

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт естественных наук и математики

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
В.В. Кружаев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ЭЛЕКТРОХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Химия твердого тела	<b>Код ОП</b> 04.06.01
<b>Направление подготовки</b> Химические науки	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 04.06.01
<b>Уровень подготовки</b> Подготовка кадров высшей квалификации	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> № 869 от 30.07.2014 г., с изменениями и дополнениями № 464 от 30.04.2015 г.

**СОГЛАСОВАНО**  
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ВЫСШЕЙ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург, 2017 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Структурное подразделение</b>	<b>Подпись</b>
1	Анимица Ирина Евгеньевна	Д.х.н., с.н.с	профессор	Кафедра физической и неорганической химии ИЕНиМ	
2	Буянова Елена Станиславовна	К.х.н., доц.	доцент	Кафедра аналитической химии и химии окружающей среды ИЕНиМ	

**Рекомендовано учебно-методическим советом  
Института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 1 от 26.09.2017 г.

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

О.А. Неволлина

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

## ЭЛЕКТРОХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

### 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Специальная дисциплина «Электрохимия твердого тела» направлена на углубление знаний и практических навыков в области электрохимических исследований твердого тела. В нем изучаются современные методы исследования электрохимических свойств оксидных материалов, в частности измерение электропроводности, коэффициентов термо-ЭДС, кислородопроницаемости как функции температуры и давления кислорода, метод электрохимического импеданса.

### 1.2. Язык реализации дисциплины — русский

### 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Дисциплина «Электрохимия твердого тела» относится к разделу Б.1 вариативной части (дисциплина по выбору) ОХОП направления аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен овладеть следующими компетенциями:

#### **общепрофессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2);

#### **профессиональные компетенции:**

#### **научно-исследовательская деятельность:**

- способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела (ПК-1);
- готовность представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях, докладов на научных конференциях, рецензировать и редактировать научные статьи по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела (ПК-2).

#### 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)	5
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия	0	0	0
4.	Лабораторные работы	0	0	0
5.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	0,6	104
6.	Промежуточная аттестация	Зачет	0,25	<i>Зачет</i>
7.	Общий объем по учебному плану, час.	108	4,85	108
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Предмет и задачи импедансной спектроскопии.	Способы описания электрохимических цепей. Этапы развития теории электрохимического импеданса. Взаимосвязь метода импедансной спектроскопии со смежными областями - физической химией, кристаллохимией, электрохимией, химией твердого тела. Методы измерения на постоянном и переменном токе. Понятие импеданса, адмиттанса. Способы измерения импеданса. Виды электрохимических ячеек. Анализ и исправление ошибок измерения. Входные импедансы. Калибрование измерительного тракта. Программирование и автоматизация эксперимента. Банк данных и база знаний. Каталог импедансных моделей и спектров. Моделирование электрохимического импеданса. Спектры импеданса электронных, ионных проводников. Импеданс поверхностных слоев. Импеданс монокристаллов. Изучение электрохимических процессов с применением импедансной спектроскопии. Модели поликристалла и определение на их основе внутри- и межкристаллической электропроводности. Проблемы интерпретации электрохимического импеданса.

Р2	Явления переноса в конденсированных средах.	Основное уравнение переноса. Ионная и электронная проводимости в твёрдых телах. Зависимость от температуры и парциального давления летучего компонента. Измерение проводимости на постоянном и переменном токе с привлечением импедансметрии в зависимости от температуры, активностей кислорода и паров воды в газовой фазе. Определение чисел переноса носителей методом ЭДС (кислородный или пароводяной гальванический элементы). Определение чисел переноса по методу Тубандта. Кислородопроницаемость в оксидных материалах со смешанной электронно-ионной проводимостью. Измерение коэффициентов термо-ЭДС как функции температуры и давления кислорода
----	---	--

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплин



#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Лабораторные работы

Не предусмотрено

##### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрено

##### 4.3 Примерная тематика самостоятельной работы

###### 4.3.1 Примерный перечень тем домашних работ

Не предусмотрено

###### 4.3.2 Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено

###### 4.3.3 Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено

###### 4.3.4 Примерная тематика контрольных работ

Не предусмотрено

###### 4.3.5. Примерная тематика коллоквиумов

Не предусмотрено

###### 4.3.6 Самостоятельная работа аспирантов

Разделы и темы для самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы
<b>Раздел 1.</b> Тема 1. Основные понятия метода импедансной спектроскопии. Методы измерения на постоянном и переменном токе. Эквивалентные электрические цепи. Активное и реактивное сопротивление. Годограф импеданса. Тема 2. Моделирование электрохимического импеданса	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).
<b>Раздел 2.</b> Тема 1. Явления переноса в твердых телах: электро- и массо-перенос. Типы носителей заряда. Особенности описания электронного и ионного переноса в твердых телах.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (подготовка доклада).
<b>Раздел 2.</b> Тема 2. Смешанные ионно-электронные проводники. Методы измерения чисел переноса в оксидных материалах. Методы дифференциации электронной и ионной составляющих проводимости.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).

<p><b>Раздел 2. Тема 3. Кислородопроницаемость в оксидных материалах со смешанной электронно-ионной проводимостью.</b></p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>
--	---

**5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ** [отметить звездочкой или другим символом применяемые технологии обучения по разделам и темам дисциплины]

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения					Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение						
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1 – P6				*								

**6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)**

**7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**7.1.Рекомендуемая литература**

**7.1.1. Основная литература**

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия : КолосС, 2006.
2. Байрамов В. М. Основы электрохимии М.: Академия. 2005, 240 с.
3. Е. С. Буянова, Ю. В. Емельянова. Учебно-методический комплекс дисциплины "Импедансная спектроскопия электролитических материалов" [Электронный ресурс] /; Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького, ИОНЦ "Нанотехнологии и перспективные материалы" [и др.]. — Электрон. дан. (8,23 Мб). — Екатеринбург : [б. и.], 2008
4. Бокштейн Б.С., Ярославцев А.Б.. Диффузия атомов и ионов в твердых телах. М.: МИСИС, 2005. 362 с.
5. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. Санкт-Петербург.: "Изд-во Санкт-

Петербургского ун-та", том. 1. 2000, 617 с.

6. The Impedance Measurement Handbook. A Guide to Measurement Technology and Techniques. Agilent Technologies Co. Ltd. 2000-2003.

7. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment and Applications. Ed. E. Barsoukov, J. Ross Macdonald. N.Y., Wiley. 2005.

### **7.1.2. Дополнительная литература**

1. В Мурыгин И.В.. Электродные процессы в твердых электролитах. М.: Наука, 1991. 351 с.

2. Перфильев М.В., Демин А.К., Кузин Б.Л., Липилин А.С.. Электролиз газов. М.: Наука, 1988. 232 с.

3. Жуковский В.М., Петров А.Н., Нейман А.Я.. Вводный курс в электрохимию дефектных кристаллов. Свердлов.: Уральск.гос.ун-т, 1979. 127 с.

4. Укше Е.А., Букун Н.Г.. Твердые электролиты. М.: Наука, 1977. 176 с.

5. Графов Б.М., Укше Е.А.. Электрохимические цепи переменного тока. М.: Наука, 1973. 128 с.

6. Стойнов З.Б., Графов Б.М., Саввова-Стойнова Б., Елкин В.В.. Электрохимический импеданс. М.: Наука, 1991. 336 с.

7. Irvin J.T.S., Sinclair D.C., West A.R. Electroceramics: Characterization by Impedance Spectroscopy. // Advanced Materials. 1990. V.2. N.3 P.132-138.

8. Чеботин В.Н., Перфильев М.В.. Электрохимия твердых электролитов. М.: Химия, 1978. 312 с.

9. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела. // М.: Химия. - 1982. - 320с.

10. Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий. Электрохимия : Учеб. пособие для вузов. М. : Высшая школа, 1987

### **7.2. Методические разработки**

Не предусмотрено

### **7.3. Программное обеспечение**

1. Microsoft Office

### **7.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Платформа Springer Link
2. Платформа Nature
3. База данных Springer Materials
4. База данных Springer Protocols
5. База данных zbMath
6. База данных Nano
7. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD Enterprise

### **7.5. Электронные образовательные ресурсы**

Все аспиранты имеют полный доступ к перечисленным ресурсам, в т.ч. через авторизованный доступ из сети интернет:

1. Международный индекс научного цитирования Scopus компании Elsevier B.V.
2. Международный индекс научного цитирования Web of Science компании Clarivate Analytics

3. Журналы издательства Wiley
4. Электронная библиотека IEEEEXPLORE Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
5. Журналы American Physical Society (Американского физического общества)
6. Журналы Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)
7. MathSciNET - реферативная база данных American Mathematical Society (Американского математического общества)
8. Патентная база компании QUESTEL
9. Журнал Science Online
10. Журнал Nature
11. Журналы издательства Oxford University Press
12. Журналы издательства SAGE Publication
13. Журналы Американского института физики
14. Журналы Института физики (Великобритания)
15. Журналы Оптического общества Америки
16. Материалы международного общества оптики и фотоники (OSA)
17. Журналы издательства Cambridge University Press
18. Научные журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG
19. База данных Annual Reviews Science Collection
20. База данных CASC- Коллекция компьютерных и прикладных наук компании EBSCO Publishing
21. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing
22. База данных Association for Computing Machinery (ACM)
23. База диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global Журнальные базы данных мировой научной информации Freedom Collection компании Elsevier
24. Информационно-аналитическая система управления научными исследованиями Pure компании Elsevier B. V.
25. Наукометрическая база данных Scival компании Elsevier B. V.
26. Аналитическая и информационная база данных REAXYS компании Elsevier,
27. Научные базы данных компании EBSCO Publishing: Business Source Complete и Academic Search Complete, Информационно-поисковая система EBSCO Discovery Service, IEEE All-Society Periodicals Package,
28. Базы данных компании East View,
29. Электронная библиотека диссертаций РГБ;
30. Информационно-аналитическая система FIRA PRO компании ООО«Первое Независимое Рейтинговое Агентство»,
31. Электронная система нормативно-технической документации "Техэксперт" компании КОДЕКС,
32. Базы данных «Интегрум Профи» компании «Интегрум медиа»,
33. Наукометрические базы данных Incites и Journal Citation Report компании Clarivate Analytics,
34. Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX компании «Научная электронная библиотека».

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и

техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Уральский федеральный университет имеет материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации программы аспирантуры, обеспечения дисциплин (модулей), научно-исследовательской работы и практик, в соответствии с требованиями к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению направленности программы.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Объективная оценка уровня соответствия результатов обучения требованиям к освоению ОП обеспечивается системой разработанных критериев (показателей) оценки освоения знаний, сформированности умений и опыта выполнения профессиональных задач.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)

<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.
----------------------------	--	--	--

## **8.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **8.2.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**

Не предусмотрено

### **8.2.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**

Не предусмотрено

### **8.2.3. Примерные контрольные кейсы**

Не предусмотрено

### **8.2.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

#### **Проверяемые компетенции ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2.**

1. Явления массо- электро-переноса. Законы диффузии Фика. Стационарная и нестационарная диффузия. Миграция.
2. Удельная и эквивалентная электропроводность, методы определения. Типы ячеек для измерения электропроводности.
3. Числа переноса и методы их определения.
4. Термоэлектрические явления. Коэффициент Зеебека, его определение. Расчеты концентрации носителей заряда.
5. Твердые электролиты, их классификация.
6. Зонная теория проводимости. Применение зонной теории к несовершенным кристаллам.
7. Методы дифференциации электронной и ионной составляющих проводимости в твердых телах.
8. Ионно-электронный перенос в смешанных проводниках. Кислородопроницаемость оксидных материалов. Методы ее измерения.
9. Подвижность носителей заряда, методы расчета подвижности.
10. Метод импедансной спектроскопии. Способы трактовки результатов измерений.
11. Объемная и межзеренная проводимость в поликристаллах. Отклик поликристалла на переменное-токовое возмущение. Экспериментальные подходы к разделению сопротивления объема зерен и границ зерен.
12. Сущность импедансного моделирования.

13. Основные структурные элементы эквивалентных схем.
14. Структурные модели твердых электролитов.
15. Способы реализации измерения импеданса, достоинства, недостатки.
16. Выбор метода измерения сопротивления на переменном токе.
17. Способы описания годографов импеданса.
18. Анализ инструментальных ошибок.
19. Требования к экспериментальной технике для измерения импеданса.
20. Проблемы импедансной идентификации
21. Программирование и автоматизация эксперимента. Базы данных, каталоги импедансных спектров.

#### **8.2.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

Не предусмотрено

#### **8.2.6**

**Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

Не предусмотрено

**Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

Не предусмотрено

**Интернет-тренажеры**

Не предусмотрено