

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор Белорусского  
Государственного университета

\_\_\_\_\_ А.Д.Король

25 октября 2024 г.

Регистрационный № 1742/б.



**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальностей:

**6-05-0531-01 Химия**

**6-05-0531-02 Химия лекарственных соединений**

**6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность)**

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-01-2023, ОСВО 6-05-0531-02-2023, ОСВО 6-05-0531-04-2023, а также учебных планов БГУ № 6-5.5-41/01, № 6-5.5-41/02, № 6-5.5-41/03, № 6-5.5-42/01, № 6-5.5-42/02, № 6-5.5-43/01 от 15.05.2023.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**М. Ф. Заяц**, заведующий кафедрой аналитической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, доцент.

**А. Д. Новаковский**, доцент кафедры аналитической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**А.С. Логвинович**, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;

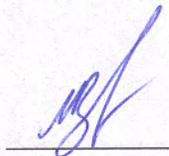
**П.О. Дудченко**, начальник отдела разработки ООО "Фортива Мед".

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой аналитической химии БГУ  
(протокол № 14 от 17.10.2024);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 3 от 24.10.2024)

Заведующий кафедрой



Заяц М.Ф.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В современном мире подавляющее большинство задач, связанных с получением информации о качественном и количественном химическом составе различных объектов, решаются с помощью инструментальных и хроматографических методов анализа (оптических, хроматографических, электрохимических и др.). Поэтому инструментальные и хроматографические методы анализа являются важнейшим разделом современной аналитической химии, изучение которого совершенно необходимо для подготовки квалифицированных специалистов-химиков.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель данной учебной дисциплины** – фундаментальная и практическая подготовка студентов химических специальностей в области инструментальных и хроматографических методов анализа.

### **Задачи данной учебной дисциплины:**

1. формирование у студентов системных знаний об основных физических законах и процессах, лежащих в основе современных инструментальных и хроматографических методов анализа, а также о механизмах и принципах генерирования аналитического сигнала, связанных с индивидуальными химическими свойствами определяемых веществ;
2. ознакомление студентов с методами и приемами работы на основных типах аналитического оборудования и с методами пробоподготовки анализируемых объектов различного происхождения;
3. формирование у студентов соответствующего кругозора, позволяющего осознавать роль аналитической химии в решении насущных практических задач (контроль технологических процессов и качества готовой продукции; мониторинг состояния окружающей среды; медицинская биохимическая диагностика и др.), ориентироваться в возможностях различных методов применительно к анализу реальных объектов и грамотно формулировать постановку аналитической задачи.

Учебная программа по учебной дисциплине «Инструментальные и хроматографические методы анализа» включает в себя следующие разделы: вводную часть, электрохимические методы анализа, спектроскопические методы анализа, хроматографические методы анализа, основные объекты анализа.

Во вводной части курса рассматриваются современное состояние аналитической химии и роль физико-химических методов анализа, дается классификация физико-химических методов анализа. Отдельное внимание уделяется практическим и научным задачам, решаемым с помощью данных методов, и перспективам развития физико-химических методов анализа.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Аналитическая химия: физико-химические методы» компонента учреждения образования.

Содержание данной учебной дисциплины базируется на общетеоретической подготовке, полученной студентами при изучении курсов

физики, неорганической и аналитической (химические методы анализа) химии и проводится по модульному принципу с выделением трех основных модулей, в соответствии со сложившимися традициями изучения данной дисциплины в ведущих университетах Беларуси и России:

- электрохимические методы анализа;
- спектроскопические (преимущественно, с использованием излучения в видимой и ближней УФ области) методы анализа;
- хроматографические методы анализа.

#### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Инструментальные и хроматографические методы анализа» должно обеспечить формирование следующей специализированной компетенции:

СК. Выбирать с учетом теоретических представлений оптимальный и наиболее эффективный метод определения состава анализируемого объекта и осуществлять анализ с использованием физико-химических методов (хроматографических, оптических, спектроскопических, потенциометрических), включая пробоотбор, пробоподготовку, стадии разделения и концентрирования.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

- теоретические основы генерирования и регистрации аналитического сигнала для соответствующих методов анализа;
- принцип действия и технические возможности основных типов соответствующего аналитического оборудования;
- характер научных и практических задач, решаемых с помощью различных физико-химических методов анализа;
- основные приемы пробоотбора и пробоподготовки различных реальных объектов для последующего инструментального анализа;
- основные метрологические характеристики соответствующих методов.

#### **уметь:**

- делать осознанный выбор адекватного метода анализа, с учетом особенностей аналита, анализируемого объекта и поставленной задачи;
- обращаться с представленными на лабораторном практикуме типами аналитического оборудования;
- проводить обработку и интерпретацию первичных экспериментальных данных, полученных с использованием изучаемых методов анализа.

#### **иметь навык:**

- общей методологией и навыками проведения аналитических исследований на представленных в лабораторном практикуме типах электрохимического, фотометрического и хроматографического оборудования.

#### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 4 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Инструментальные и хроматографические методы анализа» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 204 часов, в том числе 100 аудиторных часов, из них: лекции – 34 часа, лабораторные занятия –

48 часов, практические занятия – 6 часов, семинарские занятия – 8 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен и зачет.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Общие сведения об инструментальных и хроматографических методах анализа

#### *Тема 1.1. Физико-химические методы анализа как раздел современной аналитической химии.*

Физико-химические методы анализа как раздел современной аналитической химии: определение, этапы развития, классификация, решаемые задачи, место среди других методов анализа.

Основные проблемы современной аналитической химии: снижение предела обнаружения; повышение точности и избирательности; обеспечение экспрессности; создание методов неразрушающего анализа; локальный анализ; дистанционный анализ. Тенденции развития аналитической химии: инструментализация, автоматизация, математизация, миниатюризация, увеличение доли физических и биохимических методов, переход к многокомпонентному анализу, создание сенсоров и тест-методов.

Научная и учебно-методическая литература по физико-химическим методам анализа.

### Раздел 2. Электрохимические методы анализа

#### *Тема 2.1. Общая характеристика электрохимических методов. Потенциометрия*

Основные типы электрохимических ячеек (электролитическая ячейка, гальванический элемент) и их использование в электрохимических методах анализа. Механизм возникновения межфазового потенциала на межфазовой границе электрод – раствор. Понятия индикаторного электрода и электрода сравнения. Водородная шкала электродных потенциалов. Равновесные и неравновесные электрохимические системы. Явления, возникающие при протекании тока (омическое падение напряжения, концентрационная и кинетическая поляризация). Поляризационные кривые и их использование в различных электрохимических методах.

Потенциометрия. Сущность метода. Зависимость межфазового потенциала от активности ионов в растворе. Условие Гуггенгейма. Уравнение Нернста. Э.д.с. гальванической ячейки как сумма межфазовых потенциалов. Правила знаков э.д.с. и электродных потенциалов. Техника измерения потенциала.

#### *Тема 2.2. Ионоселективные электроды. Классификация по типам электродно-активных веществ и механизму функционирования.*

Основные типы немембранных индикаторных электродов, применяемых в прямой потенциометрии: ионно-металлические электроды, электроды второго рода, окислительно-восстановительные, газовые. Механизм функционирования и важнейшие представители.

Ионоселективные (мембранные) электроды, их классификация по типам мембран: стеклянные электроды, электроды на основе труднорастворимых кристаллических осадков с гомогенными и гетерогенными мембранами, жидкостные и пленочные электроды на основе жидких ионообменников и нейтральных переносчиков; устройство и принципы функционирования; важнейшие представители. Основные характеристики ионоселективных электродов: наклон электродной функции, коэффициент селективности, концентрационные пределы функционирования, время отклика и факторы, их определяющие. Уравнения Никольского и Эйзенмана-Никольского.

Важнейшие электроды сравнения: принцип функционирования и конструктивные особенности. Диффузионный потенциал: причины возникновения и пути устранения. Формула Гендерсона.

### ***Тема 2.3. Практическое применение прямой потенциометрии и потенциометрического титрования.***

Ионометрия и основные варианты ее применения: метод градуировочного графика, метод ограничивающих растворов, метод стандартного раствора, методы добавок; их сравнительная характеристика. Основные источники погрешностей метода прямой потенциометрии и пути их устранения.

Сложные устройства на основе ионоселективных электродов: газовые селективные электроды, ферментные электроды, ионоселективные полевые транзисторы. Проточный и проточно-инжекционный потенциометрический анализ. Примеры практического применения ионометрии.

Потенциометрическое титрование. Изменение электродного потенциала в процессе титрования. Способы обнаружения конечной точки титрования: метод касательных, методы первой и второй производных, метод Грана. Факторы, определяющие величину скачка потенциала в кислотно-основном, комплексометрическом, осадительном и окислительно-восстановительном титровании. Использование реакций кислотно-основных, осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления.

Примеры практического применения.

Сравнительная характеристика методов прямой потенциометрии и потенциометрического титрования.

### ***Тема 2.4. Вольтамперометрические методы***

Общие принципы вольтамперометрии. Процессы, протекающие в электролитической ячейке с поляризующимся индикаторным электродом и неполяризующимся электродом сравнения. Требования к индикаторным электродам и электродам сравнения; важнейшие представители. Индикаторные электроды и классификация вольтамперометрических методов. Сравнительная характеристика ртутного капаящего электрода и твердых микроэлектродов. Трехэлектродные ячейки.

Схема полярографической ячейки и процессы, в ней протекающие. Полярографическая волна и характеристики ее отдельных участков. Конденсаторный, миграционный, диффузионный токи. Предельный

диффузионный ток. Уравнение Ильковича. Уравнение обратимой полярографической волны Ильковича - Гейровского. Потенциал полуволны и факторы, его определяющие. Полярографические максимумы: причины возникновения, способы устранения, возможности применения для определения поверхностно-активных веществ. Составляющие полярографического фона и их роль в проведении полярографического анализа.

Количественный и качественный полярографический анализ с использованием ртутного каплюющего электрода: возможности и ограничения.

Примеры практического применения.

### ***Тема 2.5. Современные разновидности вольтамперометрии***

Способы улучшения соотношения фарадеевского и емкостного токов: временная и фазовая селекция аналитического сигнала. Переменно-токовая полярография: синусоидальная и квадратно-волновая. Импульсная полярография: нормальная и дифференциальная. Полярография с быстрой линейной разверткой потенциала (осциллографическая). Циклическая вольтамперометрия. Инверсионная анодная полярография с накоплением.

Вольтамперометрия с использованием твердых микроэлектродов. Катодная инверсионная вольтамперометрия. Вольтамперометрия с использованием химически модифицированных электродов. Адсорбционная инверсионная вольтамперометрия.

Примеры практического применения.

Сравнительная характеристика вольтамперометрических методов с использованием ртутного каплюющего и твердых микроэлектродов.

### ***Тема 2.6. Другие электрохимические методы анализа***

Амперометрическое титрование. Сущность метода. Индикаторные электроды. Выбор потенциала индикаторного электрода. Амперометрическое титрование с одним и двумя поляризованными электродами. Виды кривых титрования. Примеры практического применения.

Кондуктометрия. Принципы кондуктометрии: удельная и эквивалентная электропроводность; уравнение Кольрауша и предельная эквивалентная электропроводность солей и ионов; схема установки. Прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Применение для контроля качества чистой воды, солености почв, в ионной хроматографии.

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

Электрогравиметрия. Сущность и общая характеристика электрогравиметрических методов. Практическое применение.

Капиллярный электрофорез. Схема установки, понятия электроосмотического потока и электрофоретической подвижности; принципы разделения веществ по заряду и размеру.

Сравнительная характеристика чувствительности и избирательности, областей применения электрохимических методов.

### **Раздел 3. Методы, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом**

#### ***Тема 3.1. Классификация спектроскопических методов анализа. Атомно-эмиссионный анализ***

Спектр электромагнитного излучения (энергия, способы ее выражения; термины, символы и единицы энергии излучения; диапазоны излучения, типы энергетических переходов). Основные типы взаимодействия вещества с излучением: эмиссия (тепловая, люминесценция), поглощение, рассеяние. Классификация спектроскопических методов по энергии. Классификация спектроскопических методов на основе спектра электромагнитного излучения (атомная, молекулярная, абсорбционная, эмиссионная спектроскопия).

Спектры атомов. Основные и возбужденные состояния атомов, характеристики состояний. Энергетические переходы. Правила отбора. Законы испускания и поглощения. Вероятности электронных переходов и времена жизни возбужденных состояний. Характеристики спектральных линий: положение в спектре, интенсивность, естественная ширина.

Спектры молекул; их особенности. Схемы электронных уровней молекулы. Представление о полной энергии молекул как суммы электронной, колебательной и вращательной. Зависимость вида спектра от агрегатного состояния вещества.

Основные законы поглощения электромагнитного излучения (Бугера) и закон излучения (Ломакина-Шайбе). Связь аналитического сигнала с концентрацией определяемого соединения.

Аппаратура. Способы монохроматизации лучистой энергии. Классификация спектральных приборов. Характеристики спектральных приборов: дисперсия, разрешающая способность, светосила. Приемники излучения: фотоэмульсия, фотоэлементы, фотоумножители, полупроводниковые приемники излучения. Инструментальные помехи. Шумы и отношение сигнал-шум; оценка минимального аналитического сигнала.

Атомно-эмиссионный метод. Принцип метода. Спектры испускания. Методы атомизации и возбуждения. Пламенный вариант метода. Другие методы возбуждения (дуговые, искровые, лазерные, пламенные) и их основные характеристики. Процессы, протекающие при возбуждении, и его механизм. Методы регистрации аналитического сигнала (спектрометрия, спектрография). Пламенные фотометры и спектрофотометры. Спектрофотометры с

регистрацией полного спектра испускания. Диодная линейка. Качественный и полуколичественный атомно-эмиссионный анализ.

Количественный атомно-эмиссионный анализ. Определяемые элементы и области применения.

### ***Тема 3.2. Атомно-абсорбционный метод***

Методы атомизации. Пламёна, их составы и характеристики. Электротермическая атомизация в графитовой кювете – платформе Львова. Гидридный метод и метод холодного пара. Атомно-абсорбционные спектрофотометры. Эффекты Лоренца и Доплера и их значение для выбора источника излучения. Источники излучения: лампы Уолша, источники сплошного излучения с использованием дифракционной решетки и др. Сравнительная метрологическая характеристика эмиссионного и абсорбционного методов и области их применения.

### ***Тема 3.3. Молекулярно-абсорбционный анализ.***

Связь химической структуры соединения с абсорбционным спектром. Связь оптической плотности с концентрацией. Закон светопоглощения Ламберта-Бугера-Бера. Отклонения от закона, их причины (химические; температура, эффекты, обусловленные растворителем, рассеяние света, монохроматизация излучения). Понятие об истинном и кажущемся молярном коэффициенте поглощения. Инструментальные погрешности; оптимальный интервал измеряемых значений оптической плотности.

Методы получения поглощающих сред. Реакции комплексообразования с органическими и минеральными лигандами. Органические реагенты. Применение органических реакций для получения окрашенных соединений. Биохимический анализ в медицине. Применение экстракции для получения окрашенных соединений. Экстракционно-фотометрический анализ Катионные и анионные красители для получения окрашенных ионных ассоциатов. Другие типы реакций в молекулярно-абсорбционном анализе. Понятие контрастности фотометрических реакций.

### ***Тема 3.4. Дифференциальная спектрофотометрия. Обобщенная характеристика молекулярно-абсорбционного анализа в видимой и УФ области.***

Способы количественного определения: по коэффициенту экстинкции; метод градуировочного графика; метод стандартного раствора; метод добавок. Измерение высоких, низких оптических плотностей (дифференциальный метод). Анализ многокомпонентных систем. Фотометрическое титрование.

Примеры практического применения метода.

Применение метода для исследования реакций (комплексообразования, протолитических, агрегации), сопровождающихся изменением спектров поглощения. Обобщенная характеристика молекулярно-абсорбционного анализа в видимой и УФ области

### ***Тема 3.5. Молекулярная люминесцентная спектроскопия***

Общая классификация молекулярной люминесценции (хемилюминесценция, биоллюминесценция, электролюминесценция, фотоллюминесценция). Схема Яблонского. Флуоресценция и фосфоресценция. Закон Стокса-Ломмеля. Правило зеркальной симметрии Левшина. Тушение люминесценции. Эффект Шпольского.

Сравнение возможностей молекулярной абсорбционной и люминесцентной (собственная люминесценция) спектроскопии при определении неорганических соединений. Преимущества люминесцентной спектроскопии при идентификации и определении органических соединений.

### ***Тема 3.6. Инфракрасная спектрофотометрия и другие оптические методы анализа***

Теоретические и методические основы ИК спектрофотометрии. Скелетные и характеристические колебания в анализе органических веществ. Идентификация органических соединений методом ИК спектроскопии. Рассеяние излучения. Стоксовы и антистоксовы линии. Практическое применение метода спектроскопии КР.

Место и роль спектроскопических методов в аналитической химии и химическом анализе.

Нефелометрический и турбидиметрический методы: теоретические основы, приборное оформление, основные объекты анализа, сравнительная характеристика. Рефрактометрия.

### ***Тема 3.7. Методы анализа, основанные на радиоактивности. Кинетические методы анализа.***

Радиоактивность. Основные количественные соотношения. Прямая радиометрия (определение по собственной радиоактивности): калий, цезий, стронций и др. Радиоуглеродной датирование; уран-свинцовый метод; калий-аргоновый метод

Метод изотопного разбавления (обычный и субстехиометрический варианты). Активационные методы: нейтронно-активационный анализ; гамма-активационный анализ

Кинетические методы анализа: метод тангенсов; метод фиксированной концентрации; метод фиксированного времени

Ферментативные реакции в биохимическом анализе

## **Раздел 4. Хроматографические методы анализа**

### ***Тема 4.1. Общая характеристика хроматографических методов анализа и их классификация***

Определение хроматографии. Понятие о подвижной и неподвижной фазах. Классификация методов по агрегатному состоянию подвижной и неподвижной фаз, по механизму разделения, по технике выполнения. Способы получения хроматограмм (фронтальный, вытеснительный, элюентный). Основные

аналитические параметры хроматограммы: время (объем) удерживания, ширина пика у основания, площадь пика, степень разделения. Основные уравнения хроматографии. Селективность и эффективность хроматографического разделения. Теория теоретических тарелок. Кинетическая теория. Уравнение Ван-Деемтера. Разрешение как фактор оптимизации хроматографического процесса. Качественный и количественный хроматографический анализ.

#### ***Тема 4.2. Газовая хроматография***

Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) и газо-жидкостная хроматография. Сорбенты и носители, требования к ним. Механизм разделения. Схема газового хроматографа. Колонки, неподвижные и подвижные фазы. Основные типы детекторов: катарометр, пламенно-ионизационный, электрозахватный, масс-спектральный; их чувствительность и селективность. Способы получения летучих соединений. Области применения газовой хроматографии.

#### ***Тема 4.3. Жидкостная хроматография.***

Виды жидкостной хроматографии. Преимущества высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Схема жидкостного хроматографа. Насосы, колонки. Основные типы детекторов, их чувствительность и селективность.

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

#### ***Тема 4.4. Другие виды жидкостной хроматографии***

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

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

Плоскостная хроматография. Общие принципы разделения. Способы получения плоскостных хроматограмм (восходящий, нисходящий, круговой, двумерный). Реагенты для проявления хроматограмм.

Бумажная хроматография. Механизмы разделения. Подвижные фазы. Преимущества и недостатки.

Тонкослойная хроматография. Механизмы разделения. Сорбенты и подвижные фазы. Области применения.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1</b>	<b>Общие сведения об инструментальных и хроматографических методах анализа.</b>						
1.1	Физико-химические методы анализа как раздел современной аналитической химии.	1					
<b>2</b>	<b>Электрохимические методы анализа.</b>						
2.1	Общая характеристика электрохимических методов. Потенциометрия.	2					
2.2	Ионоселективные электроды. Классификация по типам электродно-активных веществ и механизму функционирования.	2		1		1	устные ответы, контрольная работа
2.3	Практическое применение прямой потенциометрии и потенциометрического титрования.	2	2		18		устные ответы, отчеты по лабораторным работам
2.4	Вольтамперометрические методы	2		1			устные ответы, собеседование
2.5	Современные разновидности вольтамперометрии	1					
2.6	Другие электрохимические методы анализа.	2		1		1	собеседование, контрольная работа

<b>3</b>	<b>Методы, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом.</b>						
3.1	Классификация спектроскопических методов анализа. Атомно-эмиссионный анализ	2	1		6		устные ответы, отчеты по лабораторным работам
3.2	Атомно-абсорбционный анализ	2	1	1	6		собеседование, отчеты по лабораторным работам
3.3	Молекулярно-абсорбционный анализ	2		1	12		собеседование, отчеты по лабораторным работам
3.4	Дифференциальная спектрофотометрия. Обобщенная характеристика молекулярно-абсорбционного анализа в видимой и УФ области.	2				1	контрольная работа
3.5	Молекулярная люминесцентная спектроскопия	2		1			устные ответы
3.6	Инфракрасная спектрофотометрия и другие оптические методы анализа	2					
3.7	Методы анализа, основанные на радиоактивности. Кинетические методы анализа.	2					
<b>4</b>	<b>Хроматографические методы анализа</b>						
4.1	Общая характеристика хроматографических методов анализа и их классификация	2					устные ответы, собеседование
4.2	Газовая хроматография	2	1	1	6	1	устные ответы, отчеты по лабораторным работам, контрольная работа
4.3	Жидкостная хроматография.	2	1	1			устные ответы
4.4	Другие виды жидкостной хроматографии	2					

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа : учебное пособие для вузов / А. А. Ганеев, И. Г. Зенкевич, Л. А. Карцова [и др.] ; Под ред. проф Л. Н. Москвина. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 332 с.
2. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ : учебник для вузов / М. И. Булатов, А. А. Ганеев, А. И. Дробышев [и др.] ; Под ред. проф Л. Н. Москвина. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 584 с.
3. Методы и достижения современной аналитической химии: учебник для вузов / Г. К. Будников, В. И. Вершинин, Г. А. Евтюгин [и др.] ; под редакцией В. И. Вершинина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 588 с.
4. Жебентяев, А. И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа : учебное пособие / А.И. Жебентяев. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 206 с.
5. Жебентяев, А. И. Аналитическая химия. Инструментальные методы анализа : учеб. пособие / А. И. Жебентяев, А. К. Жерносек, И. Е. Талуть. — Минск : Новое знание, 2021. — 360 с.

### Дополнительная литература

1. Основы аналитической химии : учебник для студ. вузов : в 2 т. Т. 1 / под ред. Ю. А. Золотова. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академия, 2014. — 391 с.
2. Основы аналитической химии : учебник для студ. вузов : в 2 т. Т. 2 / под ред. Ю. А. Золотова. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академия, 2014. — 410 с.
3. Отто, Маттиас. Современные методы аналитической химии : [учебник] / М. Отто : пер. с нем. [А. А. Курганова]. - 5-е изд. - Москва : Техносфера, 2021. - 653 с.
4. Бёккер, Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза / Ю. Бёккер - под ред. А. А. Курганова. - Москва : Техносфера, 2009. - 470 с.
5. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. - Москва : Техносфера, 2009. - 527 с.
6. Вершинин, В. И. Аналитическая химия : учебник / В. И. Вершинин, И. В. Власова, И. А. Никифорова. - Изд. 3-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2019. - 427 с.
7. Кристиан, Г. Аналитическая химия : [учебник для студ. вузов] : в 2 т. / Г. Кристиан. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
8. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы : учебное пособие / [авт. коллектив: Н. В. Алов и др.] ; под ред. Ю. А. Золотова, Т. Н. Шеховцовой,

К. В. Осолка. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : Лаборатория Знаний, 2020. - 413 с.

9. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. В 2 т. Т. 1 : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / [Ю. М. Глубоков и др.] ; под ред. А. А. Ищенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 352 с.

10. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. В 2 т. Т. 2 : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / [Н. В. Алов и др.] ; под ред. А. А. Ищенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 416 с.

11. Будников, Г. К. Основы современного электрохимического анализа : Учеб. пособие / Г.К.Будников, В.Н.Майстренко, М.Р.Вяселев. - М. : Мир : Бином. Лаборатория знаний, 2003. - 592с.

12. Электроаналитические методы : теория и практика / [авт.: А. М. Бонд и др.] ; ред. Ф. Шольц ; пер. с англ. под ред. В. Н. Майстренко. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 326 с.

13. Винарский, В. А. Тонкослойная хроматография в анализе наркотических и допинговых средств : пособие для студ. химического фак. спец. 1-31 05 01 "Химия" (по напр.) / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко, А. Г. Бузук. - Минск : Колорград, 2016. - 203 с.

14. Винарский, В. А. Масс-спектрометрия и хромато-масс-спектральный анализ : пособие для студ. Вузов / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко ; БГУ. - Минск : БГУ, 2013. - 135 с.

15. Аналитическая химия. В 3 т. Т 1. Химические методы анализа / под ред. проф. А. А. Ищенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. – 456 с. (Т. 1).

16. Аналитическая химия. В 3 т. Т 2. Инструментальные методы анализа. Часть 1 / под ред. проф. А. А. Ищенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. – 472 с. (Т. 2).

17. Аналитическая химия. В 3 т. Т 3. Инструментальные методы анализа. Часть 2 / под ред. проф. А. А. Ищенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. – 504 с. (Т. 3).

18. Крешков, А. П. Основы аналитической химии : учебник для студентов химико-технологических специальностей вузов : [в 3 кн.] / А. П. Крешков. - Изд. 2-е, перераб., стер. - Москва : Альянс, 2020. - [Кн.] 3 : Физические и физико-химические (инструментальные) методы анализа. - 2020. - 488 с.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

- устный опрос в формате вопрос – ответ;
- письменные контрольные работы по отдельным темам и учебной дисциплине в целом;
- защита выполненных на занятиях индивидуальных лабораторных работ;
- отчеты по лабораторным работам
- собеседование по отдельным темам.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Инструментальные и хроматографические методы анализа» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- ответы на практических занятиях – 25 %;
- выполнение и защита лабораторных работ – 25 %;
- выполнение контрольных работ – 50 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 30% и экзаменационной отметки 70%.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

#### **Тема 2.2. Ионоселективные электроды. Классификация по типам электродно-активных веществ и механизму функционирования (1 час)**

Ионно-металлические электроды, электроды второго рода, окислительно-восстановительные, газовые электроды. Жидкостные и пленочные электроды на основе жидких ионообменников и нейтральных переносчиков. Устройство и принципы функционирования. Важнейшие электроды сравнения.

(Форма контроля – контрольная работа).

#### **Тема 2.6. Другие электрохимические методы анализа (1 час).**

Амперометрическое титрование. Прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Прямая кулонометрия и кулонометрическое титрование. Кулонометрия при постоянном токе и постоянном потенциале. Электрогравиметрия. Капиллярный электрофорез.

(Формы контроля – контрольная работа).

#### **Тема 3.4. Дифференциальная спектрофотометрия. Обобщенная характеристика молекулярно-абсорбционного анализа в видимой и УФ области (1 час).**

Измерение высоких, низких оптических плотностей (дифференциальный метод). Анализ многокомпонентных систем. Фотометрическое титрование. Обобщенная характеристика молекулярно-абсорбционного анализа в видимой и УФ области.

(Форма контроля – контрольная работа).

#### **Тема 4.2. Газовая хроматография (1 час).**

Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) и газо-жидкостная хроматография. Схема газового хроматографа. Основные типы детекторов: катарометр, пламенно-ионизационный, электрозахватный, масс-спектральный; их чувствительность и селективность.

(Форма контроля – контрольная работа).

#### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса по дисциплине «Инструментальные и хроматографические методы анализа» используется ряд инновационных подходов и методов: **практико-ориентированный, обучающе-исследовательский, эвристический, развития критического мышления.**

При выполнении заданий на семинарских и лабораторных занятиях осуществляется не просто приобретение знаний, а их осмысление и переработка с последующим применением при решении поставленных проблем. В ходе обучения у обучающихся происходит формирование профессиональных компетенций практической деятельности, а также понимание того, где и для чего полученные компетенции применяются на практике. В итоге обучающийся получает не только определенные знания, но и навыки профессиональной деятельности (**практико-ориентированный подход**). Одновременно применяются технологии развития **критического мышления**, связанные с пониманием научной информации и способами ее трансформации.

Учебный процесс, организованный на основе **обучающе-исследовательского принципа**, призван формировать у студентов творческий подход к решению разнообразных задач, исследовательские умения, умение работать в коллективе в процессе изучения программного материала, аналитический характер мышления.

При проведении семинарских и практических занятий студенты обеспечиваются творческими проблемными заданиями и перечнем вопросов и упражнений. При анализе поставленных задач используется **эвристический метод**, способствующий развитию творческого мышления, формированию познавательных умений, а также обучению студентов приемам активного познавательного общения.

#### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При организации самостоятельной работы студентов наряду с традиционными источниками информации (учебники и учебные пособия) используются и современные информационные ресурсы.

На образовательном портале [educhem.bsu.by](http://educhem.bsu.by) размещены лекции в виде файлов PowerPoint с пояснениями к каждому слайду, учебная программа по дисциплине, учебные пособия по дисциплине, учебные материалы для подготовки к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной подготовки к занятиям, вопросы для подготовки к экзаменам, список рекомендуемой литературы.

При выполнении ряда заданий требуется также осуществлять поиск и проводить критический анализ информации и литературы в сети Интернет.

Контроль осуществляется в форме устного опроса, письменных отчетов по лабораторным работам, а также в форме контрольных работ.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Аналитическая химия: основные задачи, проблемы, тенденции развития на современном этапе. Физико-химические методы анализа - раздел современной аналитической химии.

2. Характеристика основных типов электрохимических ячеек (электролитическая ячейка, гальванический элемент) и их использование в электрохимических методах анализа. Классификация электрохимических методов анализа по типу и условиям получения аналитического сигнала.

3. Сущность потенциометрического метода анализа. Механизм возникновения потенциала на границе металл – раствор и других межфазовых границах. Условие Гуттенгейма. Уравнение Нернста.

4. Понятия электродного потенциала и э.д.с. гальванической ячейки. Водородная шкала потенциалов. Схематическое изображение электродов и гальванических ячеек. Правила знаков э.д.с. и электродных потенциалов.

5. Вторичные электроды сравнения: устройство и особенности функционирования. Диффузионный потенциал и способы его устранения. Анализ формулы Гендерсона.

6. Ионно-металлические и окислительно-восстановительные электроды: механизм функционирования, важнейшие представители, применение в анализе.

7. Мембранные (ионоселективные) электроды: классификация по типам мембран и электродно-активных веществ. Устройство, принцип функционирования и основные представители.

8. Основные характеристики ионоселективных электродов: коэффициенты селективности, нижний и верхний пределы обнаружения и методы их определения.

9. Стекланные электроды для рН-метрии и определения ионов щелочных металлов: устройство и механизм функционирования, факторы, ответственные за селективность. Уравнения Никольского и Эйзенмана-Никольского.

10. Электроды на основе труднорастворимых осадков: устройство, механизм функционирования и важнейшие представители. Факторы, ответственные за селективность и нижний предел обнаружения. Примеры применения в анализе и научных исследованиях.

11. Электроды на основе жидких ионообменников: устройство, механизм функционирования и важнейшие представители. Факторы, определяющие селективность и пределы функционирования. Примеры применения в анализе.

12. Электроды на основе нейтральных переносчиков: устройство, механизм функционирования и важнейшие представители. Факторы, определяющие селективность и пределы функционирования. Примеры применения в анализе.

13. Сложные устройства на основе ионоселективных электродов: газовые селективные электроды, ферментные электроды, ионоселективные полевые транзисторы.

14. Основные варианты метода прямой потенциометрии: метод градуировочного графика, метод ограничивающих растворов, метод стандартного раствора, методы добавок, метод Грана. Их достоинства и недостатки.

15. Анализ кривых потенциометрического титрования. Факторы, определяющие высоту скачка потенциала в кислотно-основном, осадительном, комплексонометрическом и окислительно-восстановительном титровании. Практические способы установления точки эквивалентности.

16. Основные источники погрешностей при работе с ионоселективными электродами и способы их устранения. Проточно-инжекционный анализ.

17. Принципиальная схема полярографической установки. Полярографическая волна, характеристика ее отдельных участков. Полярографический спектр.

18. Составляющие полярографируемого раствора и их роль в проведении полярографического анализа.

19. Полярографические максимумы, причины их возникновения, способы устранения и применение для определения ПАВ.

20. Количественный полярографический анализ. Уравнение Ильковича.

21. Качественный полярографический анализ. Уравнение обратимой полярографической волны. Способы нахождения потенциала полуволны.

22. Твердые микроэлектроды и их применение в полярографии, достоинства и недостатки по сравнению с ртутным капельным электродом.

23. Основные принципы и конкретные пути повышения чувствительности и селективности полярографического анализа. Дифференциальная, переменноточковая, осциллографическая, инверсионная, импульсная вольтамперометрия.

24. Полярографический метод анализа, общая характеристика. Применение полярографии для определения неорганических и органических соединений.

25. Сущность амперометрического титрования. Типы кривых амперометрического титрования. Амперометрические сенсоры: устройство, принцип действия, области применения.

26. Кондуктометрия и кондуктометрическое титрование и их аналитическое применение.

27. Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Способы нахождения количества перенесенного электричества. Практическое применение для определения металлов, окислителей и восстановителей в различных объектах. Электрогравиметрия.

28. Капиллярный электрофорез: принцип метода, схема установки, применение в анализе.

29. Классификация методов анализа, основанных на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, по длинам волн и энергии поглощаемого (испускаемого) излучения.

30. Спектральные термы и электронные спектры атомов. Спектры молекул: их вид и связь со строением веществ.

31. Закон Бугера-Ламберта-Бера: экспоненциальная и логарифмическая форма; условия соблюдения и причины нарушения. Оптическая плотность и пропускание; оптимальная оптическая плотность.

32. Атомно-эмиссионный метод анализа: история создания; основные узлы прибора; методы атомизации и возбуждения; спектральные и физико-химические помехи и способы их устранения; сфера применения и аналитические характеристики.

33. Атомно-абсорбционный метод анализа: основные узлы прибора; пламенный и электротермический методы атомизации; метод холодного пара и гидридный метод; спектральные и физико-химические помехи и пути их устранения; сфера применения и аналитические характеристики.

34. Сопоставительная характеристика атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного методов анализа.

35. Молекулярный абсорбционный анализ по поглощению в видимой и УФ области. Методы получения поглощающих сред. Контрастность, чувствительность, селективность аналитической реакции. Колориметрия и фотоэлектроколориметрия.

36. Экстракционно-фотометрический метод анализа. Важнейшие типы экстракционных систем. Основные количественные характеристики процессов экстракции.

37. Спектрофотометрический метод анализа: основные узлы спектрофотометра; сфера применения и аналитические характеристики метода. Дифференциальная спектрофотометрия.

38. Люминесцентный метод анализа: типы люминесценции (по характеру возбуждения, по типу свечения); основные законы люминесценции; диаграмма Яблонского; связь способности веществ люминесцировать с их строением.

39. Принципиальное устройство флуориметра; уравнение связи аналитического сигнала с концентрацией; тушение люминесценции; сфера применения и аналитические характеристики; сопоставление с спектрофотометрией.

40. Колебательные спектры молекул. ИК и КР спектроскопия: сущность методов и применение в анализе.

41. Нефелометрический и турбидиметрический методы анализа: сущность методов, устройство приборов; уравнения связи аналитических сигналов с концентрацией; сфера применения и сопоставительная характеристика методов.
42. Рефрактометрический метод анализа: принцип метода, сферы применения, основные аналитические характеристики.
43. Определение веществ по собственной радиоактивности: принцип метода; основные уравнения; примеры практического применения. Радиоизотопное датирование.
44. Метод изотопного разбавления в химическом анализе и методы анализа, основанные на вторичной радиоактивности. Сущность и основные сферы применения.
45. История создания хроматографического метода и классификация по природе подвижной и неподвижной фаз, способам осуществления процесса, перемещения сорбата вдоль сорбента, природе процесса, цели процесса.
46. Газовая хроматография: основные узлы газового хроматографа; требования к газу-носителю, адсорбенту, жидкой неподвижной фазе. Методы получения летучих веществ из нелетучих. Деривативная и деструктивная хроматография. Основные сферы применения.
47. Основные типы детекторов, применяемых в газовой хроматографии: принцип действия и сопоставительная характеристика.
48. Кинетическая теория хроматографического процесса. Уравнение Ван Деемтера и его анализ.
49. Основные параметры хроматограммы и информация, из них извлекаемая. Расчет числа эквивалентных теоретических тарелок из хроматографических данных.
50. Факторы, ответственные за эффективность и селективность хроматографической колонки. Уравнение связи степени разрешения пиков с параметрами эффективности и селективности.
51. Адсорбенты и носители жидкой неподвижной фазы в жидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Элюирующая сила растворителя. Градиентное элюирование.
52. Основные типы детекторов, применяемых в жидкостной хроматографии: принцип действия и сопоставительная характеристика.
53. Высокоэффективная жидкостная хроматография: отличительные особенности метода и основные сферы применения.
54. Ионообменная, ионная и ион-парная хроматография: принципы разделения и детектирования; основные сферы применения.
55. Капиллярная хроматография: принцип осуществления метода и аналитические характеристики.
56. Плоскостная хроматография: варианты осуществления, основные количественные соотношения, решаемые задачи.
57. Эксклюзионная хроматография: принцип; варианты осуществления; основные количественные соотношения; сферы применения.
58. Методы идентификации и количественного определения веществ в хроматографии.

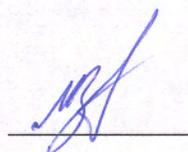
59. Кинетические методы анализа. Основные принципы; сферы применения; аналитические возможности. Примеры применения в клинических биохимических исследованиях.

60. Стратегия выбора оптимального метода и методики для анализа реальных объектов.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой  
аналитической химии  
химического факультета  
доктор химических наук, доцент



М. Ф. Заяц

17. ОКТЯБРЯ 20 24г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_