

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1143608	Электро- и массоперенос в твердых телах

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Химия и физика новых функциональных материалов	Код ОП 1. 04.04.02/33.01
Направление подготовки 1. Химия, физика и механика материалов	Код направления и уровня подготовки 1. 04.04.02

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Калинина Елена Григорьевна	кандидат химических наук, без ученого звания	Доцент	физической и неорганической химии
2	Киселев Евгений Александрович	кандидат химических наук, без ученого звания	Доцент	физической и неорганической химии

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Электро- и массоперенос в твердых телах

1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль включает дисциплины «Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах», «Электротранспортные явления в твердых телах». Целью модуля является формирование у студентов глубокого понимания разделов различных областей химического знания: электрохимии, кристаллохимии, химии твердого тела и неорганической химии – применительно к описанию транспортных процессов в твердофазных, преимущественно оксидных, объектах. Ключевое внимание уделяется изучению явлений переноса заряда и массы в химическом, электрическом и температурных полях, основным представлениям о диффузии и реакционной диффузии в кристаллах.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах	3
2	Электротранспортные явления в твердых телах	3
ИТОГО по модулю:		6

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Современные теоретические основы химии материалов
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Физические свойства твердых тел 2. Функциональные неорганические материалы

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3

Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p>
	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p>
	ПК-1 - Способен проводить синтез и комплексные исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, модифицировать имеющиеся экспериментальные методики, выбирая оптимальный способ решения поставленной задачи	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение и возможности модифицирования методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов планирования научно-исследовательской работы</p> <p>У-2 - Составлять общий план научно-исследовательской работы и детальные планы ее отдельных стадий</p>
	ПК-2 - Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии, физики и/или смежных наук	<p>У-1 - Анализировать и обобщать результаты информационного/патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии физики и/или смежных наук</p> <p>П-1 - Иметь опыт работы с поисковыми системами, электронными библиотеками, базами данных по химии, физике и смежным областям</p>
	ПК-3 - Способен на основе критического	З-1 - Представлять актуальные направления теоретических и экспериментальных

<p>анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии и физики</p>	<p>исследований и областей практического применения результатов в выбранной области химии и физики</p> <p>У-1 - Определять возможные направления развития теоретических и экспериментальных работ и перспективы практического применения полученных результатов в своей профессиональной области</p> <p>П-1 - Иметь опыт прогнозирования направления собственных исследований с учетом практического применения результатов</p> <p>П-2 - Иметь опыт анализа полученных экспериментальных и/или теоретических результатов собственного исследования в сравнении с литературными данными</p>
<p>ПК-4 - Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение методов исследования, необходимых для решения технологических задач</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов организации и планирования материально-технического сопровождения НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Предлагать технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-2 - Планировать отдельные стадии и работу в целом, организовать материально-техническое сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p>
<p>ПК-5 - Способен осуществлять документальное сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>У-1 - Готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР, анализировать имеющиеся нормативные документы по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции</p> <p>П-1 - Иметь навыки работы с нормативной документацией по разработке и стандартизации химической продукции,</p>

		проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
Электротранспортные явления в твердых телах	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>П-1 - Иметь опыт проведения фундаментальных и прикладных исследований, модельных или реальных экспериментов с использованием современной методологии, методов, оборудования и техники</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p> <p>Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели</p>
	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>У-1 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов, корректно интерпретировать их для формулирования заключений и выводов</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p> <p>Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения</p>
	ПК-1 - Способен проводить синтез и комплексные исследования свойств функциональных и конструкционных	З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение и возможности модифицирования методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов

	<p>материалов, модифицировать имеющиеся экспериментальные методики, выбирая оптимальный способ решения поставленной задачи</p>	<p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов планирования научно-исследовательской работы</p> <p>У-1 - Выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов в выбранной области профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Составлять общий план научно-исследовательской работы и детальные планы ее отдельных стадий</p> <p>П-1 - Иметь опыт выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования НИР в целом и отдельных стадий НИР</p>
	<p>ПК-2 - Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии, физики и/или смежных наук</p>	<p>З-1 - Представлять возможности существующих поисковых систем и электронных библиотек, используемые для поиска химической, в том числе патентной информации</p> <p>У-1 - Анализировать и обобщать результаты информационного/патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии физики и/или смежных наук</p> <p>П-1 - Иметь опыт работы с поисковыми системами, электронными библиотеками, базами данных по химии, физике и смежным областям</p>
	<p>ПК-3 - Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии и физики</p>	<p>З-1 - Представлять актуальные направления теоретических и экспериментальных исследований и областей практического применения результатов в выбранной области химии и физики</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов анализа и систематизации результатов НИР и НИОКР</p>

		<p>У-1 - Определять возможные направления развития теоретических и экспериментальных работ и перспективы практического применения полученных результатов в своей профессиональной области</p> <p>У-2 - Систематизировать информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализировать ее и сопоставлять с литературными данными</p> <p>П-1 - Иметь опыт прогнозирования направления собственных исследований с учетом практического применения результатов</p> <p>П-2 - Иметь опыт анализа полученных экспериментальных и/или теоретических результатов собственного исследования в сравнении с литературными данными</p>
	<p>ПК-4 - Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение методов исследования, необходимых для решения технологических задач</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов организации и планирования материально-технического сопровождения НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Предлагать технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-2 - Планировать отдельные стадии и работу в целом, организовать материально-техническое сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p> <p>П-1 - Иметь опыт выбора методов решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР с учетом глобальных вызовов и неопределенностей</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования отдельных стадий НИР и НИОКР и работы в целом, материально-технического сопровождения прикладных НИР и НИОКР</p>

	<p>ПК-5 - Способен осуществлять документальное сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>З-1 - Привести примеры нормативных документов по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции, проведения прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР, анализировать имеющиеся нормативные документы по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции</p>
--	---	--

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Диффузионные процессы в твердых телах и
на межфазовых границах

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Ананьев Максим Васильевич	доктор химических наук, доцент	Профессор	Кафедра технологии электрохимически х производств
2	Калинина Елена Григорьевна	кандидат химических наук, без ученого звания	Доцент	Кафедра физической химии

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Ананьев Максим Васильевич, Профессор, технологии электрохимических производств
- Калинина Елена Григорьевна, Доцент, физической и неорганической химии

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Диффузия. Общие определения и основные уравнения	Определение диффузии, миграции и массопереноса. Основные виды диффузии. Феноменологическое описание процессов диффузии. Первый и Второй закон Фика. Уравнение Фика при наличии в системе дополнительной действующей силы. Коэффициент диффузии и его виды. Взаимосвязь коэффициента диффузии с кристаллическим строением твердых тел.
2	Температурные зависимости диффузионных характеристик. Особенности решения задач одномерной диффузии. Взаимодиффузия	Температурная зависимость коэффициента диффузии. Закон Аррениуса. Энергия активации диффузии и ее определение. Одномерная диффузия. Аналитическое решение задач нестационарной одномерной диффузии. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Коэффициент взаимной диффузии. Теория Даркена взаимной диффузии. Эффект Киркендалла. Диффузия при градиенте химического потенциала. Гиперболическое уравнение диффузии. Примеры решения задач.
3	Поверхностная диффузия	Процессы диффузии на поверхности. Уравнения случайного блуждания. Анизотропия поверхностной диффузии. Ориентационная анизотропия. Анизотропия по направлениям. Атомные механизмы поверхностной диффузии. Кластеры. Поверхностная диффузия кластеров. Гетеродиффузия в присутствии атомов третьего элемента. Сурфактанты. Механизм Франка-Ван дер Мерве. Механизм Вольмера-Вебера. Механизм Странского-Крастанова. Поверхностная

		диффузия, сопровождающаяся формированием новой фазы. Механизм твёрдофазного растекания.
4	Объемная и зернограничная диффузия	Объемная и зернограничная диффузия в твердом теле. Возможные механизмы диффузии в кристаллах. Зернограничная диффузия. Классификация кинетических режимов диффузии по границам зерен Харрисона. Модель Фишера зернограничной диффузии. Диффузия в «активных» или дефектных средах. Физико-химические процессы, протекающие при спекании порошковых материалов и керамики.
5	Диффузионные процессы и эффекты в микроэлектронике	Диффузионные процессы и эффекты в микроэлектронике. Формирование p-n переходов методом диффузии. Распределение примеси при диффузии. Термическое окисление. Ионная имплантация примесей. Тонкие пленки. Диффузионные методы нанесения покрытий.
6	Нано- и гетероструктуры	Нано- и гетероструктуры с повышенной ионной проводимостью. Наноионика. Вертикально ориентированные нанокompозитные пленки, механизм и способы их формирования.
7	Диффузионные процессы в катодах ТОТЭ	Диффузионные процессы в пористых катодных материалах ТОТЭ. Механизмы электрохимического восстановления кислорода на катоде ТОТЭ. Модель Адлера-Лейна-Стила (АЛС).
8	Моделирование процессов диффузии	Методы моделирования процессов диффузии. Основные подходы к решению мультифизических полевых задач. Методы моделирования на атомном уровне. Метод Монте-Карло. Метод молекулярной динамики. Обоснование и границы применимости молекулярно-динамического метода. Программные комплексы для проведения моделирования методом молекулярной динамики.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации /полностью на иностранном языке.

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах

Электронные ресурсы (издания)

1. ; Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2017; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573952> (Электронное издание)
2. Selivanova, , N. M.; Physical Chemistry : educational aid.; Казанский национальный исследовательский

технологический университет, Казань; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/79252.html> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Бокштейн, Б. С.; Диффузия в металлах : Учеб. пособие для вузов.; Металлургия, Москва; 1978 (28 экз.)
2. Кузьменко, П. П.; Электроперенос, теплоперенос и диффузия в металлах : Учеб. пособие для ун-тов и техн. вузов.; Вища шк., Киев; 1983 (2 экз.)
3. Криштал, М. А.; Многокомпонентная диффузия в металлах; Металлургия, Москва; 1985 (2 экз.)
4. Малкович, Р. Ш.; Математика диффузии в полупроводниках; Наука, Санкт-Петербург; 1999 (1 экз.)
5. Малкович, Р. Ш.; Математика диффузии в полупроводниках; Наука, Санкт-Петербург; 1999 (1 экз.)
6. Лифшиц, В. Г.; Процессы на поверхности твердых тел; Дальнаука, Владивосток; 2003 (1 экз.)
7. Лифшиц, В. Г., Репинский, С. М.; Процессы на поверхности твердых тел; Дальнаука, Владивосток; 2003 (1 экз.)
8. Mrowec, Mrowec S.; Defects and Diffusion in Solids : An Introduction.; S. n., Warszawa; Amsterdam; Oxford; New York; 1980 (1 экз.)
9. Kaxiras, E.; Atomic and electronic structure of solids; Cambridge university press, Cambridge; 2003 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU- <http://elibrary.ru>

American Chemical Society

Elsevier

ScienceDirect Freedom Collection

Scopus

SpringerLink

Springer Nature

Web of Science Core Collection

Web of Science

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах

Сведения об оснащенности дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Не требуется

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Электротранспортные явления в твердых
телах

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Анимица Ирина Евгеньевна	доктор химических наук, доцент	Профессор	Кафедра физической химии
2	Киселев Евгений Александрович	кандидат химических наук, без ученого звания	Доцент	физической и неорганической химии

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Анимца Ирина Евгеньевна, Профессор, физической и неорганической химии
- Киселев Евгений Александрович, Доцент, физической и неорганической химии

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Явления переноса в твердых телах: основные понятия и определения	Явления переноса в твердых телах: основные понятия и определения. Линейная термодинамика неравновесных процессов: принципы Онзагера. Явления переноса при единичных и смешанных градиентах: химического потенциала, температуры и электрического поля. Уравнения электро- и теплопроводности. Законы Фика. Диффузия и ионная проводимость в смешанных проводниках. Термодиффузия и термоэлектрические явления: эффекты Зеебека, Пельтье и Томпсона. Абсолютная термоэлектрическая шкала
2	Экспериментальные методы исследования явлений переноса в твердых телах при высоких температурах	Методы измерения электропроводности: двухзондовая и четырехзондовая схема измерения электропроводности, метод Ван-дер-Пау. Интегральный и дифференциальный метод измерения коэффициентов термо-эдс. Методы оценки ионной проводимости и коэффициентов диффузии, скоростей обмена смешанных электронных и кислород-ионных проводниках с газовой фазой (на примере фаз Раддлсдена - Поппера): измерения кислородопроницаемости, изотопного обмена, релаксация электропроводности, метод Хэбба-Вагнера и его модификации. Обработка экспериментальных данных на конкретных примерах. Спектроскопия электрохимического импеданса.
3	Обработка экспериментальных данных	Вывод и анализ основных уравнений для описания термо-эдс и электропроводности в проводниках со смешанной ионной и электронно-дырочной проводимостью в зависимости от

	по модельным представлениям	внешних термодинамических параметров: температуры и давления летучего компонента. Квазисвободные и локализованные состояния электронных дефектов, прыжковый механизм и зонная модель переноса. Гомогенная и гетерогенная термо-эдс в ионных и смешанных проводниках. Формулы Хейкса и их модификации с учетом спинового вырождения локализованных состояний электронных дефектов. Расчёт и/или уточнение основных характеристик электронно-дырочного транспорта в сложноксидных системах (на примере фаз Раддлесдена - Поппера): теплоты переноса, энергий активации и подвижности электронных дефектов
--	-----------------------------	---

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации /полностью на иностранном языке.

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электротранспортные явления в твердых телах

Электронные ресурсы (издания)

1. Келли, А., А., Шаскольский, М. П.; Кристаллография и дефекты в кристаллах; Мир, Москва; 1974; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447893> (Электронное издание)
2. Selivanova, N. M.; Physical Chemistry : educational aid.; Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/79252.html> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Петров, А. Н.; Твердые материалы. Химия дефектов. Структура и свойства твердых тел : [учеб. пособие для вузов].; Изд-во Урал. ун-та, Екатеринбург; 2008 (98 экз.)
2. Кнотько, А. В.; Химия твердого тела : учеб. пособие для вузов.; Academia, Москва; 2006 (12 экз.)
3. Atkins, P.; Elements of Physical Chemistry; Oxford University Press, Oxford; 2005 (1 экз.)
4. Hama, H., Burghardt, H., Frauenheim, T.; Electrical Conduction Mechanisms in Solids : Phys. Monogr.; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin; 1988 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

<https://elar.urfu.ru>

<https://materials.springer.com>

<https://www.sciencedirect.com>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<https://www.rsc.org>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электротранспортные явления в твердых телах

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	OriginPro Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Maple 11
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	OriginPro Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Maple 11
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	OriginPro Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Maple 11
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся	OriginPro Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Maple 11