

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«30» ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины

Электронная микроскопия

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки

03.04.02 - Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород - 2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Электронная микроскопия» (Б1.В.ДВ.08.04) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». Дисциплина является обязательной для освоения на первом году обучения, в 1 семестре.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.08.04 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

Общей целью настоящей дисциплины является формирование у студентов практических навыков проведения исследований структуры и состава порошковых и объемных материалов методами растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа. Дисциплина предполагает ознакомление студентов с устройством электронных микроскопов, принципами их работы, способами подготовки образцов и обработки результатов наблюдений, а также методами интерпретации изображений.

Конкретными целями дисциплины являются:

- познакомить студентов с методикой растровой электронной микроскопии и показать ее связь с другими методиками исследования структуры и свойств металлических и керамических материалов;
- познакомить студентов с физическими основами метода растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа;
- научить эффективному использованию полученных знаний для правильной интерпретации результатов исследований, полученных с применением методики растровой электронной микроскопии;
- научить самостоятельно подготавливать образцы керамических или металлических материалов для проведения исследований с применением растровой электронной микроскопии;
- научить студентов самостоятельной работе на растровом электронном микроскопе;
- научить студентов выбирать оптимальные параметры режима съемки при работе за растровым электронным микроскопом в зависимости от конкретной задачи, решаемой с применением РЭМ.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Физика твердого тела», «Методы рентгеноструктурного анализа материалов» и «Практикум по методам рентгеноструктурного анализа материалов», преподаваемых студентам кафедры физического материаловедения.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для	ПК-3.1 Знание основных законов физики	<u>Знать</u> : З1: Знать общее устройство растрового электронного микроскопа и назначение каждой из его систем.	Собеседование

решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности		32: Знать основные факторы, влияющие на эффективность использования методики растровой электронной микроскопии в зависимости от типа решаемой задачи. 33: Знать требования техники безопасности при работе с растровым электронным микроскопом. 34: Знать физические основы работы растрового электронного микроскопа.	Собеседование Собеседование Отчет по лабораторной работе Собеседование
	ПК-3.2 Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности	У1: Уметь применять теоретические знания в области физики твердого тела для правильной интерпретации экспериментальных данных, полученных с применением методики растровой электронной микроскопии. У2: Уметь объяснить суть физических явлений, происходящих при взаимодействии электронов пучка микроскопа с исследуемым образцом.	Собеседование Отчет по лабораторной работе Собеседование Отчет по лабораторной работе
	ПК-3.3 Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности	В1: Владеть экспериментальными методами исследования структуры и состава металлических и керамических материалов, реализуемыми посредством применения растрового электронного микроскопа. В2: Владеть навыками анализа результатов исследований состава и структуры материалов, полученных методом растровой электронной микроскопии.. В3: Владеть методикой растровой электронной микроскопии для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой).	Отчет по лабораторной работе Собеседование Отчет по лабораторной работе Отчет по лабораторной работе

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятий лекционного типа, 16 часов практические занятия (лабораторные работы), 2 часа контроль самостоятельной работы обучающегося), 56 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 54 часа – мероприятия промежуточной аттестации

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	4 з.е.
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	34
- занятия лекционного типа, ч	16
- практические занятия, ч	16
самостоятельная работа, ч	56
КСРИФ	1
Промежуточная аттестация	Экзамен

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Тема 1: Краткое описание методики растровой электронной микроскопии и ее связи с другими методами исследования структуры и состава материалов.	4	2		0	0	2	9
Тема 2: Устройство источника электронов в РЭМ (катода)	8	4		0	0	4	9
Тема 3: Электронная оптика РЭМ	12	4		0	0	4	9
Тема 4: Взаимодействие пучка электронов с образцом	8	4		0	0	4	9
Тема 5: Формирование изображения в микроскопе	50	4		8	0	12	9
Тема 6: Пробоподготовка образцов для растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа	11	0		8	0	8	11
В том числе текущий контроль успеваемости – 2 часа							
Промежуточный контроль успеваемости: Экзамен							

Краткое содержание основных разделов (тем) дисциплины

Тема 1: Краткое описание методики растровой электронной микроскопии и ее связи с другими методами исследования структуры и состава материалов.

Схематичное устройство растрового электронного микроскопа. Назначение РЭМ. Возможные типы исследований с применением методики РЭМ: фрактографические исследования,

исследования шлифов металлов и сплавов. Расширение аналитических возможностей РЭМ посредством использования аналитических приставок: краткий обзор методик энергодисперсионного и волнодисперсионного микронзондового анализа и дифракции отраженных электронов.

Тема 2: Устройство источника электронов в РЭМ (катода)

Назначение катода. Основные типы катодов и их характеристики. Принципиальная и электрическая схема системы «Катод – Цилиндр Венельта – Анод». Режим насыщения вольфрамового термоэмиссионного катода. Оптимальные условия работы катода. Регулируемые параметры системы «Катод – Цилиндр Венельта – Анод».

Тема 3: Электронная оптика РЭМ.

Принципиальная схема электронно-оптической системы РЭМ. Назначение каждого из компонентов. Устройство электромагнитных линз, стигматора и отклоняющих катушек. Дефекты оптической системы РЭМ: абберации и астигматизм. Принципы построения изображения в РЭМ. Реализация увеличения.

Тема 4: Взаимодействие пучка электронов с образцом.

Виды рассеяния электронов в твердом теле: упругое и неупругое взаимодействие. Область взаимодействия электронов с мишенью. Отраженные электроны. Вторичные электроны. Характеристическое и тормозное рентгеновское излучение. «Эффективная» разрешающая способность.

Тема 5: Формирование изображения в микроскопе

Принцип сканирования. Механизмы возникновения контраста. Устройство детекторов микроскопа: сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы. Конечная обработка сигнала в РЭМ.

Тема 6: Пробоподготовка образцов для растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа

Основные этапы подготовки образца для исследований в РЭМ. Требования к качеству поверхности шлифов металлических и керамических материалов.

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогическая форма проведения лекций, элементы научной дискуссии. Лекции и семинарские занятия проводятся с использованием средств мультимедиа.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий.

В преподавании дисциплины (в части семинаров) активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и прийти к единому мнению.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1 Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
Полнота знаний	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Наличие умений	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными и недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Наличие навыков (владение опытом)	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Мотивация (личностное отношение)	Полное отсутствие учебной активности и мотивации	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне	Учебная активность и мотивация проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять нестандартные дополнительные

					поставленных задач на высоком уровне качества	качества	задачи на высоком уровне качества
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в не сформирована. отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
Уровень сформированности компетенций	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий

При промежуточной аттестации студентов на экзамене используется традиционная семибальная шкала оценивания (выставления оценки («Плохо», «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично», «Превосходно»)), общие критерии выставления оценок по которой определены приказом ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г.

Оценка	Критерий выставления
Превосходно	Отличная подготовка. Студент самостоятельно решает задачу, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
Отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на вопросы допускаются незначительные неточности.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
Хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
Удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.
Неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Задача не решена. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;
- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Прием отчетов по проделанным лабораторным работам проводится на основании следующих критериев:

Результат	Критерий выставления
Прием отчета о проделанной лабораторной работе	<p>Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.</p> <p>При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов.</p> <p>В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.</p>
Отклонение отчета о проделанной лабораторной работе	<p>Отчет о проделанной лабораторной работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.</p> <p>При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией.</p> <p>В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста лабораторных работ других студентов.</p>

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- письменные ответы на вопросы (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- комплексные практические задания (отчеты по лабораторным работам) (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Критерии и шкалы оценивания сформированности компетенций приведены в п.2.1 Фонда оценочных средств дисциплины «Методы калориметрии в физическом материаловедении».

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Типовые контрольные вопросы

1. Принципиальная схема устройства растрового электронного микроскопа. Назначение основных систем и элементов РЭМ.
2. Принципиальная схема устройства энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора. Назначение основных систем и элементов энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора.
3. Принципиальная схема устройства волнодисперсионного рентгеновского микроанализатора. Назначение основных систем и элементов волнодисперсионного рентгеновского микроанализатора.
4. Принципиальная и электрическая схема системы «Катод – Цилиндр Венельта – Анод». Режим насыщения вольфрамового термоэмиссионного катода. Оптимальные условия работы катода. Регулируемые параметры системы «Катод – Цилиндр Венельта – Анод».
5. Устройство электромагнитных линз, стигматора и отклоняющих катушек. Дефекты оптической системы РЭМ: абберации и астигматизм.
6. Принципы построения изображения в РЭМ. Реализация увеличения. Эффективное разрешение растрового электронного микроскопа с учетом конечных размеров области взаимодействия пучка электронов с образцом.
7. Виды рассеяния электронов в твердом теле: упругое и неупругое взаимодействие. Область взаимодействия электронов с мишенью.
8. Отраженные и вторичные электроны. Связь характеристик отраженных и вторичных электронов с параметрами электронного микроскопа и свойствами исследуемого образца.
9. Характеристическое и тормозное рентгеновское излучение. Связь характеристик характеристического и тормозного рентгеновского излучения с параметрами электронного микроскопа и свойствами исследуемого образца.
10. Принцип сканирования. Механизмы возникновения контраста. Типы контраста, реализуемые при исследованиях материалов методом растровой электронной микроскопии.
11. Устройство сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов микроскопа. Конечная обработка сигнала в РЭМ.
12. Основные этапы подготовки образца для исследований в РЭМ. Требования к качеству поверхности шлифов металлических и керамических материалов в зависимости от решаемой задачи и характеристик исследуемого образца.

5.2.2 Тематика лабораторных работ

1. Определение гранулометрического состава порошковых материалов с применением методики растровой электронной микроскопии.
2. Выявление внутренней структуры порошков, используемых для изготовления материалов послойным лазерным сплавлением, с применением методики растровой электронной микроскопии.
3. Исследование зеренной структуры металлических материалов, полученных методом послойного лазерного сплавления.
4. Исследование зеренной структуры нано- и микрокристаллических металлических материалов, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания.
5. Исследование зеренной структуры мелкозернистых керамических материалов, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания.
6. Фрактографическое исследование мелкозернистых металлических материалов.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Сахаров Н.В., Фаддеев М.А. Растровая электронная микроскопия – Н.Новгород, ННГУ, 2020, 96 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=794178&idb=0>
2. Основы растровой электронной микроскопии : учеб. пособие / Н.В. Сахаров, М.А. Фаддеев; под ред. В. Н. Чувильдеева. - Нижний Новгород: ННГУ, 2021. - 90 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=742573&idb=0>
3. Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ : учеб. пособие / Н.В. Сахаров, М.А. Фаддеев; под ред. В. Н. Чувильдеева. ННГУ - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2022. 108 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=825004&idb=0>
4. Щербань М.Ю., Егорова С.П. Растровая электронная микроскопия для изучения структуры твердых тел. В сб. «Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Часть I. Методы получения твердых тел и исследования их структуры». Под ред. А.Ф. Хохлова – Н.Новгород, ННГУ, 2000, с.265-292. [10 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию – М.: Техносфера, 2010, 304 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Герасимова Л.П., Ежов А.А., Маресев М.И. Изломы конструкционных сталей. Справочник. М.: Металлургия, 1987, 272 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/gerasimova_l.p._izlomy_konstrukcionnyh_staley.djvu].
7. Микроструктуры сплавов. Учебное пособие. Под ред. В.Н. Чувильдеева - Н.Новгород, ННГУ, 2005, 20 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: <http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/mikrostruktura.pdf>].
8. Карты механизмов разрушения. Учебное пособие. Под ред. В.Н. Чувильдеева – Н.Новгород, ННГУ, 2003, 30 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/karty_razrusheniya.pdf].
9. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Учебное пособие для ВУЗов – М.: Металлургия, 1982, 631 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].

б) дополнительная литература:

1. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Учебное пособие для ВУЗов – М.: Металлургия, 1982, 631 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Ганди К., Эшби М.Ф. Карты механизмов деформации материалов, подверженных разрушению сколом: ОЦК-, ГЦК- и ГПУ-металлы и керамики [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/1979_overview_5.pdf].
3. Кларк Э.Р. Микроскопические методы исследований материалов – М.: Техносфера, 2007, 376 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Справочник по микроскопии для нанотехнологии. Под ред. Нан Яо, Чжун Лин Ван ; науч. ред. И. В. Яминский – М.: Научный мир, 2011, 712 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Криштал М.М., Ясников И.С., Полуниин В.И. и др. Сканирующая электронная микроскопия и рентгено-спектральный микроанализ в примерах практического применения. Учебное пособие – М.: Техносфера, 2009, 208 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. В 2х кн. Часть 1. пер. с англ. Р. С. Гвоздовер, Л. Ф.

- Комоловой; под ред. В. И. Петрова – М.: Мир, 1984, 303 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
7. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. В 2х кн. Часть 2. Пер. с англ. Р. С. Гвоздовер, Л. Ф. Комоловой; под ред. В. И. Петрова – М.: Мир, 1984, 351 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
 8. Чувильдеев В.Н. Инженерные свойства материалов. Многоцелевая оптимизация при конструировании и выборе материалов. Н.Новгород, Университетская книга, 2005, 52 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/inzhenernye_svoystva_materialov.djvu].
 9. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994, 328 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/rentgenograficheskiy_i_elektronno-opticheskiy_analiz.djvu]
 10. Кан Р.У. Физическое металловедение. Том 1. Атомное строение металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1987, 640 с. [доступно в открытом доступе на сайте Исследовательской школы «Нанотехнологии и наноматериалы» ННГУ по адресу: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/kan_tom1.djvu].
 11. Основы аналитической электронной микроскопии. Под ред. Дж.Дж.Грена. Пер. с англ. М.П. Усикова. – М.: Металлургия, 1990, 583 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
 12. Хови А., Николсон Р., Пэшли Д., Уэлан М. Электронная микроскопия тонких кристаллов. Под ред. Л.М. Утевского – М.: Мир, 1968, 574 с. [22 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
 13. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении – М.: Металлургия, 1973, 583 с. [3 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
 14. Молдавский Д.Ф. Электронная микроскопия в физическом материаловедении. Учебное пособие – Горький: ГГУ, 1983, 71 с. [6 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
 15. Смирнова А.В., Кокорин Г.А., Полонская С.М. и др. Электронная микроскопия в металловедении – М.: Металлургия, 1985, 191 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
4. <http://new.pm-i-fp.ru> сайт электронной библиотеки МИСиС
5. <https://books.google.ru> сайт международной электронной библиотеки

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для выполнения лабораторных работ предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

- интерференционные металлографические микроскопы Leica DM IRM для исследования макроструктуры сплавов.
- растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6490 с энергодисперсионным микроанализатором INCA 350.
- Растровый электронный микроскоп TESCAN Vega 2 с энергодисперсионным микроанализатором INCA 350.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 – Физика и с учетом рекомендаций ООП ВО направленности «Физика конденсированного состояния».

Авторы: м.н.с. Сахаров Н.В., д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензент: зам. декана по учебной работе О.В. Белова

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от «17» ноября 2022 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /