

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО ВГУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
 Козадеров О.А.
05.07.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ОД.16 Кинетика электрохимических процессов

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.01 – Химия
- 2. Профиль подготовки/специализации:** Теоретическая и экспериментальная химия
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** физической химии
- 6. Составитель программы:** Введенский Александр Викторович, д.х.н., проф., Козадеров Олег Александрович, д.х.н., доц.
- 7. Рекомендована:** научно-методическим Советом химического факультета от 17.05.21, протокол № 5
- 8. Учебный год:** 2021 / 2022 **Семестр** 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины является формирование полной системы знаний в области электрохимической кинетики.

Задачи освоения учебной дисциплины:

- освоить общие идеи и принципы электрохимической кинетики,
- знать принципы моделирования электрохимических процессов,
- уметь применять основные способы описания электрохимических процессов, контролируемых стадиями различной природы.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Вариативная часть блока 1. Для освоения данной дисциплины необходимы знания теоретических основ физической химии и электрохимии.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-2	владение навыками химического эксперимента, синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций;	знать: основы химического эксперимента уметь: использовать синтетические и аналитические методы получения и исследования химических веществ; иметь навыки использования методов получения и исследования химических веществ.
ПК-2	владение базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	знать: систему фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии; уметь: применять систему фундаментальных химических понятий при выполнении лабораторных работ, по предложенным методикам; владеть основными методами выполнения лабораторных работ.

12.1 Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4 / 144.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		7	
Аудиторные занятия, в том числе:	66	66	
лекции	16	16	
лабораторные	50	50	
Самостоятельная работа	78	78	
Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой			
Итого:	144	144	

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Поляризация Перенапряжение. Диффузионная кинетика. Стационарные и нестационарные процессы. Учет миграции и конвекции.	Электродная кинетика. Электрохимическая цепь как источник тока. Электролизер. Поляризация. Перенапряжение. Перенапряжение диффузии. Стационарный процесс. Нестационарный процесс. Модель Нернста строения диффузионной зоны. Одновременный перенос Ох- и Red- форм. Учет миграции ионов в диффузионной кинетике. Модель Прандтля-Левича. Вращающийся дисковый электрод.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
1.2	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции.	Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова-Фрумкина в электродной кинетике. Одностадийная Ох-Red реакция. Энергия активации на стадии перехода заряда. Коэффициент переноса. Безбарьерные и безактивационные процессы. Количественный анализ вольтамперограмм. Роль структуры ДЭС в кинетике электродных реакций. Учет специфической адсорбции реагентов и продуктов в кинетике электрохимических реакций. Исправленные тафелевы зависимости. Кинетика восстановления анионов и ионов гидроксония. Стадийные электродные реакции. Критерии стадийности. Порядки электродной реакции по реагентам. Учет стадийности при определении порядка реакции.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
1.3	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	Закономерности смешанной диффузионно-электрохимической кинетики. Выделение кинетических токов на вращающемся дисковом электроде. Метод Фрумкина-Тедорадзе. Вращающийся дисковый электрод с кольцом. Выделение кинетических токов при помощи нестационарных электрохимических методов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
1.4	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления).	Перенапряжение реакции. Гомогенный химический процесс. Перенапряжение реакции. Гетерогенный химический процесс. Основы теории перенапряжения кристаллизации.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
2. Лабораторные занятия			
2.1	Поляризация Перенапряжение. Диффузионная кинетика. Стационарные и нестационарные процессы. Учет миграции и конвекции.	Влияние перемешивания на скорость электрохимических процессов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
2.2	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции.	Получение циклических вольтамперограмм на металлических электродах.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511
2.3	Диффузионно-	Выявление «кинетических» токов методом	https://edu.vsu.ru

	электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	хроноамперометрии.	u/course/view.php?id=10511
2.4	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления).	Получение тафельных зависимостей электрохимических процессов. 2D- и 3D- нуклеация.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Поляризация Перенапряжение. Диффузионная кинетика. Стационарные и нестационарные процессы. Учет миграции и конвекции.	4	-	12	20	36
2	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции.	4	-	15	20	39
3	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	4	-	15	20	39
4	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления).	4	-	8	18	30
	Итого:	16	-	50	78	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Аудиторная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. На лабораторных занятиях студенты либо индивидуально, либо в составе малой группы выполняют лабораторную работу. В ходе выполнения работ студенты приобретают навыки обращения с лабораторным оборудованием и инструментарием, самостоятельно осуществляют эксперименты (включая численные), регистрируют, анализируют и интерпретируют результаты исследований. Результаты учебно-исследовательской работы, включая необходимые расчеты, заключения и выводы, ответы на вопросы (задания) оформляются в рабочей тетради студента. В конце лабораторного занятия результаты и материалы учебно-исследовательской работы докладываются преподавателю, при необходимости обсуждаются в группе (отчет о лабораторном занятии). В случаях пропуска лабораторного занятия по каким-либо причинам студент обязан его самостоятельно выполнить под контролем преподавателя во время индивидуальных консультаций.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает

формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.); подготовку к лабораторным работам, их оформление.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

Студенту предоставляется возможность работать в компьютерном классе химического факультета (271 аудитория), предоставляется доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, программному обеспечению компьютерного класса факультета, ресурсам Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечным системам.

Текущая аттестация обеспечивает проверку освоения учебного материала, приобретения знаний, умений и навыков в процессе аудиторной и самостоятельной работы студентов.

Текущая аттестация включает в себя регулярные отчеты студентов по лабораторным работам, выполнение тестовых и иных заданий к лекциям и разделам электрохимии в соответствии с методическими рекомендациями ЭУМК по дисциплине «Кинетика электрохимических процессов».

Формой промежуточной аттестации знаний, умений и навыков обучающихся является зачет с оценкой.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Дамаскин Б.Б. Электрохимия : [учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Химия"] / Б.Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина .— Изд. 3-е, испр. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015 .— 670 с.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	<i>Краснов К.С. Физическая химия: учеб для вузов / К.С. Краснов - М. : Высш. шк., 2001. - Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. - 318 с.</i>
3	<i>Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. - М.: Химия, 1967. - 855 с.</i>
4	<i>Скорчеллетти В.В. . Теоретическая электрохимия / В.В. Скорчеллетти .— 4-е изд., исправ. и доп. — Л. : Химия , 1974 .— 567 с.</i>
5	<i>Ротинян А.Л. Теоретическая электрохимия / А.Л. Ротинян, К.И. Тихонов, И.А. Шохина. - Л. : Химия, 1981. - 432 с.</i>
6	<i>Антропов Л.И. . Теоретическая электрохимия : учебник для студ. хим. и хим.-технол. спец. вузов / Л.И. Антропов .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1984 .— 518.</i>
7	<i>Справочник по электрохимии / Под ред. А.М. Сухотина .— Л. : Химия :</i>

	<i>Ленингр. отд-ние, 1981 .— 486 с.</i>
8	<i>Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Введенский [и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
9	<i>Научная электронная библиотека — <http://www.elibrary.ru></i>
10	<i>Электронная библиотека Воронежского государственного университета — <http://www.lib.vsu.ru></i>
11	<i>Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет - <http://www.chemnet.ru></i>
12	<i>ЭУМК «Кинетика электрохимических процессов» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10511</i>

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ)

№ п/п	Источник
1	Введенский А.В. Кинетика электрохимических процессов. Часть 1. Стадия переноса заряда / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская // уч. пособ. для вузов. – Воронеж. – Изд. дом ВГУ. – 2017. – 117 с.
2	Введенский А.В. Кинетика электрохимических процессов. Часть 2. Стадия диффузии и химической реакции / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская // уч. пособ. для вузов. – Воронеж. – Изд. дом ВГУ. - 2017. – 60 с.
3	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / [А.В. Введенский и др.] .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018 .— 204, [1] с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ <Электронный университет ВГУ> (<https://edu.vsu.ru>) и/или "МООК ВГУ" (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук, проектор, лекционная аудитория, химическая лаборатория, потенциостаты, гальваностаты, источник постоянного напряжения, вольтметр, электрохимические ячейки, компьютерный пакет для численного моделирования Comsol Multiphysics

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОПК-2 владением навыками химического эксперимента, синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	Знать: основные экспериментальные методы электрохимического анализа	2.1-2.4	Отчет по лабораторным работам
	Уметь: использовать методы вольтамперо-, хронопотенцио- и хроноамперометрии при изучении электрохимических систем	2.1-2.4	
	Владеть: навыками электрохимического эксперимента с использованием необходимого оборудования	2.1-2.4	
ПК-1 способность выполнять стандартные операции по предложенным методикам	Знать: основные теоретические понятия курса	1.1-1.4	Контрольная работа 1 Контрольная работа 2
	Уметь: применять основы кинетики электрохимических процессов на практике	1.1-1.4	
	Владеть: основными методами моделирования электрохимических процессов	1.1-1.4	
Промежуточная аттестация			Перечень вопросов

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения используются следующие показатели:

- владение основными понятиями и законами электрохимической кинетики, способностью иллюстрировать ответ примерами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач;
- знание основ электрохимического эксперимента, методов исследования и получения химических веществ;
- умение формулирования выводов, предложений, обоснования полученных результатов электрохимического эксперимента; способность поиска, обработки и анализа научной информации.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется система оценок.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Всесторонние и глубокие знания по разделам курса. Безупречное выполнение в процессе изучения дисциплины всех заданий. Исчерпывающий ответ на вопросы билета.	Повышенный уровень	Отлично
Остаточное полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой. Наличие аргументированного и обоснованного ответа на вопросы билета. Допускаются незначительные ошибки и неточности, которые исправлены после замечания преподавателя.	Базовый уровень	Хорошо
Знание основных положений рабочей программы. Ответ неполный, без обоснований и объяснений. Ошибки устраняются по дополнительным вопросам преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Отрывочные знания. Грубые, принципиальные ошибки при ответе на вопросы билета.	–	Неудовлетворительно

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

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Понятия «перенапряжение» и «поляризация».
2. Химические источники тока. Гальванический элемент и электролизер.
3. Виды перенапряжений.
4. Перенапряжение переноса заряда. Уравнения Эрдей-Груза и Фольмера без учета структуры ДЭС.
5. Уравнения Эрдей-Груза и Фольмера с учетом структуры ДЭС.
6. Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова–Фрумкина.
7. Коэффициент переноса. Безбарьерные и безактивационные процессы.
8. Роль структуры ДЭС в кинетике электродных реакций.
9. Учет специфической адсорбции реагентов и продуктов в кинетике электрохимических реакций.
10. Стадийные электродные реакции. Критерии стадийности.
11. Порядки электродной реакции по реагентам. Учет стадийности при определении порядка реакции.
12. Перенапряжение диффузии. Модель Нернста строения диффузионной зоны.
13. Учет миграции ионов в диффузионной кинетике.
14. Вращающийся дисковый электрод.
15. Закономерности смешанной диффузионно-электрохимической кинетики.
16. Выделение кинетических токов на ВДЭ. Метод Фрумкина–Тедорадзе.
17. Вращающийся дисковый электрод с кольцом.
18. Перенапряжение реакции в гомогенных и гетерогенных процессах.
19. Основы теории перенапряжения кристаллизации.
20. Кинетика выделения водорода. Основные механизмы.

19.3.2. Перечень заданий для контрольной работы

1. Коэффициент переноса для необратимой двухэлектронной электродной реакции при температуре $T = 298 \text{ K}$ равен 0.5. Рассчитайте, при каком изменении активационного перенапряжения скорость переноса заряда увеличится в 10 раз.
2. Плотность тока обмена i_0 реакции электрохимического выделения водорода сильно зависит от природы металлического электрода. В кислых водных растворах при стандартных условиях ($T = 298 \text{ K}$, $p = 101325 \text{ Па}$) параметр i_0 равен 10^{-3} А/см^2 на платине и 10^{-12} А/см^2 на кадмии. Предполагая, что процесс лимитируется стадией переноса заряда, а катодное перенапряжение равно -0.1 В , рассчитайте плотность тока выделения водорода на платине. При каком перенапряжении такая же плотность тока будет достигнута на кадмии? Примите, что коэффициент переноса заряда равен 0.5.
3. На электроде геометрической площадью 0.5 см^2 протекает одноэлектронная реакция, лимитируемая переносом заряда. Равновесный потенциал электрода в данной среде равен 0.47 В . Рассчитайте силу тока, протекающего через электрод при потенциале 0.54 В и температуре 298 К , если геометрическая плотность тока обмена электродного процесса составляет 28 мкА/см^2 . Примите, что коэффициент переноса заряда равен 0.5, а фактор шероховатости поверхности электрода $f_r = 1.2$.
4. Рассчитайте коэффициент диффузии ионов Ag^+ в водном растворе с концентрацией нитрата серебра 0.001 моль/дм^3 , если опытная потенциостатическая зависимость силы парциального тока восстановления серебра от времени на плоском гладком электроде площадью 0.8 см^2 подчиняется уравнению $I_{\text{Ag}^+} = \text{const} \cdot t^{-1/2}$, в котором $\text{const} = 172 \text{ мкА} \cdot \text{с}^{1/2}$.
5. При какой плотности тока гальваностатического восстановления ионов серебра на плоском гладком электроде переходное время процесса τ составит 25 с , если коэффициент диффузии ионов Ag^+ равен $1.6 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, а их концентрация составляет $10^{-2} \text{ моль/дм}^3$? Как изменится τ , если разбавить раствор в 10 раз? Увеличить плотность тока в 10 раз?

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: выполнение и сдача лабораторных работ и написание контрольных работ. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, позволяющие оценить степень сформированности умений, навыков и опыта выполнения химического эксперимента.

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценки за экзамен/зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.