

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физической химии



А.В. Введенский

31.08.2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.04 Физико-химия процессов адсорбции

1. Код и наименование направления подготовки: 04.04.01 Химия
2. Профиль подготовки/специализация: Физическая химия
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физической химии
6. Составители программы: Введенский Александр Викторович, д.х.н., проф.
7. Рекомендована: научно - методическим Советом химического факультета от 26.06.2017 протокол № 6
8. Учебный год: 2018 - 2019 Семестр: 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Опираясь на базовые знания студентов в области физической химии, физики и математики, подготовить специалистов химиков, владеющих современными методами исследования, контроля и управления процессами, протекающими на межфазной границе, способных творчески их применять.

Основные задачи:

- Дать общие феноменологические 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:

Вариативная часть. Обязательная дисциплина.

Для освоения этой части цикла студент должен иметь базовые знания фундаментальных разделов физики и химии, (прежде всего физической, неорганической, аналитической и органической), 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	
ОПК-1	способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<p>знать: принципы построения и физико-химические условия, определяющие форму изотермы, владеть техникой феноменологического моделирования адсорбционных процессов и построения квазиравновесных и кинетических изотерм разных типов, иметь общие представления о термодинамике и кинетике адсорбционных процессов.</p> <p>уметь: оценивать по опытным данным возможность реализации определенного типа равновесной адсорбционной изотермы, определять параметры равновесия процесса адсорбции и его скорость.</p> <p>владеть: основными расчетными методами анализа адсорбционных явлений применительно к электродным процессам.</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 7 / 252.

Форма промежуточной аттестации *экзамен*

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		семестр 3		
Аудиторные занятия	36	36		
в том числе: лекции	-	-		
практические	18	18		
лабораторные	18	18		
Самостоятельная работа	180	180		
Форма промежуточной аттестации <i>экзамен</i>	36	36		
Итого:	252	252		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Практические занятия		
1.1	Адсорбция. Основные понятия.	Основные понятия: адсорбция, адсорбат, адсорбент, изотерма адсорбции, степень заполнения поверхности. Термодинамика поверхности жидкости. Поверхностное натяжение растворов. Уравнение Гиббса. Поверхность твердого тела.
1.2	Адсорбция из газовой фазы.	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.
1.3	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 характеристичных 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.
2. Лабораторные работы		
2.1	Адсорбция из раствора на однородных 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.
2.2	Адсорбционное равновесие неоднородных поверхностях.	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.
2.3	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.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Адсорбция. Основные понятия.		6		36	42
2	Адсорбция из газовой фазы.		6		36	42
3	Адсорбция из раствора на однородных поверхностях.			6	36	42
4	Адсорбционное равновесие неоднородных			6	36	42

	поверхностях.					
5	Кинетика адсорбции.			6	36	42
6	Микроскопические модели адсорбции		6		36	42
	Итого		18	18	216	252

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Работа с литературой, выполнение домашних заданий

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	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.
2	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – М. : ЦУП Интеллект, 2008. – 568 с.
3	Еремин В.В. Основы физической химии. Учебное пособие в 2 ч. 1 / В.В. Еремин .— 3-е изд. эл. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 322 с. — <URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214231 >.

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	Делахей П. Двойной слой и кинетика электродных процессов / П. Делахей – М. : Мир, 1967. – 351 с.
6	Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг ; пер. с англ. В.А. Эльтекова, Ю.А. Эльтекова; под ред. К.В. Чмутова .— М. : Мир, 1970 .— 407 с.
7	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.
8	Электродные процессы в растворах органических соединений: учеб. пособие /под ред. Б.Б. Дамаскина – М. : Изд-во Московск. ун-та, 1985. – 312 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурс
9	ЗНБ ВГУ www.lib.vsu.ru
10	Интернет портал образовательных ресурсов http://window.edu.ru
11	Интернет портал для химиков http://www.chemweb.com
12	Интернет-ресурсы - библиотека http://www.twirpx.com

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Равновесные электродные системы. Граница раздела заряженных фаз : практикум по спец. 011000- Химия / сост.: А.В. Введенский [и др.]. — Воронеж, 2003-. Ч. 3 / Сост.: А.В. Введенский, Е.В. Бобринская, И.В. Протасова, Н.В. Соцкая. — 79 с. : (№ 719) — <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/jan04059.pdf >.

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

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины: Учебники, учебные пособия, задачки, мульти-медиа техника.

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-1 способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	знать: принципы построения и физико - химические условия, определяющие форму изотермы, владеть техникой феноменологического моделирования адсорбционных процессов и построения квазиравновесных и кинетических изотерм разных типов, иметь общие представления о термодинамике и кинетике адсорбционных процессов.	1.1 – 1.3	
	уметь: оценивать по опытным данным возможность реализации определенного типа равновесной адсорбционной изотермы, определять параметры равновесия процесса адсорбции и его скорость.	1.1 – 1.2	
	владеть: основными расчетными методами анализа адсорбционных явлений применительно к электродным процессам.	2.1 – 2.3	
Промежуточная аттестация - экзамен			Комплект КИМ

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

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание основных термодинамических и кинетических закономерностей адсорбционных процессов;
- 2) знание принципов построения изотерм адсорбции;
- 3) знание физико-химических условий, определяющих форму изотермы;
- 4) умение оценивать возможность реализации определенного типа равновесной адсорбционной изотермы по опытным данным;
- 5) умение определять параметры равновесия процесса адсорбции и его скорость;
- 6) владение техникой феноменологического моделирования адсорбционных процессов и построения квазиравновесных и кинетических изотерм разных типов;
- 7) владение основными расчетными методами анализа адсорбционных явлений применительно к электродным процессам.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Всесторонние и глубокие знания по теоретическим основам процессов адсорбции. Их применение для решения задач по основным разделам курса. Безупречное выполнение в процессе изучения дисциплины всех практических заданий, предусмотренных формами текущего контроля. Исчерпывающий ответ на вопросы билета	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Достаточно полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой. Успешное выполнение практических заданий. Наличие аргументированного ответа на вопросы билета. Допускаются незначительные ошибки и неточности, которые исправляются после замечания преподавателя	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Знание основных положений рабочей программы. Затруднения при решении задач. Ответ неполный без объяснений. Ошибки устраняются при дополнительных вопросах преподавателя	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Отрывочные знания. Грубые принципиальные ошибки при ответе на вопрос билета. Неумение решать простейшие задачи	–	<i>Неудовлетворительно</i>

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:

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Основные понятия: адсорбция, адсорбат, адсорбент, изотерма адсорбции, степень заполнения поверхности.
- 2 Влияние адсорбции на кинетику электродных процессов в условиях замедленного массопереноса. Уравнение Рогинского-Зельдовича

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Термодинамика поверхности жидкости. Поверхностное натяжение растворов. Уравнение Гиббса. Поверхность твердого тела.
2. Стационарные заполнения. Кинетические изотермы. Кинетические закономерности адсорбции на неоднородных поверхностях

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Поверхность раздела твердое тело – газ. Взаимодействие молекул с поверхностью. Физическая и химическая адсорбция.
2. Изотермы Темкина и Фрумкина .

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Термодинамика адсорбции. Связь поверхностного натяжения с адсорбцией
2. Изотермы Фольмера и Фрейндлиха.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
___. ___. 2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Измерение поверхностного натяжения и методы изучения адсорбции. Изотермы адсорбции Генри и Лэнгмюра. Уравнение БЭТ.
2. Квантово-химическое моделирование заряда поверхности. Частичный перенос заряда при адсорбции

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
___. ___. 2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Поверхностная активность органических соединений. Методы адсорбционных измерений. Изотермы адсорбции и уравнения состояния поверхностного слоя.
2. Кинетика электродных процессов в условиях замедленной адсорбции

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Диссоциация и ассоциация молекул адсорбата.
2. Макромодели поверхностного слоя и влияние электрического поля на адсорбцию органических молекул.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Заместительная адсорбция. Линейная вольтамперометрия с учетом адсорбции продукта или реагента.
2. Методы *in situ* определения микроскопических адсорбционных параметров.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
___. ___. 2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Адсорбция на неоднородных поверхностях.
- 2 Квантово-химический расчет адсорбционных характеристик малых органических молекул и ионов.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
___. ___. 2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Влияние природы металла на адсорбцию органических соединений.
Обобщенная изотерма Конуэя-Гилеади.
- 2 Учет растворителя в континуальном, микроскопическом и континуально-микроскопическом приближении.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 11

1. Линейная вольтамперометрия с учетом одновременной адсорбции продуктов и реагентов. Соадсорбция.
- 2 Адсорбция гидроксид- и хлорид-ионов из газовой фазы. Газофазная адсорбция молекул воды

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Кинетика адсорбции и электродесорбции на однородных поверхностях. Методы адсорбционно-кинетических измерений.
- 2 Расчет характеристических частот колебаний на кластере со свободными связями.

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский
__._.2017

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: экзамен
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 14

1. Кинетика адсорбции и соадсорбции с учетом обобщенной изотермы.
2. Квантово-химический подход к описанию адсорбционных систем. Кластерный подход. Проблемы выбора базиса и установления адсорбционной позиции.

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

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 *устного опроса*. 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 и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков и опыт деятельности. При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.