

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров



01.07.2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.02 Термодинамика и кинетика адсорбции

1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:

04.06.01 Химические науки

2. Направленность: 02.00.05 Электрохимия

3. Квалификация (степень) выпускника: Исследователь, преподаватель-исследователь

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра физической химии

6. Составители программы:

Введенский Александр Викторович, доктор химических наук, профессор
Бобринская Елена Валерьевна, кандидат химических наук, доцент

7. Рекомендована: НМС химического факультета, протокол № 5 от 17.06.2021

8. Учебный год: 2024-2025

Семестр: 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Опираясь на базовые знания студентов в области физической химии, физики и математики, дать общие представления о термодинамике и кинетике адсорбционных процессов, познакомить с основными закономерностями адсорбции органических и неорганических соединений на электродах, проиллюстрировать влияние адсорбции на основные стадии электродных процессов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Блок 1. Вариативная часть. Дисциплина по выбору.

Для освоения этой части программы аспирант должен иметь базовые знания фундаментальных разделов физики и химии, (прежде всего физической, неорганической, аналитической, органической, химии высокомолекулярных соединений, химической технологии); уметь применять основные законы химии и физики при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.

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	
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях	знати: современные достижения в области термодинамики и кинетики адсорбции уметь: выбирать модельные системы при решении исследовательских и практических задач в области адсорбционных явлений владеть навыками критического анализа современных достижений в области термодинамики и кинетики адсорбции
УК-4	готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языке	знати: современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранных языках уметь: использовать современные методы и технологии научной коммуникации в научно-исследовательской деятельности владеть навыками использования современных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранных языках
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и	знати: теоретические основы современных методов исследования адсорбционных явлений уметь: использовать современные методы исследования и информационные технологии в научно-исследовательской деятельности владеть навыками интерпретации результатов физикохимических и электрохимических методов исследования адсорбционных явлений

	информационно-коммуникационных технологий	
ПК-11	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области электрохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	знать: современные методы электрохимических исследований адсорбционных явлений уметь: использовать информационные технологии для обработки экспериментальных данных владеть навыками интерпретации экспериментов, направленных на изучение адсорбционных явлений

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации зачет

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)		
	Всего	По семестрам	
		семестр 7
индивидуальные занятия	4	4	
самостоятельная работа	68	68	
Форма промежуточной аттестации	зачет		
Итого	72	72	

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Адсорбция. Основные понятия. Адсорбция из газовой фазы.	Основные понятия: адсорбция, адсорбат, адсорбент, изотерма адсорбции, степень заполнения поверхности. Термодинамика поверхности жидкости. Поверхностное натяжение растворов. Уравнение Гиббса. Поверхность твердого тела. Поверхность раздела твердое тело – газ. Взаимодействие молекул с поверхностью. Физическая и химическая адсорбция. Термодинамика адсорбции. Связь поверхностного натяжения с адсорбцией. Измерение поверхностного натяжения и методы изучения адсорбции. Изотермы адсорбции Генри и Лэнгмюра. Уравнение БЭТ.
2	Адсорбция из раствора на однородных и неоднородных поверхностях.	Поверхностная активность органических соединений. Методы адсорбционных измерений. Изотермы адсорбции и уравнения состояния поверхностного слоя. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Диссоциация и ассоциация молекул адсорбата. Макромодели поверхностного слоя и влияние электрического поля на адсорбцию органических молекул. Заместительная адсорбция. Линейная вольтамперометрия с учетом адсорбции продукта или

		реагента. Адсорбция на неоднородных поверхностях. Изотермы Темкина и Фрумкина. Изотермы Фольмера и Фрейндлиха. Влияние природы металла на адсорбцию органических соединений. Обобщенная изотерма Конуэя-Гилеади. Линейная вольтамперометрия с учетом одновременной адсорбции продуктов и реагентов. Соадсорбция.
3	Кинетика адсорбции	Кинетика адсорбции и электродесорбции на однородных поверхностях. Методы адсорбционно-кинетических измерений. Стационарные заполнения. Кинетические изотермы. Кинетические закономерности адсорбции на неоднородных поверхностях. Влияние адсорбции на кинетику электродных процессов в условиях замедленного массопереноса. Уравнение Рогинского-Зельдовича. Кинетика адсорбции с учетом обобщенной изотермы. Соадсорбция. Кинетика электродных процессов в условиях замедленной адсорбции
4	Микроскопические модели адсорбции	Квантово-химический подход к описанию адсорбционных систем. Кластерный подход. Проблемы выборы базиса. Адсорбция гидроксид- и хлорид-ионов из газовой фазы. Газофазная адсорбция молекул воды. Учет растворителя в континуальном, микроскопическом и континуально-микроскопическом приближении. Моделирование заряда поверхности. Частичный перенос заряда при адсорбции. Расчет характеристических частот колебаний на кластере со свободными связями. Методы <i>in situ</i> определения микроскопических адсорбционных параметров. Квантово-химический расчет адсорбционных характеристик малых органических молекул и ионов. Проблемы установления адсорбционной позиции.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/ п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Индивидуальные занятия		Самостоятельная работа	Всего
1	Адсорбция. Основные понятия. Адсорбция из газовой фазы.	1		12	13
2	Адсорбция из раствора на однородных и неоднородных поверхностях	1		28	29
3	Кинетика адсорбции	1		16	17
4	Микроскопические модели адсорбции	1		12	13
Итого:		4		68	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение рекомендованной литературы, подготовка к текущим и промежуточным аттестациям, решение практических задач, подготовка сообщений по темам.

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

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

а) основная литература:

№	Источник
1	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – М. : ЦУП Интеллект, 2008. – 568 с.
2	Сергеев Г.Б. Нанохимия : учебное пособие / Г.Б. Сергеев. – М. : КДУ, 2007. – 333 с.
3	Дамаскин Б. Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина .— Изд. 3-е, испр. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015 .— 670 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Дамаскин Б.Б. Адсорбция органических соединений на электродах / Б.Б.Дамаскин, О.А.Петрий, В.В.Батраков – М. : Наука, 1968. – 334 с.
5	Электродные процессы в растворах органических соединений: учеб. пособие /под ред. Б.Б. Дамаскина – М. : Изд-во Московск. ун-та, 1985. – 312 с.
6	Когановский А. М. Адсорбция растворенных веществ / А.М. Когановский, Т.М. Левченко, В.А. Кириченко ; АН УССР, Ин-т коллоидной химии и химии воды .— Киев : Наукова думка, 1977 .— 223 с.
7	Полторак О.М. Лекции по теории гетерогенного катализа : учебное пособие / О.М. Полторак. – М. : Высш. шк., 1968. – 256 с.
8	Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика / И.Чоркендорф, Х. Найманцведрайт. – Долгопрудный : Интеллект, 2010. – 504 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	Научная электронная библиотека — http://www.elibrary.ru
10	Электронная библиотека Воронежского государственного университета — http://www.lib.vsu.ru
11	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ - http://www.chemnet.ru
12	Электронный университет ВГУ http://edu.vsu.ru

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Электродные процессы и адсорбция : [Сборник: В 2 ч.] / Науч. ред. В.Н. Никулин .— Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1978-. Ч. 2 .— 1978 .— 191 с.
2	Электродные процессы и адсорбция : [Сборник: В 2 ч.] / Науч. ред. В.Н. Никулин .— Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1978-. Ч. 1 .— 1978 .— 166 с.
3	Ершов, Б.М. Методические разработки к спецпрактикумам "Экспериментальные методы исследования катализа" и "Адсорбция" / Б.М. Ершов ; Ужгородский гос. ун-т. Химический фак. Каф. физической и коллоидной химии .— Ужгород, 1975 .— 68 с.
4	Баталин Г. И. Расчеты по физической химии. (Адсорбция, кинетика, электрохимия) : Учебное пособие для студ. химич. факультетов ун-тов / Г.И. Баталин .— Киев : Вища школа, 1977 .— 191 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 сприменением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Компьютеризированный комплекс IPC-Compact; IPC-PRO M; анализатор частотного отклика FRA-1; мультитест ИПЛ-1; датчик электрохимический с обновляемой поверхностью.

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)
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	знать: современные достижения в области термодинамики и кинетики адсорбции уметь: выбирать модельные системы при решении исследовательских и практических задач в области адсорбционных явлений владеть навыками критического анализа современных достижений в области термодинамики и кинетики адсорбции	1-4	Практическое задание
УК-4 готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языке	знать: современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранных языках уметь: использовать современные методы и технологии научной коммуникации в научно-исследовательской деятельности владеть навыками	1-4	Практическое задание

	использования современных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранных языках		
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	знать: теоретические основы современных методов исследования адсорбционных явлений уметь: использовать современные методы исследования и информационные технологии в научно-исследовательской деятельности владеть навыками интерпретации результатов физикохимических и электрохимических методов исследования адсорбционных явлений	1-4	Практическое задание
ПК-11 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области электрохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	знать: современные методы электрохимических исследований адсорбционных явлений уметь: использовать информационные технологии для обработки экспериментальных данных владеть навыками интерпретации экспериментов, направленных на изучение адсорбционных явлений	1-4	Практическое задание
Промежуточная аттестация			КИМ

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

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом электрохимии;
- 2) умение связывать теорию электрохимических методов с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять основные законы химии при решении конкретных задач;

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 2-балльная шкала: «зачтено», «незачтено».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Глубокие знания по всем разделам курса. Способность находить решения нестандартных научных задач по обсуждаемой проблеме. Понимание сути основных проблем курса.	Базовый	Зачтено
Отрывочные знания материала. Грубые ошибки при решении даже простых задач. Слабое владение математическим аппаратом. Неумение применять полученные знания к анализу конкретных систем	—	Незачтено

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 Комплект КИМ

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Взаимодействие молекул с поверхностью. Физическая и химическая адсорбция.
2. Кинетика адсорбции и электродесорбции на однородных поверхностях.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Связь поверхностного натяжения с адсорбцией. Измерение поверхностного натяжения и методы изучения адсорбции.
2. Кинетические закономерности адсорбции на неоднородных поверхностях.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Линейная вольтамперометрия с учетом адсорбции продукта или реагента.
2. Газофазная адсорбция молекул воды.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Линейная вольтамперометрия с учетом одновременной адсорбции продуктов и реагентов. Соадсорбция.
2. Изотермы адсорбции Генри и Лэнгмюра. Уравнение БЭТ.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Влияние природы металла на адсорбцию органических соединений. Обобщенная изотерма Конуэя-Гилеади.
2. Кластерный подход к описанию адсорбционных систем.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., доц. О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия
Дисциплина Термодинамика и кинетика адсорбции
Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Моделирование заряда поверхности. Частичный перенос заряда при адсорбции.
2. Изотермы Фольмера и Фрейндлиха. Влияние природы металла на адсорбцию органических соединений.

Преподаватель д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

19.3.2 Перечень практических заданий:

- Импеданс в случае адсорбции электрохимически индифферентного вещества. Адсорбционная псевдоемкость.
- Расчет Гиббсовой адсорбции ПАВ по результатам измерения поверхностного натяжения.
- Получение изотермы адсорбции ПАВ на Pt методом кривых заряжения.
- Получение изотермы адсорбции ПАВ на Pt методом катодно-анодных потенциостатических импульсов.
- Выбор типа адсорбционной изотермы.

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 в рамках изучения дисциплины 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 форме выполнения практико-ориентированных заданий. 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. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценка за зачет может быть выставлена по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.