие об аэрокосмических и геофизических методах мониторинга. Методы и приборы контроля и мониторинга состояния атмосферы, гидросферы, литосферы и биоты.

Промышленные, технологические и бытовые **отходы**. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

## 15.5 ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Минералы, горные породы, руды и продукты их переработки, уголь, нефть, газ и газовый конденсат, минеральное промышленное сырье. Анализ силикатов, карбонатов, железных, марганцевых, никель-кобальтовых, полиметаллических и других руд. Аналитический контроль при разведке полезных ископаемых. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

## 15.6 НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

Особенности анализа неорганических объектов и материалов; отличия от органических объектов. Основные методы выделения и определения распространенных химических элементов, групп элементов и изотопов элементов. Определение воды в неорганических соединениях.

### 15.6.1 Металлы, сплавы и продукты металлургической промышленности

Анализ черных, цветных, редких, благородных металлов и их сплавов. Анализ неметаллических включений, определение газообразующих примесей в металлах и легирующих компонентов в сталях и сплавах. Контроль производства. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

### 15.6.2 Материалы атомной промышленности

Особенности разделения и определения. Определение тория, урана, плутония, трансплутониевых элементов и осколков деления. Контроль производства. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

### **15.6.3 Другие промышленные материалы**

Минеральные удобрения. Строительные материалы. Композиционные и наноматериалы. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа. Послойный и локальный анализ кристаллов, пленочных и композиционных материалов.

### **15.6.4 Неорганические вещества высокой чистоты**

Вещества высокой и сверхвысокой чистоты, полупроводниковые материалы; определение примесных и легирующих микрокомпонентов, особенности их выделения и концентрирования. Контроль производства.

### **15.6.5 Неорганические наноматериалы**

Особенности пробоотбора и пробоподготовки. Анализ поверхности и структуры, послойный анализ. Фазовый анализ нанокompозитных материалов.

## **15.7 ОРГАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

Особенности анализа органических объектов; отличия от неорганических объектов.

### **15.7.1 Органические вещества**

Природные и синтетические органические вещества, элементоорганические соединения, мономеры и олигомеры, сопутствующие вещества.

Углеродородное сырье, **нефтепродукты**, горюче-смазочные материалы. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

**Пестициды**, их классы. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

**Полиароматические углеводороды (ПАУ)**. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

**Биологически активные вещества**. Белки, жиры, углеводы, стимуляторы роста, лекарственные препараты (включая антибиотики).

Установление фазового состава смесей. Определение основных и связующих компонентов, наполнителей, стабилизаторов. Определение следов органических веществ в различных объектах. Особенности определения металлов в органических объектах. Специфика аналитических проблем в производстве органических веществ и материалов. Определение воды в органических соединениях. Метод Карла Фишера.

### **15.7.2 Элементный анализ органических веществ**

Определение С, Н, N, S, галогенов и кислорода. Автоматические приборы для элементного анализа.

### 15.7.3 Функциональный анализ

Цель химических превращений, выбор путей и способов превращения, понятие об аналитической форме. Способы измерения аналитического сигнала. Типовые групповые реакции. Идентификация и определение структурных фрагментов и строения органических соединений (сопряженные и несопряженные кратные связи, циклические и линейные структуры, ароматические ядра, стереоизомеры).

### 15.7.4 Молекулярный анализ органических объектов

Особенности разделения органических веществ. Интерпретация аналитических откликов на групповые реакции и индивидуальные соединения. Интегральные аналитические оценки.

### 15.8 ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МАТЕРИАЛЫ

Особенности разделения и определения высокомолекулярных веществ. Особенности анализа полимерных материалов. Определение средней молекулярной массы и молекулярно-массового распределения. Структурный анализ полимеров: установление химической природы, содержания и распределения мономерных звеньев, определение характеристик упорядоченности структуры. Пластмассы, синтетические и искусственные волокна, клеи.

### 15.9 БИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИМЕДИЦИНСКИЕ ОБЪЕКТЫ

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

**Растения** и их ткани, связь химического анализа с биогеоценозом. Агрохимический анализ. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа. Экологический анализ. Лекарственное сырье, фитохимический анализ. Санитарно-гигиенический контроль.

**Кровь**, органы, ткани, выделения человека и животных. Фармацевтические препараты, ферменты. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа. Санитарно-гигиенический контроль. Клинический анализ. Особенности анализа таких объектов.

**Продукты питания и пищевое сырье.** Определение основных компонентов (жиры, белки, углеводы и другие) и примесей. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в продуктах питания. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа. Санитарно-гигиенический контроль.

### **15.10 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

Газы, токсичные и радиоактивные вещества, наркотики, взрывчатые и легковоспламеняющиеся вещества, космические объекты, археологические объекты и объекты культурного наследия. Особенности пробоотбора и пробоподготовки, круг определяемых компонентов для конкретных объектов, обзор методов анализа.

### III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
1	2	3	4
Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Фрагментарные знания актуальных проблем, задач, методов и тенденций развития современной аналитической химии	Неполные знания актуальных проблем, задач, методов и тенденций развития современной аналитической химии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания актуальных проблем, задач, методов и тенденций развития современной аналитической химии	Сформированные и систематические знания актуальных проблем, задач, методов и тенденций развития современной аналитической химии

### IV. Рекомендуемая основная литература

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. Гречников А.А., Грибов Л.А., Ефимова Ю.А. и др. Аналитическая химия. Под ред. А.А. Ищенко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019, 470 с.
5. Методы и достижения современной аналитической химии. Под ред. В.И. Вершинина, 2-е изд., СПб., М., Краснодар: Лань, 2021, 588 с.
6. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ. под ред. Л.Н. Москвина, 4-е изд., СПб., М., 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. Вершинин В.И., Евтюгин Г.А., Майстренко В.Н., Проскурнин М.А., Пупышев А.А., Шеховцева Т.Н. Аналитическая химия: дополнительные главы: учебное пособие (лекции по спецкурсу): в 2 ч., под. ред. В.И. Вершинина. Омск: Изд-во Омского университета. Ч. 1. 2018, 340 с.; ч. 2. 2019, 306 с.
9. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. Пер. с нем. М.: Техносфера, 2023. 472 с.
10. Снайдер Л. Р., Кирклэнд Д.Д., Долан Д.У. Введение в современную жидкостную хроматографию. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2020. 960 с.

11. 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 GmBH & Co. KG, 2012. 389 с.
12. Экман Р., Зильберинг Е., Вестман-Бринкмальм Э., Край А. Масс-спектрометрия: аппаратура, толкование и приложения. М.: Техносфера, 2022, 368 с.
13. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды М.: Техносфера, 2013, 632 с.
14. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. Изд. второе, переработанное и дополненное. М.: Техносфера, 2015, 704 с.
15. Лаваньини И., Маньо Ф., Сералья Р., Тральди П. Количественные методы в масс-спектрометрии М.: Техносфера, 2008. 176 с.
16. 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.
17. Отто М. Современные методы аналитической химии, 5-е изд. М.: Техносфера, 2021, 656 с.
18. Карпов Ю. А., Савостин А. П. Методы пробоотбора и пробоподготовки: учебное пособие, 4-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2020, 246 с.
19. Другов, Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе, 6-е изд., М.: Лаборатория знаний, 2020, 858 с.
20. Изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов. Под ред. В.С. Севастьянова; М.: Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. 2011, 240 с.
21. Внелабораторный химический анализ. Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Наука, 2010. 564 с.
22. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ М.: Техносфера, 2009, 784 с.
23. 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.
24. Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях (под ред. Барановской В.Б., Болдырева И.В.) М.: Техносфера, 2022. 106 с.
25. Дворкин В.И. Метрология и обеспечение качества химического анализа. 2-е изд., М.: Техносфера, 2023. 318 с.
26. Криштал М. М., Ясников И. С., Полушин В. И., Филатов А. М., Ульяновков А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ М.: Техносфера 2009, 208 с.
27. Бёккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009, 528 с.
28. Кельнер Р. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. Пер. с англ. М: Мир, 2004, 608 с.
29. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.

30. 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.
31. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгено-спектрального флуоресцентного анализа М. Химия 1982.
32. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии М.: Техносфера, 2010, 304 с.
33. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: ВО Наука, 1994. 264 с.
34. Этчегоин П.Г., Ле Ру Э.К., Ванг Ю.. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия SERS. М.: Техносфера. 2017. 332 с.
35. Дерффель К. Статистика в аналитической химии (пер. с нем.) М.: Мир. 1994.
36. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии (пер. с англ.) М.: Химия. 1984.
37. Шараф М.А., Иллмен Л., Ковальски Б.Р. Хемометрика. пер. с англ. Л.: Химия. 1989.
38. Морф В. Принципы работы с ионоселективными электродами. М.: Мир, 1985.
39. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2009, 368 с.
40. Петерс Д., Хайес Дж., Хифтье Г. Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии. В двух книгах. М: Химия, 1978. 477, 338 с.
41. Лёвшин Л.В., Салецкий А.М., Оптические методы исследования молекулярных систем. Молекулярная спектроскопия, М.: МГУ, 1994.
42. Бенуэлл К., Основы молекулярной спектроскопии М.: Мир, 1985.
43. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем М.: Техносфера, 2005. 256 с.
44. Проблемы аналитической химии. Т. 12: Биохимические методы анализа (ферментативный анализ, биосенсоры, иммуноанализ). Под ред. Дзантиева Б.Б.. М.: Наука, 2010. 391 с.
45. Баника Ф.-Г.. Химические и биологические сенсоры. Основы и применения. М.: Техносфера. 2014. 880 с.
46. Тернер Э. Биосенсоры: Основы и приложения (пер. с англ.). М.: Мир. 1992.
47. Тельдеши Ю.. Радиоаналитическая химия. Пер. со словац. М.: Энергоатомиздат. 1987.
48. Сысоев А.А., Изотопная масс-спектрометрия, 1993.
49. Дмитриенко С.Г., Апяри В.В., Толмачева В.В., Горбунова М.В., Золотов Ю.А. Жидкофазное микроэкстракционное концентрирование органических соединений. М.: Наука. 2020. 133 с.
50. Апяри В.В., Дмитриенко С.Г., Горбунова М.В., Толмачева В.В., Фурлетов А.А. Методы выделения органических соединений из твердых М: Лика, 2024, 102 с.
51. Хенце Г. Полярография и вольтамперометрия. Теоретические основы и аналитическая практика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 284 с.
52. Комптон Р.Г., Бэнкс К.Е. Постигаая вольтамперометрию. Пер. с англ.. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. 509 с.

## V. Рекомендуемая дополнительная литература

1. Ганеев А.А., Зенкевич И.Г., Карцова Л.А., Москвин Л.Н., Родинов О.В. Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа. 3-е изд., СПб., М., 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., СПб.: Лань, 2022, 444 с.
3. Долгоносов А.М., Рудаков О.Б., Прудковский А.Г. Колоночная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. 3-е изд., СПб., М., Краснодар: Лань, 2022, 468 с.
4. Аналитический контроль благородных металлов. Под ред. Ю.А. Карпова, В.Б. Барановской, Л.П. Житенко, М.: Техносфера, 2019. 400 с.
5. Галль Л.Н. Физические основы масс-спектрометрии и ее применение в аналитике и биофизике СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, 161 с.
6. Тахистов В.В., Пономарев Д.А. Органическая масс-спектрометрия. СПб.: ВВМ, 2005, 345 с.
7. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Сальников В.Д. Аналитический контроль в металлургическом производстве. М.: Академкнига, 2006, 352 с.
8. Цизин Г.И., Статкус М.А. Сорбционное концентрирование микроэлементов в динамических условиях. М.: ЛЕНАНД, 2016. 480 с.
9. Конюхов В. Ю. Хроматография: учебник. СПб.: Лань, 2012. 224 с.
10. Нестеренко П., Джонс Ф., Полл Б. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов. М.: Техносфера, 2013. 312 с.
11. Жуховицкий С. М. Яновский, И. А. Ревельский. Хромадистилляция и хроматография: монография. М.: Техносфера, 2021, 288 с.
12. Хенке Х. Жидкостная хроматография. М.: Техносфера, 2009, 264 с.
13. Сычев, С. Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография: аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем: учебное пособие СПб.: Лань, 2013, 256 с.
14. Майер В.Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. 5-е изд., М.: Техносфера, 2019, 408 с.
15. Дятлов В.А., Серегина Т.С., Семикин В.В. Фурье ИК-спектроскопия многокомпонентных систем: учебно-методическое пособие. М.: РТУ МИРЭА, 2022, 79 с.
16. Барановская В.Б., Кошель Е.С. Дуговой атомно-эмиссионный анализ редкоземельных металлов и их оксидов М.: Техносфера, 2020. 132 с.
17. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров М.: Техносфера, 2013, 696 с.
18. Sensors for Environment, Health and Security. Advanced Materials and Technologies. под ред. M. I. Baraton, Springer Science, Business Media B.V., 2009, 501 с.
19. Macro, Micro, and Nano-Biosensors Potential Applications and Possible Limitations Springer International Publishing, 2021, 320 с

20. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Глинская И.В. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Курс лекций. Изд-во МИСиС. 2001.
21. Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А. Концентрирование следов элементов. М.: Наука, 1988.
22. Сабадвари Ф., Робинсон А. История аналитической химии. пер. с англ. М.: Мир, 1984.
23. Рамендик Г.И. Элементный масс-спектральный анализ твердых тел. М.: Химия. 1993.
24. Терек Т., Мика Й., Гегуш Э. Эмиссионный спектральный анализ. В 2-х частях, пер. с англ. М.: Мир. 1982.
25. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия. 1982.
26. Лазерная аналитическая спектроскопия. Под ред. Летохова В.С. М.: Наука. 1986.
27. Головина А.П., Левшин Л.В. Химический люминесцентный анализ неорганических веществ. М.: Химия, 1978.
28. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
29. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография. М.: Изд-во МГУ. 1990.
30. Гольдберг К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. М.: Химия. 1990.
31. Даванков В.А., Навратил Дж., Уолтон Х. Лигандообменная хроматография. М.: Мир, 1989.
32. Березкин В.Г., Бочков А.С. Количественная тонкослойная хроматография. Инструментальные методы. М.: Наука, 1980.
33. Макроциклические соединения в аналитической химии. Под ред. Золотова Ю.А. Кузьмина Н.М. М.: Наука, 1993.
34. Перес-Бендито Д., Сильва М. Кинетические методы в аналитической химии. М.: Мир, 1991.
35. Бонд А.М. Современные полярографические методы в аналитической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
36. Никольский Б.П., Матерова Е.А. Ионоселективные электроды. Л.: Химия, 1980.
37. Иоффе Б.В., Зенкевич И.Г., Кузнецов М.А., Берштейн И.Я. Новые физико-химические методы исследования органических соединений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.
38. Хмельницкий Р.А., Бродский Е.С. Хромато-масс-спектрометрия. М.: Химия, 1983.
39. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989.
40. Плинер Ю.Л., Кузьмин Н.М. Метрологические проблемы аналитического контроля качества металлопродукции. М.: Metallurgia. 1989.
41. Карпов Ю.А., Гиммельфарб Ф.А., Савостин А.П., Сальников В.Д. Аналитический контроль металлургического производства. Учебник для вузов М.: Metallurgia, 1995, 400 с.

53. Chalmers J.M. (Ed.), Griffiths P. (Ed.), *The Handbook of Vibrational Spectroscopy*, Wiley, в 5 томах, 2001.
54. *Inductively coupled plasma mass spectrometry handbook*. Ed. S. M. Nelms. CRC Press: Boca Raton, 2005.
55. Becker J.S., *Inorganic Mass Spectrometry: Principles and Applications*, Wiley, 2007
56. *Practical Guide to ICP-MS. A Tutorial for Beginners*, 2nd edition, R. Thomas, CRC Press, 2008
57. *Inorganic Mass Spectrometry: Fundamentals and Applications*, edited by Barshick Christopher M., Duckworth Douglas C., and Smith David H., CRC Press, 2000
58. Vanhaecke F., Degryse P., *Isotopic analysis. Fundamentals and applications using ICP-MS* Wiley, 2012
59. Hellborg R., Skog G., Stenström K., *Accelerator Mass Spectrometry and its Applications* 2013
60. *Handbook of Stable Isotope Analytical Techniques*, Elsevier, 2008
61. Mirabella F.M. *Practical Spectroscopy Series; Internal reflection spectroscopy: Theory and applications*. N.Y.: Marcel Dekker, Inc. 1993 – 384 p.
62. Coates J., *Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach*. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, Meyers R.A. (Ed.), pp. 10815–10837, Wiley, Chichester, 2000
63. Mayo D.W., Miller F.A., Hannah R.W. *Course notes on the interpretation of infrared and raman spectra*, Wiley, 2003
64. Li P.C.H. *Microfluidic lab-on-a-chip for chemical and biological analysis and discovery*, London: CRC, 2006, 504 p.
65. Oosterbroek R.E., van den Berg A.J., *Lab-On-A-Chip: Miniaturized Systems for (Bio) Chemical Analysis and Synthesis*. Elsevier 2003, 402 p.
66. Kutter J.P., Fintschenko Y., *Separation Methods in Microanalytical Systems*, London: CRC, 2005, 592 p.
67. Chakrabarty K., Su F., *Digital Microfluidic Biochips: Synthesis, Testing, And Reconfiguration Techniques*. London: CRC 2006, 228 p.
68. Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика. под ред. Г.М. Кингстона и Л.Б. Джесси. пер. с англ. М.: Мир. 1991.
69. Лебстнер Л. Буйташ П. *Химия в криминалистике*. М.: Мир. 1990.
70. Каплан Б.Я., Филимонов Л.Н., Майоров И.А. *Метрология аналитического контроля производства в цветной металлургии*. М.: Металлургия, 1989.
71. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. *Экологический мониторинг (в 2-х т.)* СПб.: Крисмас. 1998.
72. Москвин Л.Н., Царицына Л.Г. *Методы разделения и концентрирования в аналитической химии*. Л.: Химия. 1991.
73. *Спектрофотометрический анализ в органической химии / И.Я. Берштейн, Ю.Л. Каминский - 2-е изд., перераб. и доп.* Л.: Химия. Лен. Отд., 1986.
74. Казицына Л.А., Кушлетская Н.Б. *Применение УФ, ИК и ЯМР спектроскопии в органической химии*. Под. ред. А.Н. Несмеянова. М., 1968.

## **VI. Авторы программы**

Редактор-составитель, профессор, д.х.н. Проскурнин Михаил Алексеевич. Авторы-составители: профессор, д.х.н. Веселова Ирина Анатольевна, в.н.с., к.х.н. Волков Дмитрий Сергеевич, профессор, д.х.н. Карякин Аркадий Аркадьевич, с.н.с. к.х.н. Никитина Вита Николаевна, профессор, д.х.н. Пирогов Андрей Владимирович. Авторы: г.н.с. д.х.н. Апяри Владимир Владимирович, доцент к.х.н. Михеев Иван Владимирович, профессор, д.х.н. Родин Игорь Александрович, м.н.с. к.х.н. Самохин Андрей Сергеевич, доцент к.х.н. Смирнова Светлана Валерьевна, доцент д.х.н. Ставрианиди Андрей Николаевич, доцент д.х.н. Чернышова Мария Григорьевна.