

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЛГПУ»)**

**Структурное подразделение** Институт физико-математического образования,  
информационных и обслуживающих технологий

**Кафедра** физики и методики преподавания физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Врио директора Института физико-  
математического образования,  
информационных и обслуживающих  
технологий

  
\_\_\_\_\_ Е. А. Журавлева  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Рентгеновские и резонансные методы исследования твердого тела**

По направлению подготовки – 44.04.01 Педагогическое образование

Магистерская программа – Физическое образование

Квалификация выпускника – магистр

Форма освоения ОПОП – очная

Курс – 1 (1-2 семестр)

Луганск, 2025

Рабочая программа учебной дисциплины является частью основной образовательной программы для подготовки магистров по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, магистерская программа «Физическое образование» очной формы обучения.

Составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования-магистратура по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 22.02.2018 № 126 (с изменениями и дополнениями) и Профессионального стандарта, утвержденного Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования (воспитатель, учитель)» от 18.10.2013 г. № 544н (с изменениями и дополнениями); «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог дополнительного образования детей и взрослых» от 22.09.2021 г. № 652н, соответствующих профессиональной деятельности выпускников.


#### СОСТАВИТЕЛЬ:

доцент кафедры физики и методики преподавания физики ФГБОУ ВО «ЛГПУ», кандидат технических наук, доцент Калайдо Александр Витальевич

Утверждена на заседании кафедры физики и методики преподавания физики Института физико-математического образования, информационных и обслуживающих технологий

Протокол от «13» января 2025 г., № 6.

И.о. заведующего кафедрой физики и методики преподавания физики

 Н. В. Корчикова

Одобрена на заседании учебно-методической комиссии Института физико-математического образования, информационных и обслуживающих технологий  
Протокол от «15» января 2025 г., № 6.

Председатель учебно-методической комиссии  
Института физико-математического образования, информационных и обслуживающих технологий

 О. В. Давыскиба

#### СОГЛАСОВАНО:

Директор Департамента образования

 В. В. Савенков

## **1. Цели и задачи учебной дисциплины**

Цель изучения дисциплины – углубленное изучение теоретических, методологических основ современных физических методов исследования веществ и материалов, а также конструктивных особенностей современных рентгеновских приборов, для проведения таких исследований.

Задачи:

- сформировать базовые знания и представления о фундаментальных законах и основных методах исследования структуры веществ и физических свойств материалов. Обобщить и систематизировать знания, включающие фундаментальные законы, лежащие в основе физического анализа;
- сформулировать основные задачи физического анализа, установить область и границы применимости различных методов;
- рассмотреть основные экспериментальные закономерности, структуру и математическую форму основных уравнений, лежащих в основе физического анализа, особенности их использования в различных методах;
- рассмотреть основные приемы и методы экспериментального и теоретического исследования физических свойств, использование этих методов в современных технологиях;
- установить область применимости моделей, применяемых физических исследованиях, рассмотреть способы вычисления физических величин, характеризующих явления; обеспечить овладение методологией физико-химических исследований.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Учебная дисциплина «Рентгеновские и резонансные методы исследования твердого тела» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений дисциплин подготовки студентов.

Необходимыми условиями для освоения учебной дисциплины являются **знания., умения, навыки**

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин всех разделов курса общей физики, дисциплин математического цикла, теоретической механики, классической электродинамики, физика конденсированного состояния и служит основой для освоения дисциплин профессионально-ориентированного цикла и профильных таких, как «Кристаллофизика», «Физическое материаловедение», «Квантовое строение вещества» и др.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Код по ФГОС ВО	Индикатор достижения	Результаты обучения по дисциплине
Универсальные		
УК-1	<p>УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя её составляющие и связи между ними.</p> <p>УК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению.</p> <p>УК-1.3. Критически оценивает надёжность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников.</p> <p>УК-1.4. Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подходов.</p> <p>УК-1.5. Строит сценарии реализации стратегии, определяя возможные риски и предлагая пути их устранения.</p>	<p><b>Знает:</b> основные положения общего курса физики, элементов теоретической физики, теоретической механики, электродинамики, квантовой механики, статистической физики, а также математического анализа, линейной и векторной алгебры, тензорного анализа, теории функций комплексного переменного, уравнений математической физики</p> <p><b>Умеет:</b> применять знание теоретического материала курса общей физики к постановке и решению задач прикладной физики, уметь пользоваться математическим аппаратом в объеме знаний, полученных при изучении дисциплин математического цикла.</p> <p><b>Владеет навыками:</b> использования математического аппарата для решения физических задач, самостоятельного извлечения информации как из учебной и научной литературы, так и с использованием компьютерных технологий.</p>

## 4. Структура и содержание учебной дисциплины

### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов / зач. ед.	
	Очная форма	Заочная форма
<b>1 семестр</b>		
<b>Общая учебная нагрузка</b>	<b>72/2</b>	—
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего часов), в том числе:</b>	<b>24</b>	—
Лекции	10	—
Семинарские занятия	-	—
Практические занятия	8	—
Лабораторные работы	6	—
Курсовая работа / курсовой проект	-	—
Другие формы организации учебного процесса (контрольные работы, индивидуальные занятия, консультации и др.)	-	—
<b>Самостоятельная работа студента (всего часов)</b>	<b>44</b>	—
Форма аттестации	зачет 4	—
<b>2 семестр</b>		
<b>Общая учебная нагрузка</b>	<b>108/3</b>	—
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего часов), в том числе:</b>	<b>55</b>	—
Лекции	10	—
Семинарские занятия	-	—
Практические занятия	8	—
Лабораторные работы	6	—
Курсовая работа / курсовой проект	-	—
Другие формы организации учебного процесса (контрольные работы, индивидуальные занятия, консультации и др.)	-	—
<b>Самостоятельная работа студента (всего часов)</b>	<b>53</b>	—
Форма аттестации	экзамен 31	—

### 4.2. Содержание разделов учебной дисциплины

*Тема 1. Физика рентгеновского излучения.* Основные свойства рентгеновских лучей и их практическое использование для изучения вещества. Сплошной спектр рентгеновских лучей. Закономерности сплошного спектра. Линейчатый спектр рентгеновских лучей. Закономерности линейчатого спектра и их объяснение. Области применения характеристических лучей.

*Тема 2. Кинематическая теория рассеяния лучей в кристаллах.* Уравнение Вульфа-Брегга. Обратное пространство. Дифракционные индексы обратной решетки. Сфера Эвальда. Когерентное и некогерентное рассеяние. Рассеяние свободным электроном. Поляризация рассеянного излучения. Функция атомного рассеяния. Фурье-образ распределения электронной плотности атома. Его зависимость от длины волны, угла рассеяния, атомного номера рассеивающего вещества. Понятие об атомном рассеянии. Рассеяние ячейкой кристалла. Структурная амплитуда и структурный множитель. Дифракция на кристаллической решетке.

*Тема 3. Методы наблюдения дифракции рентгеновских лучей.* Сфера ограничения. Метод вращения монокристалла. Метод Лауэ, определение ориентировки монокристалла. Метод порошка. Метод широкоугольного рассеяния.

*Тема 4. Структурный анализ с оценкой интенсивности.* Интенсивность интерференционных максимумов и факторы её определяющие. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Поляризационный фактор. Рассеяние рентгеновских лучей атомом и кристаллом. Структурная амплитуда. Структурный фактор для примитивной решётки, ОЦК, ГЦК. Структурный фактор для ОЦК-решётки в случае неидентичных атомов. Структурный множитель для ГПУ-кристаллов. Тепловой множитель. Фактор повторяемости. Угловой множитель интенсивности (фактор Лоренца). Абсорбционный фактор.

*Тема 5. Рентгенотехника.* Рентгеновские трубки. Устройство и принцип действия электронной запаянной рентгеновской трубки. Оптические свойства рентгеновской трубки. Типы рентгеновских трубок и их условные обозначения. Кенотрон. Работа кенотрона при последовательном его соединении с трубкой. Рентгеновские аппараты.

*Тема 6. Метод ядерного магнитного резонанса.* Физические основы явления ядерного магнитного резонанса. Условие ядерного магнитного резонанса. Спин-спиновое взаимодействие ядер, его природа, число компонент мультиплетов, распределение интенсивности, правило сумм. Метод двойного резонанса. Техника и методика эксперимента. Структурный анализ. Блок-схема спектрометра ЯМР, типы спектрометров.

*Тема 7. Метод электронного парамагнитного резонанса.* Принципы спектроскопии электронного парамагнитного (спинового) резонанса. Условие ЭПР. g-Фактор и его значение. Тонкое расщепление. Ширина линий. Определение свободных радикалов и других парамагнитных центров. Блок-схема спектрометра ЭПР, особенности эксперимента, достоинства и ограничения метода.

*Тема 8. Метод ядерного квадрупольного резонанса.* Электрический квадрупольный момент ядер. Взаимодействие «квадрупольного» ядра с неоднородным электрическим полем. Градиент поля на ядре. Параметр асимметрии поля и уровни энергии. Приложения метода ЯКР и его возможности.

*Тема 9. Мессбауэровская спектроскопия.*  $\gamma$ -Резонансная ядерная флуоресценция, эффект Мессбауэра. Энергия испускаемых и поглощаемых  $\gamma$ -квантов. Допплеровское уширение и энергия отдачи. Процедура получения  $\gamma$ -резонансных спектров. Квадрупольные и магнитные взаимодействия. Возможности  $\gamma$ -резонансной спектроскопии в химии и ограничения ее применения.

#### 4.3. Лекции

№ п/п	Наименование темы	Объем часов	
		Очная форма	Очно-заочная форма / заочная форма
1 семестр			
1.	Физика рентгеновского излучения.	2	—
2.	Кинематическая теория рассеяния лучей в кристаллах.	2	—
3.	Методы наблюдения дифракции рентгеновских лучей.	2	—
4.	Структурный анализ с оценкой интенсивности. Структурный фактор.	2	—
5.	Рентгенотехника.	2	—
Итого:		10	—
6.	Метод ядерного магнитного резонанса.	2	—
7.	Метод электронного парамагнитного резонанса.	2	—
8.	Метод ядерного квадрупольного резонанса.	2	—
9.	Мессбауэровская спектроскопия.	4	—
Итого:		10	2

#### 4.3. Практические / семинарские занятия

№ п/п	Наименование темы	Объем часов	
		Очная форма	Очно-заочная форма / заочная форма
1 семестр			
1.	Расчет параметров кристаллической структуры	2	-
2.	Расчет рентгенограмм в случае известной ячейки кубической системы	1	-
3.	Расчет рентгенограмм в случае известной	1	-

	ячейки гексагональной системы		
4.	Расчет рентгенограмм в случае неизвестной ячейки кубической системы	2	-
<b>Итого:</b>		<b>8</b>	<b>-</b>
5	Метод ядерного магнитного резонанса.	2	-
6	Метод электрического парамагнитного резонансаю	2	-
7	Метод ядерного квадрупольного резонанса.	2	-
8	Мессбауэровская спектроскопия.	2	-
<b>Итого:</b>		<b>8</b>	<b>-</b>

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Наименование темы	Объем часов	
		Очная форма	Очно-заочная форма / заочная форма
1 семестр			
1	Вводное занятие	2	—
2	Рентгенотехника	2	—
3	Метод поликристаллов	2	—
Итого:		6	—
Семестр 2			
4	Качественный фазовый состав	2	—
5	Определение параметра кристаллической решетки	2	—
6	Отчет	2	—
Итого:		6	—

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
Семестр 1				
1	Тема 1	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	8	-



2	Тема 2	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	8	-
3	Тема 3	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	9	-
4	Тема 4	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	9	-
5	Тема 5	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на	10	-
<b>Итого:</b>			<b>44</b>	
<b>Семестр 2</b>				
6	Тема 6	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	13	-
7	Тема 7	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	13	-

8	Тема 8	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	13	-
9	Тема 9	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе, изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение	14	-
<b>Итого:</b>			<b>53</b>	-

#### **4.7. Курсовые работы / проекты**

Не предусмотрено учебным планом

#### **5. Методическое обеспечение, образовательные технологии.**

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

- традиционные методы чтения лекций;
- использование информационных технологий (предоставление учебной программы и учебных пособий в электронном виде);
- использование internet-ресурсов при подготовке к лабораторным работам и изучении вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение;
- проведение эксперимента в рамках лабораторных работ всех разделов курса.

#### **6. Формы контроля освоения учебной дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими семинарские / практические занятия, лабораторные работы по дисциплине в различных формах:

- контрольные работы;
- индивидуальное задание (РГР);
- работа на практических занятиях;
- теоретический отчет.

Итоговый контроль по результатам освоения дисциплины проходит в форме зачета в 1 семестре, в форме письменного экзамена во 2 семестре.

## **7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины**

### **А) основная литература:**

1. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 2001. – 328 с.
2. Бушуев В.А., Петраков А.П. Особенности формирования спектров трехкристальной рентгеновской дифрактометрии., Сыктывкар: Изд.СГУ, 1997. – 153 с.
3. Бушуев В.А. Динамическая дифракция ограниченных пучков рентгеновского излучения. М.: МГУ, физический факультет, 1998. – 96 с.
4. Колосов П.Е. Web-сайт-дистанционный курс "Рентгеноструктурный анализ" Омский государственный университет <http://users.omskreg.ru/~kolosov/>
5. Пушаровский Д.Ю. Основные элементы кинематической теории рассеяния рентгеновских лучей. Электронная версия учебного пособия и курса лекций.
6. Краткий конспект лекций и демонстрационные материалы по курсу «Рентгеноструктурный анализ» (для специальности «Физика») [http://users.omskreg.ru/~kolosov/kolosov/kolosov/public\\_html/cours/crysllect.html](http://users.omskreg.ru/~kolosov/kolosov/kolosov/public_html/cours/crysllect.html)
7. Фомин, Д. В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие / Д. В. Фомин. – Саратов : Вузовское образование, 2017. – 185 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/57258.html>.

### **Б) дополнительная литература:**

1. Химич, М. А. Введение в рентгеноструктурный анализ : учебное пособие / М. А. Химич. – Томск : ТГУ, 2022. – 88 с. – ISBN 978-5-907572-78-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/347939> (дата обращения: 14.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Анисович, А. Г. Рентгеноструктурный анализ в практических вопросах материаловедения / А. Г. Анисович. – Минск : Белорусская наука, 2017. – 207 с. – ISBN 978-985-08-2112-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106683> (дата обращения: 14.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

В) Интернет-ресурсы: материалы электронных библиотек и электронные базы учебно-методических ресурсов.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия: аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и демонстрационным оборудованием.

Практические занятия: стандартная аудитория, оборудованная доской.

Лабораторные работы: лаборатории кафедры физики и методики преподавания физики, оснащенные стандартным и оригинальным оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ, и компьютерной техникой.

[illegible]