



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

«Дальневосточный федеральный университет»

(ДВФУ)

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

Поляризоннозависимая рентгеновская спектроскопия для изучения магнитных материалов

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 преподавания дисциплины «Поляризоннозависимая рентгеновская спектроскопия для изучения магнитных материалов» является ознакомление студентов с физическими методами исследования структурно-фазового состояния и свойств конденсированных сред и магнитных наноструктур с использованием синхротронного излучения.

Задачи:

1. Сформировать представление о свойствах синхротронного излучения,
2. Ознакомить с тенденциями развития современных источников СИ в мире и в России и данными о действующих и проектируемых станциях Курчатовского источника синхротронного излучения.
3. Рассмотреть экспериментальные методики исследования наноматериалов с использованием СИ, включая: малоуглового рассеяния, аномальной рентгеновской дифракции, спектроскопии рентгеновского излучения (XAFS- спектроскопии), резонансного неупругого рентгеновского рассеяния (RIXS), рентгеновского магнитного кругового дихроизма (XMCD) и фотоэлектронной спектроскопии.

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
Организационно-управленческий	ПК-5 Способен планировать и организовывать исследования в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научные семинары	ПК-5.1 выбирает инструменты для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов ПК-5.2 анализирует и применяет способы планирования, и организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
--	--

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-5.1 выбирает инструменты для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов	Знает основные инструменты для организации исследований в области прикладной физики
	Умеет применять необходимые инструменты для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов
	Владеет основными инструментами для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов
ПК-5.2 анализирует и применяет способы планирования, и организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий	Знает основные способы планирования, и организации исследований
	Умеет выбирать способы планирования исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий
	Владеет навыками организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий

1. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачётные единицы 180 академических часов, в том числе 32 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 112 ак.ч. академических часов на самостоятельную работу обучающихся и 36 ак.ч. на контроль знаний.

(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
ЛР	Лабораторные 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	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося	Формы промежуточной аттестации

			Лек	Пр	Лр	ОК	СР	Контроль	
1	Источники синхротронного излучения	3	2		2		10		Экзамен
2	Свойства синхротронного излучения	3	2		2		10		
3	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом	3	2		2		10		
4	Рентгеновская спектроскопия поглощения	3	4		4		20		
5	Режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии	3	4		4		20		
6	Рентгеновский магнитный круговой дихроизм	3	2		2		10		
7	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации						32		
8	Подготовка к экзамену							36	
	Итого:		16		16		112	36	

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Тема 1. Источники синхротронного излучения

Определение синхротронного излучения (СИ). Основные свойства СИ. Мощность СИ. Спектрально-угловое распределение мощности. Поляризационные свойства СИ. Спектр СИ. Особенности спектрального распределения мощности. Малая расходимость. Высокая яркость. Высокая интенсивность. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Сравнительные характеристики яркости синхротронного излучения. Эмиттанс СИ.

Синхротроны первого, второго и третьего поколений. Источники синхротронного излучения Европы, США, Японии, Китая, Индии, Южной Кореи, Тайваня, Бразилии, России.

Способы повышения энергии излучаемого СИ. Вигглеры и ондуляторы.

Фокусировка рентгеновского излучения. Схемы фокусировки СИ. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы.

Зеркала скользящего падения. Материал подложки. Шероховатость. Качество юстировки. Методы подстройки кривизны. Способы охлаждения.

Курчатовский источник синхротронного излучения – КИСИ.

Устройство накопительных колец «Сибирь-1» и «Сибирь-2».

Действующие экспериментальные станции КИСИ.

- Станция EXAFS-D: Исследования EXAFS спектров в дисперсионной моде;
- Станция белковой кристаллографии (БЕЛОК): для исследования атомной структуры биорганических объектов с целью установления молекулярных механизмов функционирования различных биорганических систем, для исследования соединений с биологической активностью, перспективных для медицины, фармакологии;
- Станция ГАММА: для исследований фотонейтронных реакций от порога до 20 МэВ; радиационного материаловедения и трансмутации ядер; калибровки ядерных детекторов;
- Станция ДИКСИ: для исследования биологических объектов с временным разрешением с помощью малоуглового рассеяния;
- Станция глубокой рентгеновской литографии (ЛИГА): для экспонирования рентгеночувствительных резистов на подложках диаметром до 100 мм;
- Многоцелевой комплекс установок (МЕДИАНА) в составе: 1- установка для рефракционной интроскопии, 2- топографическая установка, 3- поликристалльный дифрактометр;
- Станция Прецизионная рентгеновская оптика (ПРО): для рентгеновской дифракции высокого разрешения, дифракционной топографии, рентгеновской рефлектометрии, метода стоячих рентгеновских волн, резонансной дифракции, многоволновой дифракции. Объекты исследований: структура приповерхностных слоев, тонких пленок и границ раздела, органические и неорганические многослойные структуры, полупроводниковые сверхрешетки и наноструктуры, структуры с квантовыми ямами, нитями и точками, пористые наноструктуры, дефекты в кристаллах;
- Станция рентгеновской кристаллографии и физического материаловедения (РКФМ): для реализации методов трехкристалльной дифрактометрии, бездисперсионной плоскостной топографии, трехкристалльной топографии, деформационной картографии образцов;
- Станция рентгеноструктурного анализа (РСА): для структурных исследований поликристаллических материалов и монокристаллов, включая нанообъекты и макромолекулярные кристаллы, на синхротронном излучении из сверхпроводящего вогнутого накопителя «Сибирь-2»;
- Станция рентгеновской топографии и микротомографии (РТ-МТ): для проведения топографических и томографических исследований;

- Станция СПЕКТР (область ВУФ): для исследования оптических свойств полупроводников и диэлектриков в широком диапазоне энергий;
- Станция структурного материаловедения (СТМ): для проведения комплексных структурных исследований материалов с использованием нескольких взаимодополняющих синхротронных методик, включая рентгеноабсорбционную спектроскопию - XAFS (EXAFS и XANES), рентгеновское малоугловое рассеяние - SAXS и порошковую дифрактометрию – XRD, с возможностью использования эффекта аномального рассеяния;
- Станция фотоэлектронной спектроскопии: для исследования электронных спектров валентной зоны и дискретных уровней сложных веществ и наноструктур.

Европейские синхротроны 3-го поколения. Синхротрон APS (Advanced Photon Source) (Чикаго, США). Синхротронный центр Spring-8 (Япония).

Тема 2. Свойства синхротронного излучения

Эмиттанс источников СИ.

Способы повышения энергии и яркости источников СИ. Специализированные магнитные устройства – шифтеры, ондуляторы и вигглеры. Форма излучения из поворотного магнита, вигглера и ондулятора. Свойства ондуляторного излучения. Угловое распределение ондуляторного излучения. Спектральный состав ондуляторного излучения. Спонтанное и/или когерентное излучение ондуляторов. Микробанчи. Детекторы рентгеновского излучения. Основные характеристики рентгеновских детекторов. Ионизационные детекторы. Полупроводниковые детекторы. Полупроводниковый флуоресцентный детектор. Сцинтилляционные детекторы. Координатные детекторы. Методы определения координат в координатно чувствительных детекторах. Телевизионные (CCD) детекторы. Координатные детекторы на pin-диодных матрицах. IP-детекторы (на пластинах с оптической памятью).

Тема 3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения. Рентгеновские методы диагностики и исследования наноструктур с использованием синхротронного излучения. Рентгеновская дифракция. Дифракционное рассеяние рентгеновских лучей на кристаллах представляет собой процесс интерференции пучков, отраженных различными плоскостями кристаллической решетки. Закон Брэгга-Вульфа.

Рентгеновская эмиссия, аномальное рассеяние, резонансное неупругое рассеяние. Комбинированные явления неупругого и аномального рассеяния. Аномальная дифракция. Парная радиальная функция распределения (PDF). Парные радиальные функции распределения (PDF) сложных оксидов. Рентгеновская спектроскопия поглощения - XAFS – спектроскопия (X-ray Absorption Fine Structure). Основные преимущества XAFS-спектроскопии. Две области XAFS-спектроскопии: околопороговая структура рентгеновского спектра поглощения – XANES (X-Ray Absorption Near Edge Structure) и протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения – EXAFS (Extended X-Ray Absorption Fine Structure). История развития метода.

Тема 4. Рентгеновская спектроскопия поглощения

Две методики XAFS-спектроскопии: околопороговая структура рентгеновского спектра поглощения – XANES (X-Ray Absorption Near Edge Structure) и протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения – EXAFS (Extended X-Ray Absorption Fine Structure).

Физические основы EXAFS- спектроскопии.

Вид экспериментально определяемого коэффициента поглощения рентгеновского излучения. Понятие коэффициента поглощения «свободного атома». Физические причины возникновения осциллирующей структуры коэффициента поглощения. Определение EXAFS- функции. Типы представлений EXAFS- функции. Последовательность шагов при извлечении EXAFS- функции из экспериментального спектра. Амплитуда и фаза обратного рассеяния фотоэлектронов, зависимость от волнового вектора. Фактор Дебая-Валлера в EXAFS- спектроскопии, определяемый как среднеквадратичное отклонение средней длины связи поглотитель-рассеиватель. Методы моделирования EXAFS- функции. Извлекаемые из EXAFS- спектров параметры локальной атомной структуры.

Физические основы XANES - спектроскопии.

Множественное отражение фотоэлектронной волны от атомов ближайшего окружения атома-поглотителя рентгеновского кванта. Резонансная фотоионизация. Чувствительность к симметрии кристаллической решетки, или в отсутствие таковой в аморфных структурах – к симметрии взаимного расположения атомов. XANES- спектроскопия - как спектроскопия свободных состояний.

Экспериментальные методики регистрации EXAFS- и XANES- спектров.

Принципиальная схема EXAFS- спектрометра. Устройство и особенности работы EXAFS станций E4, A1, E и X1 синхротронного центра HASYLAB (DESY) и Курчатовского источника синхротронного излучения.

Достижения XAFS- спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.

Тема 5. Режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии

Возможные режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии. Основные режимы: на пропускание; по выходу флуоресценции.

Дополнительные режимы: по выходу электронов; по рентгеновскому отражению; по выходу ионов (PSID); по выходу оптической люминесценции (XEOL); по изменению электропроводности (для полупроводников); по изменению интенсивности дифракционных линий (аномальная дисперсия).

Принципиальная схема дисперсионного EXAFS- спектрометра. Достижения XAFS- спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.

Рентгеновская резонансная дифракция (RXS). Дифракционная аномальная тонкая структура (DAFS). Дифракционная аномальная спектроскопия вблизи края поглощения (DANES).

Тема 6. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм

Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). Разделение орбитального и спинового вкладов. Магнитный круговой дихроизм в ферримагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в антиферромагнетиках. Магнитный круговой и линейный дихроизм – зависимость от поляризации СИ.

Эксперименты с временным разрешением (pump-probe). Эксперименты с фемтосекундным разрешением. Химические реакции с фемтосекундным разрешением. Магнитный рентгеновский круговой дихроизм с временным разрешением. XAFS- исследования с временным разрешением.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Лабораторные работы

Занятие 1. Получение и обработка данных рентгеновской спектроскопии поглощения (4 часа)

Занятие 2. Получение и обработка данных рентгеновской резонансной дифракции (4 часа)

Занятие 3. Получение и обработка данных со станции рентгеновского малоуглового рассеяния и порошковой дифрактометрии (4 часа)

Занятие 4. Обработка данных рентгеновского магнитного кругового дихроизма (4 часа).

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	в течение семестра	Работа с основной и дополнительной литературой, интернет-источниками. Подготовка к практическим занятиям.	112 час.	ПР-5 Собеседование
	ИТОГО		112 часов	

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 и лабораторным 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.

Подготовка к практическим занятиям. Перед выполнением лабораторных работ студенты должны ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия. Если при изучении теоретического материала возникли вопросы, задать вопрос преподавателю.

После выполнения каждого этапа работы, необходимо сделать анализ полученных результатов. Если результат удовлетворяет всем требованиям, указанным в задании, перейти к следующему этапу. В противном случае, если результат не удовлетворяет требованиям задания, приводит к некорректным выводам и/или ответам, необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков а, следовательно, успешной учебы и работы.

Структура отчета по лабораторной работе

Отчеты представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MS Word.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- *Титульный лист* – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для практических работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- *Исходные данные к выполнению заданий* – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- *Основная часть* – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- *Выводы* – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- *Список литературы* – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- *Приложения* – необязательная компонента отчета, с новой страницы,

содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

Оформление отчета по лабораторной работе

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы - левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с

книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

Рекомендации по оформлению графического материала

Графические материалы – сканы рельефа поверхности или изображения магнитного контраста должны быть экспортированы из программного обеспечения Gwiddion в виде файла с расширением *.tif с разрешением не менее 512 пк x 512 пк и вставлены в отчет. При необходимости изображения нужно расширить, чтобы преподаватель имел возможность увидеть детали скана.

Рекомендации по оформлению графиков

Графики должны быть построены в программном пакете Excel или Origin. Оси графиков должны быть подписаны. Если в графике присутствуют несколько кривых, на графике необходимо привести легенду (отличительное описание каждой кривой). Все цифры на графике должны быть различимы.

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

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 - 6	ПК-5	знает	ПР-5 Собеседование	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. 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 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=237998>
2. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2012. — 560 с. <http://www.iprbookshop.ru/26903.html>
3. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике: учеб. пособие / М. И. Пергамент .- Долгопрудный : Интеллект , 2010 .- 300 с.
4. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха.- М.: Мир, 1987.- 600 с. 5. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: справочник. – М.: Химия, 1984. – 255 с
5. Агеев, О. А. Методы формирования структур элементов нанoeлектроники и наносистемной техники: Учебное пособие / Агеев О.А., Федотов А.А., Смирнов В.А. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. - 72 с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/948/73948>

Дополнительная литература

1. Борисенко, В. Е. Нанoeлектроника: теория и практика [Электронный ресурс]: учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. - 3-е изд. (эл.).- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=485670>
2. Вознесенский, Э.Ф. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Вознесенский Э.Ф., Шарифуллин Ф.С., Абдуллин И.Ш. — Электрон. текстовые данные. —Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 184 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61986.html>
3. Головин, Ю. И. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс]/ Головин Ю.И.— Электрон. текстовые данные. — М.: Машиностроение, 2012.— 656 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18532.html>

Интернет-ресурсы

1. Справочные данные из базы данных отдела физики поверхности ИАПУ ДВО РАН (3000 статей по различным направлениям) физики поверхности кремния. <http://silicon.dvo.ru/>
2. Популярно о нанотехнологиях: <http://www.nanonewsnet.ru/>
3. X-ray Photoelectron Spectroscopy Database of the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, [<http://srdata.nist.gov/xps/>].
4. 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>].
5. Получение и контроль сверхвысокого вакуума: Метод. указания к специальному практикуму по курсам «Физика поверхности и границ раздела» /Сост.: А.Е. Худяков, С.Г. Овчинников, А.С. Паршин.- Красноярск: САА, 2000.- 39 с. <http://sibsauktf.ru/courses/>

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.), производится демонстрация роликов о работе исследовательского оборудования с сайта производителей.

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 собеседование, лабораторные работы.

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется в форме зачета в конце 3 семестра.

Организация деятельности студента.

Практическое занятие. Перед практическим занятием студенты должны ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия. Если при изучении теоретического материала возникли вопросы, задать вопрос преподавателю. На практических занятиях проводятся опросы (собеседования) по тематике занятий.

Лабораторное занятие. Перед выполнением лабораторных работ студенты должны ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия. Если при изучении теоретического материала возникли вопросы, задать вопрос преподавателю.

После выполнения каждого этапа работы, необходимо сделать анализ полученных результатов. Если результат удовлетворяет всем требованиям, указанным в задании, перейти к следующему этапу. В противном случае, если результат не удовлетворяет требованиям задания, приводит к некорректным выводам и/или ответам, необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков а, следовательно, успешной учебы и работы.

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

Подготовка к экзамену

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Особое внимание следует уделить организации подготовки к экзаменам. Для этого важны следующие моменты - соблюдение режима дня: сон не менее 8 часов в сутки; занятия заканчивать не позднее, чем за 2-3 часа до сна; прогулки на свежем воздухе, неутомительные занятия спортом во время перерывов между занятиями. Наличие полных собственных конспектов

лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзаменам вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

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

		<p>действия договора с 31.12.2015 г. Лицензия - бессрочно. MathCad Education Universety 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.</p>
--	--	---

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.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио 5, ИАПУ ДВО РАН, 302, 304, 306, 308, 310	<p>Специализированная лаборатория Департамента общей и экспериментальной физики структур: Лаборатория технологии двумерной микроэлектроники:</p> <p>1. Сверхвысоковакуумная установка поверхностного анализа MULTIPROBE ARUPS «Omicron»: - сканирующая туннельная микроскопия (в диапазоне температур от 40 до 500К), - ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопии с угловым разрешением</p> <p>2. Сверхвысоковакуумная двухкамерная установка «Omicron» STM VT-25: -</p>	<p>Microsoft Office365/Microsoft/США/Платное ПО</p> <p>Microsoft Teams/Microsoft/США/Платное ПО</p>

	<p>сканирующая туннельная микроскопия (в диапазоне температур от 77 до 700 К) - электронная же-спектроскопия, - дифракция медленных электронов.</p> <p>3. Сверхвысоковакуумная установка для молекулярно- пучковой эпитаксии, оборудованная эффузионными ячейками Кнудсена (производства Dr. Erbell) и дифрактометром быстрых электронов Specs RHD-30.</p> <p>Количество посадочных рабочих мест для студентов - 8</p>	
--	--	--

9. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Код и наименование индикатора достижения компетенции		Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)			
ПК-5.1 выбирает инструменты для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов		Знает основные инструменты для организации исследований в области прикладной физики			
		Умеет применять необходимые инструменты для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов			
		Владеет основными инструментами для организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий, научных семинаров и коллоквиумов			
ПК-5.2 анализирует и применяет способы планирования, и организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий		Знает основные способы планирования, и организации исследований			
		Умеет выбирать способы планирования исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий			
		Владеет навыками организации исследований в области прикладной физики, наноматериалов и нанотехнологий			
№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Темы 1 - 6	ПК-5	знает	ПР-5 Собеседование	Экзамен
			умеет		
			владеет		

Список вопросов к экзамену

1. Мощность СИ. Спектрально-угловое распределение мощности.

2. Поляризационные свойства СИ. Спектр СИ. Особенности спектрального распределения мощности.
3. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Сравнительные характеристики яркости синхротронного излучения. Эмиттанс СИ.
4. Синхротроны первого, второго и третьего поколений.
5. Способы повышения энергии излучаемого СИ.
6. Фокусировка рентгеновского излучения. Схемы фокусировки СИ. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы.
7. Зеркала скользящего падения. Материал подложки. Шероховатость. Качество юстировки. Методы подстройки кривизны. Способы охлаждения.
8. Поликапиллярная оптика. Рентгеновские зеркала с алмазным покрытием. Фокусировка на изогнутых кристаллах.
9. Специализированные магнитные устройства – шифтеры, ондуляторы и вигглеры.
10. Спектральный состав ондуляторного излучения. Спонтанное и/или когерентное излучение ондуляторов. Микробанчи. Детекторы рентгеновского излучения.
11. Курчатовский источник синхротронного излучения – КИСИ.
12. Устройство накопительных колец «Сибирь-1» и «Сибирь-2».
13. Основные свойства релятивистских и ультра релятивистских электронов.
14. Европейские синхротроны 3-го поколения. Синхротрон APS (Advanced Photon Source) (Чикаго, США). Синхротронный центр Spring-8 (Япония).
15. Эмиттанс источников СИ. Способы повышения энергии и яркости источников СИ. Форма излучения из поворотного магнита, вигглера и ондулятора.
16. Свойства ондуляторного излучения. Угловое распределение ондуляторного излучения.
17. Основные характеристики рентгеновских детекторов. Ионизационные детекторы. Полупроводниковые детекторы. Полупроводниковый флуоресцентный детектор. Сцинтилляционные детекторы. Координатные детекторы.
18. Методы определения координат в координатно чувствительных детекторах.
19. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения.
20. Рентгеновские методы диагностики и исследования наноструктур с использованием синхротронного излучения.

- 21.Рентгеновская дифракция.
- 22.Аномальная дифракция. Парная радиальная функция распределения (PDF). Парные радиальные функции распределения (PDF) сложных оксидов
- 23.Рентгеновская спектроскопия поглощения
- 24.Вид экспериментально определяемого коэффициента поглощения рентгеновского излучения.
- 25.Физические основы XANES - спектроскопии.
- 26.Экспериментальные методики регистрации EXAFS- и XANES-спектров.
- 27.Режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии.
- 28.Рентгеновская резонансная дифракция (RXS).
- 29.Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD).
- 30.Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в антиферромагнетиках.
- 31.Магнитный круговой и линейный дихроизм – зависимость от поляризации СИ.
- 32.Эксперименты с временным разрешением (pump-probe).
- 33.Эксперименты с фемтосекундным разрешением.
- 34.Химические реакции с фемтосекундным разрешением.
- 35.Магнитный рентгеновский круговой дихроизм с временным разрешением.

Пример экзаменационного билета

1. Способы повышения энергии излучаемого СИ.
2. Магнитный круговой и линейный дихроизм – зависимость от поляризации СИ.

Критерии выставления экзаменационной оценки

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Поляризационнозависимая рентгеновская спектроскопия для изучения магнитных материалов» осуществляется в форме экзамена (3 семестр). До экзамена допускаются студенты, положительно проявившие себя на лабораторных занятиях.

Оценка «отлично» выставляется студенту, показавшему высокий уровень владения материалом и на отлично выполнившему лабораторные задания.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, показавшему хороший уровень владения материалом и на хорошо выполнившему лабораторные задания.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, показавшему достаточный уровень владения материалом и выполнившему лабораторные задания.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, не проявившему достаточных знаний теоретического материала или не выполнившему лабораторные задания.

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 используются следующие оценочные средства:

1. собеседование (ПР-5)

Требования к представлению и оцениванию материалов (результатов)

Собеседование (ПР-5) - 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..

Собеседование проводится в рамках каждого практического занятия по тематике 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	60-0 Не зачтено

	теме практического занятия, либо допустил множество ошибок в ответе.	
--	--	--

Лабораторная работа (ПР-5) - средство для закрепления и практического освоения материала по определенной теме/разделу.

Приступая к выполнению лабораторной работы, прежде всего, студенту необходимо подробно изучить ход выполнения работы по теме лабораторного занятия, соответствующую литературу, требования к содержанию и структуре задания. Студент должен определить и усвоить ключевые понятия и представления. В случае возникновения трудностей студент должен и может обратиться за консультацией к преподавателю.

Выполнение лабораторной работы направлено на закрепление и углубление освоения учебного материала, развитие практических умений и навыков. Приступая к выполнению лабораторной работы, прежде всего, студенту необходимо подробно изучить вопросы практических занятий, соответствующую литературу, требования к содержанию и структуре задания. Студент должен определить и усвоить ключевые понятия и представления. В случае возникновения трудностей студент должен и может обратиться за консультацией к преподавателю.

Критерием оценки выполнения лабораторной работы является умение студента синтезировать, анализировать, обобщать фактический материал с формулированием конкретного результата. Оценивается творческий уровень, позволяющий диагностировать умения, интегрировать знания, аргументировать выводы, полнота выполненных заданий, качество полученных научных результатов, качество обработки графических результатов, качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов.

Критерии оценки:

Уровень освоения	Критерии оценки результатов обучения	Количество баллов / оценка
------------------	--------------------------------------	----------------------------

Повышенный	Студент выполнил лабораторную работу, грамотно решил поставленную задачу с представлением результата. Продемонстрировано знание и владение навыками самостоятельной работы по заданной теме, технологиями, методами и приемами анализа ситуации. Требования к содержанию и структуре отчета полностью соблюдены.	100-86 Зачтено
Базовый	Студент выполнил лабораторную работу, решил поставленную задачу с представлением результата. Продемонстрировано владение навыком самостоятельной работы по заданной теме, методами анализа ситуации. В целом соблюдаются требования, предъявляемые к содержанию и структуре отчета. Допущено не более 2 ошибок или неточностей при выполнении работы.	85-76 Зачтено
Пороговый	Студент выполнил лабораторную работу, но обнаружил фрагментарные, поверхностные знания темы; испытывает затруднения с использованием ключевых понятий, выполнением задания в целом. В целом соблюдаются требования, предъявляемые к содержанию и структуре отчета. Допущено не более 5 ошибок или неточностей при выполнении лабораторной работы.	75-61 Зачтено
Уровень не достигнут	Студент частично выполнил лабораторную работу, обнаружил незнание темы и ключевых понятий. Не соблюдены требования к содержанию и структуре отчета. Допущено более 5 ошибок или неточностей при выполнении лабораторной работы.	60-0 Не зачтено

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций Критерии оценки контрольных работ

Оценка	Требования
«Отлично»	Задание выполнено полностью, ответы составлены грамотно, уравнены схемы реакций, указаны условия. Материал понят, осознан и усвоен.
«Хорошо»	Задание выполнено полностью, ответы составлены грамотно, уравнены схемы реакций, указаны условия. Однако, в ответах присутствуют неточности, которые исправляются после уточняющих вопросов. Материал понят, осознан и усвоен.
«Удовлетворительно»	Задание выполнено полностью, ответы составлены грамотно, уравнены схемы реакций, указаны условия. Однако, в ответах присутствуют неточности, которые не всегда исправляются после уточняющих вопросов. Материал понят, осознан, но усвоен недостаточно полно.
«Неудовлетворительно»	Программа не выполнена полностью. Ответы на вопросы не полные и неграмотные. Материал не понят, не осознан и не усвоен. Работа не выполнена.