

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/ В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экз./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|--|-----------|-----------|--|
| 7       | 5                      | 180                        | 64           | 0                         | 48                       |  | 41        | 0         | Э  |
| Итого   | 5                      | 180                        | 64           | 0                         | 48                       | 16                                       | 41        | 0         |  |

## АННОТАЦИЯ

Данная учебная дисциплина знакомит студентов с современными методами, применяемыми для исследования структуры и свойств материалов ядерной энергетики. В дисциплине рассматриваются вопросы, связанные с возможностью применения различных физических методов для изучения структурного состояния и химического состава материалов (возможность, информативность, принципиальные ограничения методов).

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются ознакомление студентов с основами электронной микроскопии, вторичной ионной масс-спектрометрии, Оже-спектрометрии и рентгеноспектральных методов. Даются также сведения по ядерно-физическим методам исследования свойств материалов, которые в настоящее время интенсивно развиваются. На примере рассматриваемых методов студенты учатся оценивать эффективность и информативность применяемых методов, целесообразность их использования в зависимости от конкретно решаемых задач элементного анализа.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для изучения данной дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин основной образовательной программы.

Математика: математический анализ, векторный и тензорный анализ, интегральные уравнения», Математика: аналитическая геометрия, линейная алгебра, теория вероятностей и математическая статистика», Математика: обыкновенные дифференциальные уравнения, теория функций комплексного переменного», Физика: механика, молекулярная физика и основы статистической термодинамики, электричество и магнетизм», Химия элементов и соединений», Ядерная физика и реакторы»,...«Физика газов, жидкостей и конденсированного состояния», "Строение вещества и динамика молекул».

Знание ее содержания необходимо при выполнении работ по курсовому и дипломному проектированию, НИРС, а также при практической работе выпускников по специальности.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|--|
|--------------------------------|--|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД) | Объект или область знания | Код и наименование профессиональной компетенции;<br>Основание (профессиональный | Код и наименование индикатора достижения профессиональной |
|--|---------------------------|---|---|
|--|---------------------------|---|---|

|   |  | стандарт-ПС, анализ опыта)  | компетенции   |
|---|--|---|---|
| научно-исследовательский  |  |   |   |
| сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников   | основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий  | ПК-1.2 [1] - способен применять знания об основных типах современных материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-1.2[1] - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации;<br>У-ПК-1.2[1] - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации;<br>В-ПК-1.2[1] - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации  |
| участие в работе группы специалистов при выполнении экспериментов и обработке их результатов по созданию, исследованию и выбору материалов, оценке их технологических и служебных качеств путем комплексного анализа их структуры и свойств, физико-механических, коррозионных и других испытаний | методы и средства испытаний и диагностики, исследования и контроля качества материалов, пленок и покрытий, полуфабрикатов, заготовок, деталей и изделий, все виды исследовательского, контрольного и испытательного оборудования, аналитической аппаратуры, компьютерное программное обеспечение для обработки результатов и анализа полученных данных, моделирования поведения материалов, оценки и | ПК-1 [1] - способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011   | З-ПК-1[1] - знать основные методы исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации; ;<br>У-ПК-1[1] - уметь использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   | прогнозирования их эксплуатационных характеристик   |   | химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации; ; В-ПК-1[1] - владеть навыками исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации.  |
| сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников | основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий | ПК-2 [1] - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-2[1] - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2[1] - владеть практическими навыками анализа эволюции структурно-фазового состояния материалов при взаимодействии с |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|   |  |  | окружающей средой, полями, частицами и излучениями и влияния этой эволюции на свойства материалов.  |
| <b>технологический</b>  |  |  |   |
| участие в получении и использовании (обработке, эксплуатации и утилизации) материалов различного назначения, проектировании высокотехнологичных процессов на стадии опытно-промышленных испытаний и внедрения | технологические процессы производства, обработки и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий; оборудование, технологическая оснастка и приспособления | ПК-3 [1] - способен работать на научно-исследовательском и технологическом оборудовании в соответствии с правилами техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-3[1] - знать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда; ; У-ПК-3[1] - уметь использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда; ; В-ПК-3[1] - владеть навыками работы на современном аналитическом и технологическом оборудовании. |

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код)  | Воспитательный потенциал дисциплин  |
|-----------------------------|--|---|
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17) | 1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.<br>2.Использование воспитательного |

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
|                             |  | <p>потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>   |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)   | <p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>  |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19) | <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные</li> </ul> |

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
|                             |  | <p>исследования от псевдонаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</p> <p>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>   |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (В24) | <p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p> |
|--|--|--|

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины         | Недели | Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|-------|---|--------|--|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
|       | <i>7 Семестр</i>                                |        |  |   |                               |                                     |                                 |
| 1     | Просвечивающая и растровая электронная и ионная | 1-8    | 32/0/24  |   | 25                            | КИ-8                                | З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1,         |



|   |  |      |         |  |    |       |   |
|---|--|------|---------|--|----|-------|---|
|   | микроскопия.<br>Туннельные<br>микроскопы                                 |      |         |  |    |       | 3-ПК-1.2,<br>У-ПК-1.2,<br>В-ПК-1.2,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3                                  |
| 2 | Спектральные и<br>ядерно-физические<br>методы исследования<br>материалов | 9-16 | 32/0/24 |  | 25 | КИ-16 | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-1.2,<br>У-ПК-1.2,<br>В-ПК-1.2,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3 |
|   | <i>Итого за 7 Семестр</i>  |      | 64/0/48 |  | 50 |       |   |
|   | <b>Контрольные<br/>мероприятия за 7<br/>Семестр</b>                      |      |         |  | 50 | Э     | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-1.2,<br>У-ПК-1.2,<br>В-ПК-1.2,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3 |

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| КИ          | Контроль по итогам  |
| Э           | Экзамен             |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание                              | Лек.,<br>час. | Пр./сем.,<br>час. | Лаб.,<br>час. |
|------------|--|---------------|-------------------|---------------|
|            | <i>7 Семестр</i>                                       | 64            | 0                 | 48            |
| <b>1-8</b> | <b>Просвечивающая и растровая электронная и ионная</b> | 32            | 0                 | 24            |

|   |  |                        |   |   |
|---|--|------------------------|---|---|
|   | <b>микроскопия. Туннельные микроскопы</b>  |                        |   |   |
| 1 | <b>Тема 1.1. Возможности и области их применения электронной микроскопии</b><br>Аналитические методы исследования поверхности. Классификация по падающим и выходящим (детектируемым) частицам. Достоинства, недостатки и области применения методов. Метод просвечивающей микроскопии (ПЭМ). Типы ПЭМ и области их применения. Конструкция электронного микроскопа: блок осветителя, объективная линза, проекционный блок, регистрация электронов.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |
|   |  | 0                      | 0 | 0 |
| 2 | <b>Тема 1.2. Основы электронной оптики</b><br>Формирование изображения и дифракционной картины в ПЭМ. Увеличение, разрешение и глубина резкости в ПЭМ. Искажения электромагнитных электронных линз. Темнопольное и светловольное изображения. Режим микродифракции. Контраст на изображениях кристаллов и аморфных объектов. Дифракционная электронная микроскопия. Введение в теорию дифракционного контраста. Основы кинематической теории дифракции. Дифракция электронов на совершенном кристалле. Дифракция электронов на несовершенных кристаллах. Контраст на дефектах упаковки. Контраст, обусловленный наличием дислокаций. Понятие о двух лучевой динамической теории. | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |
|   |  | 0                      | 0 | 0 |
| 3 | <b>Тема 1.3. Техника приготовления образцов для исследования в ПЭМ</b><br>Приготовление образцов для электронно-микроскопических исследований. Метод реплик. Техника изготовления реплик. Метод тонких фольг, техника приготовления тонких фольг. Высоковольтная электронная микроскопия. Конструктивные особенности и специфика управления. Применение вычислительной микроскопии, ее преимущества и недостатки.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |
|   |  | 0                      | 0 | 0 |
| 4 | <b>Тема 1.4. Конструкция растрового электронного микроскопа</b><br>Метод растровой электронной микроскопии (РЭМ). Типы растровых электронных микроскопов и применение их в материаловедении. Конструкция растрового электронного микроскопа: блок осветителя, система развертки электронного луча, система регистрации вторичных и отраженных электронов.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |
|   |  | 0                      | 0 | 0 |
| 5 | <b>Тема 1.5. Основы формирования изображения в РЭМ</b><br>Построение изображения в РЭМ. Увеличение, разрешение и глубина фокуса РЭМ. Изображение во вторичных электронах. Изображение в упруго отраженных электронах. Характеристика основных типов контраста изображения. Приготовление образцов для исследований методом РЭМ.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |
|   |  | 0                      | 0 | 0 |
| 6 | <b>Тема 1.6. Электронные и ионный проекторы</b><br>Полевые методы автоэлектронной микроскопии. Типы и принципы полевой микроскопии. Механизм   | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |  | 4                      | 0 | 3 |
|   |  | Онлайн                 |   |   |

|      |   |                        |   |    |
|------|---|------------------------|---|----|
|      | автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронная микроскопия (устройство АЭМ; контраст; факторы, определяющие работу). Испарение полем. Десорбция полем. Устройство и принцип работы автоионного микроскопа (АИМ). Формирование изображения в АИМ. Разрешение в АИМ. Изготовление образцов. Интерпретация изображений.  | 0                      | 0 | 0  |
| 7    | <b>Тема 1.7. Туннельные микроскопы</b><br>Туннельный микроскоп. Типы туннельных микроскопов (МАС, ММС, МЭС), перспективы применения в материаловедении. Конструкция сканирующего туннельного микроскопа: система регистрации тока, система сканирования. Интерпретация зависимостей токов туннелирования от состояния поверхности. Разрешение и увеличение в туннельном микроскопе. Электронно-стимулированное осаждение и травление. Явление массопереноса с острия (возможности, перспективы метода).   | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |   | 4                      | 0 | 3  |
|      |   | Онлайн                 |   |    |
|      |   | 0                      | 0 | 0  |
| 8    | <b>Тема 1.8. Дифракция медленных электронов</b><br>Дифракция рентгеновских лучей на поверхности кристаллов. Дифракция электронов. Поверхностная чувствительность, достоинства и недостатки методов дифракции медленных (ДМЭ) и отраженных быстрых (ДОБЭ) электронов. Передаточная ширина.   | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |   | 4                      | 0 | 3  |
|      |   | Онлайн                 |   |    |
|      |   | 0                      | 0 | 0  |
| 9-16 | <b>Спектральные и ядерно-физические методы исследования материалов</b>  | 32                     | 0 | 24 |
| 9    | <b>Тема 2.1. Метод Оже - спектрометрии</b><br>Оже-электронная спектроскопия. Физические основы ЭОС. Эмиссия Оже-электронов и параметры электронов, испускаемых твердым телом при его облучении электронами. Спектр электронов. Принцип действия, устройство анализаторов Оже-спектрометра (анализатор с использованием тормозящего электрического поля, анализатор “цилиндрическое зеркало”). Применение метода ОЭС при исследовании материалов.  | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |   | 4                      | 0 | 3  |
|      |   | Онлайн                 |   |    |
|      |   | 0                      | 0 | 0  |
| 10   | <b>Тема 2.2. Рентгеноспектральные методы анализа и синхротронное излучение</b><br>Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Поверхностная чувствительность. Используемые типы излучения, требования к источнику фотонов. Количественный анализ в РФЭС, точность метода. Применение метода. Перспективы использования синхронного излучения (СИ) в материаловедении. Достоинства, недостатки и неразрешенные проблемы в использовании СИ. Метод ультрафиолетовой фотоэмиссионной спектрометрии (УФЭС). Исследование электронных свойств поверхности с помощью метода УФЭС. | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |   | 4                      | 0 | 3  |
|      |   | Онлайн                 |   |    |
|      |   | 0                      | 0 | 0  |
| 11   | <b>Тема 2.3. Рентгеноспектральные методы анализа состава материалов</b><br>Рентгеноспектральный анализ (РСА). Методы рентгеноспектрального анализа: эмиссионный, флуоресцентный, абсорбционный. Качественный и  | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |   | 4                      | 0 | 3  |
|      |   | Онлайн                 |   |    |
|      |   | 0                      | 0 | 0  |

|    |  |                        |   |   |
|----|--|------------------------|---|---|
|    | количественный РСА. Чувствительность и точность, достоинства и недостатки РСА. Физические основы РСА (тормозное и характеристическое излучения, закон Мозли, спектры испускания и поглощения). Зависимость выхода флюоресценции от атомного номера элемента. Массовый коэффициент ослабления. Истинное атомное поглощение. Рассеяние когерентное и некогерентное.  |                        |   |   |
| 12 | <b>Тема 2.3. Рентгеноспектральные методы анализа состава материалов</b><br>Флюоресцентный РСА. Влияние матрицы, микроструктуры, качества поверхности; селективное поглощение и вторичное возбуждение, мешающие элементы. Связь между количеством элементов и интенсивностью спектральной линии. Приборы СПАРК и КРАБ. Абсорбционный РСА. Количественный анализ на непрерывном и характеристическом излучении. Применение для определения растворимости в жидких металлах. Микрорентгеноспектральный анализ. Рентгеновский микроанализатор.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |  | 4                      | 0 | 3 |
|    |  | Онлайн                 |   |   |
|    |  | 0                      | 0 | 0 |
| 13 | <b>Тема 2.4. Метод вторичной ионной масс-спектрометрии</b><br>Методы вторичной ионной спектроскопии. Общая характеристика методов. Процессы распыления и ионизации. Зависимость коэффициентов распыления от энергии и угла падения бомбардирующих ионов. Селективное распыление. Аппаратурное обеспечение: источник ионов, масс-анализаторы, система регистрации ионов. Послойный анализ. Особенности исследования состава материала. Факторы, влияющие на чувствительность методов при послойном анализе. Возможности качественного и количественного анализа.                      | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |  | 4                      | 0 | 3 |
|    |  | Онлайн                 |   |   |
|    |  | 0                      | 0 | 0 |
| 14 | <b>Тема 2.5. Спектрометрия обратно рассеянных быстрых ионов. Метод ядерных реакций</b><br>Метод спектрометрии Резерфордского обратного рассеяния быстрых ионов (РОР). Потери энергии легких быстрых ионов в твердых телах. Потери энергии в химических соединениях, правило Брегга. Схема регистрации обратно рассеянных быстрых ионов. Конструкция установки для измерения спектров РОР. Получение распределения внедренных атомов по глубине с помощью РОР. Чувствительность, разрешение метода, флуктуации потерь энергии. Применение метода в металлоуплотнении и металлофизике. | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |  | 4                      | 0 | 3 |
|    |  | Онлайн                 |   |   |
|    |  | 0                      | 0 | 0 |
| 15 | <b>Тема 2.6. Ядерный гамма-резонанс</b><br>Ядерный гамма-резонанс (ЯГР). Теоретические основы. Основные параметры резонансных линий, изомерный сдвиг. Методы наблюдения ЯГР. Схемы установок по пропусканию и рассеянию излучения, по регистрации конверсионных электронов. Установки для снятия ЯГР-спектров и выхода конверсионных электронов. Факторы, влияющие на точность и разрешающую способность метода. Фазовый анализ, исследования динамических   | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |  | 4                      | 0 | 3 |
|    |  | Онлайн                 |   |   |
|    |  | 0                      | 0 | 0 |

|    |   |                        |   |   |
|----|---|------------------------|---|---|
|    | свойств решетки, коррозионных процессов и химического взаимодействия в материалах.  |                        |   |   |
| 16 | <b>Тема 2.7. Спектрометрия медленных и ультра холодных нейтронов</b><br>Спектрометрия медленных и ультра холодных нейтронов. Методы получения ультра холодных нейтронов и исследования состояний в материалах. Синхротронное излучение и его применение в материаловедении. | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |   | 4                      | 0 | 3 |
|    |   | Онлайн                 |   |   |
|    |   | 0                      | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование              |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК          | Электронный курс                 |
| ПМ          | Полнотекстовый материал          |
| ПЛ          | Полнотекстовые лекции            |
| ВМ          | Видео-материалы                  |
| АМ          | Аудио-материалы                  |
| Прз         | Презентации                      |
| Т           | Тесты                            |
| ЭСМ         | Электронные справочные материалы |
| ИС          | Интерактивный сайт               |

#### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| Недели | Темы занятий / Содержание   |
|--------|---|
|        | <i>7 Семестр</i>  |
| 1 - 8  | <b>Лабораторная работа по теме "Просвечивающая и растровая электронная и ионная микроскопия".</b><br>Индивидуальные задания для каждого студента.     |
| 9 - 16 | <b>Лабораторная работа по теме "Спектральные и ядерно-физические методы исследования материалов".</b><br>Индивидуальные задания для каждого студента. |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Учебная дисциплина содержит два раздела.

Каждый раздел завершается контрольным мероприятием в виде письменного коллоквиума. При подведении итогов оценки знаний студента используется пятибалльная система оценок, учитывается активность работы на лекциях и семинарах.

В программе дисциплины предусмотрены следующие виды занятий:

Лекции - 64 часа;

Лабораторные занятия 32 часа.

При подготовке к лабораторным работам используются Лабораторные практикумы:

Лабораторная работа №1 «Просвечивающая электронная микроскопия»,

Лабораторная работа №2 «Растровая микроскопия»,

Лабораторная работа №3 «Рентгеноспектральный анализ»,

Лабораторная работа №4 «Вторичная ионная масс-спектрометрия».

Используются также интерактивные формы обучения:

презентации по разделам;

публичные доклады по темам дисциплины с их обсуждением.

Примерный список названий докладов:

Просвечивающая и растровая микроскопия в изучении состояний материалов,

Современное развитие метода автоионной микроскопии,

Потенциальные возможности и область применения туннельной сканирующей микроскопии,

Метод ВИМС,

Применение метода РСА в материаловедении,

Метод резерфордского обратного рассеяния,

Возможности и принципиальные ограничения метода ядерного гамма-резонанса,

Совместное применение методов в изучении состояния материалов.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| ПК-1        | З-ПК-1              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | У-ПК-1              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | В-ПК-1              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
| ПК-1.2      | З-ПК-1.2            | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | У-ПК-1.2            | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | В-ПК-1.2            | Э, КИ-8, КИ-16                    |
| ПК-2        | З-ПК-2              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | У-ПК-2              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | В-ПК-2              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
| ПК-3        | З-ПК-3              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | У-ПК-3              | Э, КИ-8, КИ-16                    |
|             | В-ПК-3              | Э, КИ-8, КИ-16                    |

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины                         |
|--------------|-------------------------------|-------------|---|
| 90-100       | 5 – «отлично»                 | A           | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил |

|         |                           |   |   |
|---------|---------------------------|---|---|
|         |                           |   | программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.   |
| 85-89   | 4 – «хорошо»              | В | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.   |
| 75-84   |                           | С |   |
| 70-74   |                           | Д |   |
| 65-69   | 3 – «удовлетворительно»   | Е | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.  |
| 60-64   |                           |   |   |
| Ниже 60 | 2 – «неудовлетворительно» | Ф | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 К17 Растровая электронная микроскопия : лабораторная работа: учебно-методическое пособие для вузов, Польский В.И., Волков Н.В., Калинин Б.А., Москва: МИФИ, 2008
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.3 Методы исследования структурно-фазового состояния материалов, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.38 С38 Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия : , Синдо Д., Оикава Т., Москва: Техносфера, 2006
2. 539.2 В67 Физические методы исследования структуры твердых тел Ч.1 Методы электронной микроскопии, Волков Н.В., М.: МИФИ, 2005
3. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.3 Методы исследования структурно-фазового состояния материалов, , Москва: МИФИ, 2008

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Пакет программ Microsoft Office (Б-109)

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Растровый электронный микроскоп Carl-Zeiss EVO-50 (Б-026)
2. Компьютерный центр кафедры "Физические проблемы материаловедения" (Б-108)
3. Просвечивающий электронный микроскоп Libra 120 Carl-Zeiss (Б-028)

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении методов получения электронных пучков необходимо обратить внимание на:

- область электромагнитного излучения для электронных пучков;
- эффект уменьшения длины волны с увеличением ускоряющего напряжения;
- методы получения электронных пучков и требования к ним;
- особенности построения электронной оптики;
- методы регистрации излучения и особенности формирования изображения.

При изучении взаимодействия электронных пучков с веществом необходимо обратить внимание на:

- термические и радиационные эффекты в материалах;
- особенности рассеяния от периодически расположенных объектов;
- методы и модели описания рассеяния электронных пучков в кристаллических материалах;
- функцию рассеяния;
- рассеяние на несовершенных кристаллах.

При изучении растровой электронной микроскопии необходимо обратить внимание на:

- обратное рассеяние;
- методы регистрации рассеянных и вторичных электронов;
- принцип работы сцинтилляционного детектора;
- энергетическое разрешение детекторов;
- особенности конструкции отклоняющих систем;
- получение увеличенного изображения;
- методы получения дополнительной информации при использовании цветного изображения.

При изучении метода автоионной микроскопии необходимо обратить внимание на:

- методы и технику приготовления образцов для исследований;
- методы формирования изображения и его интерпретацию;



- применения атомного зонда для элементного анализа.

При изучении методов сканирующей и сверхвысоковольтной просвечивающей микроскопии необходимо обратить внимание на:

- принципиальные различия в формировании изображения в ПЭМ и ПРЭМ;
- методы получения и обработки изображения в ПРЭМ;
- информативности метода сверхвысоковольтной микроскопии;
- достижение предельных параметров изображения (разрешение, увеличение, контраст);
- прецизионность и точность при определении периодов решетки.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Подготовка к лекциям и лабораторным работам.

Для подготовки к лекциям и лабораторным работам рекомендуется использовать учебник «Физическое материаловедение».

Проведение и защита студентами лабораторных работ.

Лабораторные работы проводятся в соответствии с методическими указаниями по каждой работе.

Лабораторная работа №1 «Просвечивающая электронная микроскопия»,

Лабораторная работа №2 «Растровая микроскопия»,

Лабораторная работа №3 «Рентгеноспектральный анализ»,

Лабораторная работа №4 «Вторичная ионная масс-спектрометрия».

Методическая литература: Программа учебной дисциплины с вопросами на коллоквиумы и экзамен, описания заданий на лабораторные работы доступны студентам в электронном виде в кафедральном ВЦ. В библиотеке университета имеются все тома учебника «Физическое материаловедение», Интернет ресурсы по разделам на выбор студента.

Автор(ы):

Джумаев Павел Сергеевич