



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

(ДФУ)

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Огнев А.В.

(Ф.И.О.)

« 28 » 02 2023 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента



(подпись)

Короченцев В.В.

(Ф.И.О.)

02 2023 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Методы электронной микроскопии для нанотехнологий

**Направление подготовки 03.04.02 Физика**

Использование синхротронного излучения (совместно с НИЯУ МИФИ,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, НИ НИЦ "Курчатовский институт")

**Форма подготовки очная**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.03.02 **Физика**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.08.2020 № 891 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол № 5 от «28» февраля 2023 г.

Директор департамента

Составитель (ли):

к.х.н., доцент, Короченцев В.В.

к.ф.-м.н., Юрий Владимирович

Владивосток

2023

## Оборотная сторона титульного листа РПД

1. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики утверждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

2. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики утверждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

3. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики утверждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

4. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики утверждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

**Цель:** развитие представлений о методах исследования нанообъектов и наноматериалов с помощью сканирующей электронной микроскопии, а также ознакомление с основными возможностями и ограничениями этих методов.

**Задачи:**

1. ознакомление с физическими процессами и явлениями, лежащими в основе сканирующей электронной микроскопии;
2. обзор основных методов сканирующей электронной микроскопии, применяемых для исследования наноматериалов и нанообъектов;
3. ознакомление с современными достижениями и тенденциями развития сканирующей электронной микроскопии;
4. формирование практических навыков для работы с современными методами электронной микроскопии для нанотехнологий.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируется профессиональная компетенция.

Профессиональная компетенция выпускников и индикаторы ее достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	<b>ПК-2</b> Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-2.1 применяет методы анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач ПК-2.2 выбирает методы исследования, соотносит проблему, цели, задачи, предмет и методы исследования, формулирует проблему научного исследования, обосновывает его актуальность и новизну ПК-2.3 организывает и проводит научные исследования, обрабатывает полученные результаты

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1 применяет методы анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	Знает основные методы анализа концептуальных и теоретических моделей решения научных задач
	Умеет выбирать методы анализа концептуальных и теоретических моделей для решения конкретной задачи
	Владеет методами анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач
ПК-2.2 выбирает методы исследования, соотносит проблему, цели, задачи, предмет и методы исследования,	Знает основные методы проведения научного исследования
	Умеет формулировать проблему, обосновывать актуальность и новизну научного исследования,

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
формулирует проблему научного исследования, обосновывает его актуальность и новизну	применять методы прикладной физики к решению конкретной научной задачи
	Владеет навыками профессионального мышления, необходимыми для адекватного использования методов современной физики в теоретических и прикладных задачах, понятийным аппаратом
ПК-2.3 организывает и проводит научные исследования, обрабатывает полученные результаты	Знает методику проведения научного исследования
	Умеет организовывать НИР в научном коллективе, распределять и делегировать выполняемую работу
	Владеет навыками аналитической работы, методами и технологиями проведения научного исследования

### 1. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы 108 академических часов, в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 74 академических часов на самостоятельную работу обучающихся (в том числе, 36 час. на подготовку к экзамену).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам).

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

### Структура дисциплины:

#### Форма обучения – очная

	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1	Взаимодействие электронного пучка с веществом	1	1		1		2		

2	Общее устройство сканирующего электронного микроскопа	1	1		1		2	36	Экзамен
3	Формирование изображения в сканирующем электронном микроскопе	1	1		2		4		
4	Разновидности сканирующей электронной микроскопии	1	1		2		4		
5	Рентгеноспектральный анализ в сканирующей электронной микроскопии	1	2		2		4		
6	Анализ дифракции обратно рассеянных электронов	1	2		2		4		
7	Сканирующая электронная микроскопия с ионными пучками, приготовление образцов для просвечивающей электронной микроскопии и манипуляторы	1	2		2		4		
8	Электронная литография и электронная микроскопия	1	2		2		4		
9	Использование сканирующей электронной микроскопии для получения и исследования наноструктур, материалов	1	2		2		4		
10	Специальное программное обеспечение	1	1		2		4		
11	Основные производители электронных микроскопов и варианты приборов, приставок и принадлежностей к ним	1	1		-		2		
Итого:			16		18		38		

## 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Тема 1 Взаимодействие электронного пучка с веществом

Взаимодействия электронов с веществом. Рассеяние электронов. Область взаимодействия электронов: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка, зависимость от угла наклона. Длина пробега электронов. Упругое рассеяние электронов. Отраженные электроны: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка, зависимость от угла наклона, угловое распределение, распределение по энергиям, пространственное распределение, глубина выхода. Неупругое рассеяние электронов. Вторичные электроны: влияние параметров пучка и образца. Рентгеновское излучение. Непрерывное рентгеновское излучение. Характеристическое рентгеновское излучение. Ожеэлектроны. Католюминесценция.

## **Тема 2 Общее устройство сканирующего электронного микроскопа**

Колонна электронного микроскопа. Электронная пушка. Термоэлектронная эмиссия. Автоэлектронная эмиссия. Катоды. Электромагнитные линзы: конденсорная линза, объективная линза. Хроматические aberrации. Сферические aberrации. Астигматизм. Стилматоры. Диафрагмы. Электронный зонд. Генераторы развертки. Детекторы излучений. Приставки для сканирующего электронного микроскопа. Вакуумные системы. Камеры образцов. Шлюзование.

## **Тема 3 Формирование изображения в сканирующем электронном микроскопе**

Сканирование электронным пучком. Сканирование вдоль линии. Сканирование по площади. Контраст. Механизмы и природа формирования контрастов. Интерпретация изображений. Глубина фокуса. Искажения изображений. Влияние ускоряющего напряжения. Влияние размера апертуры. Влияние рабочего расстояния. Влияние наклона образца. Детекторы сигналов, их характеристики и влияние на формирование контрастов. Угол детектора по отношению к поверхности объекта. Телесный угол детектора. Эффективность преобразования детектора. Наблюдение и сохранение изображений.

## **Тема 4 Разновидности сканирующей электронной микроскопии.**

Традиционная сканирующая электронная микроскопия. Низковакуумная сканирующая электронная микроскопия. Режим естественной среды. Катодолюминисценция. Режим наведённого тока. Высоковакуумная сканирующая электронная микроскопия. Ожеэлектронная спектроскопия. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.

## **Тема 5. Рентгеноспектральный анализ в сканирующей электронной микроскопии**

Генерация рентгеновского излучения. Понятие микрорентгеноспектрального анализа (или рентгеновского микроанализа). Спектрометрия с волновой дисперсией. Устройство рентгеновского спектрометра с волновой дисперсией. Спектрометрия с энергетической дисперсией. Устройство рентгеновского спектрометра с энергетической дисперсией.

## **Тема 6. Анализ дифракции обратно рассеянных электронов.**

Обратно рассеянные электроны. Дифракция обратно рассеянных электронов. Картина обратно рассеянных электронов. Кикучи линии. Пространственное разрешение метода дифракции обратно рассеянных электронов. Текстура и ориентация кристаллических образцов. Анализ дефектов. Анализ фаз. Выделение зерен и их границ. Анализ однородности

вещества. Анализ микродеформаций и микронапряжений. Системы для анализа дифракционных картин обратно рассеянных электронов. Использование цифровых камер в системах регистрации обратно рассеянных электронах.

**Тема 7. Сканирующая электронная микроскопия с ионными пучками, приготовление образцов для просвечивающей электронной микроскопии и манипуляторы.**

Сфокусированный ионный пучок и его функции. Инжекторы. Манипуляторы высокой точности позиционирования. Послойное травление для реконструкции 3х мерной структуры (3D). Препарирование объекта в заданном участке для приготовления тонкого образца для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Возможность просмотра в продвинутых моделях сканирующих электронных микроскопов в режиме STEM без их переноса в другой электронный микроскоп.

**Тема 8. Электронная литография и электронная микроскопия.**

Электронная литография. Прямое нанесение рисунка сфокусированным электронным пучком. Сканирующие системы, управляемые компьютером. Программа перемещения сфокусированного пучка электронов для нанесения рисунка, исправления эффектов дисторсии и расширения пучка и определения положения. Использование электронно-лучевых сканирующих систем, как для изготовления шаблонов, так и для непосредственной прорисовки на пластине. Высокое пространственное разрешение и точность совмещения (100 нм и менее).

**Тема 9. Использование сканирующей электронной микроскопии для получения и исследования наноструктур, материалов.**

Основные преимущества перед другими методами микроскопии. Основные недостатки. Использование для металлографического исследования дисперсных элементов структуры на масштабах от нано- до микро. Оценка дисперсности среднего размера, протяженности границ, формы и других параметров структуры материалов. Изучение порошков, объектов катализа, продуктов синтеза углеродных и им подобных нанообъектов (бакиболы, нанотрубки, наноленты, нанолуковицы, наноусы, нанонити и их производные), а также пористых объектов. Одновременное наблюдение мельчайших объектов, сильно отличающихся по размерам. Полутоновые изображения – ключ к объемности. Использование композиционного контраста. Фрактографические исследования - информация о строении излома. Применение картины каналирования электронов. Использование различных приставок. Оценка химического состава материала. Возможности метода катодолюминисценции. Анализ потока

прошедших электронов - представление о структуре фольг, плёнок, слоёв, нанообъектов. Выявление магнитных полей и доменной структуры. Большие камеры для образцов. Исследование кинетики процессов, формирования, трансформации наноструктуры.

#### **Тема 10. Специальное программное обеспечение.**

Пакеты специального программного обеспечения в серийно выпускаемых сканирующих электронных микроскопах и их основные возможности. Специализированные пакеты для обработки результатов исследований в сканирующих электронных микроскопах и их основные возможности. Автоматизированная обработка изображений, включающая оценку дисперсности среднего размера, протяженности границ, формы и других параметров структуры материалов.

#### **Тема 11. Основные производители электронных микроскопов и варианты приборов, приставок и принадлежностей к ним.**

FEI Company - Сканирующие электронно-ионные микроскопы серии Quanta, Nova.

JEOL - Модели растровых электронных микроскопов JSM6\*\*0, аналитических, электронно-ионных.

Carl Zeiss - Электронно-ионный микроскоп Cross Beam 1540

Hitachi - линейка разнообразных сканирующих электронных микроскопов.

EDAX, Oxford Instruments, Bruker AXS Microanalysis – приставки, системы для рентгеновского микроанализа.

Kleindiek Nanotechnik - Микроманипулятор.

SPI, Fischione Instruments, Agar, Ted Pella и другие - широкий спектр приборов и расходных материалов для микроскопии.

### **3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

#### **Практическое занятие 1. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Общее устройство сканирующего электронного микроскопа**

Взаимодействия электронов с веществом.

Вторичные электроны: влияние параметров пучка и образца.  
Рентгеновское излучение.

Непрерывное рентгеновское излучение.

Колонна электронного микроскопа.

Электронная пушка.



Термоэлектронная эмиссия.

Автоэлектронная эмиссия.

Катоды.

Электромагнитные линзы.

Электронный зонд.

## **Практическое занятие 2. Формирование изображения в сканирующем электронном микроскопе**

Сканирование электронным пучком.

Сканирование вдоль линии.

Сканирование по площади.

Контраст.

Интерпретация изображений.

Глубина фокуса.

Искажения изображений.

Влияние ускоряющего напряжения.

Влияние размера апертуры.

Влияние рабочего расстояния.

Влияние наклона образца.

Наблюдение и сохранение изображений.

## **Практическое занятие 3. Разновидности сканирующей электронной микроскопии.**

Традиционная сканирующая электронная микроскопия.

Низковакуумная сканирующая электронная микроскопия.

Режим естественной среды.

Катодолюминисценция.

Режим наведённого тока.

Высоковакуумная сканирующая электронная микроскопия.

Ожеэлектронная спектроскопия.

Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.

## **Практическое занятие 4. Рентгеноспектральный анализ в сканирующей электронной микроскопии**

Генерация рентгеновского излучения.

Рентгеновский микроанализ.

Спектрометрия с волновой дисперсией.

Спектрометрия с энергетической дисперсией.

## **Практическое занятие 5. Анализ дифракции обратно рассеянных электронов.**

Обратно рассеянные электроны.

Картина обратно рассеянных электронов.

Кикучи линии.

Текстура и ориентация кристаллических образцов.

Анализ дефектов.

Анализ фаз.

Выделение зерен и их границ.

Анализ однородности вещества.

Анализ микродеформаций и микронапряжений.

Системы для анализа дифракционных картин обратно рассеянных электронов.

Использование цифровых камер в системах регистрации обратно рассеянных электронах.

**Практическое занятие 6. Сканирующая электронная микроскопия с ионными пучками, приготовление образцов для просвечивающей электронной микроскопии и манипуляторы.**

Сфокусированный ионный пучок.

Инжекторы.

Манипуляторы высокой точности позиционирования.

Послойное травление для реконструкции 3х мерной структуры (3D).

Препарирование объекта в заданном участке для приготовления тонкого образца для ПЭМ.

Просмотр в продвинутых моделях сканирующих электронных микроскопов в режиме STEM.

**Практическое занятие 7. Электронная литография и электронная микроскопия.**

Электронная литография.

Прямое нанесение рисунка сфокусированным электронным пучком.

Сканирующие системы, управляемые компьютером.

Программа перемещения сфокусированного пучка электронов для нанесения рисунка.

Использование электронно-лучевых сканирующих систем, как для изготовления шаблонов.

Высокое пространственное разрешение и точность совмещения (100 нм и менее).

**Практическое занятие 8. Использование сканирующей электронной микроскопии для получения и исследования наноструктур, материалов.**

Использование для металлографического исследования дисперсных элементов структуры на масштабах от нано- до микро.

Оценка дисперсности среднего размера, протяженности границ, формы

и других параметров структуры материалов.

Порошки, объекты катализа, продукты синтеза углеродных и им подобных нанообъектов, а также пористых объектов.

Одновременное наблюдение мельчайших объектов, отличающихся по размерам.

Полутоновые изображения.

Использование композиционного контраста.

Фрактографические исследования.

Применение картины каналирования электронов.

Использование приставок.

Оценка химического состава материала.

Метод катодлюминисценции.

Анализ потока прошедших электронов.

Выявление магнитных полей и доменной структуры.

Большие камеры.

Исследование кинетики процессов, формирования, трансформации наноструктуры.

#### **Практическое занятие 9. Специальное программное обеспечение.**

Специализированные пакеты для обработки результатов исследований в сканирующих электронных микроскопах и их основные возможности.

Автоматизированная обработка изображений.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	в течение семестра	Работа с основной и дополнительной литературой, интернет-источниками. Подготовка к практическим занятиям.	38 час.	УО-1 Собеседование
2	В течение семестра	Подготовка к экзамену	36 час.	Экзамен
	<b>ИТОГО</b>		74 часа	

## 4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью образовательного процесса и рассматривается как организационная форма обучения. Самостоятельная работа по дисциплине осуществляется в виде внеаудиторных форм познавательной деятельности.

*Самостоятельная работа включает в себя подготовку к практическим занятиям, работу с литературой.*

### ***Работа с литературой.***

Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при подготовке к практическим занятиям рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

## 5. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Темы 1 - 11	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Экзамен
			умеет		
			владеет		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе ФОС.

## 6. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха.- М.: Мир, 1987.- 600 с.
2. Афонский, А. А. Электронные измерения в нанотехнологиях и в микроэлектронике [Электронный ресурс] / Афонский А.А., Дьяконов В.П. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Профобразование, 2017. – 688 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63585.html> – ЭБС «IPRbooks».
3. Микроанализ и растровая электронная микроскопия. Под ред. Ф.Морис, Л.Мени, Р.Тискье.- М.: Металлургия, 1985.- 392 с.
4. Практическая растровая электронная микроскопия. Под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица.- М.: Мир, 1978.- 656 с.

5. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие / В.И. Троян, М.А. Пушкин, В.Д. Борман, В.Н. Тронин. - М. : МИФИ, 2008. - 258 с. - ISBN 978-5-7262-1020-3; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=237998>

### Дополнительная литература

1. Гоулдстейн, Дж. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. М.: Мир, 1984, книги 1,2.

2. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: справочник. – М.: Химия, 1984. – 255 с.

3. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике: учеб. пособие / М. И. Пергамент .- Долгопрудный : Интеллект , 2010 .- 300 с.

4. Поверхность и межфазные границы в окружающей среде. От наноуровня к глобальному масштабу [Электронный ресурс] / П. Морис ; пер. с англ. под ред. В. И. Свитова. - Эл. Изд. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.— 540 с. <http://e.lanbook.com/view/book/42601/page139/>

### Интернет-ресурсы

1. Физические основы, аппаратура и методы электронной спектроскопии: Метод. указания к лабораторным работам по курсу —Физические основы электронной техники». Сост. Паршин А.С.- Красноярск: САА, 1993. - 28 с. [<http://sibsauktf.ru/courses>].

2. WWW-Микроскопия. Информационные источники по вопросам световой и электронной микроскопии:

MicroWorld Resources and News <http://www.mwrn.com>

Petr's Electron Microscopy Resource <http://www.petr.isibrno.cz/microscopy/>

Microscopes and Microscopy <http://www.ou.edu/research/electron/mirror/>

3. WWW-Электронная микроскопия. Научные журналы, публикации:

Journal of the Microscopy Society of America

<http://www.msa.microscopy.com/JMSA/JMSAHomePage.html>

Journal of Electron Microscopy [www.oup.co.uk/jmicro/scope/](http://www.oup.co.uk/jmicro/scope/)

Microscopy and Analysis <http://www.microrgc.demon.co.uk/>

Microscopy and Microanalysis <http://www.msa.microscopy.com/JMSA/MscopyManalysis.html>

Microscopy Microanalysis Microstructures <http://www.edpsciences.com/docinfos/MMM/OnlineMMM.html>

Micron <http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/4/7/5/>

Ultramicroscopy <http://www.elsevier.nl>

SCANNING <http://www.scanning-fams.org/>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, Microsoft Office и др.).

## **7.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу.

При организации учебной деятельности на занятиях широко используются как традиционные, так и современные электронные носители информации, а также возможности информационных и коммуникационных образовательных технологий.

Практические занятия проводятся в учебной группе.

Со стороны преподавателя студентам оказывается помощь в формировании навыков работы с литературой, анализа литературных источников.

Следует учитывать, что основной объем информации студент должен усвоить в ходе систематической самостоятельной работы с материалами, размещенными как на электронных, так и на традиционных носителях.

Для углубленного изучения материала курса дисциплины рекомендуется

использовать основную и дополнительную литературу.

Литературные источники доступны обучаемым в научной библиотеке (НБ) ДВФУ, а также в электронных библиотечных системах (ЭБС), с доступом по гиперссылкам — ЭБС издательства "Лань" (<http://e.lanbook.com/>), ЭБС Znanium.com НИЦ "ИНФРА-М" (<http://znanium.com/>), ЭБС IPRbooks (<http://iprbookshop.ru/>) и другие ЭБС, используемые в ДВФУ <https://www.dvfu.ru/library/electronic-resources/>

Формами текущего контроля результатов работы студентов по дисциплине являются собеседования (устный опрос) на каждом практическом занятии.

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется в форме экзамена в конце 1 семестра.

Организация деятельности студента.

*Практическое занятие.* При подготовке ответов на вопросы занятия студенты должны ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия. Если при изучении теоретического материала возникли вопросы, задать вопрос преподавателю.

*Самостоятельная работа.* Выполнение самостоятельной работы студентами необходимо для успешного закрепления изученного материала и навыков моделирования, приобретенных на практических занятиях.

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

Для проведения исследований, связанных с выполнением задания по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

**Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**



Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 502. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012.
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	IBM SPSS Statistics Premium Campus Edition. Поставщик ЗАО Прогностические решения. Договор ЭА-442-15 от 18.01.2016 г., лот 5. Срок действия договора с 30.06.2016 г. Лицензия - бессрочно. SolidWorks Campus 500. Поставщик Солид Воркс Р. Договор 15-04-101 от 23.12.2015 г. Срок действия договора с 15.03.2016 г. Лицензия - бессрочно. АСКОН Компас 3D v17. Поставщик Нави-ком. Договор 15-03-53 от 20.12.2015 г. Срок действия договора с 31.12.2015 г. Лицензия - бессрочно. MathCad Education University Edition. Поставщик Софт Лайн Трейд. Договор 15-03-49 от 02.12.2015 г. Срок действия договора с 30.11.2015 г. Лицензия - бессрочно. Windows Edu Per Device 10 Education. Поставщик Microsoft. Договор № ЭА-261-18 от 30.06.2018 г. Под-писка. Срок действия договора с 30.06.2018 г. Лицензия - 30.06.2020 г. Office Professional Plus 2019. Поставщик Microsoft. Договор № ЭА-261-18 от 30.06.2018 г. Подписка. Срок действия договора с 30.06.2018 г. Лицензия - бессрочно. Autocad 2018. Поставщик Autodesk. Договор № 110002048940 от 27.10.2018 г. Сетевая, конкурентная. Срок действия договора с 27.10.2018 г. Лицензия - 27.10.2021 г. Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## 9. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1 применяет методы анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	Знает основные методы анализа концептуальных и теоретических моделей решения научных задач
	Умеет выбирать методы анализа концептуальных и теоретических моделей для решения конкретной задачи
	Владеет методами анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач
ПК-2.2 выбирает методы исследования, соотносит проблему, цели, задачи, предмет и методы исследования, формулирует проблему научного исследования, обосновывает его актуальность и новизну	Знает основные методы проведения научного исследования
	Умеет формулировать проблему, обосновывать актуальность и новизну научного исследования, применять методы прикладной физики к решению конкретной научной задачи
	Владеет навыками профессионального мышления, необходимыми для адекватного использования методов современной физики в теоретических и прикладных задачах, понятийным аппаратом
ПК-2.3 организывает и проводит научные исследования, обрабатывает полученные результаты	Знает методику проведения научного исследования
	Умеет организовывать НИР в научном коллективе, распределять и делегировать выполняемую работу
	Владеет навыками аналитической работы, методами и технологиями проведения научного исследования

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Темы 1 - 11	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Экзамен
			умеет		
			владеет		

**Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.**

Текущая аттестация осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Для дисциплины используется следующее оценочное средство:

1. Собеседование (УО-1)

**Собеседование (УО-1)** - средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

**Примерный перечень вопросов для собеседования (устного опроса)**

1. Рассеяние электронов.
2. Область взаимодействия электронов.
3. Влияние атомного номера на взаимодействие электронов с веществом.
4. Влияние энергии пучка электронов на взаимодействие электронов с веществом.
5. Влияние угла наклона на взаимодействие электронов с веществом.
6. Длина пробега электронов.
7. Упругое и неупругое рассеяние электронов.
8. Отраженные электроны: влияние атомного номера.
9. Отраженные электроны: зависимость от энергии пучка.
10. Отраженные электроны: зависимость от угла наклона.
11. Угловое распределение отраженных электронов.
12. Распределение по энергиям отраженных электронов.
13. Пространственное распределение отраженных электронов.

14. Глубина выхода отраженных электронов.
15. Вторичные электроны.
16. Непрерывное рентгеновское излучение.
17. Характеристическое рентгеновское излучение.
18. Оже-электроны.
19. Электронная пушка.
20. Термоэлектронная эмиссия.
21. Автоэлектронная эмиссия.
22. Катоды в сканирующем электронном микроскопе.
23. Электромагнитные конденсорные линзы.
24. Электромагнитные объективные линзы.
25. Электромагнитные диафрагмы.
26. Хроматические аберрации.
27. Сферические аберрации.
28. Астигматизм.
29. Стигматоры.
30. Электронный зонд.
31. Генераторы развертки.
32. Вакуумные системы.
33. Камеры образцов.
34. Шлюзование.
35. Типы приставок для СЭМ.
36. Сканирование электронным пучком вдоль линии.
37. Сканирование электронным пучком по площади.
38. Контрасты в СЭМ.
39. Механизмы и природа формирования контрастов в СЭМ.
40. Интерпретация изображений в СЭМ.
41. Глубина фокуса в СЭМ.
42. Искажения изображений в СЭМ.
43. Влияние ускоряющего напряжения на формирование изображений в СЭМ.
44. Влияние размера апертуры на формирование изображений в СЭМ.
45. Влияние рабочего расстояния на формирование изображений в СЭМ.
46. Влияние наклона образца формирование изображений в СЭМ.
47. Наблюдение и сохранение изображений.
48. Детекторы сигналов.
49. Характеристики детекторов сигналов.
50. Угол детектора по отношению к поверхности объекта.

51. Телесный угол детектора.
52. Эффективность преобразования детектора.
53. Традиционная СЭМ.
54. Низковакуумная СЭМ.
55. СЭМ в режиме естественной среды.
56. Катодолюминисценция в СЭМ.
57. СЭМ в режиме наведённого тока.
58. Высоковакуумная СЭМ.
59. Оже-электронная спектроскопия.
60. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.
61. Рентгеновский микроанализ.
62. Спектрометрия с волновой дисперсией.
63. Спектрометрия с энергетической дисперсией.
64. Дифракция обратно рассеянных электронов.
65. Картина обратно рассеянных электронов.
66. Линии Кикучи.
67. Пространственное разрешение метода дифракции обратных электронов.
68. Системы для анализа дифракционных картин обратно рассеянных электронов.
69. ПЗС-матрицы.
70. Использование цифровых камер в системах анализа дифракционных картин обратно рассеянных электронов.
71. Текстура кристаллических образцов.
72. Ориентация кристаллических образцов.
73. Анализ дефектов с помощью дифракции обратно рассеянных электронов.
74. Анализ фаз с помощью дифракции обратно рассеянных электронов.
75. Анализ микронапряжений с помощью дифракции обратно рассеянных электронов.
76. Анализ микродеформаций с помощью дифракции обратно рассеянных электронов.
77. Сфокусированный ионный пучок и его функции.
78. Основные типы ионных катодов.
79. Инжекторы.
80. Манипуляторы высокой точности позиционирования.
81. Послойное травление для реконструкции 3х мерной структуры (3D).

82. Препарирование объекта в заданном участке для приготовления тонкого образца для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

83. Возможность сканирующей просвечивающей электронной микроскопии.

84. Основные преимущества СЭМ перед другими методами микроскопии.

85. Основные недостатки СЭМ.

86. Возможности СЭМ для получения наноструктур.

87. Использование СЭМ для исследования наноструктур (примеры).

88. Использование СЭМ для исследования наноструктуры материалов.

89. Возможности СЭМ для исследования кинетики процессов.

90. Преимущества СЭМ ввиду большой глубины фокуса.

91. Выявление магнитных полей и доменной структуры.

92. Исследование кинетики процессов в наноструктурах с помощью СЭМ.

93. Возможности фрактографического анализа.

94. Обработка изображений.

95. Получение объёмных представлений об объекте.

96. Электронная литография.

97. Основные производители СЭМ.

98. Основные варианты СЭМ.

99. Приставки к СЭМ.

100. Расходуемые материалы к СЭМ.

101. Подготовка образцов.

### **Требования к представлению и оцениванию материалов (результатов)**

Собеседование проводится в рамках каждого практического занятия.

Ответы должны отличаться достаточным объемом знаний, глубиной и полнотой раскрытия темы, логической последовательностью, четкостью выражения мыслей и обоснованностью выводов, характеризующих знание понятийно-терминологического аппарата, умение им пользоваться при ответе.

#### ***Критерии оценки:***

Уровень освоения	Критерии оценки результатов обучения	Количество баллов / оценка
Повышенный	Ответ показывает прочные знания основных понятий изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия вопроса; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, делать выводы, давать аргументированные ответы, приводить примеры; логичность и последовательность ответа. Студент ответил на все основные и дополнительные вопросы, заданные преподавателем по теме практического занятия.	100 – 86 Зачтено
Базовый	Ответ, обнаруживающий прочные знания основных понятий изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия вопроса; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, делать выводы давать аргументированные ответы, приводить примеры; логичность и последовательность ответа. Студент ответил на все основные вопросы, но не смог ответить на дополнительные вопросы, заданные преподавателем по теме практического занятия.	85-76 Зачтено
Пороговый	Ответ, свидетельствующий в основном о знании понятий изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия вопроса; знании основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры. Студент ответил на часть основных или дополнительных вопросов, заданных преподавателем по теме практического занятия.	75-61 Зачтено
Уровень не достигнут	Ответ, обнаруживающий незнание понятий изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием вопроса; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа; неумением давать аргументированные ответы, отсутствием логичности и последовательности. Студент не ответил на вопросы, заданные преподавателем по теме практического занятия, либо допустил множество ошибок в ответе.	60-0 Не зачтено

**Промежуточная аттестация студентов** по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Форма отчётности по дисциплине – экзамен (1-й, осенний семестр).  
Студент допускается к экзамену после получения положительных оценок за

задания текущей аттестации, выполненные в течение семестра (оценочные средства для текущего контроля). Экзамен по дисциплине проводится в форме собеседования.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка.

### **Вопросы к экзамену**

1. Взаимодействия электронов с веществом. Область взаимодействия электронов: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка, зависимость от угла наклона. Длина пробега электронов.
2. Отраженные электроны: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка, зависимость от угла наклона, угловое распределение, распределение по энергиям, пространственное распределение, глубина выхода.
3. Вторичные электроны: влияние параметров пучка и образца.
4. Рентгеновское излучение. Непрерывное рентгеновское излучение. Характеристическое рентгеновское излучение.
5. Оже-электроны и катодолюминесценция.
6. Термоэлектронная и автоэлектронная эмиссия.
7. Устройство сканирующего электронного микроскопа.
8. Электромагнитные линзы. Хроматические aberrации. Сферические aberrации. Астигматизм.
9. Механизмы и природа формирования контрастов в СЭМ. Интерпретация изображений.
10. Изображения в СЭМ. Влияние ускоряющего напряжения. Влияние размера апертуры. Влияние рабочего расстояния. Влияние наклона образца.
11. Детекторы сигналов в СЭМ. Характеристики и их влияние на формирование изображений.
12. Традиционная сканирующая электронная микроскопия.
13. Низковакуумная сканирующая электронная микроскопия.
14. Сканирующая электронная микроскопия в режиме естественной среды.
15. Сканирующая электронная микроскопия в режиме наведённого тока.
16. Высоковакуумная сканирующая электронная микроскопия.
17. Оже-электронная спектроскопия.
18. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.
19. Рентгеновский микроанализ.



20. Спектрометрия с волновой дисперсией.
21. Спектрометрия с энергетической дисперсией.
22. Дифракция обратно рассеянных электронов, формирование картины дифракции.
23. Анализ дифракционных картин обратно рассеянных электронов.
24. Сфокусированный ионный пучок и его функции.
25. Инжекторы.
26. Манипуляторы высокой точности позиционирования.
27. Послойное травление для реконструкции 3х мерной структуры (3D).
28. Препарирование объекта в заданном участке для приготовления тонкого образца для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).
29. Возможность сканирующей просвечивающей электронной микроскопии.
30. Основные преимущества СЭМ перед другими методами микроскопии.
31. Основные недостатки СЭМ.
32. Возможности СЭМ для получения наноструктур.
33. Использование СЭМ для исследования наноструктур.
34. Использование СЭМ для исследования наноструктуры материалов.
35. Возможности СЭМ для исследование кинетики процессов.
36. Преимущества СЭМ ввиду большой глубины фокуса.
37. Возможности фрактографического анализа.
38. Получение объёмных представлений об объекте.
39. Электронная литография.
40. Основные производители СЭМ.
41. Основные варианты СЭМ.
42. Приставки к СЭМ.
43. Расходуемые материалы к СЭМ.

### **Критерии выставления оценки студенту на экзамене:**

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	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, свободно

		справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами необходимыми для выполнения практических задач.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов, владеет необходимыми навыками и приемами необходимыми для их решения.
61-75	«удовлетворительно»	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, испытывает затруднения при применении теоретических положений для решения практических вопросов.
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями применяет теоретические положения при решении практических вопросов. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: собеседование)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: собеседование)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение

<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач
---	---	---	--	--