

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физического факультета

_____ О.Н. Чайковская

« _____ » _____ 2016 г.

Рабочая программа дисциплины

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Направление подготовки

03.03.02 – Физика

Профиль подготовки

Фундаментальная физика

Квалификация выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

1. Код и наименование дисциплины

Код дисциплины В.6.12 «Рентгеноструктурный анализ»,
Специализация «Физика металлов».

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Рентгеноструктурный анализ» относится к вариативной части Блока 1, входит в модуль по выбору «Физика металлов». Данная дисциплина обеспечивает профессиональную подготовку бакалавров.

3. Год и семестр обучения

Дисциплина изучается на третьем году обучения в первом и втором семестрах, на четвертом году обучения – в первом семестре.

4. Входные требования для освоения дисциплины

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными представлениями и понятиями из курсов: математический анализ; линейная алгебра и аналитическая геометрия; дифференциальные уравнения.

5. Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа, из которых 150 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (78 часа – занятия лекционного типа, 72 часа – лабораторный практикум), 174 часа – самостоятельная работа обучающегося.

6. Формат обучения

Очный

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1, 1 уровень	(ПК-1) — 1 ЗНАТЬ: специфику научного знания, современные проблемы физики, приемы самообразования. УМЕТЬ: приобретать систематические знания в выбранной области физики, анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных парадигм, осмысливать и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы. ВЛАДЕТЬ: навыками научного анализа и методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности.
ПК-2, 1 уровень	ПК-2) — 1 ЗНАТЬ: основные стратегии исследований в выбранной области физики. УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики. ВЛАДЕТЬ: методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.

8. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

Таблица 8.1

№	Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа		Самостоятельная работа (час.)
			Лекции	Практика	
1	Природа и свойства рентгеновского излучения	18	6		12
2	Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах	60	20		40
3	Динамические теории рассеяния рентгеновских лучей	30	10		20
4	Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.	100	34		66
5	Лабораторные занятия по дисциплине «Рентгеноструктурный анализ»	72		72	
6	Экзамен	36			36
	Итого	324	78	72	174

Содержание разделов дисциплины

Таблица 8.2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Природа и свойства рентгеновского излучения	<p>ПРИРОДА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Введение (историческая справка). Природа рентгеновских лучей. Преломление, отражение, поляризация. Источники и интенсивность рентгеновского излучения. Процесс образования рентгеновских лучей. Непрерывные спектры (спектры тормозного излучения). Характеристические (линейчатые) спектры. Закон Мозли. Интерференция рентгеновских лучей. Уравнение Вульфа – Брэгга. Роль структурного анализа в исследовании кристаллов.</p> <p>ПРОХОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Коэффициенты ослабления рентгеновских лучей. Линейный коэффициент ослабления РЛ. Массовый коэффициент ослабления РЛ. Атомный коэффициент ослабления РЛ. Электронный коэффициент ослабления РЛ. Зависимость поглощения РЛ от длины волны и природы (атомного номера) элемента. Некоторые приложения (Устранение линии Кβ. Выделение узкой спектральной полосы при помощи «двойного фильтра Росса»).</p>
2	Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах	<p>ФУНКЦИЯ АТОМНОГО РАССЕЯНИЯ. Рассеяние лучей свободным электроном. Формула Томсона. Когерентное и некогерентное рассеяние лучей. Фактор атомного рассеяния (атомный фактор): рассеяние атомами решетки; рассеяние беспорядочным скоплением атомов (разреженный газ).</p>

		<p>РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ КРИСТАЛЛОМ. Введение (цель, основные допущения теории Лауэ). Амплитуда рассеяния РЛ кристаллом малого размера. Уравнение Лауэ. Интерференционная функция для рассеяния РЛ кристаллом. Свойства интерференционной функции Лауэ. Интерференционная функция в обратном пространстве. Сфера Эвальда и ее построение. Связь размера и формы узла обратной решетки с размером и формой кристалла.</p> <p>ДИФРАКЦИЯ НА СЛОЖНОЙ РЕШЕТКЕ. Структурная амплитуда и структурный множитель. Примеры расчета структурного множителя. Примеры расчета структурного множителя. Примитивная решетка. Объемноцентрированная решетка. Гранецентрированная решетка. Решетка алмаза. Погасания отражений, характеризующие пространственные группы. Интегральные погасания. Сериальные погасания. Зональные погасания. Структурный фактор, как Фурье-образ распределения электронной плотности в ячейке кристалла.</p> <p>ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА. Принципы методов рентгеноструктурного анализа. Метод Лауэ. Метод вращения. Метод Косселя. Метод порошка (метод Дебая — Шеррера). Рентгеновская дифрактометрия. Дифрактометрия монокристаллов. Дифрактометрия поликристаллов.</p> <p>ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ. Интегральное отражение, как мера рассеивающей способности кристалла. Мозаичный кристалл. Допущения кинематической теории рассеяния РЛ. Интегральное отражение для идеально мозаичного кристалла. Интегральное отражение от поликристалла (кристаллических порошков). Учет поглощения. Абсорбционный фактор. Частные случаи конкретных форм образцов. Образец в форме плоской бесконечно протяженной пластинки толщиной d. Съёмка на отражение (геометрия Брэгга), случай симметричного отражения. (б) Съёмка на отражение (геометрия Брэгга), случай несимметричного отражения. (в) Съёмка на просвет (геометрия Лауэ), случай симметричного отражения. (г) Съёмка на просвет (геометрия Лауэ), случай несимметричного отражения. Цилиндрические и сферические образцы. Влияние температурных колебаний узлов решетки на рассеяние РЛ. Вычисление температурного множителя для кубического кристалла по методу Дебая.</p>
3	Динамические теории рассеяния рентгеновских лучей	<p>ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДАРВИНА. Введение. (1) Динамическая теория Дарвина. (2) Динамическая теория Эвальда. Основы динамической теории Дарвина. Поправка на преломление. Отклонения от закона Вульфа-Брэгга. Отражение от семейства кристаллических плоскостей с учетом многократных отражений. Отражение от семейства плоскостей по Дарвину без учета поглощения лучей. Область полного отражения от грани малопоглощающего кристалла. Интегральная отражательная способность идеального кристалла.</p> <p>ОСНОВЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВАЛЬДА-ЛАУЭ. Поправка на первичную экстинкцию в динамической теории Дарвина. Основные положения теории Эвальда — Лауэ.</p>

		<p>Одноволновой случай в динамической теории. Дисперсионные поверхности. Двухволновой случай: два узла обратной решетки на сфере Эвальда. Уравнение поверхностей дисперсии. Неограниченный кристалл. Положение центров распространения. Ограниченный кристалл. Случай Лауэ. Соотношения между амплитудами и фазами волн, принадлежащих одному центру распространения.</p>
4	<p>Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.</p>	<p>СВЯЗЬ УЗЛОВ ОБРАТНОЙ РЕШЕТКИ С РАЗМЕРОМ И ФОРМОЙ КРИСТАЛЛА. Амплитуда волны, рассеянной ограниченным кристаллом. Интенсивность волны, рассеянной ограниченным объектом. Профиль линии идеального поликристалла, обусловленный размерами областей когерентного рассеяния.</p> <p>ДИФРАКЦИЯ НА МАЛЫХ КРИСТАЛЛАХ. Реальный кристалл. Области когерентного рассеяния. Дифракция на кристаллах с малыми размерами областей когерентного рассеяния. Ширина области отражения. Способы определения ширины рентгеновской линии. Ширина рентгеновской линии на $\frac{1}{2}$ высоты максимума. Интегральная ширина рентгеновской линии. Размытие линии поликристаллического материала, обусловленное микродеформацией решетки.</p> <p>АНАЛИЗ ПРОФИЛЯ И ШИРИНЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИНИИ. Связь между интегральными ширинами линий исследуемого образца и эталона. Метод аппроксимаций. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного мелкодисперсностью. Случай размытия, обусловленного только наличием микронапряжений в образце. Алгоритм метода Экспериментальное использование метода ГАФРЛ. Условия экспериментального использования метода ГАФРЛ. Разделение Ка- дублета: Графический метод. Метод Речингера. Метод моментов. Момент функции первого порядка, его геометрический (физический смысл). Момент функции второго порядка, его геометрический (физический смысл). Частные случаи формул для моментов: Уширение профиля РЛ за счет малости блоков; Уширение профиля РЛ за счет микроискажений. Инструментальное уширение профиля РЛ. Методики нахождения размеров ОКР и величины микроискажений, основанные на методе моментов: Метод моментов второго порядка по двум порядкам отражений от одного семейства плоскостей. Метод четвертого момента.</p> <p>ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ДИФРАКЦИИ ЛУЧЕЙ В НЕСОВЕРШЕННОМ КРИСТАЛЛЕ. Кристаллические несовершенства 1-го и 2-го рода. Общие формулы дифракции несовершенным кристаллом, выводимые из представлений о средней решетке. Несоввершенства, вызывающие расширение областей отражения. Выражение для профиля дифракционных порошковых линий. Интенсивность диффузного рассеяния. Интерпретация результатов диффузного рассеяния от несовершенных кристаллов.</p> <p>ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В КРИСТАЛЛАХ С ДЕФЕКТАМИ УПАКОВКИ. Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ГЦК кристаллах.</p>

		<p>Общие закономерности диффузного рассеяния, связанные с наличием ДУ. Дефекты упаковки в ОЦК кристаллах. Дефекты упаковки в ГПУ кристаллах.</p> <p>РАССЕЯНИЕ ЛУЧЕЙ ТВЕРДЫМИ РАСТВОРАМИ. Исследование сверхструктуры в решетке твердого раствора. Определение параметра ближнего порядка в твердых растворах. Эффекты диффузного рассеяния, обусловленные наличием ближнего порядка в твердых растворах. Особенности экспериментального исследования диффузного рассеяния.</p> <p>РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ СТАРЕЮЩИМИ СПЛАВАМИ. Эффекты диффузного рассеяния в стареющих сплавах. Методы наблюдения эффектов диффузного рассеяния в стареющих сплавах.</p> <p>ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений: Одноосное растяжение. Объемно – напряженное состояние. Плосконапряженное состояние. Раздельное определение главных напряжений σ_1 и σ_2. Рентгеноструктурный анализ поверхностных слоев материалов методом скользящего пучка. Рентгеновская дилатометрия, определение коэффициентов теплового расширения для изучения фазовых переходов, алгоритм метода. Исследование процессов рекристаллизации. Определение толщины покрытия на кристаллической подложке. Рентгеновский анализ текстур. Виды текстур. Метод Харриса исследования текстур. Нормировка А. Вильсона с учетом фактора повторяемости. Нормировка П. Морриса. Методы определения ориентировки кристаллов. Определение ориентировки в методе Лауэ. Определение ориентировки на дифрактометре. Метод микрополюсных фигур. Прецизионное определение параметров решетки. Определение остаточных напряжений.</p>
5	Лабораторные занятия по дисциплине «Рентгеноструктурный анализ»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рентготехника. Техника безопасности. 2. Получение и расчет рентгенограммы порошков кубического кристалла. 3. Получение и расчет рентгенограммы порошков кристаллов средних сингоний. 4. Рентгеновский анализ аксиальной текстуры. 5. Метод Лауэ. 6. Метод вращения. 7. Определение размера блоков по эффекту экстинкции. 8. Определение дисперсности областей когерентного рассеяния и микродеформации решетки методом моментов. 9. Определение ориентировки монокристалла на дифрактометре. 10. Фазовый анализ.

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Учебно-методическое обеспечение к дисциплине для самостоятельной работы студента составляют:

- электронная версия лекций;
- основная и дополнительная учебная литература (см. Ресурсное обеспечение);
- информационные ресурсы в сети Интернет (см. Ресурсное обеспечение);
- пособие по спецпрактикуму для практических занятий;
- образец для написания отчетов;
- вопросник для экзамена.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта (15 минут);
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей (15 минут);
- используя электронный учебник лектора, перед следующей лекцией ознакомиться с ее примерным содержанием (5 минут);
- изучение теоретического материала по учебнику и конспекту (1 час в неделю);
- подготовка к лабораторному занятию (3 часа в неделю, в соответствии с расписанием);
- работа с литературой в библиотеке (1 час в неделю).

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, и их карты: см. ФОС к дисциплине.
- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций: см. ФОС к дисциплине.
- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения: см. ФОС к дисциплине.

11. Ресурсное обеспечение

• Основная литература

1. Фульц Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, М. Хау Дж. – Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
2. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ / А.И. Китайгородский. – М. : Книга по Требованию. 2012.
3. Жданов Г. С. Основы рентгеновского структурного анализа / Г. С. Жданов. – М. : Книга по Требованию. 2012. – 448с.

• Дополнительная литература

1. Гинье А. Рентгенография кристаллов. М.: Физматгиз, 1961. – 604 с.
2. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. М.: Металлургиздат, 1980. - 351 с.
3. Савицкая Л.К. Рентгеноструктурный анализ. Курс лекций. ч. II. Томск.: Иад-во Том.ун-та, 1990. – 157 с.
4. Савицкая Л.К. Методы рентгеноструктурных исследований. Учебное пособие. Томск.: Иад-во Том.ун-та, 2003. – 255 с.

5. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. М.: ИЛ, 1955. - 572 с.
6. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Metallurgia, 1973. - 584 с.
7. Вишняков Я.Д. Современные методы исследования структуры деформированных кристаллов. М.: Metallurgia, 1975. - 480 с.
8. Уманский Я.С. Рентгенография металлов. М.: Metallurgia, 1967. – 235 с.
9. Уоррен Б. Рентгенографическое излучение деформированных металлов // Успехи физики металлов. М.: Metallurgizdat, 1963. - Т.5. - С. 172-237.
10. Лавров Л., Буфер М.Дж. Метод порошка в рентгенографии. М.: ИЛ, 1961. – 380 с.
11. Бородкина М.М., Спектор Э.М. Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов. М.: Metallurgizdat, 1970. - 351 с.
12. Хараджа Ф.Н. Общий курс рентгенотехники. М.: Госуд. энергетическое изд-во, 1956. – 564 с.
13. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. М.: Госуд. изд-во техн. теор. литературы, 1957. – 518 с.
14. Калигиевский Н.И. Волновая оптика. М.: Наука, 1971. - 373 с.
15. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, и рентгенография и электронная микроскопия. М.: Metallurgia, 1982. – 632 с.
16. Иверонова В.И., Равкевич П.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Изд-во МГУ, 1972.

• **Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет**

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010-. – URL: <http://e.lanbook.com/>
2. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013-. URL: <http://www.biblio-online.ru/>
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012-. URL: <http://znanium.com/>
4. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012-. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
6. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000-. – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
8. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992-. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
9. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
10. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
11. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>
12. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>
13. <http://escher.epfl.ch/eCrystallography/>
14. <http://www.iucr.org/>
15. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/index.php>

Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса.

При осуществлении образовательного процесса предполагается использование мультимедийных технологий, электронных ресурсов и коммуникационных технологий, включая сайт физического факультета, социальные сети, электронную почту, личные сайты преподавателей.

Пакет приложений Microsoft Office. Программные продукты OriginLab Corporation. Материально-информационная база Научной библиотеки ТГУ. Сеть Интернет.

Описание материально-технической базы.

Учебные занятия проходят в учебной аудитории с использованием мультимедийного, презентационного и интерактивного оборудования. Рабочие места преподавателя и студентов оснащены компьютерами, имеющими выход в сеть Интернет, что является необходимым условием для проведения практических занятий по дисциплине «Рентгеноструктурный анализ». Локальная сеть компьютерного класса необходима для своевременной передачи данных между участниками учебного процесса, способствуя активизации учебной деятельности..

12. Язык преподавания: русский

13. Преподаватель: профессор Мейснер Людмила Леонидовна

Автор: профессор Мейснер Людмила Леонидовна

Рецензент: профессор Тюменцев Александр Николаевич

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии физического факультета

Томского государственного университета

30.06.2016 года, протокол № 6-16

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФФ

_____ О.Н. Чайковская

« _____ » _____ 2016 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ**

Направление подготовки

03.03.02 – Физика

Профиль подготовки

Фундаментальная физика

Квалификация выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина

В результате освоения дисциплины «Рентгеноструктурный анализ» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
- ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Карты компетенций

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** специфику научного знания, современные проблемы физики, приемы самообразования.
- **УМЕТЬ:** приобретать систематические знания в выбранной области физики, анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных парадигм, осмысливать и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками научного анализа и методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-1) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: современные проблемы физики, основные методы и методики научно-исследовательской работы. Шифр: З (ПК-1) -1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Неполные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных проблемы физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные и систематические знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы
УМЕТЬ: осмысливать информацию и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы для использования в научно-исследовательской работе Шифр: У (ПК-1) -1	Отсутствие умений	Фрагментарное следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но не систематическое следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выбирать эффективные методы ведения научно-исследовательской работы	Успешное и систематическое следование принципам выбора эффективных методов ведения научно-исследовательской работы

<p>УМЕТЬ: применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики, оценивать их эффективность Шифр: У (ПК-1) -2</p>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики, оценивать их эффективность	В целом успешное, но не систематическое умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики, оценивать их эффективность	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики, оценивать их эффективность	Успешное и систематическое использование умения применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики, оценивать их эффективность
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками работы с научной и учебной литературой Шифр: В (ПК-1) -1</p>	Не владеет	Фрагментарное владение понятийным аппаратом, не владеет навыками научного анализа при работе с научной и учебной литературой	В целом успешное, но не систематическое применение навыков научного анализа при работе с научной и учебной литературой, нуждается в помощи преподавателя или научного руководителя	Владеет навыками приобретения умений и знаний при работе с научной и учебной литературой	Свободно владеет понятийным аппаратом и навыками анализа научной и учебной литературой
<p>ВЛАДЕТЬ: методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыками приобретения умений и знаний Шифр: В (ПК-1) -2</p>	Не владеет	Фрагментарное владение методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности	В целом успешное, но не систематическое применение научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков научного анализа и методологии научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний	Успешное и систематическое применение навыков научного анализа и методологии научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные стратегии исследований в выбранной области физики.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики.
- **ВЛАДЕТЬ:** методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-2) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: методы разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости Шифр: 3 (ПК-2) -1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Общие, но не структурированные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные систематические знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости
УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	В целом успешный, но содержащий отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости

Шифр: У (ПК-2) -1					
<p>УМЕТЬ: самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>Шифр: У (ПК-2) -2</p>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	В целом успешно, но не систематически осуществляемое умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Сформированное умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта; умение оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации различных вариантов

<p>ВЛАДЕТЬ: навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p> <p>Шифр: В (ПК-2) -1</p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	Успешное и систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий
<p>ВЛАДЕТЬ: методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p> <p>Шифр: В (ПК-2) -2</p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики	Успешное и систематическое применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков

В курсе «Рентгеноструктурный анализ» используется балльно-рейтинговая система оценки знаний. Максимальная сумма баллов по дисциплине за **каждый семестр** составляет по 100 баллов и формируется следующим образом: 36/34/100 баллов по результатам текущей аттестации и 64/66 баллов по результатам промежуточной аттестации (экзамен/теоретический зачет). Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученной по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации (экзамена/теоретического зачета/зачетов по 10 лабораторным работам).

Текущая аттестация включает:

(1) – активность студента на лекционных занятиях (посещаемость, ведение конспекта, : 18/17 лекций по (0-2 баллов) за каждый, итого 0-36/34 балла; (2) выполнение лабораторных работ, 10 тем по 10 баллов за каждый, итого 0-100 баллов.

Промежуточные аттестации проводятся в форме экзамена, устного зачета, которые предусматривают дифференцированные оценки ответа (экзамен: 0-64 балла, зачет: 0-66 баллов). Каждый экзаменационный билет (для экзамена и теоретического зачета) состоит из двух теоретических вопросов, относящихся к различным разделам дисциплины. К экзамену и зачету допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию.

Критерии формирования оценки на промежуточной аттестации (экзамен)

Количество баллов	Результат, продемонстрированный студентом на зачете
50-64	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
35-49	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе
15-34	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия.
0-14	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины

Критерии формирования оценки на промежуточной аттестации (зачет)

Количество баллов	Результат, продемонстрированный студентом на зачете
50-66	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
30-49	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе
15-29	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия.
0-14	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания

	дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины
--	---

Экзамен: Соответствие рейтинговой оценки по стобалльной шкале пятибалльной шкале:
0-50 балла – «неудовлетворительно»;
51-70 баллов – «удовлетворительно»;
71-80 баллов – «хорошо»;
81-100 баллов – «отлично».

Зачет: Соответствие рейтинговой оценки по стобалльной шкале оценке текущей успеваемости:

0-69 баллов – «незачтено»;
70-100 баллов – «зачтено».

Распределение текущего контроля по семестру

Учебная деятельность студента		Баллы		
		За каждое задание	За один вид уч. деятельности	Суммарное количество (семестры: 1/2)
Лекционные занятия				
Посещение лекций (18/17 лекции)			1	18/17
Наличие конспектов (18/17 лекционных занятий)			1	18/17
Практические занятия				
Лабораторный практикум (10 лабораторных работ)	Экспериментальная часть: измерения и расчеты	8	8+2=10	10x10=100
	Написание отчета по выполненной работе	2		
Экзамен/ Теоретический зачет				64/66
Зачет по лабораторным работам				100
Итого (для каждого семестра)				100

Перечень вопросов, выносимых на экзамен

Рентгеноструктурный анализ. Часть I. Теория дифракции рентгеновских лучей и методы наблюдения.

1. Роль структурного анализа в исследовании кристаллов. Развитие теории дифракции рентгеновских лучей.
2. Тормозное рентгеновское излучение, его природа и закономерности.
3. Характеристическое рентгеновское излучение, его происхождение и спектр. Влияние напряжения, силы тока, порядкового номера материала анода.
4. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Основной закон ослабления лучей в веществе. Коэффициенты ослабления, зависимость коэффициентов ослабления от длины волны излучения.
5. Выбор излучения при съемке. Фильтрация излучения.
6. Рассеяние лучей свободным электроном. Формула Томсона.
7. Когерентное и некогерентное рассеяние лучей. Когерентное рассеяние атомов в

- кристалле, функция атомного рассеяния.
8. Расчет функции атомного рассеяния для атомов газа. Когерентная и некогерентная части рассеяния.
 9. Классический расчет функции атомного рассеяния для атомов в кристалле. Зависимость $f\left(\frac{\sin \theta}{\lambda}\right)$.
 10. Кинематическая теория дифракции лучей на простой решетке. Интерференционная функция и ее анализ.
 11. Условия дифракции в обратном пространстве. Ширина дифракционного максимума и его зависимость от размера кристалла.
 12. Интерференционная функция в обратном пространстве. Ширина дифракционного максимума и его зависимость от размера кристалла.
 13. Сфера Эвальда. Правило Эвальда. Пример применения.
 14. Сфера Эвальда, условие наблюдения главных максимумов.
 15. Дифракция на сложной решетке. Структурная амплитуда. Структурный множитель. Примеры расчета. Структурный фактор, как Фурье-образ распределения электронной плотности в ячейке кристалла.
 16. Интегральные, сериальные, зональные погасания отражений.
 17. Сфера ограничения. Метод вращения и колебания.
 18. Метод вращения монокристалла. Образование слоевых линий на рентгенограмме. Определение периода идентичности.
 19. Полихроматический метод Лауэ. Схемы съемки. Объяснение дифракционной картины.
 20. Метод Дебая (порошка). Объяснение дифракционной картины. Схемы Съемки.
 21. Метод Косселя.
 22. Рентгеновская дифрактометрия. Условия фокусировки.
 23. Интегральная отражательная способность, вычисление по кинематической теории.
 24. Интегральная отражательная способность. Вывод интегрального отражения с использованием обратного пространства
 25. Интегральное отражение от кристаллического порошка.
 26. Учет поглощения лучей в формулах интегральной интенсивности.
 27. Влияние температуры на рассеяние рентгеновских лучей.
 28. Основы динамической теории Дарвина. Показатель преломления кристалла.
 29. Отражение от семейства плоскостей по теории Дарвина. Область полного отражения. Сравнение интегрального отражения для идеального и мозаичного кристаллов.
 30. Явление первичной экстинкции.
 31. Первичная экстинкция. Поправка Дарвина в формуле интегральной отражательной способности.
 32. Основы динамической теории Эвальда-Лауэ. Основное уравнение динамической

- теории, его анализ. Одноволновой случай. Понятие дисперсионных поверхностей.
33. Понятие дисперсионной поверхности в динамической теории Эвальда –Лауэ. Дисперсионные поверхности в двухволновом случае.
 34. Амплитуда волны, рассеянной ограниченным кристаллом.
 35. Соотношения между амплитудами и фазами волн, принадлежащим одному центру распространения в динамической теории Эвальда-Лауэ.
 36. Сложение волновых полей по динамической теории Эвальда-Лауэ. Маятниковое решение.
 37. Эффект Бормана в динамической теории Эвальда-Лауэ.

Перечень вопросов, выносимых на зачет

Рентгеноструктурный анализ. Часть II. Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.

1. Амплитуда и интенсивность волны, рассеянной ограниченным кристаллом.
2. Профиль линии идеального поликристалла, обусловленный размерами областей когерентного рассеяния.
3. Реальный кристалл. Области когерентного рассеяния. Дифракция на кристаллах с малыми размерами областей когерентного рассеяния.
4. Ширина области отражения. Способы определения ширины рентгеновской линии.
5. Размытие линии поликристаллического материала, обусловленное микродеформацией решетки.
6. Метод аппроксимаций
7. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного мелкодисперсностью.
8. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного только наличием микронапряжений в образце.
9. Экспериментальное использование метода ГАФРЛ.
10. Метод моментов.
11. Кристаллические несовершенства 1-го и 2-го рода.
12. Общие формулы дифракции несовершенным кристаллом, выводимые из представлений о средней решетке.
13. Несовершенства, вызывающие расширение областей отражения. Выражение для профиля дифракционных порошковых линий.
14. Интенсивность диффузного рассеяния. Интерпретация результатов диффузного рассеяния от несовершенных кристаллов.
15. Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ОЦК кристаллах
16. Дефекты упаковки в ГЦК кристаллах. Закономерности диффузного рассеяния, связанные с наличием ДУ.
17. Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ГПУ кристаллах.
18. Исследование сверхструктуры в решетке твердого раствора
19. Определение параметра ближнего порядка в твердых растворах. Эффекты диффузного рассеяния, обусловленные наличием ближнего порядка в твердых растворах.
20. Особенности экспериментального исследования диффузного рассеяния.

21. Эффекты диффузного рассеяния в стареющих сплавах. Методы наблюдения эффектов диффузного рассеяния в стареющих сплавах.
22. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Одноосное растяжение.
23. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Объемно – напряженное состояние
24. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Плосконапряженное состояние
25. Рентгеноструктурный анализ поверхностных слоев материалов методом скользящего пучка.
26. Рентгеновская дилатометрия, определение коэффициентов теплового расширения для изучения фазовых переходов.
27. Исследование процессов рекристаллизации.
28. Определение толщины покрытия на кристаллической подложке.
29. Виды текстур. Рентгеновский анализ текстур. Метод Харриса исследования текстур.
30. Методы определения ориентировки кристаллов.
31. Прецизионное определение параметров решетки.
32. Определение остаточных напряжений.

Лабораторные занятия:

Тема лабораторной работы

1. Рентгенотехника. Техника безопасности.
2. Получение и расчет рентгенограммы порошков кубического кристалла.
3. Получение и расчет рентгенограммы порошков кристаллов средних сингоний.
4. Рентгеноанализ аксиальной текстуры.
5. Метод Лауэ.
6. Метод вращения.
7. Определение размера блоков по эффекту экстинкции.
8. Определение дисперсности областей когерентного рассеяния и микродеформации решетки методом моментов.
9. Определение ориентировки монокристалла на дифрактометре.
10. Фазовый анализ.