

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физических методов исследования твёрдого тела



Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Электронная микроскопия» представляет собой начальный курс по электронной микроскопии, предназначенный для обучения бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с физическими принципами трансмиссионной электронной микроскопии, устройством современных электронных микроскопов, областями применения электронной микроскопии высокого разрешения растровой сканирующей и аналитической электронной микроскопии. В рамках данного курса рассматриваются как теоретические основы метода, так и разнообразные примеры его практического применения для исследования кристаллов и высокодисперсных нанокристаллических систем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать принципы формирования изображений в просвечивающей и растровой сканирующей электронной микроскопии, картин дифракции электронов, принципы и возможности энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь электронов, физические аспекты управления пучком электронов, основные возможности и области применения электронной микроскопии; основные методы анализа экспериментальных электронно-микроскопических экспериментов и теоретического моделирования электронно-микроскопических изображений.</p> <p>Уметь понимать решения прикладных задач на основе фундаментальных знаний в области электронной микроскопии; при решении собственных научных задач, связанных с исследованиями атомной структуры и наноструктуры твердого тела и высокодисперсных систем, грамотно привлекать метод электронной микроскопии высокого разрешения и</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>аналитические возможности электронной микроскопии.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой по основным направлениям электронной микроскопии на основе приобретенных знаний, умений, навыков; приемами обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); методами работы с электронным микроскопом; необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в области электронной микроскопии; экспериментальными навыками для проведения научного исследования с помощью электронной микроскопии.</p>

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области электронной микроскопии техники эксперимента, примерами интерпретации экспериментальных данных. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институте, в котором студенты проходят научную практику. Материал курса увязывается с разделами физики, изучаемыми студентами (электродинамика, квантовая механика, основы функционального анализа), и спецкурсами, параллельно изучающимися по данной специальности (рентгенография поликристаллов, рентгеновская спектроскопия), а также лабораторными работами, выполняемыми в рамках отдельного спецпрактикума. Практические занятия проводятся в интерактивной форме в малой группе при активном участии студентов в обсуждении поставленной проблемы, с привлечением иллюстрационного материала.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Электронная микроскопия» реализуется в весеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика». Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по электродинамике, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.). Он должен предшествовать прохождению производственной практики (НИР) и выполнению квалификационной работы бакалавра, т.к. дает необходимые знания для выполнения исследований магнитных свойств веществ, являющихся важной частью различных физико-химических свойств твёрдого тела.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос по теме предыдущих лекций в начале практических занятий;

- промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачёт) – 2 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включающая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Типы и устройство электронных микроскопов	1	8	2	2	4	
2.	Элементы волновой оптики электронов	2-3	8	2	2	4	
3.	Препарирование образцов для электронной микроскопии	4-6	6	1	1	4	
4.	Рассеяние электронов на пространственной решетке	7-9	8	2	2	4	
5.	Дифракционный контраст в электронной микроскопии	10-11	8	2	2	4	
6.	Аналитическая электронная микроскопия EDS и EELS	12-14	12	4	4	6	
7.	Электронная микроскопия в контролируемых средах	15	8	2	2	6	
8.	Некоторые примеры уникальных практических исследований методом электронной микроскопии	16	8	1	1	6	
10.	Дифференцированный зачёт	17	2				2
Всего			72	16	16	38	8

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Раздел 1. Типы и устройство электронных микроскопов (Кол-во часов 2)

Электронное излучение и его взаимодействие с веществом. Типы электронных микроскопов. Устройство электронного микроскопа просвечивающего типа (ПЭМ). Требования к вакууму, способы получения высокого вакуума в электронном микроскопе. Значение высокого ускоряющего напряжения, конструкция электронной пушки. Формирование изображений в ПЭМ, физические аспекты управления пучком электронов. Электронные линзы, их функциональное назначение, астигматизм, aberrации. Сферическая aberrация объективной линзы. Назначение диафрагм, корректоров изображений. Хроматическая aberrация. Способы регистрации изображений в ПЭМ.

Раздел 2. Элементы волновой оптики электронов (Кол-во часов 2)

Дифракции Френеля и Фраунгофера. Применение преобразования Фурье в теории формирования изображений ПЭМ. Уравнение Шредингера для взаимодействия электрона с потенциальным полем атомов. Реальная и мнимая части функции пропускания. Фазовый контраст. Шерцеровский фокус, информационный и физический предел пространственного разрешения. Предельное разрешение и изображение атомного уровня. Поле зрения и глубина резкости.

Раздел 3. Препарирование образцов для электронной микроскопии (Кол-во часов 1)

Требования к образцам для исследования в ПЭМ. Энергетические потери электронов, Особенности исследования массивных образцов, тонких пленок, дисперсных порошков. Радиационное и термическое воздействие электронного пучка на образец. Методика препарирования образцов для электронной микроскопии. Закрепление образцов и манипулирование ими в электронном микроскопе. Прямые и косвенные методы наблюдения.

Раздел 4. Рассеяние электронов на пространственной решетке (Кол-во часов 2)

Кинематическая теория электронной дифракции. Условие Брэгга и сфера Эвальда в дифракции электронов. Ограничения кинематической теории, понятие о динамической теории, линии Кикучи. Дифракция на кристаллах конечных размеров и поликристаллических веществах. Расчет электронограмм от монокристаллов и поликристаллических веществ.

Раздел 5. Дифракционный контраст в электронной микроскопии (Кол-во часов 2)

Светлопольные и темнопольные изображения, контуры экстинкции, «Муар», Z-контраст. Типы дефектов кристаллической решетки, их изображение, проявления на дифракции электронов. Определение вектора Бюргера дислокаций. Когерентные и некогерентные включения, эпитаксия. Математическое моделирование изображений высокого разрешения.

Раздел 6. Аналитическая электронная микроскопия EDS и EELS. (Кол-во часов 4)

Параметры электронного зонда, его взаимодействие с образцами разной толщины, с дисперсными и массивными частицами. Сканирующая электронная микроскопия. Возбуждение характеристического рентгеновского излучения Спектрометры с дисперсией по волнам и по энергиям вторичного рентгеновского излучения, энергетическое разрешение спектрометра. Спектрометры энергетических потерь электронов. Спектроскопия EELS. Особенности анализа тяжелых и легких элементов. Количественный анализ, основные параметры для количественных измерений. Картирование изображений.

Раздел 7. Электронная микроскопия в контролируемых средах. (Кол-во часов 2)

Характеристика условий (давление, температура) для проведения наблюдений *in situ*. Устройство ячеек для помещения образцов.

Раздел 8. Некоторые примеры уникальных практических исследований методом электронной микроскопии. (Кол-во часов 1)

Программа практических занятий (16 часов)

Занятие 1. Получение снимков электронной микроскопии, электронной дифракции. **(Кол-во часов - 8)**

Занятие 2. Определение морфологических и структурных параметров нанокристаллических частиц (размеры, форма, параметры кристаллической решетки, индексирование и идентификация кристаллов). **(Кол-во часов - 8)**

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	16
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	16
Подготовка к дифференцированному зачёту	6

5. Перечень учебной литературы.

1. Уикли Б.С. Электронная микроскопия для начинающих / Б. С. Уикли; пер. с англ. И. В. Викторова; под ред. и с предисл. В. Ю. Полякова. М.: Мир, 1975.(5 экз.)
2. Шаскольская М. П. Кристаллография. — М.: Высшая школа, 1984. (26 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Уикли Б.С. Электронная микроскопия для начинающих / Б. С. Уикли; пер. с англ. И. В. Викторова; под ред. и с предисл. В. Ю. Полякова. М.: Мир, 1975.
2. Морозова К.Н. Электронная микроскопия в цитологических исследованиях: методическое пособие. М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск НГУ, 2014.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения опросов по пройденному материалу.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области электронной микроскопии в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачёте. Он проводится в конце семестра в устной форме. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все

компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать принципы формирования изображений в просвечивающей и растровой сканирующей электронной микроскопии, картин дифракции электронов, принципы и возможности энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь электронов, физические аспекты управления пучком электронов, основные возможности и области применения электронной микроскопии; основные методы анализа экспериментальных электронно-микроскопических экспериментов и теоретического моделирования электронно-микроскопических изображений.</p>	<p>Проведение опросов, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь понимать решения прикладных задач на основе фундаментальных знаний в области электронной микроскопии; при решении собственных научных задач, связанных с исследованиями атомной структуры и наноструктуры твердого тела и высокодисперсных систем, грамотно привлекать метод электронной микроскопии высокого разрешения и аналитические возможности электронной микроскопии.</p>	<p>Проведение опросов, дифференцированный зачет.</p>

<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой по основным направлениям электронной микроскопии на основе приобретенных знаний, умений, навыков; приемами обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); методами работы с электронным микроскопом; необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в области электронной микроскопии; экспериментальными навыками для проведения научного исследования с помощью электронной микроскопии.</p>	<p>Проведение опросов, дифференцированный зачет.</p>
--	--	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Электронная микроскопия».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продemonстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры вопросов для опроса на практических занятиях

1. Какое увеличение необходимо выбрать для анализа необходимых параметров нанокристаллов?
2. Как определить индексы Миллера по электронограмме?
3. Как сделать идентификацию кристаллической фазы?

Примерные вопросы на дифференцированный зачёт

1. Процессы, происходящие при взаимодействии электронов с веществом. Характеристическое рентгеновское излучение. Возникновение вторичных электронов. Оже-электроны. Генерация электронно-дырочных пар и катодoluminesценция. Возникновение плазмонов и фононов.
2. Характеристики электронного излучения. Яркость. Энергетическая когерентность и пространственная когерентность. Источники электронов. Источник с термоэлектронной эмиссией. Автоэмиссионные источники.
3. Линзы. Дефекты линз. Понятие об аберрациях линз. Сферическая и хроматическая аберрация, астигматизм. Пространственное разрешение.
4. Камеры для регистрации изображения. Вакуумная система. Гониометры.
5. Просвечивающая электронная микроскопия. Дифракция электронов.
6. Сканирующая электронная микроскопия.
7. Обратная решетка. Построение сферы Эвальда. Разрешенные и запрещенные рефлексы. Размерные эффекты в дифракции. Лауэ зоны.
8. Кикучи-дифракция. Дифракция в сходящемся пучке.

1. Изображение и контраст в электронной микроскопии. Контраст плотности и толщины. Z-контраст. Дифракционный контраст. Толщинные и изгибные контуры.
2. Дефекты упаковки в металлах. Двойниковые, малоугловые и большеугловые границы в дефектных кристаллах. Контраст Муара, его виды.
3. Фазовый контраст в просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Слабофазовое приближение. Функция передачи. Контраст кристаллической решетки.
4. Моделирование электронномикроскопических изображений.
5. Энергодисперсионная спектроскопия. Спектрометры рентгеновского излучения. Виды детекторов рентгеновского излучения. Пространственное разрешение при получении энергодисперсионных спектров. Элементное картирование.
6. Спектрометрия потерь энергии электронов. Связь с энергодисперсионной спектроскопией.

7. Пробоподготовка для электронной микроскопии. Экспериментальная техника для резки, утонения, диспергирования.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Электронная микроскопия»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного