

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Факультет химии и высоких технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

Хагуров Т.А.

подпись

"31" мая 2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.06 ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки/специальность	04.04.01 Химия <small>(код и наименование направления подготовки/специальности)</small>
Направленность (профиль) / специализация	Электрохимия <small>(наименование направленности (профиля)специализации)</small>
Форма обучения	очная <small>(очная, очно-заочная, заочная)</small>
Квалификация	магистр

Краснодар 2024

Рабочая программа дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки / специальности 04.04.01 Химия.

Программу составила:

Н.А. Кононенко, проф. кафедры физ. химии,  
д-р хим. наук, проф.



Рабочая программа дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов» утверждена на заседании кафедры физической химии протокол № 12 «23» апреля 2024 г.

Заведующий кафедрой физической химии Фалина И.В.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета химии и высоких технологий

протокол № 7 «20» мая 2024 г.

Председатель УМК факультета

Беспалов А.В.



Рецензенты:

Филиппов А.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры высшей математики Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина

Цюпко Т.Г., д-р хим. наук, профессор кафедры аналитической химии ФГБОУ ВО «КубГУ»

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

### 1.1 Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов» состоит в формировании у студентов системных знаний в области электродных процессов с учетом фундаментальных законов классической электрохимии.

### 1.2 Задачи дисциплины

В задачи учебной дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов» входит:

- сформировать знания об электрохимической термодинамике: теории электродных потенциалов и электродвижущей силы в электрохимических системах, теории двойного электрического слоя на границе раздела металл/раствор электролита;
- сформировать знания об электродной кинетике: основным закономерностям диффузионной кинетики и теории вольтамперных характеристик электродных систем в условиях стационарной и нестационарной диффузии, теории замедленного разряда-ионизации;
- сформировать умения экспериментально исследовать основные характеристики электродных систем;
- сформировать у студентов навыки самостоятельной аналитической и научно-исследовательской работы, работы с учебной и научной литературой.

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Термодинамика и кинетика электродных процессов» относится к обязательной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана. Изучение дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов» должно предшествовать изучению таких дисциплин, как «Современные методы исследования в электрохимии». При освоении данной дисциплины студенты должны иметь знания по физической химии и электрохимии, умение работать с химической посудой и реактивами. В рамках данной дисциплины у студентов формируются знания, умения и навыки, которые обеспечат формирование компетенций, необходимых для успешной научно-исследовательской работы в выбранной области химии.

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора	Результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-1. Способен выполнять комплексные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в избранной области химии или смежных наук с использованием современных приборов, программного обеспечения и баз данных профессионального назначения.</b>	
ИОПК-1.1. Имеет систематические теоретические и практические знания в избранной области химии или смежных наук, анализирует возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных теорий, осмысливает и делает обоснованные выводы из научной и учебной литературы.	Знает основы электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов.
	Умеет анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы.
	Владеет основными понятиями и терминологией в области классической электрохимии.
ИОПК-1.2. Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук.	Знает методы исследования электродных систем.
	Умеет использовать существующие методики изучения электродных систем
	Владеет теоретическими представлениями о явлениях на межфазных границах электрод/раствор.

Код и наименование индикатора	Результаты обучения по дисциплине
ИОПК-1.3. Использует современное оборудование, программное обеспечение, профессиональные базы данных и расчетно-теоретические методы химии для решения профессиональных задач.	Знает теоретические основы кинетики электродных процессов.
	Умеет обобщать результаты экспериментального исследования электродных систем и выполнять теоретические расчеты.
	Владеет навыками статистической обработки экспериментальных данных, полученных на современном оборудовании.
<b>ОПК-2. Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук.</b>	
ИОПК-2.1. Проводит критический анализ результатов собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно их интерпретирует.	Знает закономерности протекания явлений переноса в электродных системах.
	Умеет проводить критический анализ результатов экспериментальных исследований электродных систем.
	Владеет способностью выполнять теоретические расчеты в электрохимических системах.
ИОПК-2.2. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук	Знает химические реакции, протекающие в электродных системах.
	Умеет интерпретировать полученные экспериментальные результаты с использованием литературных данных.
	Владеет навыками формулировать заключения и выводы по результатам экспериментальных исследований электродных систем.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц (252 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)	
		1	2
<b>Контактная работа, в том числе:</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	<b>100</b>	<b>68</b>	<b>32</b>
занятия лекционного типа	48	32	16
лабораторные занятия	36	36	-
практические занятия	16	-	16
семинарские занятия	-	-	-
<b>Иная контактная работа:</b>			
Контроль самостоятельной работы (КСР)			
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,5	0,2	0,3
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>	<b>124,8</b>	<b>75,8</b>	<b>49</b>
Оформление лабораторных работ	35	20	15
Самостоятельное изучение теоретического материала	40,8	25,8	15
Подготовка к текущему контролю	49	30	19
<b>Контроль:</b>			
Подготовка к экзамену	26,7	-	26,7
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>252</b>	<b>144</b>	<b>108</b>
<b>в том числе контактная работа</b>	<b>100,5</b>	<b>68,2</b>	<b>32,3</b>

	зач. ед	7	4	3
--	---------	---	---	---

## 2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 1 семестре (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	СРС
1.	Введение. Общие положения	26	6	-	-	20
2.	Основы электрохимической термодинамики	42	10	-	12	20
3.	Структура и свойства двойного электрического слоя на границе металл/раствор	40	8	-	12	20
4.	Методы экспериментального изучения строения двойного электрического слоя	35,8	8	-	12	15,8
<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>		143,8	32	-	36	75,8
	Контроль самостоятельной работы (КСР)					
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,2				
	Подготовка к текущему контролю	-				
	Общая трудоемкость по дисциплине	144				

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые во 2 семестре (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	СРС
1.	Основы кинетики электродных процессов	25	4	6	-	15
2.	Диффузионная кинетика	27	6	6	-	15
3.	Электрохимическая поляризация	29	6	4	-	19
<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>		81	16	16		49
	Контроль самостоятельной работы (КСР)					
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3				
	Подготовка к текущему контролю	26,7				
	Общая трудоемкость по дисциплине	108				

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

## 2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1.	Введение. Общие положения	Теория равновесных потенциалов в двухфазной системе с разнородной проводимостью металл/раствор электролита. Электрохимический потенциал, внутренний потенциал, гальвано потенциал.	устный опрос
2.	Введение. Общие положения	Понятие о внешнем и поверхностном потенциале, вольта потенциал. Сущность проблем Вольта и её современное решение. Потенциалы нулевого заряда и механизм возникновения ЭДС.	устный опрос
3.	Основы электрохимической	Основные термодинамические уравнения и связь между величиной ЭДС и термодинамическими характеристиками	устный опрос ЛР1, ЛР2

	термодинамики	химической реакции в гальваническом элементе. Свободная энергия Гиббса, уравнения Нернста, Гиббса-Гельмгольца.	
4.	Основы электрохимической термодинамики	Классификация электродов и электрохимических цепей. Возможности потенциометрии.	устный опрос, ЛР3, ЛР4
5.	Структура и свойства двойного электрического слоя на границе металл/раствор	Причины образования ДЭС. Связь электрических и адсорбционных явлений на границе раздела фаз. Динамический характер электрохимического равновесия. Теоретическое и прикладное значение изучения строения ДЭС на границе электрод/раствор электролита	устный опрос,
6.	Методы экспериментального изучения строения двойного электрического слоя	Методы экспериментального изучения строения ДЭС: адсорбционный, емкостной, метод электрокапиллярных кривых.	устный опрос, ЛР3, ЛР4
7.	Методы экспериментального изучения строения двойного электрического слоя	Теория электрокапиллярных явлений. Вывод основного уравнения электрокапиллярности и его анализ. Модельные представления о строении ДЭС.	Тест №1
8.	Основы кинетики электродных процессов	Специфические особенности электрохимических процессов и отличия от химических: гетерогенность, наличие направленных потоков заряженных частиц, зависимость процесса от электрических параметров, скорость электродного процесса.	устный опрос, ЛР5, ЛР6,
9.	Диффузионная кинетика	Закономерности диффузионной кинетики в стационарных условиях. Особенности кинетических уравнений в условиях нестационарной диффузии на ртутном капельном электроде.	устный опрос,
10.	Диффузионная кинетика	Поляррографический метод анализа. Метод вращающегося дискового электрода.	устный опрос,
11.	Электрохимическая поляризация	Электрохимическая поляризация (перенапряжение). Ток обмена. Основные уравнения теории замедленного разряда, их вид и анализ.	устный опрос,
12.	Электрохимическая поляризация	Энергия активации электрохимической стадии. Уравнение Тафеля. Форма поляризационных кривых.	устный опрос, ЛР7, ЛР8,
13.	Электрохимическая поляризация	Прикладные аспекты электрохимии	устный опрос, ЛР9, ЛР10

### 2.3.2 Занятия семинарского типа (практические / семинарские занятия)

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1.	Методы экспериментального изучения строения двойного электрического слоя	Модельные представления о строении ДЭС.	устный опрос
2.	Диффузионная кинетика	Поляррография	устный опрос
3.	Диффузионная кинетика	Вращающийся дисковый электрод	устный опрос
4.	Электрохимическая поляризация	Прикладные аспекты электрохимии	устный опрос

### 2.3.3 Занятия семинарского типа (лабораторные работы)

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1.	Основы электрохимической термодинамики	Измерение э.д.с. гальванических элементов	ЛР1

2.	Основы электрохимической термодинамики	Измерение э.д.с. концентрационных цепей.	ЛР2
3.	Основы электрохимической термодинамики	Изучение функции ионоселективных электродов.	ЛР3
4.	Основы электрохимической термодинамики	Потенциометрическое титрование.	ЛР4
5.	Основы кинетики электродных процессов	Платинирование электродов для кондуктометрических измерений	ЛР5
6.	Основы кинетики электродных процессов	Изучение законов электролиза на примере реакции никелирования стальных электродов.	ЛР6
7.	Электрохимическая поляризация	Изучение выделения водорода из водных растворов кислот.	ЛР7
8.	Электрохимическая поляризация	Экспериментальное определение параметров уравнения Тафеля	ЛР8
9.	Электрохимическая поляризация	Измерение вольтамперных характеристик электродной системы.	ЛР9
10.	Электрохимическая поляризация	Определение концентрации органических веществ методом адсорбционной полярографии	ЛР10

Защита лабораторной работы (ЛР), контрольная работа (КР).

### 2.3.4 Примерная тематика курсовых работ

Курсовая работа не предусмотрена учебным планом.

### 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Оформление лабораторных работ	1. Мембранная электрохимия: учебное пособие для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования уровня бакалавриат и магистратура по направлениям подготовки 04.03.01 и 04.04.01 / [Н. А. Кононенко, О. А. Демина, Н. В. Лоза и др.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - [2-е изд., испр. и доп.]. - Краснодар: [Кубанский государственный университет], 2017. - 290 с.
2	Самостоятельное изучение теоретического материала	1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Химия». Спб.: Лань. 2015. 2 шт. (0.04). <a href="https://e.lanbook.com/book/58166#authors">https://e.lanbook.com/book/58166#authors</a> 2. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии: Долгопрудный: Интеллект, 2008. 3. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. Долгопрудный: Интеллект, 2010
3	Подготовка к текущему контролю	1. Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. - 89 с.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### 3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование технологий проблемного обучения, выполнение студентами лабораторных работ в малых группах, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проблемная лекция, работа в малых группах) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

### 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме вопросов для устного опроса, тестовых работ, контрольных работ, контрольных вопросов к лабораторным работам, и **промежуточной аттестации** в форме вопросов к зачету и экзамену.

#### Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора (в соответствии с п. 1.4)	Результаты обучения (в соответствии с п. 1.4)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	ИОПК-1.1. Имеет систематические теоретические и практические знания в избранной области химии или смежных наук, анализирует возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных теорий, осмысливает и делает обоснованные выводы из научной и	Знает основы электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов.	Практическое занятие	Вопрос на экзамене 1-4
		Умеет анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы.	Лабораторная работа	-
		Владеет основными понятиями и терминологией в области классической электрохимии.	Лабораторная работа Тест	Вопрос на экзамене 4, 13



	учебной литературы.			
2	ИОПК-1.2. Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук.	Знает методы исследования электродных систем.	Лабораторная работа	Вопрос на экзамене 8-11
		Умеет использовать существующие методики изучения электродных систем	Лабораторная работа	-
		Владеет теоретическими представлениями о явлениях на межфазных границах электрод/раствор.	Лабораторная работа Практическое занятие	Вопрос на экзамене 12, 14
3	ИОПК-1.3. Использует современное оборудование, программное обеспечение, профессиональные базы данных и расчетно-теоретические методы химии для решения профессиональных задач.	Знает теоретические основы кинетики электродных процессов.	Лабораторная работа Тест	Вопрос на экзамене 19, 20
		Умеет обобщать результаты экспериментального исследования электродных систем и выполнять теоретические расчеты.	Лабораторная работа	-
		Владеет навыками статистической обработки экспериментальных данных, полученных на современном оборудовании.	Лабораторная работа	-
4	ИОПК-2.1. Проводит критический анализ результатов собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно их интерпретирует.	Знает закономерности протекания явлений переноса в электродных системах.	Лабораторная работа Практическое занятие	Вопрос на экзамене 13
		Умеет проводить критический анализ результатов экспериментальных исследований электродных систем.	Лабораторная работа	-
		Владеет способностью выполнять теоретические расчеты в электрохимических системах.	Лабораторная работа Практическое занятие	Вопрос на экзамене 19
5	ИОПК-2.2. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук	Знает химические реакции, протекающие в электродных системах.	Лабораторная работа	Вопрос на экзамене 15-17
		Умеет интерпретировать полученные экспериментальные результаты с использованием литературных данных.	Лабораторная работа	-
		Владеет навыками формулировать заключения и выводы по результатам экспериментальных исследований электродных систем.	Лабораторная работа	-

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Вопросы к устному опросу по теме 1 «Введение. Общие положения»**

1. Какова классификация электрохимических систем?
2. Какие области применения электродных систем и процессов в электрохимии?
3. Чем отличается электрохимический потенциал от химического потенциала?
4. Что такое потенциал нулевого заряда?
5. Можно ли экспериментально измерить гальвани потенциал?

**Вопросы к устному опросу по теме 2 «Основы электрохимической термодинамики»**

1. Что такое свободная энергия электрохимической системы?
2. Что является причиной возникновения электродвижущей силы в системе?
3. В чем заключается компенсационный метод измерения ЭДС?
4. Как выводится уравнение Нернста?
5. Какова классификация электродов?
6. Чем отличается химический источник тока от концентрационного элемента?
7. Как рассчитать свободную энергию Гиббса и константу равновесия реакции, протекающей в гальваническом элементе?
8. Что нужно измерить экспериментально для оценки энтропии и энтальпии реакции, протекающей в гальваническом элементе?
9. Как составить электрохимическую цепь для измерения рН растворов электролитов?
10. Как экспериментально определить коэффициенты активности ионов?

**Вопросы к устному опросу по теме 3 «Структура и свойства двойного электрического слоя на границе металл/раствор»**

1. Причины образования двойного электрического слоя (ДЭС) на границе раздела между электродом и раствором электролита.
2. Связь электрических и адсорбционных явлений на границе раздела фаз.
3. Строение ДЭС в присутствии поверхностно-активных органических веществ.
4. Электрохимическая ячейка для изучения строения ДЭС.
5. Электрокапиллярные явления и уравнения Липпмана. Эффекты изменения поверхностного натяжения от состава раствора и природы металла.
6. Теоретические представления двойного электрического слоя и основные модели Гельмгольца, Гуи-Чапмена, Штерна.

**Тест №1 по теме 4 «Методы экспериментального изучения строения двойного электрического слоя»**

1. Для изучения границы раздела электрод/раствор используют ячейку:  
*двухэлектродную*  
*трехэлектродную*  
*четырёхэлектродную*
2. Адсорбционный метод изучения ДЭС позволяет получить:  
*электрокапиллярную кривую*  
*зависимость заряда ДЭС от потенциала*  
*поверхностное натяжение*
3. Адсорбция органических веществ на электроде:

*повышает максимум на электрокапиллярной кривой*  
*понижает максимум на электрокапиллярной кривой*  
*не изменяет форму электрокапиллярной кривой*

4. Какая модель представляет ДЭС в виде плоского конденсатора:

*Гельмгольца*

*Гуи-Чампена*

*Штерна*

5. Адсорбция вещества на межфазной границе описывается уравнением:

*Гиббса*

*Нернста*

*Дебая*

#### **Вопросы к устному опросу по теме 5 «Основы кинетики электродных процессов»**

1. Каковы отличия электрохимических процессов от химических?
2. Из каких стадий состоит электродный процесс?
3. Какая стадия может лимитировать процесс?
4. Что является критерием скорости электрохимического процесса?
5. Каковы механизмы массопереноса в электродной системе

#### **Вопросы к устному опросу по теме 6 «Диффузионная кинетика»**

1. Каковы закономерности диффузионной кинетики в стационарных условиях?
2. Каковы особенности кинетических уравнений в условиях нестационарной диффузии на ртутном капельном электроде?
3. В чем сущность полярографического метода анализа?
4. В чем сущность метода вращающегося дискового электрода?
5. Какие факторы влияют на концентрационную поляризацию в электродной системе?

#### **Вопросы к устному опросу по теме 7 «Электрохимическая поляризация»**

1. Что такое ток обмена?
2. Каковы основные уравнения теории замедленного разряда?
3. В чем физический смысл параметров уравнения Тафеля?
4. Каков механизм элементарного акта в стадии разряда-ионизации?
5. Каковы прикладные аспекты электрохимии?

#### **Контрольные вопросы к лабораторным работам**

##### *Лабораторная работа №1-4*

1. Применение метода измерения ЭДС для измерения рН растворов электролитов.
2. Применение метода измерения ЭДС для определения характеристических функций химических реакций, протекающих в гальванических элементах.
3. Классификация электрохимических цепей.
4. Классификация электродов, стандартные электродные потенциалы.
5. Нарисуйте элемент Вестона и рассчитайте его ЭДС.

##### *Лабораторная работа №5-6*

1. Перечислите основные механизмы доставки вещества к поверхности электрода из раствора.
2. Сформулируйте законы Фарадея.
3. Что понимают под скоростью электродного процесса?
4. Какими приборами измеряется скорость электродного процесса?
5. Что такое ток обмена?

### *Лабораторная работа №7-10*

1. Что такое концентрационная поляризация?
2. Запишите уравнение концентрационной поляризации.
3. Нарисуйте поляризационную кривую в условиях диффузионной кинетики.
4. Что такое электрохимическое перенапряжение?
5. Как экспериментально определить параметры уравнения Тафеля?

### **Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен/зачет)**

#### ***1. Список вопросов для подготовки к зачету***

1. Электрохимический потенциал, потенциал Гальвани, потенциал Вольта.
2. Классификация электродов, стандартные электродные потенциалы.
3. Классификация цепей. Химические и концентрационные элементы.
4. Применение метода измерения ЭДС для определения различных физико-химических величин: измерения рН растворов электролитов, измерения коэффициентов активности ионов,
5. Применение метода измерения ЭДС для определения характеристических функций химических реакций, протекающих в гальванических элементах (изменение свободной энергии Гиббса, энтропии и энтальпии).
6. Методы экспериментального исследования двойного электрического слоя.
7. Адсорбция органических веществ на электроде.
8. Электрокапиллярные явления и уравнения Липпмана.
9. Эффекты изменения поверхностного натяжения от состава раствора и природы металла.
10. Теоретические представления двойного электрического слоя и основные модели Гельмгольца, Гуи-Чапмена, Штерна.

#### ***2. Список вопросов для подготовки к экзамену***

1. Классификация электрохимических систем.
2. Области применения электродных систем и процессов в электрохимии.
3. Краткая история формирования основ теоретической электрохимии.
4. Электрохимическая термодинамика, электрохимический потенциал и электродные потенциалы.
5. Свободная энергия электрохимической системы и электродвижущая сила гальванических элементов. Уравнение Нернста.
6. Классификация электродов, стандартные электродные потенциалы.
7. Классификация цепей. Химические и концентрационные элементы.
8. Применение метода измерения ЭДС для определения различных физико-химических величин.
9. Образование и строение двойного электрического слоя на границе раздела между электродом и раствором электролита.
10. Электрокапиллярные явления и уравнения Липпмана. Эффекты изменения поверхностного натяжения от состава раствора и природы металла.
11. Методы экспериментального исследования двойного электрического слоя.
12. Теоретические представления двойного электрического слоя и основные модели Гельмгольца, Гуи-Чапмена, Штерна.
13. Кинетика электродных процессов. Основные механизмы доставки вещества к поверхности электрода из раствора.
14. Уравнение концентрационной поляризации и его анализ. Метод поляризационных кривых.
15. Концентрационная поляризация в системе с капающим ртутным электродом. Основы полярографии.

16. Полярография на твёрдых электродах. Метод вращающегося дискового электрода.
17. Разновидности метода вращающегося дискового электрода: вращающийся дисковый электрод с кольцом, вращающийся мембранный электрод.
18. Диффузионный слой на границе раздела металл/раствор электролита, методы его исследования и управления скоростью электродного процесса.
19. Электрохимическая поляризация и перенапряжение реакции. Уравнение Тафеля для описания взаимосвязи между перенапряжением и плотностью тока. Константы уравнения Тафеля.
20. Теория замедленного разряда на примере реакции электровосстановления водорода.
21. Релаксационные методы определения кинетических параметров электрохимических реакций. Гальваностатический и потенциодинамический методы.
22. Прикладные аспекты кинетики электродных процессов.

### *3. Пример билета к экзамену*

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

Кафедра физической химии

Направление подготовки 04.04.01 - Химия

20\_\_ - 20\_\_ уч. год

Дисциплина «Термодинамика и кинетика электродных процессов»

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1.

1. Электродвижущая сила гальванического элемента и её измерение.
2. Уравнение концентрационной поляризации в электродной системе.

Зав. кафедрой физической химии \_\_\_\_\_

И.В.Фалина

#### **Критерии оценивания результатов обучения**

Критерии оценивания по зачету:

- **оценка «зачтено»:** студент владеет теоретическими знаниями по данному разделу, знает классификацию электродов и электрохимических цепей, методы изучения ДЭС, основные законы термодинамики и кинетики электродных процессов, допускает незначительные ошибки; студент умеет правильно объяснять экспериментальные данные с применением теоретических представлений.

- **оценка «не зачтено»:** материал не усвоен или усвоен частично, студент затрудняется в описании термодинамических характеристик электродных систем, не может привести примеры электрохимических цепей, затрудняется привести примеры электродов.

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы. Студент свободно владеет теоретическим материалом, знает основные законы термодинамики и кинетики электродных процессов.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки. Студент

	хорошо владеет теоретическим материалом, знает методы исследования ДЭС и имеет представление о процессах, протекающих на границе электрод/раствор, способен справиться с ответом при незначительной помощи со стороны преподавателя.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы. Студент знает электрохимическую терминологию, классификацию электродов и электрохимических систем, однако плохо разбирается в их особенностях, с трудом справляется с ответами на вопросы при существенной помощи со стороны преподавателя.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы. Студент не способен охарактеризовать электродную систему даже с помощью преподавателя и плохо владеет теоретическим материалом (наблюдаются существенные ошибки при обсуждении базовых понятий).

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий**

### **5.1. Учебная литература**

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Химия». Спб.: Лань. 2015. 2 шт. (0.04). <https://e.lanbook.com/book/58166#authors>

2. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии: Долгопрудный: Интеллект, 2008.
3. В.В. Еремин и др. Основы физической химии: учебное пособие для студентов вузов. Ч. 1, 2-е изд., перераб. и доп. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. –263 с.

## **5.2. Периодическая литература**

1. Успехи химии - российский научный журнал, публикующий обзорные статьи по актуальным проблемам химии и смежных наук.
2. Электрохимия – один из крупнейших российских научных журналов, отражающих основные достижения в области электрохимии, публикующий работы, посвященные актуальным вопросам электрохимии.
3. Журнал физической химии – один из крупнейших российских научных журналов, отражающих основные направления развития химии, публикующий работы, посвященные актуальным общим вопросам химии и проблемам, возникающим на стыке различных разделов химии, а также на границах химии и смежных с ней наук.

## **5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

### **Электронно-библиотечные системы (ЭБС):**

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

### **Профессиональные базы данных:**

1. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
2. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
3. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>

### **Ресурсы свободного доступа:**

1. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
2. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>;
4. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .

## **Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:**

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru;>
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное изучение дисциплины «Термодинамика и кинетика электродных процессов». требует от студентов регулярного посещения лекций, выполнения тестовых проверочных работ, выполнения и защиты лабораторных работ, ознакомления с основной и дополнительной рекомендуемой литературой.

При подготовке к лекционному занятию студентам рекомендуется:

- 1) просмотреть записи предыдущей лекции и восстановить в памяти ранее изученный материал;
- 2) бегло просмотреть материал предстоящей лекции, с целью лучшего усвоения нового материала;
- 3) самостоятельно проработать отдельные фрагменты темы прошлой лекции, если это необходимо.

При конспектировании лекционного материала студентам нужно стремиться кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения и формулировки, не пытаясь записать весь преподаваемый материал дословно.

При подготовке к лабораторному занятию рекомендуется:

- 1) внимательно изучить материал предстоящей работы и составить план ее выполнения;
- 2) уделить повышенное внимание экспериментальным особенностям предстоящей работы (используемым реактивам и оборудованию, а также технике работы с ними);

Выполнять лабораторную работу необходимо аккуратно и последовательно, отражая все ее основные этапы в лабораторном журнале. Для успешной защиты лабораторной работы необходимо тщательно изучить лекционный и, если это необходимо, дополнительный теоретический материал по теме работы, а также правильно заполнить лабораторный журнал, сделав все необходимые расчеты и сформулировав выводы по проделанной работе.

**Выполнение лабораторных работ**

Лабораторные работы выполняются обучающимися в малых группах (обычно 2-3 человека). В начале курса проводится инструктаж по технике безопасности работы в химической лаборатории и составляется график выполнения лабораторных работ. Выполнение лабораторной работы включает в себя следующие этапы:

- 1) подготовительный этап (самостоятельная работа студентов);
- 2) получение допуска к выполнению экспериментальной части лабораторной работы (контактная работа с преподавателем каждой малой группы);
- 3) выполнение экспериментальной части лабораторной работы под контролем преподавателя;
- 4) анализ полученных результатов, формулировка вывода и подготовка к защите лабораторной работы (может выполняться как самостоятельная работа студента дома, или под контролем преподавателя в течение времени, выделенного на лабораторные работы или в ходе иной контактной работы с преподавателем);
- 5) защита лабораторной работы (контактная работа с преподавателем).

После выполнения всех этих этапов лабораторная работа считается выполненной.

#### **Подготовительный этап**

Перед занятием обучающимся необходимо подготовиться к выполнению лабораторной работы. Теоретическая подготовка необходима для проведения эксперимента и должна проводиться обучающимися в порядке самостоятельной работы. Ее следует начинать внимательным разбором руководства к лабораторной работе. Теоретическая подготовка завершается предварительным составлением отчета в лабораторном журнале со следующим порядком записей:

Название работы.

Цель работы.

Оборудование.

Ход работы, который в том числе включает рисунки, схемы, таблицы, основные формулы для определения величин, а также расчетные формулы для определения погрешностей измеряемых величин.



## **Получение допуска к выполнению экспериментальной части лабораторной работы**

Приступая к лабораторным работам, необходимо получить у лаборанта приборы, требуемые для выполнения работы. Разобраться в назначении материалов, химической посуды, приборов и принадлежностей в соответствии с их техническими данными. Получить допуск к выполнению лабораторной работы у преподавателя. Допуск студенты получают в результате устного опроса преподавателем о порядке выполнения эксперимента, предусмотренного данной лабораторной работой.

### **Выполнение экспериментальной части лабораторной работы под контролем преподавателя**

Затем обучающиеся выполняют экспериментальный этап лабораторной работы, в ходе которого записываются все измеренные величины с обязательным указанием их размерности в лабораторный журнал. **Не допускается использование черновиков для записи экспериментальных данных, запись карандашом и иные способы, дающие возможность корректировки полученных результатов.** В случае, если в методических указаниях к лабораторной работе предложены таблицы или шаблон для записи экспериментальных данных, то заполняются эти таблицы или шаблон. В ином случае запись экспериментальных данных делается студентом в произвольной форме.

По окончании выполнения эксперимента студенты должны привести свое рабочее место в порядок и вымыть используемую химическую посуду. После этого рабочее место сдается преподавателю или лаборанту и в лабораторный журнал студента ставится отметка о выполнении экспериментальной части лабораторной работы с обязательным указанием даты ее выполнения.

### **Анализ полученных результатов и формулировка выводов**

Может выполняться как самостоятельная работа студента дома, или под контролем преподавателя в течение времени, выделенного на лабораторные работы или в ходе иной контактной работы с преподавателем. Студенты должны выполнить все необходимые расчеты согласно методическим указаниям к выполнению лабораторных работ. В лабораторном журнале приводятся все необходимые расчеты с указанием размерностей полученных величин, а также все графики и рисунки в соответствии с требованиями лабораторного практикума.

В случае, если в ходе лабораторной работы имеет место протекание химических реакций, все они должны быть записаны в лабораторном журнале в молекулярном, полном ионном и сокращенном ионном виде.

Далее на основании полученных результатов студенты должны сформулировать и записать вывод, который должен быть согласован с заявленными целями и/или задачами лабораторной работы. Вывод должен содержать необходимую количественную информацию.

При подготовке к защите лабораторной работы необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы, которые имеются после каждой лабораторной работы. Особое внимание в ходе теоретической подготовки должно быть обращено на понимание физической сущности процесса(ов) излучающихся в ходе работы. Для самоконтроля в каждой работе приведены контрольные вопросы, на которые обучающийся обязан дать четкие, правильные ответы.

### **Защита лабораторной работы**

Защита лабораторных работ происходит в виде собеседования с преподавателем по лабораторной работе с обязательной проверкой преподавателем лабораторного журнала студента. Для успешной защиты лабораторной работы студент должен предоставить лабораторный журнал, оформленный в соответствии с установленными требованиями, включая наличие отметки о выполнении экспериментальной части работы. В ходе устной беседы с преподавателем студент должен продемонстрировать знание целей и задач выполненной работы, законов, которые лежат в основе наблюдаемых в ходе работы

явлений, продемонстрировать умение анализировать полученную информацию и делать на ее основе выводы. В этом случае в лабораторном журнале на соответствующей работе ставится пометка «зачтено», роспись преподавателя, принявшего работу, и дата защиты работы. После этого лабораторная работа считается выполненной. Допускается защита лабораторных работ индивидуально или в составе малых групп обучающихся, совместно выполнявших данную работу.

Самостоятельная работа наряду с аудиторной представляет одну из важнейших форм учебного процесса. Самостоятельная работа — это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа предназначена не только для овладения представленной дисциплиной, но и для формирования навыков работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать возникающие проблемы, находить правильные решения и т.д.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## 7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Microsoft Windows; Microsoft Office
Учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Microsoft Windows; Microsoft Office
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ (ауд. 345С)	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: переносное мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор). Оборудование: специализированная лабораторная мебель (столы, стулья, шкафы для реактивов и оборудования, вытяжные шкафы), средства пожарной безопасности и оказания первой медицинской помощи, химическая посуда и оборудование, сушильный шкаф, весы лабораторные – 1 шт, весы аналитические – 2 шт, термостат воздушный – 1 шт, иономер-рН-метр – 3 шт, мешалки магнитные – 3 шт., измеритель иммитанса Е7-21 – 4 шт, источник тока импульсный Б5-50 – 3 шт, кондуктометр – 1 шт, мультиметры универсальные настольные – 5 шт; потенциостат	Microsoft Windows; Microsoft Office

	AUTOLAB PGSTAT302; ПК-3 шт., химические реактивы.	
--	---	--

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Microsoft Windows; Microsoft Office
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (400с, 401с, 431с, 329с)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Microsoft Windows; Microsoft Office