

Документ подписан электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 25.05.2025 16:40:48
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Феофанова М.А.

24 апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины

Кулонометрия и вольтамперометрия

Закреплена за кафедрой: **Неорганической и аналитической химии**

Направление подготовки: **04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Направленность (профиль): **Экспертная и медицинская химия: теория и практика.**

Квалификация: **Химик. Преподаватель химии**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **9**

Программу составил(и):

Тверь, 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Цель дисциплины: подготовка специалистов, владеющих теоретическими основами и практическими приемами кулонометрии и вольтамперометрии.

Задачи:

Подготовка студентов, умеющими реализовать возможности, заложенные в аппаратуру для проведения кулонометрии и вольтамперометрии путем разработки новых методик и реализации описанных методов, а также владеющими свободной эксплуатацией основных приборов для выполнения этих анализов, обычно имеющихся в химических лабораториях (кулонометры, потенциостаты, и т.д.)

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Физическая химия

Аналитическая химия

Физика

Неорганическая химия

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Преддипломная практика

Научно-исследовательская работа

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	6 ЗЕТ
Часов по учебному плану	216
в том числе:	
аудиторные занятия	69
самостоятельная работа	40
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-1.1: Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР

ПК-1.2: Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР

ПК-1.3: Готовит объекты исследования

ПК-2.1: Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч., с использованием патентных баз данных)

ПК-2.2: Анализирует и обобщает результаты патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии (химической техно-логии)

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	9

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом					
1.1	Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом	Лек	9	2		
	Раздел 2. Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе.					
2.1	Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе.	Лек	9	3		
	Раздел 3. Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе.					
3.1	Электрогравиметрическое определение содержания меди в модельной смеси.	Лаб	9	8		
3.2	Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии.	Лаб	9	6		
3.3	Определение содержания меди и свинца при совместном присутствии методом потенциостатической кулонометрии.	Лаб	9	6		
	Раздел 4. Косвенная кулонометрия (кулонометрическое титрование)					
4.1	Косвенная кулонометрия (кулонометрическое титрование)	Лек	9	6		
	Раздел 5. Косвенная кулонометрия (кулонометрическое титрование)					

5.1	Определение содержания HCl в модельной смеси методом кулонометрического титрования	Лаб	9	10		
5.2	Титрование электрогенерированным йодом	Лаб	9	10		
	Раздел 6. Вольтамперометрия.					
6.1	Вольтамперометрия.	Лек	9	4		
6.2	6. Определение содержания серебра в модельной смеси методом вольтамперометрии с применением вращающегося дискового электрода	Лаб	9	4		
6.3	7. Определение содержания серебра в модельной смеси методом инверсионной вольтамперометрии	Лаб	9	4		
6.4	Вольтамперометрическое титрование для определения содержания цинка в растворе	Лаб	9	4		
	Раздел 7. Инверсионная вольтамперометрия					
7.1	Инверсионная вольтамперометрия	Лек	9	2		
	Раздел 8. Самостоятельная работа					
8.1	1. Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом. 2. Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе. 3. Косвенная кулонометрия (кулонометрическое титрование) 4. Вольтамперометрия. 5 Инверсионная вольтамперометрия	Ср	9	40		
	Раздел 9. контроль					
9.1	Кулонометрия и вольтамперометрия	Экзамен	9	27		

Образовательные технологии

1. Введение:

Проектная технология

Информационные (цифровые) технологии

Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)

Список образовательных технологий

1	Проектная технология
2	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)
3	Информационные (цифровые) технологии

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные средства для проведения текущей аттестации приведены в приложении 2.

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства для проведения текущей аттестации приведены в приложении 2.

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Лабораторная работа №1

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла

Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл

Лабораторная работа №2

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла

Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл

Лабораторная работа №3

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла

Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл

Лабораторная работа №4

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла

Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл

Лабораторная работа №5

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла

Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл

Первая контрольная точка 30 баллов

Лабораторная работа №6

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла	
Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла	
Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл	
Лабораторная работа №7	
Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 3 балла	
Объяснение теоретических основ данной работы – 1 балла	
Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл	
Лабораторная работа №8	
Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 4 балла	
Объяснение теоретических основ данной работы – 3 балла	
Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -1 балл	
Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл	
Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – 1 балл	
Лабораторная работа №9	
Выполнение практической (экспериментальной) задачи – 4 балла	
Объяснение теоретических основ данной работы – 2 балла	
Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -2 балл	
Решение задачи на тему данной лабораторной работы – 1 балл	
Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – 1 балл	
Вторая контрольная точка	30
баллов	
Экзамен – итоговое тестирование по теме	40 баллов
Итого	100 баллов

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Сайт химического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»: http://www.chem.msu.ru/
----	---

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	OpenOffice
4	GIMP
5	Python

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
2	Репозиторий ТвГУ
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС ТвГУ

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-406	комплект учебной мебели, весы, лабораторные иономеры, портативные рН-метры, потенциостат-гальваностат, сканер, шкафы, компьютеры, гири

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические материалы и указания приведены в приложении 1.

Приложение 1

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МО-ДУЛЯ)

1. Содержание дисциплины.
2. Методические материалы для работы на лабораторных занятиях.
3. Методические материалы для подготовки к экзамену

1. Содержание дисциплины

Неравновесные методы электрохимического анализа. Вольтамперометрия, теоретические основы. Общая теория методов вольтамперометрии и модели вольтамперометрических датчиков. Взаимосвязь между фарадеевским током и потенциалом электрода. Математическая и электрическая модели вольтамперометрических датчиков.

Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постоянноточковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменноточковая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия. Хронопотенциометрия. Вольтамперометрия с электродами других типов. Вращающиеся дисковые электроды (с кольцом и без кольца). Вольтамперометрия с ультрамикрочэлектродами и на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз.

Инверсионная вольтамперометрия (ИВА). Электрохимическое концентрирование определяемых элементов. ИВА малорастворимых соединений. Адсорбционное концентрирование. ИВА в анализе твердых веществ. ИВА с ультрамикрочэлектродами.

Практическое применение методов вольтамперометрии. Типы измеряемых токов и диагностические критерии. Вольтамперометрия неорганических и комплексных соединений. Вольтамперометрия органических соединений, ее особенности. Применение медиаторов в вольтамперометрии органических соединений.

Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Способы модифицирования электродов (адсорбция модификатора на поверхности электрода, ковалентная пришивка функциональных групп и др.). Электрокатализ на химически модифицированных электродах. Концентрирование в объеме электрода.

Амперометрия и амперометрическое титрование. Амперометрические датчики. Амперометрические биосенсоры (на основе ферментных систем, на основе биоматериалов, амперометрические датчики в иммуноферментном анализе). Амперометрическое титрование с одним или с двумя поляризованными электродами. Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Прямая потенциостатическая кулонометрия. Кулонометрия при контролируемой силе тока. Электрогенерирование кулонометрических титрантов в неводных средах. Кулонометрическое определение неорганических и органических соединений.

Электрогравиметрия. Электрохимическое разделение металлов. Внутренний электролиз. Электрохимические сенсоры (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические сенсоры). Электрохимические детекторы (ЭХД) в проточных методах анализа. ЭХД для жидкостной хроматографии (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические детекторы). ЭХД для проточно-инжекционного анализа. ЭХД для капиллярного зонного электрофореза.

Методические материалы для работы на лабораторных занятиях

Перечень лабораторных работ

1. Электрогравиметрическое определение содержания меди в модельной смеси.
2. Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии.
3. Определение содержания меди и свинца при совместном присутствии методом потенциостатической кулонометрии.
4. Определение содержания HCl в модельной смеси методом кулонометрического титрования
5. Титрование электрогенерированным йодом
6. Определение содержания серебра в модельной смеси методом вольтамперометрии с применением вращающегося дискового электрода
7. Определение содержания серебра в модельной смеси методом инверсионной вольтамперометрии
8. Вольтамперометрическое титрование для определения содержания цинка в растворе
9. Электросинтез полианилина методом циклической вольтамперометрии

Методические материалы для подготовки к экзамену.

Программа итогового экзамена

1. Неравновесные методы электрохимического анализа. Вольтамперометрия, теоретические основы. Общая теория методов вольтамперометрии и модели вольтамперометрических датчиков. Взаимосвязь между фарадеевским током и потенциалом электрода. Математическая и электрическая модели вольтамперометрических датчиков.
2. Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постоянноточковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменноточковая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия. Хронопотенциометрия.
3. Вольтамперометрия с электродами других типов. Вращающиеся дисковые электроды (с кольцом и без кольца). Вольтамперометрия с ультрамикрoэлектродами и на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз.
4. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА). Электрохимическое концентрирование определяемых элементов. ИВА малорастворимых соединений. Адсорбционное концентрирование. ИВА в анализе твердых веществ. ИВА с ультрамикрoэлектродами .
5. Практическое применение методов вольтамперометрии. Типы измеряемых токов и диагностические критерии. Вольтамперометрия неорганических и комплексных соединений. Вольтамперометрия органических соединений, ее особенности. Применение медиаторов в вольтамперометрии органических соединений.

6. Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Способы модифицирования электродов (адсорбция модификатора на поверхности электрода, ковалентная пришивка функциональных групп и др.). Электрокатализ на химически модифицированных электродах. Концентрирование в объем электрода.
7. Амперометрия и амперометрическое титрование. Амперометрические датчики. Амперометрические биосенсоры (на основе ферментных систем, на основе биоматериалов,
8. амперометрические датчики в иммуноферментном анализе). Амперометрическое титрование с одним или с двумя поляризованными электродами.
9. Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Прямая потенциостатическая кулонометрия. Кулонометрия при контролируемой силе тока. Электрогенерирование кулонометрических титрантов в неводных средах. Кулонометрическое определение неорганических и органических соединений.
10. Электрогравиметрия. Электрохимическое разделение металлов. Внутренний электролиз. Электрохимические сенсоры (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические сенсоры).
11. Электрохимические детекторы (ЭХД) в проточных методах анализа. ЭХД для жидкостной хроматографии (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические детекторы). ЭХД для проточно-инжекционного анализа. ЭХД для капиллярного зонного электрофореза.

Приложение 2

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1

Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач сложности, поставленных специалистом более высокой квалификации

Номер задания	Правильный ответ (ключ)	Содержание вопроса/задания	Критерии оценивания заданий
Задания закрытого типа			
1	А	Какой знак имеет ЭДС электролитической ячейки в кулонометрии? а) ЭДС < 0; б) ЭДС = 0; в) ЭДС > 0; г) ЭДС ≥ 0.	1 балл за правильный ответ

2	<p>Количество электричества (Q) – это электрический заряд, который протекает за определенное время (t) через поперечное сечение проводника</p> <p>при заданной силе тока (I). При постоянной силе тока количество электричества рассчитывается по формуле</p> $Q = I \cdot t.$ <p>При изменении тока во времени расчет проводится по формуле:</p> $Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) \cdot dt.$	<p>Что означает понятие «количество электричества». Как рассчитывается эта величина?</p>	1 балл за правильный ответ
3	<p>Формула объединенного закона электролиза:</p> $m(X) = \frac{Q \cdot M(X)}{z \cdot F}$ <p>где m(X) – масса электропревращенного вещества X, г;</p> <p>Q – количество электричества, затраченного на электролиз, Кл;</p> <p>F – число Фарадея, Кл/моль;</p> <p>M(X) – молярная масса вещества X, г/моль;</p> <p>z – число эквивалентности.</p>	<p>Напишите формулу объединенного закона Фарадея для расчета массы электропревращенного вещества.</p>	1 балл за правильный ответ
4	<p>Методы вольтамперометрии основаны на изучении зависимости</p>	<p>На чем основаны методы вольтамперометрии?</p>	

	<p>силы тока от напряжения поляризации микроэлектрода, на поверхности которого протекает электролиз анализируемого вещества или одного из компонентов титруемой системы.</p>		
5	В	<p>Как поляризуются электроды вольтамперометрической ячейки?</p> <p>а) рабочий электрод и электрод сравнения практически не поляризуются;</p> <p>б) происходит кинетическая и концентрационная поляризация рабочего электрода;</p> <p>в) происходит концентрационная поляризация только рабочего электрода;</p> <p>г) поляризуются оба электрода (рабочий и электрод сравнения).</p>	
Задания открытого типа			
6	<p>Содержание меди в алюминиевых сплавах определяют кулонометрическим титрованием, которое проводят электрогенерируемым оловом (II) из олова (IV):</p> $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{Cu}^+$ <p>Какова относительная ошибка этого метода, если при анализе 1,2 г сплава, содержащего 1,5% меди, сила тока составляла 88 мА, а эквивалентная точка была достигнута через 5 мин?</p>	3 балла	
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Найдем массу меди, исходя из количества пропущенного электричества</p> $Q = It = 0,088(\text{А}) \cdot 5(\text{мин}) \cdot 60(\text{с}) = 26,4 (\text{Кл})$ $m_{\text{Cu}} = k_{\text{э}}Q = \frac{26,4(\text{Кл}) \cdot 63,54 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 0,0174 (\text{г})$		1 балл	
<p>2. Найдем массу меди, содержащейся в сплаве</p>		1 балл	

	$m_{\text{Cu}} = \frac{1,5\% \cdot 1,2(\text{г})}{100\%} = 0,018 (\text{г})$ <p>3. Относительная ошибка метода</p> <p>$\varepsilon = \cdot(0,018 - 0,0174 / 0,018) 100\%$ будет равна 3,3 %.</p> <p>Ответ: $\varepsilon = 3,3\%$</p>	<p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>
7	<p>Электролиз раствора AgNO_3 с серебряным анодом продолжался 2 часа. Ток в цепи за это время изменяли по закону $I = 1/(a + t)$, где t – время (ч), a – константа. Вычислить, на сколько уменьшилась масса анода за время электролиза, если скорость растворения анода в конце электролиза равна $4,48 \cdot 10^{-4}$ г/с.</p>	
	<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Найдем константу a из конечной скорости растворения:</p> $v_{t=2} = \frac{I}{zF} = \frac{1/(a+2)}{zF} = 4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})$ $I_{t=2} = v z F = \frac{4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})}{107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})} \cdot 1 \cdot 96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = 0,401$ $a = \frac{1}{I_{t=2}} - 2(\text{ч}) = 0,495$ <p>2. Найдем количество электричества, прошедшего через раствор за 2 часа</p> $Q = \int_0^2 I dt = \ln(t+a) \Big _0^2 = \ln(2+0,495) - \ln(0,495) = 1,618 (\text{А} \cdot \text{ч}) = 5823,57 (\text{Кл})$ <p>3. Найдем массу растворившегося серебра</p> $m_{\text{Ag}} = \frac{Q \cdot M}{zF} = \frac{5823,57 (\text{Кл}) \cdot 107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 6,52 (\text{г})$ <p>Ответ: $m_{\text{Ag}} = 6,52 (\text{г})$</p>	<p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>

8	<p>Раствор, содержащий 10 моль/м³ Sn⁴⁺ и 30 моль/м³ Sn²⁺, изучали вольтамперометрически, используя в качестве индифферентного электролита KCl. Каковы будут параметры полной вольтамперометрической кривой, которую можно получить на идеально инертном индикаторном электроде (относит. насыщ. КЭ), допуская, что коэффициенты диффузии ионов Sn⁴⁺ и Sn²⁺ равны между собой, если сила наблюдаемого предельного катодного тока равна 16,3 мкА.</p>																			
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Потенциал полуволны равен стандартному потенциалу, если коэффициенты диффузии равны. Исходя из уравнения Нернста, получаем</p> $E = E_0 - 2,3RT / 2F (\lg 0,03/0,01)$ <p>2. Точка пересечения волны и нулевой линии имеет потенциал</p> $0,139 - 0,014 = 0,125 \text{ В относительно насыщ. КЭ.}$ <p>3. Сила анодного диффузионно-ограниченного тока втрое больше, чем катодного, и равна 48,9 мкА.</p> <p>Ответ: 48,9 мкА</p>		<p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>																		
9	<p>При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:</p> <table border="1" data-bbox="395 1070 981 1153"> <tr> <td>CZn²⁺, %</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>h, мм</td> <td>8,0</td> <td>14,0</td> <td>22,0</td> <td>28,0</td> <td>37,0</td> </tr> </table> <p>Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе методом калибровочного графика, если высота полярографической волны (h) раствора 25,0 мм</p>	CZn ²⁺ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	h, мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0							
CZn ²⁺ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50															
h, мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0															
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>Строим график зависимости высоты полярографической волны h от содержания цинка (%). По графику находим содержание цинка, которое составляет 0,35 %</p> <p>Ответ: 0,35%.</p>		<p>1 балл</p> <p>Итого: 1 балл</p>																		
10	<p>Определите содержание (г) Fe²⁺ в навеске исследуемого вещества, если после проведения амперометрического титрования раствором 0,01 моль-экв/л K₂Cr₂O₇ с титром по Fe²⁺ 2,8 · 10⁻⁴ г/мл получены следующие результаты:</p> <table border="1" data-bbox="395 1680 1141 1825"> <tr> <td>VK₂Cr₂O₇, мл</td> <td>0,00</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> <td>0,60</td> <td>0,70</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>I, мкА</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> </table>	VK ₂ Cr ₂ O ₇ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	I, мкА	120	80	60	40	20	10	10	10	
VK ₂ Cr ₂ O ₇ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80												
I, мкА	120	80	60	40	20	10	10	10												
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Находим точку эквивалентности по графику амперометрического титрования.</p> <p>2. Объем раствора K₂Cr₂O₇ в точке эквивалентности 0,55 мл.</p>		<p>1 балл</p>																		

3. Рассчитываем содержание Fe ²⁺ в анализируемой навеске исследуемого вещества: $m_{Fe^{2+}} = VK_2Cr_2O_7 \cdot TK_2Cr_2O_7/Fe^{2+} = 0,55 \cdot 2,8 \cdot 10^{-4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ г.}$ Ответ: $1,54 \cdot 10^{-4} \text{ г.}$	1 балл 1 балл Итого: 3 балла
--	--

ПК-2 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы

Номер задания	Правильный ответ (ключ)	Содержание вопроса/задания	Критерии оценивания заданий
<i>Задания закрытого типа</i>			
1	100 %-ный выход по току означает, что при проведении кулонометрических измерений практически все количество электричества расходуется на электролиз определяемого вещества и побочные электрохимические реакции отсутствуют	Что означает 100 % - ный выход по току?	1 балл за правильный ответ
2	Сосуд с электродами для кулонометрических измерений называется электролитической ячейкой	Как называется электрохимическая ячейка, используемая в кулонометрическом анализе?	1 балл за правильный ответ
3	В	Какой способ определения количества электричества нельзя использовать в методе прямой потенциостатической кулонометрии? а) расчет количества электричества на основе графической зависимости Igl от t;	1 балл за правильный ответ

		<p>б) определение количества электричества с помощью кулометра;</p> <p>в) расчет количества электричества по формуле $Q = I \cdot t$;</p> <p>г) определение количества электричества планометрическим методом.</p>	
4	<p>За счет небольшой площади микроэлектрода плотность тока на его поверхности значительно выше, чем у обычного электрода. Он легко поляризуется и выполняет роль рабочего электрода, на котором протекает электролиз анализируемого вещества. Электрод с большой поверхностью практически не поляризуется. Его потенциал остается постоянным на уровне равновесного значения. Такой электрод используется как электрод сравнения, и вольтамперограмма отражает изменение электрических параметров системы, обусловленное процессом электрохимического превращения на рабочем микроэлектроде.</p>	<p>Почему в вольтамперометрии площадь электрода сравнения многократно превышает площадь рабочего электрода?</p>	1 балл за правильный ответ
5	В	<p>Как поляризуются электроды вольтамперометрической ячейки?</p>	1 балл за правильный ответ

	<p>а) рабочий электрод и электрод сравнения практически не поляризуются;</p> <p>б) происходит кинетическая и концентрационная поляризация рабочего электрода;</p> <p>в) происходит концентрационная поляризация только рабочего электрода;</p> <p>г) поляризуются оба электрода (рабочий и электрод сравнения).</p>	
Задания открытого типа		
6	<p>Содержание меди в алюминиевых сплавах определяют кулонометрическим титрованием, которое проводят электрогенерируемым оловом (II) из олова (IV):</p> $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{Cu}^+$ <p>Какова относительная ошибка этого метода, если при анализе 1,2 г сплава, содержащего 1,5% меди, сила тока составляла 88 мА, а эквивалентная точка была достигнута через 5 мин?</p>	3 балла
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Найдем массу меди, исходя из количества пропущенного электричества</p> $Q = It = 0,088(\text{А}) \cdot 5(\text{мин}) \cdot 60(\text{с}) = 26,4 (\text{Кл})$ $m_{\text{Cu}} = k_{\text{э}}Q = \frac{26,4(\text{Кл}) \cdot 63,54 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 0,0174 (\text{г})$ <p>2. Найдем массу меди, содержащейся в сплаве</p> $m_{\text{Cu}} = \frac{1,5\% \cdot 1,2(\text{г})}{100\%} = 0,018 (\text{г})$ <p>3. Относительная ошибка метода</p> $\varepsilon = \cdot(0,018 - 0,0174 / 0,018) 100\% \text{ будет равна } 3,3 \%$ <p>Ответ: $\varepsilon = 3,3 \%$</p>		<p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>
7	<p>Электролиз раствора AgNO_3 с серебряным анодом продолжался 2 часа. Ток в цепи за это время изменяли по закону $I = 1/(a + t)$, где t – время (ч), a – константа. Вычислить, на сколько уменьшилась масса ано-</p>	

	<p>да за время электролиза, если скорость растворения анода в конце электролиза равна $4,48 \cdot 10^{-4}$ г/с.</p>	
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Найдем константу a из конечной скорости растворения:</p> $v_{t=2} = \frac{I}{zF} = \frac{1/(a+2)}{zF} = 4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})$ $I_{t=2} = v z F = \frac{4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})}{107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})} \cdot 1 \cdot 96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = 0,401$ $a = \frac{1}{I_{t=2}} - 2(\text{ч}) = 0,495$ <p>2. Найдем количество электричества, прошедшего через раствор за 2 часа</p> $Q = \int_0^2 I dt = \ln(t+a) \Big _0^2 = \ln(2+0,495) - \ln(0,495) = 1,618 (\text{А} \cdot \text{ч}) = 5823,57 (\text{Кл})$ <p>3. Найдем массу растворившегося серебра</p> $m_{\text{Ag}} = \frac{Q \cdot M}{zF} = \frac{5823,57 (\text{Кл}) \cdot 107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 6,52 (\text{г})$ <p>Ответ: $m_{\text{Ag}} = 6,52 (\text{г})$</p>		<p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>
8	<p>Раствор, содержащий 10 моль/м³ Sn⁴⁺ и 30 моль/м³ Sn²⁺, изучали вольтамперометрически, используя в качестве индифферентного электролита KCl. Каковы будут параметры полной вольтамперометрической кривой, которую можно получить на идеально инертном индикаторном электроде (относит. насыщ. КЭ), допуская, что коэффициенты диффузии ионов Sn⁴⁺ и Sn²⁺ равны между собой, если сила наблюдаемого предельного катодного тока равна 16,3 мкА.</p>	
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Потенциал полуволны равен стандартному потенциалу, если коэффициенты диффузии равны. Исходя из уравнения Нернста, получаем</p> $E = E_0 - 2,3RT / 2F (\lg 0,03/0,01)$ <p>2. Точка пересечения волны и нулевой линии имеет потенциал</p>		<p>1 балл</p> <p>1 балл</p>

<p>$0,139 - 0,014 = 0,125$ В относительно насыщ. КЭ.</p> <p>3. Сила анодного диффузионно-ограниченного тока втрое больше, чем катодного, и равна 48,9 мкА.</p> <p>Ответ: 48,9 мкА</p>		<p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>																		
9	<p>При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:</p> <table> <tr> <td>CZn²⁺, %</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>h, мм</td> <td>8,0</td> <td>14,0</td> <td>22,0</td> <td>28,0</td> <td>37,0</td> </tr> </table> <p>Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе методом калибровочного графика, если высота полярографической волны (h) раствора 25,0 мм.</p>	CZn ²⁺ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	h, мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0							
CZn ²⁺ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50															
h, мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0															
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>Строим график зависимости высоты полярографической волны h от содержания цинка (%). По графику находим содержание цинка, которое составляет 0,35 %</p> <p>Ответ: 0,35%.</p>		<p>1 балл</p> <p>Итого: 1 балл</p>																		
10	<p>Определите содержание (г) Fe²⁺ в навеске исследуемого вещества, если после проведения амперометрического титрования раствором 0,01 моль-экв/л K₂Cr₂O₇ с титром по Fe²⁺ $2,8 \cdot 10^{-4}$ г/мл получены следующие результаты:</p> <table> <tr> <td>VK₂Cr₂O₇, мл</td> <td>0,00</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> <td>0,60</td> <td>0,70</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>I, мкА</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> </table>	VK ₂ Cr ₂ O ₇ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	I, мкА	120	80	60	40	20	10	10	10	
VK ₂ Cr ₂ O ₇ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80												
I, мкА	120	80	60	40	20	10	10	10												
<p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Находим точку эквивалентности по графику амперометрического титрования.</p> <p>2. Объем раствора K₂Cr₂O₇ в точке эквивалентности 0,55 мл.</p> <p>3. Рассчитываем содержание Fe²⁺ в анализируемой навеске исследуемого вещества:</p> <p>$m_{Fe^{2+}} = V_{K_2Cr_2O_7} \cdot T_{K_2Cr_2O_7/Fe^{2+}} = 0,55 \cdot 2,8 \cdot 10^{-4} = 1,54 \cdot 10^{-4}$ г.</p> <p>Ответ: $1,54 \cdot 10^{-4}$ г.</p>		<p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p>																		

5.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

«Вольтамперометрический метод анализа»

1. Под влиянием каких факторов угол наклона прямых в системе координат $E - \lg[i/(id - i)]$ может отличаться от теоретического?

Укажите правильный ответ.

а. Когда потенциал полуволны лежит в области далеких отрицательных потенциалов.

б. Если исследуемый электродный процесс необратим.

в. Если используется капилляр с очень медленно образующейся каплей.

г. При повышенных температурах.

2. Какими методами можно устранить максимумы разного рода?

Укажите правильный ответ.

а. Максимум третьего рода — уменьшением скорости наложения потенциала.

б. Максимум первого рода - повышением температуры.

в. Максимум четвертого рода - введением поверхностно-активного вещества.

г. Максимум второго рода — дополнительной очисткой поверхности платинового электрода.

3. Вещество А в диапазоне потенциалов от 0 до -1,5 в образует две волны с потенциалами полуволн -0,4 и -0,8 в относительно донной ртути,

4. В чем преимущество амперометрического титрования с индикатором?

Укажите правильный ответ.

а. Титрование более точно.

б. Особых преимуществ нет.

в. Можно титровать при более положительных потенциалах.

г. Титруемый ион и титрант могут быть полярографически неактивны.

5. В каких случаях целесообразно применение амальгамной полярографии с накоплением? Укажите правильный ответ.

а. Для определения больших концентраций ионов.

б. Для определения ионов, восстанавливающихся при сильно отрицательных потенциалах.

в. Для определения малых концентраций ионов, восстанавливающихся до металла.

г. Для определения малых концентраций ионов, изменяющих свою валентность.

6. В чем преимущество работы методом добавок? Укажите правильный ответ.

а. Можно определять концентрации, не определяемые методом калибровочного графика.

б. Этот метод быстрее, не требует построения калибровочного графика и дает возможность полярографировать исследуемый и стандартный растворы в одинаковых условиях.

в. Этим методом можно определять ионы, высота волны которых не пропорциональна концентрации.

г. Можно использовать ртутный электрод в анодной области.

7. В каких случаях можно вести амперометрическое титрование ионов в анодной области? Укажите правильный ответ.

а. С ртутным капельным электродом легко восстанавливающимися ионами.

б. С платиновым электродом ионами, восстанавливающимися в далекой катодной области.

в. С платиновым электродом легко окисляющимися веществами.

г. С ртутным капельным электродом различными комплексобразующими веществами.

10. Какие преимущества имеет переменноточковая полярография по сравнению с классической? Укажите правильный ответ.

а. Большая чувствительность и разрешающая способность.

б. Быстрота.

в. Можно снимать полярограммы в далекой анодной области.

г. Никаких преимуществ по сравнению с классической полярографией нет.

«Электролиз и кулонометрический метод анализа»

1. Как изменяется электрохимический эквивалент металлов в ряду периодической системы при переходе от I к III группе?

Укажите правильный ответ.

а. Уменьшается.

б. Остается неизменным.

в. Слабо возрастает.

г. Проходит через минимум.

2. Какой из приведенных электрохимических эквивалентов для хлора правилен?

Укажите правильный ответ.

а. $0,133 \text{ г}/(\text{а} \cdot \text{ч})$.

б. $3,68 \text{ г}/(\text{а} \cdot \text{мин})$.

в. $3,68 \text{ мг}/\text{к}$.

г. $0,516 \text{ мл}/(\text{ма} \cdot \text{мин})$.

3. Как изменяется в процессе электролиза потенциал цинкового электрода, опущенного в раствор сульфата цинка?

Укажите правильный ответ.

- а. Потенциал остается неизменным.
 - б. Потенциал увеличивается.
 - в. Потенциал сначала уменьшается, а затем увеличивается.
 - г. Потенциал уменьшается.
4. Для каких целей проводят электролиз при контролируемом потенциале?

Укажите правильный ответ.

- а. Для ускорения процесса электролиза.
 - б. Для предотвращения выделения металла с близким более положительным потенциалом.
 - в. Для получения более устойчивых осадков.
 - г. Для предотвращения выделения металла с близким более отрицательным потенциалом.
6. Для каких целей при электролитическом выделении металлов вводят комплексообразователи? . Укажите правильный ответ.

- а. Для ускорения процесса электролитического выделения.
 - б. Для выделения металлов, которые не выделяются электролизом при обычных условиях.
 - в. Для предотвращения выделения водорода и образования губчатых осадков.
 - г. Для получения более прочных осадков и разделения некоторых металлов.
7. Для каких целей применяют электролиз на ртутном катоде?
Укажите правильный ответ.

- а. Для разделения металлов, образующих и не образующих амальгамы.
 - б. Для ускорения процесса электролиза.
 - в. Для разделения металлов с близкими электродными потенциалами,
 - г. Для выделения металлов в более удобной весовой форме.
8. Каковы преимущества внутреннего электролиза с диафрагмой перед внутренним электролизом без нее?

Укажите правильный ответ.

- а. Можно разделять металлы с близкими электродными потенциалами.
 - б. Возрастает скорость электролиза.
 - в. Устраняется явление цементации и увеличивается допустимая концентрация определяемых ионов.
 - г. Повышается точность анализа.
9. Можно ли вести кулонометрическое титрование при постоянном потенциале?

Укажите правильный ответ.

- а. Нельзя.
- б. Можно, так же как и при постоянной силе тока.
- в. Можно, но в цепь надо включить кулонометр для определения расхода тока на получение титранта.
- г. Можно, но при этом требуется более точно устанавливать потенциал и поддерживать его постоянным.

10. Каковы преимущества кулонометрического титрования при постоянном токе?

Укажите правильный ответ.

- а. Это титрование более быстрое, чем обычное.
- б. Для титрования можно использовать нестойкие реагенты и само титрование точнее обычного.
- в. Этим методом можно точно определять нестойкие, быстро окисляющиеся на воздухе вещества.
- г. Особых преимуществ это титрование не имеет.

Требования к рейтинг-контролю.

Лабораторная работа №1

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №2

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №3

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №4

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №5

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Первая контрольная точка30 баллов

Лабораторная работа №6

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Лабораторная работа №7

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Лабораторная работа №8

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **4 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **3 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №9

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **4 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **2 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**2 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – **1**

балл Вторая контрольная точка 30 баллов

Экзамен – итоговое тестирование по теме 40 баллов

Итого 100 баллов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

Основная литература: 1. Тягливый, А. С. Электрохимические методы анализа : учебное пособие / А. С. Тягливый. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. — 88 с. — ISBN 978-5-9275-3870-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPRSMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/121893.html>

Дополнительная литература: 1. Потенциометрические и вольтамперометрические методы исследования и анализа : учебно-методическое пособие / Н.А. Малахова, А.В. Ивойлова, Н.Н. Малышева [и др.] ; под общ. ред. С. Ю. Сараевой ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019. — 163 с. : схем., табл., ил. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=697456>

Приложение 4

Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			
3.			

