



### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Опираясь на базовые знания аспирантов в области физической химии, электрохимии, физики и математики, подготовить преподавателей-исследователей, владеющих современными методами изучения, контроля и управления процессами, протекающими на межфазной границе. Изложить фундаментальные представления о кинетике процессов, протекающих под действием электромагнитного излучения на электродах различной природы. Особое внимание уделить фотоэлектрохимии полупроводниковых материалов, принципам создания эффективных и экологичных источников тока на примере фотогальванических и фотовольтаических элементов и солнечных батарей.

### 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, (физической, неорганической, аналитической, органической, химии высокомолекулярных соединений, химической технологии); уметь применять основные законы химии и физики при обсуждении полученных результатов.

### 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 в междисциплинарных областях	знать: современные достижения в области электрохимии уметь: выбирать подходящие методы при решении исследовательских и практических задач владеть навыками критического анализа современных достижений в области физической химии
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 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	знать: теоретические основы современных физикохимических и электрохимических методов исследования уметь: применять современные электрохимические методы исследований в научно-исследовательской деятельности владеть навыками интерпретации результатов электрохимических методов исследований, в том

	использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	числе с использованием информационно-коммуникационных технологий
ПК-11	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области электрохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	знать: теоретические основы нестационарных методов электрохимических и фотоэлектрохимических исследований уметь: применять современные нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований владеть навыками использования информационно-коммуникационных технологий при интерпретации и представлении результатов исследований

**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	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Индивидуальные занятия</b>			
1	Нестационарные гальваностатические методы. Нестационарные потенциостатические методы	Метод включения тока в изучении стадии переноса заряда. Учет тока заряжения двойного слоя. Фиксация хронопотенциограмм. Анодная хронопотенциометрия в случае обратимой электродной реакции. «Быстрые» гальваностатические методы. Сущность метода кулоностатического зондирования. Хроноамперометрия в условиях обратимой электродной реакции. Хроноамперограмма в условиях смешанной кинетики. Стационарный и нестационарный	ЭУМК «Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрических исследований» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949</a>

		массоперенос в растворе. Учет концентрационной зависимости коэффициента диффузии в хроноамперометрии.	
2	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала. Переменно-токовые методы исследования кинетики электрохимических процессов	Принципы вольтамперометрии. Уравнения для обратимой окислительно-восстановительной реакции. Критерий обратимости электродной реакции. Необратимая хроновольтамперометрия. Циклическая хроновольтамперометрия с линейной разверткой потенциала. Переменно-токовые методы исследования кинетики электрохимических процессов. Импеданс идеально-поляризуемого электрода. Реальная и мнимая составляющие. Эквивалентная электрохимическая схема межфазной границы. Элемент постоянной фазы. Импеданс фарадеевского процесса. Перенапряжение диффузии в импедансометрии. Импеданс Варбурга. Импеданс в случае адсорбции электрохимически индифферентного вещества. Адсорбционная емкость и псевдоемкость. Техника измерения импеданса. Обработка результатов измерения импеданса. Метод Эршлера-Рэндлса. Метод комплексной плоскости (Слюйтерса). Графоаналитический метод.	ЭУМК «Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрических исследований» » <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949</a>
3	Методы установления кинетических особенностей процессов в системе полупроводник/электролит	Зонная теория твердых тел. Понятие о полупроводниках, ширина запрещенной зоны. Сравнительные данные о строении двойного электрического слоя на границе металл/электролит и полупроводник-электролит. Кинетика электрохимических реакций на полупроводниках, протекающих в режиме перенапряжения перехода (феноменологический и квантово-механический подходы). Роль диффузии в электролите и твердой фазе в кинетике процессов на полупроводниках. Кинетика процессов, контролируемых генерацией носителей в дебаевской области полупроводника. Кинетика процессов, протекающих в условиях фазовой поляризации (катодное осаждение металлов на полупроводниках и анодное окислирование полупроводников)	ЭУМК «Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрических исследований» » <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949</a>
4	Фотоэлектрические свойства полупроводников. Методы	Электрохимические процессы, обусловленные фотовозбуждением реагентов в растворе. Фотопассивация и фотоактивация полупроводников.	ЭУМК «Нестационарные методы электрохимических исследований»

преобразования энергии света Изучение электрооптических эффектов.	Фотокоррозия полупроводниковых материалов. Фотоэлектролиз воды, принцип действия и энергетика преобразования. Фотогальванические и фотовольтаические элементы. Эффективность преобразования солнечной энергии в фото - электрохимических элементах. Жидкостные солнечные батареи. Фотоэлементы с полихалькогенидными электролитами и фотоэлементы с электродами из дихалькогенидов. Лазерное травление, фотоэлектронная эмиссия из полупроводников в раствор, электроиндуцированная люминисценция.	важнейших исследований и фотоэлектрических исследований» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949</a>
--	--	---

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Индивидуальные занятия	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Нестационарные гальваностатические методы. Нестационарные потенциостатические методы	1		14	15
2	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала. Переменно-токовые методы исследования кинетики электрохимических процессов	1		10	11
3	Методы установления кинетических особенностей процессов в системе полупроводник/ электролит	1		18	19
4	Фотоэлектрические свойства полупроводников. Методы преобразования энергии света. Изучение электрооптических эффектов.	1		26	27
	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:

№ п/п	Источник
1.	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.
2.	Слепушкин В. В. Локальный электрохимический анализ / В.В.Слепушкин, Ю.В. Рублинецкая.- М.: Физматлит.- 2010.-309с. / ЭБС «Электронная библиотека онлайн»

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Электроаналитические методы. Теория и практика / А.М. Бонд [и др.] ; ред. Ф. Шольц.— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006 .— 326 с.
2	Плэмбек Дж. А. Электрохимические методы анализа : Основы теории и применение / Дж. Плэмбек; Под ред. д-ра хим. наук С.Г. Майрановского .— М. : Мир, 1985 .— 504с.
3	Паутов В.Н. Электрохимический анализ : учебное пособие / В.Н. Паутов ; Новосиб. гос. техн. ун-т .— Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, 2000-. Ч.1 - 90 с.; Ч. 2 .— 2004 .— 122с.
4	Электрохимический импеданс / З.Б. Стойнов, Б.М. Графов и др. . – М. : Наука, 1991. – 328 с.
5	Смит Р. Полупроводники / Р.А. Смит; Пер. с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук Н.А. Пенина .— М. : Мир, 1982 .— 558с.
6	Дамаскин Б.Б. Принципы современных методов изучения электрохимических реакций / Б.Б. Дамаскин. – М. : Изд-во МГУ, 1965. – 132 с.
7	Хофман Р. Строение твердых тел и поверхностей. Взгляд химика - теоретика / Р. Хофман ; Пер. с англ. А.Л. Чугреева; Под ред. А.А. Левина .— М. : Мир, 1990 .— 214 с.
8	Батенков В.А. Электрохимия полупроводников. Ч. 1 : учебное пособие / В.А. Батенков .— Барнаул : Изд-во Алтайского ун-та, 1980 .— 89 с.
9	Оптика наноструктур / Гапоненко С.В. [и др.] - СПб: Недра, 2005 .— 326 с.
10	Калужина С.А. Электрохимия и коррозия полупроводников : Учеб.пособие / Под ред. Я.А.Угая .— Воронеж : Изд-во ВГУ, 1995 .— 117с.
11	Гуревич Ю.Я. Фотоэлектрохимия полупроводников / Ю.Я. Гуревич, Ю.В. Плесков ; АН СССР, Ин-т электрохимии им. А.Н. Фрумкина .— М. : Наука, 1983 .— 312 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурс
1.	Научная электронная библиотека — <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>
2.	Электронная библиотека Воронежского государственного университета — <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a>
3.	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет - <a href="http://www.chemnet.ru">http://www.chemnet.ru</a>
4.	ЭУМК «Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрических исследований» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11949</a>

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

№ п/п	Источник
1	Введенский А.В., Морозова Н.Б., Бобринская Е.В. Кинетика электрохимических процессов : учебное пособие для вузов : [для студ. 4-го и 5-го курсов химич. фак. Воронеж. гос. ун-та всех форм обучения, для направлений: 04.03.01 - Химия, 04.04.01 - Химия и 04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия]. Ч. 1. Стадия переноса заряда / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская ; Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017 .— 117 с.
2	Введенский А.В., Морозова Н.Б., Бобринская Е.В. Кинетика электрохимических процессов : учебное пособие для вузов : [для студ. 4-го и 5-го курсов хим. фак. Воронеж. гос. ун-та всех форм обучения, для направлений: 04.03.01 - Химия, 04.04.01 - Химия и 04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия]. Ч. 2. Стадии диффузии и химической реакции / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская ; Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017 .— 60 с.
3	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие : [для студ. всех форм обучения хим. специальностей ун-тов и вузов хим.-технол. профиля] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Введенский, С.А. Калужина, Т.А. Кравченко [и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010. Ч. 1: Равновесные процессы в растворах электролитов .— 2010 .— 39 с.
4	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие : [для студ. всех форм обучения хим. специальностей ун-тов и вузов хим.-технол. профиля] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Введенский, С.А. Калужина, Т.А. Кравченко [и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010. Ч. 2: Ионный транспорт. Кулонометрия .— 2010 .— 60 с.
5	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: А.В. Введенский и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010-. Ч. 3: Равновесные электродные системы .— 66с.

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

При реализации дисциплины проводятся лекции, текущая аттестация в форме письменных контрольных работ, практические и лабораторные занятия.

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:**

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)	Этапы формирования компетенции	ФОС (средства)
---	---	--------------------------------	----------------

	компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	(разделы дисциплины или модуля и их наименование)	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 физической химии уметь: выбирать подходящие методы при решении исследовательских и практических задач владеть навыками критического анализа современных достижений в области физической химии	1-4	КИМ
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 использования современных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранных языках	1-4	КИМ
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 физикохимических и электрохимических методов исследования уметь: применять современные электрохимические методы исследований в научно-исследовательской деятельности владеть навыками интерпретации результатов электрохимических методов исследований, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий	1-4	КИМ, практические задания



ПК-11 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области электрохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	знать: теоретические основы нестационарных методов электрохимических и фотоэлектрохимических исследований уметь: применять современные нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований владеть навыками использования информационно-коммуникационных технологий при интерпретации и представлении результатов исследований	1-4	КИМ, практические задания
---	---	-----	---------------------------

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

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

- 1) Знание современных достижений в области физической химии; теоретических основ современных физикохимических и электрохимических методов исследования.
- 2) Умение выбирать и применять электрохимические и фотоэлектрохимические методы исследования; конкретные электродные системы при решении исследовательских и практических задач; использовать современные методы и технологии научной коммуникации в научно-исследовательской деятельности; объяснить основные закономерности химических и электрохимических процессов, протекающих на электродах.
- 3) Владение навыками критического анализа современных достижений в области физической химии; интерпретации результатов физикохимических и электрохимических исследований.

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие критерии.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки. Ответ на контрольно-измерительный материал соответствует всем или практически всем из перечисленных показателей. Обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. В ходе беседы с преподавателем исправляет неточности в ответе.	Базовый	Зачтено
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует более чем трем из перечисленных выше показателей. Обучающийся демонстрирует	—	Незачтено

отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, что соответствует не освоению компетенций.		
---	--	--

**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**

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

**Контрольно-измерительный материал № 1**

1. Нестационарные гальваностатические методы.
2. Электрохимические процессы, обусловленные фотовозбуждением реагентов в растворе. Фотопассивация и фотоактивация полупроводников.

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

**Контрольно-измерительный материал № 2**

1. Нестационарные потенциостатические методы.
2. Фотоэлектрические свойства полупроводников. Фотокоррозия важнейших полупроводниковых материалов.

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

### Контрольно-измерительный материал № 3

1. Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала.
2. Методы преобразования энергии света. Фотогальванические и фотовольтаические элементы.

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

### Контрольно-измерительный материал № 4

1. Переменно-токовые методы исследования кинетики электрохимических процессов.
2. Эффективность преобразования солнечной энергии в фотоэлектрохимических элементах. Фотоэлементы с полихалькогенидными электролитами. Фотоэлементы с электродами из дихалькогенидов.

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

### Контрольно-измерительный материал № 5

1. Кинетика электрохимических реакций на полупроводниках, протекающих в режиме перенапряжения перехода (феноменологический и квантово-механический подходы).
2. Изучение электрооптических эффектов. Лазерное травление, фотоэлектронная эмиссия из полупроводников в раствор, электроиндуцированная люминисценция.

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

Направление подготовки / специальность 04.06.01 Химия  
Дисциплина Нестационарные методы электрохимических и фотоэлектрохимических исследований  
Форма обучения очное  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

## Контрольно-измерительный материал № 6

1. Кинетика процессов, протекающих в условиях фазовой поляризации (катодное осаждение металлов на полупроводниках и анодное окислирование полупроводников)

2. Фотоэлектрические свойства полупроводников. Эффективность преобразования солнечной энергии в фото - электрохимических элементах

Преподаватель \_\_\_\_\_ д.х.н., проф. А.В. Введенский

### 19.3.2 Перечень практических заданий:

- Хроноамперограмма бинарного сплава в условиях необратимой электродной реакции. Учет концентрационной зависимости коэффициента диффузии в хроноамперометрии.

-Хроноамперометрия в условиях окисления обоих компонентов.

-Электрохимические реакции на полупроводниках, протекающие в режиме перенапряжения перехода заряда.

- Катодное осаждение металлов на полупроводниках и анодное окислирование полупроводников.

- Фотоэлектролиз воды.

- Импеданс идеально-поляризуемого электрода.

-Импеданс в случае адсорбции электрохимически индифферентного вещества.

Адсорбционная псевдоемкость.

### 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 оценки за экзамен/зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.