

ПРОГРАММА
Элективного курса
«Химические и физико-химические методы анализа»
10–11 классы
64 часа

Москва, 2021

1. Планируемые результаты освоения учебного курса

Личностные:

- ✓ сформировать познавательные интересы и мотивы, интеллектуальные умения (доказывать, строить рассуждения, анализировать, сравнивать, делать выводы);
- ✓ осознанно выбирать будущую профессию как путь и способ реализации собственных жизненных планов;
- ✓ применять знания для организации и планирования собственного здорового образа жизни и деятельности, благополучия своей семьи и благоприятной среды обитания человечества;
- ✓ *самостоятельно приобретать новые знания, проводить научные исследования, участвовать в проектной деятельности;*
- ✓ понимать важность охраны окружающей среды;
- ✓ формировать всесторонне образованную, инициативную и успешную личность, обладающую системой современных мировоззренческих взглядов, ценностных ориентаций, идейно-нравственных, культурных, гуманистических и эстетических принципов и норм поведения.

Метапредметные:

- ✓ самостоятельно определять цели, задавать параметры и критерии, по которым можно определить, что цель достигнута;
- ✓ ставить и формулировать собственные задачи в образовательной деятельности и жизненных ситуациях;
- ✓ искать и находить обобщенные способы решения задач, в том числе, осуществлять развернутый информационный поиск и ставить на его основе новые (учебные и познавательные) задачи;
- ✓ использовать различные модельно-схематические средства для предоставления существенных связей и отношений, а также противоречий, выявленных в информационных источниках;
- ✓ выходить за рамки учебного предмета и осуществлять целенаправленный поиск возможностей для широкого переноса средств и способов действия;
- ✓ при осуществлении групповой работы быть как руководителем, так и членом команды в разных ролях;
- ✓ координировать и выполнять работу в условиях реального, виртуального и комбинированного взаимодействия;
- ✓ использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни;
- ✓ понимать взаимосвязь учебного предмета с особенностями профессий и профессиональной деятельности, в основе которых лежат знания по химии.

Предметные:

- ✓ устанавливать зависимость скорости химической реакции и смещения химического равновесия от различных факторов с целью определения оптимальных условий протекания химических процессов;
- ✓ прогнозировать возможность и предел протекания химических процессов на основе термодинамических характеристик веществ;
- ✓ характеризовать виды методов химического и физико-химического анализа;
- ✓ знать теоретические основы и области применения методов анализа: качественного анализа, титриметрического анализа (кислотно-основное, комплексонометрическое и окислительно-восстановительное титрования), спектральные методы (качественный и полуколичественный атомно-эмиссионный анализ, визуальный

- атомно-эмиссионный спектральный анализ, ИК-спектроскопия и спектроскопия в видимой и УФ-областях), рефрактометрический и электрохимические методы (потенциометрия, кулонометрия, амперометрическое титрование, кондуктометрия), хроматографические методы (газовая, жидкостная, ионнообменная и гель-хроматография, бумажная хроматография и тонкослойная хроматография);
- ✓ владеть техникой эксперимента для методов анализа: качественного анализа, титриметрического анализа (кислотно-основное, комплексонометрическое и окислительно-восстановительное титрования), спектральные методы (спектроскопия в видимой области), электрохимические методы (кондуктометрия, потенциометрия), хроматографические методы (бумажная хроматография и тонкослойная хроматография);
 - ✓ проводить расчеты, лежащие в основе количественного определения с использованием методов: титриметрического анализа (кислотно-основное, комплексонометрическое и окислительно-восстановительное титрования), спектральные методы (спектроскопия в видимой области), электрохимические методы (кондуктометрия), хроматографические методы (бумажная хроматография и тонкослойная хроматография);
 - ✓ анализировать результаты проводимых экспериментов;
 - ✓ оценивать и интерпретировать полученные качественные и количественные экспериментальные данные;
 - ✓ проводить статистическую обработку результатов эксперимента;
 - ✓ применять методы анализа для решения учебных задач и анализа реальных объектов;
 - ✓ соблюдать правила безопасной работы при обращении с веществами и химической посудой, лабораторным оборудованием.

2. Содержание учебного курса

Введение (2 часа)

Химический анализ. Задачи и области применения химического анализа. Виды химического анализа. Элементный анализ. Фазовый анализ. Качественный анализ: идентификация и обнаружение. Количественный анализ. Стадии аналитического процесса.

Техника безопасности и основные правила работы в химической лаборатории. Требования к отчету. Оборудование и реактивы. Мытье и сушка химической посуды.

Научный эксперимент и его роль в познании. Погрешности эксперимента. Оценка погрешностей. Обработка результатов эксперимента. Графики.

Практическая работа № 1. Взвешивание образца и статистическая обработка результатов взвешивания.

Раздел 1. Теоретическое описание химических реакций (20 часов)

Тема 1. Химическая термодинамика (10 часов)

Основные понятия химической термодинамики: система (открытая, закрытая, изолированная), состояние системы, внутренняя энергия системы, термодинамические переменные (параметры). Экстенсивные и интенсивные переменные. Термодинамические функции. Функции состояния и функции процесса. Термодинамический процесс. Постулат о существовании температуры (нулевое начало термодинамики). Температурные шкалы. Уравнения состояния. Модель идеального газа. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клайперона-Менделеева). Законы идеальных газов: закон Дальтона и закон Амага. Реальные газы. Фугитивность и коэффициент фугитивности. Уравнение состояния реального газа (на примере уравнения Ван-дер-Ваальса).

Первое начало термодинамики, его формулировки и аналитическое выражение (в интегральной форме). Взаимные превращения теплоты и работы (на примере работы расширения) в различных процессах (на примерах изохорного, изобарного и изотермического процессов с участием идеальных газов). Энтальпия. Теплоемкость веществ (на примере молярной изобарной теплоемкости), ее определение. Зависимость молярной изобарной теплоемкости от температуры.

Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса и его следствия. Термохимия. Стандартные состояния вещества. Энтальпии и теплоты образования. Энтальпии и теплоты сгорания. Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры. Закон Кирхгофа.

Второе начало термодинамики. Энтропия как функция состояния. Расчет изменения энтропии для различных процессов. Изменение энтропии как критерий самопроизвольности процесса в изолированной системе. Статистический характер второго начала термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца. Характеристические функции. Расчет изменения энергии Гиббса для различных процессов. Изменение энергии Гиббса как критерий самопроизвольности процесса в закрытой системе. Уравнение Гиббса-Гельмгольца.

Связь изменения энергии Гиббса в ходе химической реакции с константой равновесия. Уравнение изотермы Вант-Гоффа. Уравнение изотермы химической реакции и направление протекания обратимой химической реакции.

Константа равновесия и разные способы выражения состава реакционной смеси (выражения для константы химической реакции, записанные через концентрации, парциальные давления и мольные доли и их взаимосвязь).

Принцип смещения химического равновесия (принцип Ле Шателье-Брауна). Влияние давления (уравнение Планка-Ван Лаара), объема системы, концентрации участников реакции (через анализ уравнения изотермы Вант-Гоффа) и инертного газа на равновесие химической реакции. Зависимость константы равновесия от температуры (уравнение изобары Вант-Гоффа). Гетерогенные равновесия.

Практическая работа № 2. Определение энтальпии реакции нейтрализации сильного основания сильной кислотой калориметрическим методом.

Практическая работа № 3. Определение энтальпии растворения соли в воде калориметрическим методом.

Практическая работа № 4. Изучение влияния концентраций компонентов и добавок посторонних веществ на положение химического равновесия.

Практическая работа № 5. Изучение химического равновесия гомогенной реакции.

Тема 2. Химическая кинетика (10 часов)

Основные понятия химической кинетики: скорость химической реакции, гомогенные и гетерогенные химические реакции, выражение для скорости химической реакции для этих типов реакций, скорость образования продукта и скорость расходования продукта, кинетические кривые; элементарные реакции, простые реакции, сложные реакции (обратимые, последовательные, параллельные); механизм реакции, элементарная стадия механизма, энергия активации, скорость лимитирующая стадия механизма, молекулярность реакции.

Формальная кинетика элементарных и формально простых гомогенных односторонних реакций в закрытых системах. Зависимость скорости реакции от концентрации реагентов (закон действующих масс или закон Гульдберга-Вааге). Константа

скорости химической реакции, ее размерности. Порядок реакции по веществу, общий (суммарный) порядок реакции. Аналитические выражения для зависимости концентрации исходного вещества от времени для элементарных и формально простых реакций первого, второго и третьего порядков в закрытых системах. Время полупревращения. Способы определения порядка реакции и константы скорости реакции для элементарных и формально простых реакций в закрытых системах: метод избыточных концентраций, метод начальных скоростей, метод Оствальда (по периоду полупревращения), метод Вант-Гоффа (метод логарифмирования).

Зависимость скорости реакции от температуры. Правило Вант-Гоффа. Температурный коэффициент Вант-Гоффа. Уравнение Аррениуса. Предэкспоненциальный множитель и его физический смысл, энергия активации. Определение предэкспоненциального множителя и энергии активации по уравнению Аррениуса графическим и аналитическим методом.

Теоретические представления химической кинетики. Теория активных столкновений. Теория активированного комплекса или переходного состояния.

Цепные реакции. Основные понятия кинетики цепных реакций: активная частица, неактивная молекула, свободные радикалы. Механизм цепных реакций, его стадии: зарождение цепи, развитие цепи, обрыв цепи (на примере фотохимического хлорирования метана или фотохимического получения хлороводорода из простых веществ). Длина цепи.

Катализ и катализаторы. Основные понятия катализа: катализ, катализатор, гомогенный и гетерогенный катализ, ферментативный катализ, металлокомплексный катализ. Причины каталитического действия (влияния катализатора на энергию активации и механизм реакции (слитный и отдельные механизмы катализа)). Активность и селективность катализатора. Ингибиторы.

Гомогенный кислотно-основной катализ: общий кислотный, специфический кислотный, общий основной и специфический основной виды катализа. Механизмы каталитических реакций, протекающих в условиях специфического кислотного и специфического основного катализа (на примере реакций этерификации и альдольно-кетоновой конденсации, соответственно).

Гетерогенный катализ. Механизм гетерогенного катализа на примере реакции восстановления этилена водородом на никелевом катализаторе. Каталитические яды.

Практическая работа № 6. Изучение зависимости скорости химической реакции от концентрации реагентов с использованием цифровой лаборатории по химии.

Практическая работа № 7. Изучение зависимости скорости химической реакции от температуры с использованием цифровой лаборатории по химии.

Практическая работа № 8. Изучение активности катализаторов на протекание химической реакции.

Практическая работа № 9. Изучение кинетики каталитического разложения пероксида водорода.

Раздел 2. Химические методы анализа (32 часа)

Тема 3. Основы качественного анализа (8 часов)

Аналитическая химическая реакция. Аналитические признаки. Требования к аналитической реакции. Чувствительность, специфичность, селективность. Типы химических реакций в химическом анализе. Групповые, селективные и специфические реагенты. Условия проведения аналитических реакций.

Систематический и подробный качественный анализ. Систематические методы анализа катионов: кислотно-щелочная схема анализа. Систематический анализ анионов.

Техника эксперимента в качественном анализе. Алгоритм анализа смеси катионов.
Алгоритм анализа неизвестного вещества.

Практическая работа № 10. Типы реакций в качественном анализе.

Практическая работа № 11. Систематический анализ смеси катионов.

Практическая работа № 12. Систематический анализ смеси анионов.

Практическая работа № 13. Качественный анализ неизвестной соли.

Тема 3. Основные понятия титриметрического анализа (2 часа)

Принципы титриметрического анализа. Реакции, используемые в титриметрии, требования к реакциям. Теоретические кривые титрования. Установление точки эквивалентности. Погрешность в титриметрических методах анализа.

Расчеты в титриметрическом методе анализа: эквивалент и закон эквивалентов. Статистическая обработка титриметрического эксперимента. Способы титрования: прямое титрование, обратное титрование, титрование по заместителю. Первичные и вторичные стандартные растворы. Техника титриметрического эксперимента. Посуда, применяемая в титриметрии. Приготовление стандартных растворов. Установка титра растворов титрантов. Общий алгоритм проведения титриметрического определения.

Тема 4. Методы кислотно-основного титрования (6 часов)

Теоретические основы методов. Теории кислот и оснований. Теория электролитической диссоциации и протолитическая теория Брэнстеда-Лоури. Кислотно-основное взаимодействие и количественная оценка кислотности и основности сильных и слабых кислот и оснований.

Кислотно-основное титрование. Классификация методов кислотно-основного титрования. Кривые титрования сильных одноосновных протолитов. Кривые титрования слабых одноосновных протолитов. Кривые титрования многоосновных кислот. Влияние разных факторов на кривые титрования. Определение точки эквивалентности. Кислотно-основные индикаторы. Стандартные растворы. Вещества, определяемые методом кислотно-основного титрования.

Практическая работа № 14. Приготовление и стандартизация раствора соляной кислоты.

Практическая работа № 15. Определение карбоната натрия.

Практическая работа № 16. Определение ортофосфорной кислоты.

Тема 5. Методы окислительно-восстановительного титрования (8 часов)

Теоретические основы методов. Окислительно-восстановительные системы: окислитель, восстановитель, электродный потенциал. Уравнение Нернста. Факторы, влияющие на потенциал.

Кривые редокс-титрования. Расчет теоретических кривых. Влияние условий титрования на ход кривых. Определение точки эквивалентности. Окислительно-восстановительные индикаторы. Классификация методов окислительно-восстановительного титрования. Особенности и возможности методов редокс-титрования: перманганометрия, иодометрия и иодиметрия.

Практическая работа № 17. Приготовление и стандартизация раствора перманганата калия (вторичного стандарта).

Практическая работа № 18а*. Определение железа(II) методом перманганометрии.

Практическая работа № 18б*. Определение пероксида водорода методом перманганометрии.

Практическая работа № 19а*. Определение дихромата калия методом обратного редокс-титрования.

Практическая работа № 19б*. Определение нитритов методом обратного редокс-титрования.

Практическая работа № 20. Определение содержания витамина С в продуктах питания йодометрическим методом.

** Учитель выбирает по одной практической работе на свое усмотрение.*

Тема 6. Методы комплексонометрического титрования (8 часов)

Теоретические основы комплексонометрического титрования. Реакции комплексообразования в титриметрическом анализе. Скорость и механизм комплексообразования. Комплексоны класса аминополикарбонновых кислот. Протолитические свойства ЭДТА. Хелатообразование ЭДТА с ионами металлов. Равновесие реакций комплексообразования. Условные константы устойчивости.

Выбор условий титрования. Кривые комплексонометрического титрования. Скачок на кривые титрования. Определение точки эквивалентности. Комплексонометрические индикаторы. Приемы улучшения избирательности титрования: влияние кислотности среды, маскирование. Прямые и косвенные способы комплексонометрического титрования.

Практическая работа № 21. Приготовление и стандартизация раствора ЭДТА.

Практическая работа № 22а*. Комплексонометрическое определение магния.

Практическая работа № 22б*. Комплексонометрическое определение кальция.

Практическая работа № 23. Жесткость воды, ее определение и устранение.

** Учитель выбирает одну практическую работу на свое усмотрение.*

Раздел 2. Физико-химические методы анализа (12 часов)

Тема 7. Спектральные методы анализа (3 часа)

Обзор и общая характеристика спектральных методов анализа. Атомно-эмиссионный анализ, его теоретические основы и разновидности (качественный и полуколичественный атомно-эмиссионный анализ, визуальный атомно-эмиссионный спектральный анализ), области применения.

Молекулярная спектроскопия. Методы оптической молекулярной спектроскопии: ИК-спектроскопия и спектроскопия в видимой и УФ-областях. Молекулярный абсорбционный анализ. Электронные переходы и спектры поглощения. Основной закон поглощения (закон Ламберта-Бугера-Бэра). Фотометрический и спектрофотометрический анализ. Условия фотометрического определения и их оптимизация.

Практическая работа № 24. Фотоколориметрическое определение концентрации дихромата калия в растворе.

Тема 10. Рефрактометрический метод анализа (1 часа)

Рефрактометрический метод, чувствительность, точность, область применения, достоинства и недостатки. Показатель преломления. Характеристика линий спектра и обозначения показателей преломления. Преломляющие свойства вещества, молярная рефракция, уравнение Лорентца-Лоренца.

Рефрактометры. Принцип действия. Рефрактометрическое измерение. Определение концентрации веществ в растворе методом калибровочного графика, по таблицам показателей преломления, рефрактометрического фактора и нахождения уравнения регрессии.

Тема 8. Электрохимические методы анализа (3 часа)

Обзор, общая характеристика электрохимических методов анализа, их аппаратное оформление и применение в анализе: потенциометрия, кулонометрия, амперометрическое титрование.

Кондуктометрия. Общая характеристика метода. Теоретические основы метода. Электропроводность. Закон Кольрауша. Кондуктометрическое титрование. Кривые кондуктометрического титрования. Аппаратное оформление метода.

Потенциометрия. Общая характеристика метода. Теоретические основы метода. Прямая потенциометрия. Электроды. Индикаторные электроды и электроды сравнения. Потенциометрическое титрование. Кривые титрования, их форма. Точка эквивалентности и симметрия кривой. Метод Грана для обработки кривых титрования.

Практическая работа № 25а*. Кондуктометрическое титрование раствора сильной кислоты.

Практическая работа № 25б*. Кондуктометрический анализ аммонийных удобрений.

Практическая работа № 26. Электрохимическое определение активной кислотности почвы.

** Учитель выбирает одну практическую работу на свое усмотрение.*

Тема 9. Хроматографические методы анализа (3 часа)

Общие вопросы теории хроматографических методов. Сущность методов хроматографии и их классификация. Хроматограмма, параметры удерживания на примере выходной кривой, полученной при проведении газовой хроматографии (высота пика, ширина пика, время удерживания, объем удерживания, «мертвое время») и хроматограммы на бумаге. Общая характеристика электрохимических методов анализа, их аппаратное оформление и применение в анализе: газовая, жидкостная, ионнообменная и гель-хроматография.

Бумажная хроматография и тонкослойная хроматография. Общая характеристика методов. Хроматографическая бумага и пластинка для проведения тонкослойной хроматографии. Подвижная фаза, неподвижная фаза. Элюент. Хроматографические параметры. Типы хроматограмм. Оборудование и методика эксперимента. Качественный и количественный анализ. Возможности методов.

Практическая работа № 27. Качественный анализ состава чернил методом тонкослойной хроматографии.

3. Тематическое планирование

№	Тема	Часы	Практические работы
1	Введение	2	1
Раздел 1. Теоретическое описание химических реакций		20	8
2	Тема 1. Химическая термодинамика	10	4
3	Тема 2. Химическая кинетика	10	4
Раздел 2. Химические методы анализа		32	14
4	Тема 3. Основы качественного анализа	8	4
5	Тема 4. Основные понятия титриметрического анализа	2	-
6	Тема 5. Методы кислотно-основного титрования	6	3
7	Тема 6. Методы окислительно-восстановительного титрования	8	4
8	Тема 7. Методы комплексонометрического титрования	8	3

Раздел 3. Физико-химические методы анализа		10	4
9	Тема 8. Спектральные методы анализа	3	1
10	Тема 9. Рефрактометрия	1	-
11	Тема 10. Электрохимические методы анализа	3	2
12	Тема 11. Хроматографические методы анализа	3	1
Итого часов		64	27