



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета

Н.М. Буднев

«20» марта 2026 г.



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.09 Физика рентгеновского излучения


Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Направленность (профиль) подготовки Экспериментальная физика

Квалификация выпускника - бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК
физического факультета
Протокол № 53 от «17» марта 2026 г.
Председатель д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол № 7
от «05» марта 2026 г.

И.о. зав. кафедрой д.ф.-м.н.
 В.П. Дресвянский

Иркутск 2026 г.

Содержание

	стр.
I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	4
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	4
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3 Содержание учебного материала	7
4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	10
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов	11
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	13
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)	
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	14
а) перечень литературы	14
б) периодические издания	
в) список авторских методических разработок	
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	15
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	12
6.2. Программное обеспечение:	13
6.3. Технические и электронные средства обучения:	13
VII. Образовательные технологии	15
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	15

I. Цели и задачи дисциплины (модуля):

Цель (цели):

– Дать студентам знания по физике рентгеновского излучения необходимые для освоения студентами теории процессов возникновения рентгеновского излучения и его взаимодействия с веществом, приобретения ими навыков решения практических задач рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализов .

Задачи:

- освоение теоретических представлений о природе и свойствах рентгеновского излучения и экспериментальных навыков использования рентгеновского излучения.
- развитие у студентов интереса к познанию физических явлений, приобретению навыков самостоятельного изучения фундаментальных основ науки и их приложений.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина «Физика рентгеновского излучения» входит в модуль Общая физика базовой части Б1.В.ДВ.4 профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика.

Дисциплина базируется на знании следующих дисциплин, изучаемых в период подготовки бакалавров: математический анализ, аналитическая геометрия, общая физика, строение вещества, квантовая механика, атомная и ядерная физика.

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.02 Физика.

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
Представление результатов профессиональной деятельности	<i>ПК-1</i> способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Знать: Природу и свойства рентгеновского излучения, теоретические основы и законы физики рентгеновского излучения, правила безопасной работы с источниками ионизирующих излучений. Уметь: использовать базовые знания в области математики, естественных наук, теоретические основы физики при изучении физики рентгеновского излучения; использовать, современное рентгеноструктурное оборудование.

		Владеть: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации физики рентгеновского излучения.
--	--	--

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов,
 в том числе _____ часов на экзамен
 в том числе 8 часов на зачет

Из них реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий __ часов

Из них 50 часов – практическая подготовка

Форма промежуточной аттестации: зачет

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающегося, практическую подготовку и объем (в часах)		
					Контактная работа преподавателя с обучающимися		
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие/	Консультация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение	7	3		1		
2	Т1. Природа, свойства, получение и регистрация рентгеновского излучения.		5	2	1	2	
3	Т2. Тормозное рентгеновское излучение. Использование тормозного излучения в рентгеноструктурном анализе.	7	10	4	2	4	0,2
4	Т3. Характеристическое рентгеновское излучение. Использование характеристического излучения в рентгеноструктурном анализе.	7	10	4	2	4	0,2
5	Т4. Источники рентгеновского излучения	7	10	4	2	4	
6	Т5. Преломление и отражение рентгеновского излучения. Использование преломления и отражения рентгеновских лучей в технике.	7	11	4	3	4	
7	Т6. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние рентгеновского излучения	7	10	4	2	4	0,2

8	Т7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение рентгеновского излучения	7	8	2	2	2	
9	Т8. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллах.	7	7	3	2	3	0,2
10	Т9. Интенсивность дифракционных максимумов.	7	9	3	3	3	
11	Т10. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод проб и ошибок.	7	6	2	2	2	
12	Т11. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод Фурье.	7	16	6	4	6	0,2
13	Т12. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод межатомной Метод межатомной функции.	7	6	2	2	2	
14	Т14. Рентгенографические исследования микродеформаций и размеров ОКР.	7	6	2	2	2	
15	Т15. Методы температурной рентгенографии.	7	10	4	2	4	
	зачет		8				
ИТОГО:			14	50	34	50	1

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы (в том числе КСР) обучающихся по дисциплине

Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебное средство
	Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Объем (час)		
Введение	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточникам и, конспектом	1 нед	2	Устный опрос	
Т1. Природа, свойства, получение и регистрация рентгеновского излучения.		2	2		
Т2. Тормозное рентгеновское излучение. Использование тормозного излучения в рентгеноструктурном анализе.		3-4	4		
Т3. Характеристическое рентгеновское излучение. Использование характеристического излучения в рентгеноструктурном анализе.		5-6	4		
Т4. Источники рентгеновского излучения		7-8	4		
Т5. Преломление и отражение рентгеновского излучения. Использование преломления и отражения рентгеновских лучей в технике.		9	4		
Т6. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение рентгеновского излучения		10	4		

Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебное средство
	Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Объем (час)		
Т7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние рентгеновского излучения		11	4		
Т8. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллах.		12	2		
Т9. Интенсивность дифракционных максимумов.		13	3		
Т10. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод проб и ошибок.		13	2		
Т11. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод Фурье.		13-14	6		
Т12. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод межатомной функции.		15	2		
Т.13. Методы рентгеноструктурного анализа дисперсных систем.		15	2		
Т14. Рентгенографические исследования микродеформаций и размеров ОКР.		16	2		
Т15. Методы температурной рентгенографии.		17	4		
Объем самостоятельной работы по дисциплине (час)			51		
Объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и информационных образовательных технологий (час)			0		

4.3. Содержание учебного материала

Введение. История открытия рентгеновского излучения, становления и развития физики рентгеновского излучения.

Лауреаты Нобелевской премии за исследования рентгеновского излучения. Современное состояние физики рентгеновского излучения.

Т1. Природа, свойства, получение и регистрация рентгеновского излучения. Установление природы рентгеновского излучения, дифракция на кристаллах, характеристическая и тормозная составляющие излучения, классификация характеристических спектров, тормозной спектр, рентгеновская флуоресценция.

Т2. Тормозное рентгеновское излучение.

Спектральное распределение интенсивности тормозного излучения (базовые уравнения для случаев тонкой и массивной мишени), модификации уравнения Крамерса, пространственное распределение тормозного излучения, его поляризация.

Т3. Характеристическое рентгеновское излучение.

Энергия рентгеновских уровней атома, систематика характеристических линий, закон Мозли, спин - дублеты в рентгеновском излучении, дублеты экранирования, определение постоянных экранирования, тонкая структура рентгеновских уровней, интенсивность линий характеристического спектра, относительная интенсивность линий (правила отбора, влияние "заселенности" уровней, интенсивность линий в мультиплете, переходы Костера - Кронига, практическое определение вероятностей внутриатомных переходов), выход рентгеновской флуоресценции, интенсивность характеристического излучения, возбужденного потоком электронов (базовая формула, учет обратного рассеяния

электронов, поглощение в мишени, эффект избирательного возбуждения, моделирование процессов возбуждения методом статистического оценивания).

T4. Источники рентгеновского излучения.

Излучение рентгеновских трубок (соотношение интенсивностей характеристической и тормозной составляющих, спектральное распределение излучения, влияние на спектральную интенсивность возврата обратно рассеянных электронов). Возбуждение рентгеновского излучения пучком ионов (характеристическая и тормозная составляющие), радиоактивные источники (захват ядром электрона с К-оболочки, внутренняя конверсия, тормозное и характеристическое излучение радиоактивных источников, рентгеновское сопровождение α -распада), синхротронное рентгеновское излучение, высокотемпературная плазма как источник рентгеновского излучения, рентгеновские лазеры.

T5. Преломление и отражение рентгеновского излучения. Использование преломления и отражения рентгеновских лучей в технике.

Дисперсия рентгеновского излучения, аномальная дисперсия, преломление рентгеновских лучей, полное внешнее отражение для прозрачных и непрозрачных сред, интерференция рентгеновского излучения (слой - подложка, многослойные структуры, поля стоячих волн), практическое использование оптических свойств (расширение возможностей рентгеновской спектрометрии, фокусировка рентгеновского излучения, разрешающая и отражательная способность рентгенооптических элементов).

T6. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение рентгеновского излучения

Электронный, частичный и атомный коэффициенты поглощения (вывод формулы в классическом приближении, квантово-механическое уточнение), скачки поглощения, связь между частичным и полным коэффициентами поглощения, тонкая структура краев поглощения, линейный и массовый коэффициенты ослабления, коэффициент ослабления многокомпонентного вещества.

T7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние рентгеновского излучения

Рассеяние на свободных электронах (когерентное рассеяние, теория Томсона, некогерентное рассеяние, теория Комптона, интенсивность излучения, рассеянного на свободных, уравнение Клейна-Нишины-Тамма, электронные коэффициенты рассеяния), когерентное и некогерентное рассеяние атомными электронами, атомные факторы, соотношение интенсивностей когерентного и некогерентного рассеяния, рассеяние массивным образом, линейный и массовый коэффициенты рассеяния, рассеяние рентгеновского излучения упорядоченными структурами, уравнения Лауэ и Вульфа-Бреггов, резонансное комбинационное (Рамановское) рассеяние.

T8. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллах. Когерентное рассеяние рентгеновских лучей – основа рентгеноструктурного анализа. Рассеяние свободным электроном (классическая теория). Формула Томсона. Рассеивающая способность объекта. Рассеяние рентгеновских лучей двумя электронами. Интерференция. Дифракционный эффект. Рассеяние атомом. Атомная амплитуда, атомный фактор. Теоретический расчет фактора атомного рассеяния. Аномалии фактора атомного рассеяния. Понятие электронной плотности. Понятие рассеивающего центра. Кинематическое и динамическое приближения в теории дифракции. Рассеяние рентгеновских лучей группой атомов. Понятие единичного рассеивающего центра. Дифракция рентгеновских лучей в обратном пространстве. Построение Эвальда. Формула Вульфа –Брэгга. Обратное пространство идеального кристалла, аморфного объекта, поликристалла. Понятие структурной амплитуды.

T9. Интенсивность дифракционных максимумов. Формулы структурной амплитуды для кристаллов с разными ячейками Браве. Преобразование формул при наличии элементов симметрии в кристалле. Факторы, влияющие на интенсивность рентгеновского луча. Фактор поляризации. Фактор Лоренца. Геометрический фактор. Фактор повторяемости.

Температурный фактор. Фактор абсорбции. Практические приемы расчета структурной амплитуды и структурного фактора.

T10. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод проб и ошибок. Принципы плотнейшей упаковки. Правила Полинга. Учет симметрии кристаллов при построении структурной модели. Использование физических свойств кристалла при построении моделей. Критерий выбора модели.

T11. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод Фурье. Принципы метода. Физический смысл разложения электронной плотности в ряд Фурье. Определение положения атомов на распределении электронной плотности. Сечения и проекции электронной плотности. Практические приемы построения проекций электронной плотности.

T12. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод межатомной функции. Метод Паттерсона (межатомная функция). Переход от пространства кристалла к векторному пространству. Проекция и сечения межатомной функции. Заострение максимумов межатомной функции. Удаление максимумов в начале координат. Использование различия в «весе» атомов при расшифровке распределения межатомной функции. Особенности межатомной функции. Квадратизированный кристалл. Сравнение методов расшифровки структуры кристаллов методами рентгеноструктурного анализа.

T 13. Методы рентгеноструктурного анализа дисперсных систем. Методы рентгеноструктурного анализа поликристаллов. Метод Дебая. Представление метода в обратном пространстве. Техника получения рентгенограмм. Рентгеновские камеры и дифрактометры. Индексирование рентгенограмм поликристаллов аналитическим и графическим методами. Определение параметров элементарной ячейки кристаллов. Качественный фазовый анализ. Физические основы качественного фазового анализа. Требования к эксперименту. Картоoteca JCPDS. Количественный фазовый анализ. Физические основы количественного фазового анализа. Методы количественного фазового анализа. Чувствительность фазового анализа. Анализ структуры аморфных и дисперсных веществ. Ближний и дальний порядок. Функция радиального распределения. Рассеяние аморфными веществами, жидкостями и дисперсными системами.

T 14. Рентгенографические исследования микродеформаций и размеров ОКР. Классификация кристаллических дефектов по их влиянию на рентгенограмму. Анализ дефектов кристаллического строения по уширению рентгеновских линий. Методы выделения физического уширения. Методы разделения вклада дисперсности и микродеформации в физическое уширение.

T 15. Методы температурной рентгенографии. Задачи метода. Возможности температурной рентгенографии. Особенности низко- и высокотемпературной рентгенографии. Высоко и низкотемпературные камеры. Рентгеновская дилатометрия. Динамика термических изменений дисперсности и микродеформаций кристаллов.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Объем (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			Всего	Из них практическая		

			часо в	подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	T1	ПЗ1 Решение задач по T1.	2		Устный опрос	ПК-1
2	T2	ПЗ2 Решение задач по T2.	4		Устный опрос	ПК-1
3	T3	ПЗ3 Решение задач по T3.	4		Устный опрос	ПК-1
4	T4	ПЗ4 Решение задач по T4.	4		Устный опрос	ПК-1
5	T4	ПЗ4 Лабораторная работа «Расшифровка рентгеновского спектра»	4		Устный опрос	ПК-1
6	T5	ПЗ5 Решение задач по T5.	4		Устный опрос	ПК-1
7	T1	ПЗ1 Решение задач по T1.	2		Устный опрос	ПК-1
8	T2	ПЗ2 Решение задач по T2.	4		Устный опрос	ПК-1
9	T3	ПЗ3 Решение задач по T3.	4		Устный опрос	ПК-1
10	T4	ПЗ4 Решение задач по T4.	4		Устный опрос	ПК-1
11	T4	ПЗ4 Лабораторная работа «Расшифровка рентгеновского спектра»	4		Устный опрос	ПК-1
12	T5	ПЗ5 Решение задач по T5.	4		Устный опрос	ПК-1
13	T1	ПЗ1 Решение задач по T1.	2		Устный опрос	ПК-1
14	T12	ПЗ12. Лабораторная работа «Построение функции Паттерсона»	2		Устный опрос	ПК-1
15	T13	ПЗ13 Лабораторная работа «Расшифровка рентгенограмм поликристаллических объектов»	4		Устный опрос	ПК-1

16	T14	ПЗ14 Решение задач по T14	2		Устный опрос	ПК-1
17	T15	ПЗ15 Лабораторная работа «Определение коэффициентов термического расширения»	4		Устный опрос	ПК-1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Введение	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.	ПК-1,	ИДК _{ПК1} .
2	T1. Природа, свойства, получение и регистрация рентгеновского излучения.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
3	T2. Тормозное рентгеновское излучение. Использование тормозного излучения в рентгеноструктурном анализе.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
4	T3. Характеристическое рентгеновское излучение. Использование характеристического излучения в рентгеноструктурном анализе.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
5	T4. Источники рентгеновского излучения	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
6	T5. Преломление и отражение рентгеновского излучения. Использование преломления и отражения рентгеновских лучей в технике.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
7	T6. Взаимодействие	Осмысление		

	рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние рентгеновского излучения	материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
8	T7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение рентгеновского излучения	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
9	T8. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллах.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
10	T9. Интенсивность дифракционных максимумов.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
11	T10. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод проб и ошибок. .	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
12	T11. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод Фурье.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
13	T12. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод межатомной функции. 2	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
14	T.13. Методы рентгеноструктурного анализа дисперсных систем.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
15	T14. Рентгенографические исследования микродеформаций и размеров ОКР.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		
16	T15. Методы температурной рентгенографии.	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ.		

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа бакалавров – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, в ходе которой бакалавр активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи. В процессе проведения самостоятельной работы формируется компетенция ОПК-1.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы по темам дисциплины:

T1. Природа, свойства, получение и регистрация рентгеновского излучения. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T2. Тормозное рентгеновское излучение. Использование тормозного излучения в рентгеноструктурном анализе. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T3. Характеристическое рентгеновское излучение. Использование характеристического излучения в рентгеноструктурном анализе. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T4. Источники рентгеновского излучения. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы

T5. Преломление и отражение рентгеновского излучения. Использование преломления и отражения рентгеновских лучей в технике. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T6. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние рентгеновского излучения. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы.

T7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение рентгеновского излучения. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T8. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллах. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T9. Интенсивность дифракционных максимумов. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы.

T10. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод проб и ошибок. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T11. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод Фурье. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

Анализ результатов лабораторной работы

T12. Методы расшифровки структуры кристаллов. Метод межатомной функции. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы.

T13. Методы рентгеноструктурного анализа дисперсных систем. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы.

T14. Рентгенографические исследования микродеформаций и размеров ОКР. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T15. Методы температурной рентгенографии. Проработка лекционного материала и материала практических занятий. Анализ результатов лабораторной работы.

Контроль самостоятельной работы проводится на практических занятиях и на КСР по окончании тем.

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Электронная информационно-образовательная среда университета обеспечивает доступ к электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочей программе дисциплины (модуля).

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий на одного обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

Обучающимся обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей).

а) перечень литературы

1. Павлинский Г.В. Основы физики рентгеновского излучения. - М.: Физматлит, 2007, 240 с.
2. Павлинский Г.В. Рентгеновская флуоресценция (монография). - Иркутск. Изд-во ИГУ, 2013, 85 с.
3. Блохин М.А., Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник.: М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1982, 376 с.
4. Практическая рентгеновская дифрактометрия: учеб. пособие / В. А. Лиопо, Г. А. Кузнецова, В. М. Калихман, В. В. Война. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 159 с..
5. Шалаева А.А. Основы физического материаловедения. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 159с.
6. Бокий Г.Б. Рентгеноструктурный анализ.Т.1/ Г.Б. Бокий, М.А. Порай-Кошиц. М.: Изд-во МГУ, 1964. – 489с.
7. Русаков А.А. Рентгенография металлов / А.А. Русаков. – М.: Атомиздат, 1977. – 480с.
8. Бокий Г.Б. Кристаллохимия / Г.Б. Бокий Г.Б. – М.: Наука, 1971. –400с.
9. Уманский Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников / Я.С. Уманский. – М.: Металлургия, 1969. – 496с.
10. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. –416с.
11. Современная кристаллография. Под редакцией Б.К.Вайнштейна. Т.1 – 4. М.: Наука, М., 1979.
12. Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. Основы кристаллографии: Учебник для вузов. - М.: ФМ, 2004.– 500с.

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок:

13. Практическая рентгеновская дифрактометрия: учеб. пособие / В. А. Лиопо, Г. А. Кузнецова, В. М. Калихман, В. В. Война. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 159 с..

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ИГУ http://library.isu.ru/ru/resources/edu_resources/index.html
2. БД книг и продолжающихся изданий http://ellibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT
3. Электронный читальный зал «БиблиоТех» <https://isu.bibliotech.ru/>
4. Электронная библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>

5. Электронная библиотечная система «РУКОНТ»<http://rucont.ru>

VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Кабинет рентгеновской физики, аудитория 213, рентгеновский, рентгеновский спектрометр РПД-3. Рентгеновский дифрактометр ДРОН-2.0

6.2. Программное обеспечение:

1. ABBY PDF Transformer 3.0 Пакет из 10 неименных лицензий PerSeat (10лиц.) EDU. Код позиции: АТ30-1S1P10-102 Котировка № 03-165-11 от 23.11.2011. Бессрочно.

2. MicrosoftOfficeProPlus 2013 RUSOLPNLAcдмс.Контракт № 03-013-14 от 08.10.2014.Номер Лицензии Microsoft 45936786. Бессрочно.

3. WinPro10 RusUpgrdOLPNLAcдмс.Сублицензионный договор № 502 от 03.03.2017 Счет № ФРЗ- 0003367 от 03.03.2017 Акт № 4496 от 03.03.2017 Лицензия № 68203568. Бессрочно.

4. KasperskyFree (ежегодно обновляемое ПО). Условия использования по ссылке: <http://www.kaspersky.ru/free-antivirus/> . Бессрочно.

6.3. Технические и электронные средства:

Мультимедийный проектор, экран (по необходимости), меловая или маркерная доска.

VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

На лекциях используются компьютерные презентации. Практические занятия проводятся в интерактивной форме. Лабораторные работы проводятся с использованием ПЭВМ с последующей защитой.

VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Текущий контроль реализуется в виде текущего контроля на ПЗ1-ПЗ8 и лабораторных работах. Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенций ПК-1.

Для реализации текущего контроля используется балльно-рейтинговая система оценки, принятая в университете.

Усвоение студентом бакалавром изучаемой дисциплины максимально оценивается 100 баллами. Максимальное количество баллов за текущую работу в семестре ограничивается 60-ю баллами, на оценку экзамена максимально предусмотрено 30 баллов. Возможны «премиальные» баллы (от 0 до 10), которые могут быть добавлены бакалавру за активные формы работы, высокое качество выполненных практических работ и т.д.

За посещение одного вида занятия дается 0.53 балла (34 занятий (Л+Пз) * 0.53 балл = 18 балла), максимальное количество баллов за письменный контроль на Пз – 2.47 балла (17 занятий ПЗ*2.47 балл = 42 баллов).

Параметры оценочного средства для текущего контроля на ПЗ1-ПЗ8.

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Отлично балла.	3.2	Хорошо 2.5 балла	Удовлетворительно 1 балла.

Выполнение заданий	Выполнены полностью и корректно	Выполнены полностью, допущены 1 – 2 ошибки	Выполнены полностью, допущены 1 – 2 ошибки	Не выполнены или выполнены не полностью и допущены более 3 ошибок
--------------------	---------------------------------	--	--	---

Вопросы для текущего контроля:

- T.1 Энергия рентгеновских уровней атома. Закон Мозли. Дублеты в рентгеновском излучении. Выход рентгеновской флуоресценции.
- T.2 Тормозное рентгеновское излучение, уравнение Крамерса. Пространственное распределение тормозного излучения.
- T.3 Рентгеновские излучения высокотемпературной плазмы.
- T.4 Скачки поглощения. Электронный, частичный и атомный коэффициенты поглощения. Связь между частичным и полным коэффициентами поглощения. Линейный и массовый коэффициенты ослабления.
- T. 5 Рассеяние на свободных электронах. Когерентное и некогерентное рассеяние, теория Комптона. Линейный и массовый коэффициенты рассеяния. Рассеяние рентгеновского излучения упорядоченными структурами. Резонансное комбинационное (Рамановское) рассеяние.
- T. 6 Преломление и отражение рентгеновского излучения. Полное внешнее отражение. Фокусировка рентгеновского излучения.
- T. 7 Стоячие волны в рентгеновском диапазоне.
- T. 8 Матричные эффекты. Влияние процессов рассеяния на интенсивность рентгеновской флуоресценции. Избирательное возбуждение.

Оценочные средства для промежуточной аттестации (в форме зачета)

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенций ОПК-1 и проводится в форме зачета. Форма проведения зачета – устный по билетам или письменный по билетам.

Билет состоит из одного теоретического и одного практического вопроса. Задания (билеты) для приема зачета с оценкой выполнены многовариантными, чтобы исключить возможность списывания и обмена информацией в ходе зачета.

Студент бакалавр допускается к зачету в том случае, если в течение семестра за текущую работу набрано 40 баллов и более. В противном случае выставляется 0 сессионных баллов. Во время зачета студент бакалавр может набрать до 30 баллов. Если на зачете ответ студента оценивается менее чем 10-ю баллами, то зачет считается не сданным, студенту бакалавру выставляется 0 баллов, а в ведомость выставляется оценка «не зачтено».

Если на зачете студент набирает 10 и более баллов, то они прибавляются к сумме баллов за текущую работу, зачет фиксируется в ведомости и зачетной книжке студентов.

Преподаватель имеет право фиксировать зачет, если сумма баллов, набранная студентом за текущую работу составит 70 баллов.

Примерный перечень вопросов и заданий к зачету

1. Энергия рентгеновских уровней атома
2. Систематика характеристических линий
3. Закон Мозли
4. Дублеты в рентгеновском излучении
5. Тонкая структура рентгеновских уровней

6. Интенсивность линий характеристического спектра
7. Переходы Костера – Кронига
8. Выход рентгеновской флуоресценции
9. Тормозное рентгеновское излучение, уравнение Крамерса
10. Пространственное распределение тормозного излучения
11. Поглощение рентгеновского излучения, скачки поглощения
12. Электронный, частичный и атомный коэффициенты поглощения
13. Связь между частичным и полным коэффициентами поглощения
14. Линейный и массовый коэффициенты ослабления
15. Тонкая структура краев поглощения
16. Рассеяние рентгеновского излучения
17. Рассеяние на свободных электронах
19. Когерентное рассеяние
20. Некогерентное рассеяние, теория Комптона
21. Соотношение интенсивностей когерентного и некогерентного рассеяния
22. Линейный и массовый коэффициенты рассеяния
23. Рассеяние рентгеновского излучения упорядоченными структурами.
24. Резонансное комбинационное (Рамановское) рассеяние
25. Преломление и отражение рентгеновского излучения
26. Полное внешнее отражение
27. Фокусировка рентгеновского излучения
28. Рентгеновская флуоресценция
29. Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа. Интенсивность рентгеновского излучения (определения).
30. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Виды взаимодействия. Когерентное рассеяние рентгеновского излучения. Некогерентное рассеяние рентгеновского излучения. Рентгеновская флуоресценция. Фотоэффект.
31. Выбор излучения. Фильтры для рентгеновского излучения.
32. Когерентное рассеяние рентгеновских лучей – основа рентгеноструктурного анализа. Рассеяние свободным электроном. Формула Томсона.
33. Понятие рассеивающей способности объекта. Интерференция. Дифракционный эффект.
34. Рассеяние рентгеновских лучей атомом, группой атомов. Атомная амплитуда, атомный фактор.
35. Понятие электронной плотности. Понятие рассеивающего центра. Обратное пространство и дифракция рентгеновских лучей на кристаллах.
36. Кинематическая теория интерференции рентгеновских лучей в кристаллах. Кинематическое и динамическое приближения в теории дифракции.
37. Геометрическое толкование условий интерференции с помощью обратной решетки. Обратная решетка как поле интерференционных функций. Сфера Эвальда.
38. Интегральная интенсивность и факторы, на нее влияющие.
39. Атомный множитель. Структурная амплитуда и структурный фактор
40. Формулы структурной амплитуды для кристаллов с различными ячейками Бравэ.
41. Преобразование формул структурной амплитуды при наличии элементов симметрии.
42. Определение рентгеновской и пространственной групп.
43. “Рабочие” формулы для расчета структурной амплитуды.
44. Фактор поляризации, его зависимость от условий эксперимента. Кинематический множитель. Фактор Лоренца. Геометрический фактор.

45. Температурный фактор, учет его анизотропности. Фактор поглощения, его расчет.. Фактор повторяемости, его связь с симметрией кристалла и условиями регистрации рентгенограмм.
46. Экспериментальные приемы определения интенсивности, расчета структурного фактора и структурной амплитуды.
47. Метод проб и ошибок. Сущность метода. Принципы плотнейшей упаковки. Общие принципы метода. Учет сведений о симметрии кристалла при построении его структурной модели.
48. Выбор структурной модели. Фактор расходимости.
49. Разложение электронной плотности в ряд Фурье. Физический смысл разложения электронной плотности в ряд Фурье.
50. Определение положения атомов на распределении электронной плотности. Проекция и сечения электронной плотности.
51. Метод Патерсона. Суть метода. Переход от пространства кристалла к векторному пространству.

Разработчики:



(подпись)

доцент
(занимаемая должность)

Г.А. Кузнецова
(Ф.И.О.)

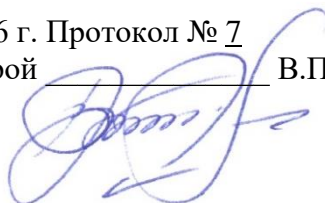
Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению и профилю подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ

«05» марта 2026 г. Протокол № 7

И.о. зав. кафедрой

В.П. Дресвянский



Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.