



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Физический факультет  
Кафедра общей и экспериментальной физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля):

**Б1.В.ДВ.4 Физика рентгеновского излучения**

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль): Физика конденсированного состояния

Квалификация (степень) выпускника : Бакалавр (академический бакалавриат)

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета.  
Протокол № 8  
от 19 июня 2017 г.

Зам. председателя УМК  
В.В. Чумак

\_\_\_\_\_

Рекомендовано кафедрой  
общей и экспериментальной физики.  
Протокол №12  
от 13 июня 2017 г.  
Зав. кафедрой

А.А. Гаврилюк

\_\_\_\_\_

Иркутск 2017 г.

## Содержание

1	Цель и задачи дисциплины (модуля)	3
2	Место дисциплины (модуля) в структуре ООП	4
3	Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	4
4	Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	6
5	Содержание дисциплины (модуля)	7
	5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	7
	5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	9
	5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) в виде занятий	9
6	Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	9
7	Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	11
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	11
	а) основная литература;	
	б) дополнительная литература;	
	в) программное обеспечение;	
	г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
9	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	12
10	Образовательные технологии	12
11	Оценочные средства (ОС)	12
	11.1 Оценочные средства	12
	11.2 Оценочные средства текущего контроля	12
	11.3 Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена	13

### Приложение: Фонд оценочных средств

## **Цели и задачи дисциплины**

Рентгеновские лучи являются коротковолновым электромагнитным излучением, волновые характеристики которого определяются законами квантовой механики и тесно связаны со строением атома. Энергия рентгеновского излучения есть энергия фотонов, отражающих корпускулярные свойства электромагнитных волновых процессов.

При современном развитии естественных наук знание физических процессов возникновения рентгеновского излучения и его взаимодействия с веществом совершенно необходимо для определения новых и развития традиционных направлений его использования в химии, биологии, металлургии, материаловедении и других отраслях. Поэтому сведения о рентгеновском излучении и его свойствах необходимы выпускникам физических специальностей с учетом широкого спектра направлений, где эти знания будут востребованы.

Целью курса «Физика рентгеновского излучения» является изучение физических процессов, приводящих к возникновению рентгеновского излучения и происходящих при его взаимодействии с веществом. Освоение студентами теории указанных процессов, приобретение ими навыков решения практических задач и навыков работы с современной рентгеноспектральной аппаратурой.

## **Задачи дисциплины**

Данный курс призван решить следующие задачи:

- освоение существующих теоретических представлений о природе и свойствах рентгеновского излучения и накопленных экспериментальных знаний, подтверждающих эти представления.
- приобретение навыков работы с рентгеноспектральным оборудованием в ходе выполнения конкретных научно-исследовательских работ
- приобретение навыков решения практических задач, возникающих в процессе использования рентгеновского излучения в производственных условиях и при выполнении научно-исследовательских работ

– развитие у студентов творческого подхода к возможному использованию рентгеновского излучения при решении возникающих на практике неординарных задач.

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к познанию физических явлений, приобретению навыков самостоятельного изучения фундаментальных основ науки и их приложений.

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

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**. При изучении «Физики рентгеновского излучения» используются знания, приобретенные студентами при изучении курсов «Аналитическая геометрия», «Строение вещества», «Квантовая механика», «Атомная и ядерная физика».

«Физика рентгеновского излучения» служит базой для освоения дисциплин, связанных с использованием свойств этого излучения при решении ряда научных и производственных задач. В частности, курс готовит студентов к успешному восприятию таких тем, как «рентгеноструктурный анализ», «физические основы рентгенофлуоресцентного анализа», «микронзондовый рентгеноспектральный анализ».

Общая трудоемкость дисциплины – 4 зачетных единицы.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины.**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3); способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1); способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных теоретических физических исследований

с помощью современной приборной базы ( в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен *знать*: природу и свойства рентгеновского излучения, теоретические основы и законы физики рентгеновского излучения, правила безопасной работы с источниками ионизирующих излучений;

*уметь*: понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию, пользоваться теоретическими основами, законами и моделями физики, эксплуатировать современное рентгеноспектральное оборудование в производственных условиях и в научно-исследовательских учреждениях;

*владеть*: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации.

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (распределяется по формам обучения)**

Вид учебной работы	Всего часов/ зачетных единиц	Семестры			
		7	-	-	-
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	62/1.7	62/1.7	-	-	-
В том числе:					
Лекции	18/0.5	18/0.5	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	36/1	36/1			
Контроль самостоятельн. работы (КСР)	8 / 0.2	8 / 0.2	-	-	-
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>82/2.3</b>	<b>82/2.3</b>	-	-	-
В том числе:					
Курсовой проект	-	-	-	-	-

Расчетно-графические работы	-	-	-	-	-
Реферат (при наличии)	25	25	-	-	-
Домашние контрольные работы	57	57	-	-	-
Вид аттестации: зачет			-	-	-
Общая трудоемкость часы	144	144	-	-	-
Зачетные единицы	4	4			

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

*Тема 1.* Введение (История становления и развития физики рентгеновского излучения).

Открытие и установление природы рентгеновского излучения, дифракция на кристаллах (открытие Лауэ, закон Вульфа - Бреггов), характеристическая и тормозная составляющие излучения, классификация характеристических спектров (Мозли, Бор, Зоммерфельд, Шредингер), тормозной спектр (Куленкамф, Крамерс), рентгеновская флуоресценция. Лауреаты Нобелевской премии за исследования рентгеновского излучения. Современное состояние физики рентгеновского излучения.

*Тема 2.* 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).

*Тема 3.* 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.

*Тема 4.* 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 K – оболочки, внутренняя конверсия, тормозное и характеристическое излучение  $\beta$  - источников, рентгеновское сопровождение  $\alpha$  - распада), синхротронное рентгеновское излучение, высокотемпературная плазма - как источник рентгеновского излучения, рентгеновские лазеры.

*Тема 5. 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.

*Тема 6. 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 образцом, линейный и массовый коэффициенты рассеяния, рассеяние рентгеновского излучения упорядоченными структурами, уравнения Лауэ и Вульфа – Бреггов, резонансное комбинационное (Рамановское) рассеяние.

*Тема 7. Преломление и отражение рентгеновского излучения.*

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 спектроскопии, фокусировка рентгеновского излучения, разрешающая и отражательная способность рентгенооптических элементов).

*Тема 8. Тормозное излучение свободных электронов, возникающих в облучаемом материале.*

Фотоэлектроны, электроны Оже и электроны отдачи (Комптоновские), их энергия и пространственное распределение, тормозное излучение

рассматриваемых электронов при первичном монохроматическом и неоднородном излучении рентгеновских трубок.

### Тема 9. Рентгеновская флуоресценция.

Интенсивность рентгеновской флуоресценции, влияние на нее размеров частиц, зависимость от длины волны первичного излучения, матричные эффекты (поглощение элементами матрицы, избирательное возбуждение и избирательное поглощение, влияние процессов рассеяния), каскадный перенос вакансий, ионизация атомов фото- и Оже электронами, самовозбуждение L – оболочки, эффекты третьего порядка, возмущающее влияние элементов, эффект компенсации, возбуждение флуоресценции неоднородным первичным излучением, монохроматические модели неоднородного излучения, матричные эффекты при неоднородном излучении, особенности возбуждения атомов элементов с малыми атомными номерами.

### 5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.

Физика рентгеновского излучения обеспечивает понимание дисциплин «Рентгеноспектральный анализ» и «Рентгеноструктурный анализ». Однако, освоение названных дисциплин программой обучения на физическом факультете не предусмотрено.

### 5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела. Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Введение (История становления и развития физики рентген. излучения).	1				4	5
2.	Характеристическое рентгеновское излучение	2	6			8	16
3.	Тормозное рентгеновское излучение	2	4			8	14
4.	Источники рентгеновского излучения	2	4			8	14
5.	Поглощение рентгеновского излучения	2	6			12	20
6.	Рассеяние рентгеновского излучения	3	6			12	21
7.	Преломление и отражение рентгеновского излучения	2	4			10	16
8.	Тормозное излучение свободных электронов в облучаемом материале	1	2			8	11



9.	Рентгеновская флуоресценция	3	4			12	21
----	-----------------------------	---	---	--	--	----	----

## 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1	Классическое и квантовое толкование природы рентгеновского излучения	2	Устный опрос	(ОПК-3) (ПК-1)
2	Тема 2	Энергетическое состояние электронов в атоме. Уровни энергии. Закон Мозли.	2	Устный опрос	(ОПК-3) (ПК-1)
3	Тема 2	Относительная интенсивность линий. Влияние заселенности уровней. Переходы Костера-Кронига. Выход флуоресценции	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
4	Тема 2	Возбуждение рентгеновского излучения потоком электронов. Закон Бете для интенсивности характеристического излучения. Обратное рассеяние электронов. Поглощение излучения в мишени.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
5	Тема 3	Спектральное распределение тормозного излучения тонкой и массивной мишени по Крамерсу. Уточнение распределения Крамерса.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
6	Тема 3	Пространственное распределение тормозного излучения. Его поляризация.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
7	Тема 4	Рентгеновские трубки с заземленным анодом и катодом. Радиоактивные источники. Рентгеновское излучение высокотемпературной плазмы и синхротрона. Рентгеновские лазеры.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
8	Тема 5	Электронный, частичный и атомный коэффициенты поглощения. Классическое и квантовое толкование.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
9	Тема 5	Скачки поглощения. Тонкая структура краев поглощения для металлов, для одноатомных и многоатомных газов.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
10	Тема 5	Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Ослабление рентгеновского излучения многоэлементным образцом	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
11	Тема 6	Когерентное рассеяние на свободных электронах. Формула Томсона. Электронный коэффициент рассеяния. Не когерентное рассеяние. Формула Комптона. Интенсивность некогерентного	2	Устный опрос	(ПК-1,2)

		рассеяния.			
12	Тема 6	Когерентное и не когерентное рассеяние рентгеновского излучения на атомах. Однофакторные модели Томаса-Ферми. Аномальное когерентное рассеяние.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
13	Тема 6	Интенсивность рассеяние рентгеновского излучения массивным образцом. Зависимость от атомного номера рассеивающего материала. Рассеяние упорядоченными структурами. Закон Вульфа-Бреггов. Рамановское рассеяние.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
14	Тема 7	Дисперсия рентгеновского излучения. Теория Лоренца. Аномальное рассеяние. Преломление и полное внешнее отражение рентгеновских лучей. Зависимость отраженной интенсивности от угла падения.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
15	Тема 7	Отражение рентгеновского излучения системой слой-подложка. Интерференция излучения. Максимумы Киссига. Стоячие волны. Рентгеновские зеркала.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
16	Тема 8	Пространственное и энергетическое распределение фотоэлектронов. Свойства Оже электронов. Зависимость энергии электронов отдачи от угла вылета. Тормозное излучение свободных электронов.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
17	Тема 9	Интенсивность рентгеновской флуоресценции «тонкого» и массивного образца. Влияние размера частиц. Зависимость интенсивности от энергии первичных фотонов и от элементного состава образца.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
18	Тема 9	Рентгеновская L-флуоресценция, обусловленная каскадными переходами. Возбуждение флуоресценции свободными электронами. Избирательное возбуждение флуоресценции. Эффект третьего порядка	2	Устный опрос	(ПК-1,2)
19	Тема 9	Избирательное поглощение флуоресцентного рентгеновского излучения. Возмущающее влияние. Монохроматические модели неоднородного первичного излучения. Рентгеновская флуоресценция элементов с малым атомным номером.	2	Устный опрос	(ПК-1,2)

## 6.1 План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
--------	------	---------------------	---------	--------------------------	------------------

		<b>работы</b>			
1-15	Реферат	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	25
1-15	Домашние контрольные работы	Внеаудиторная работа.	Выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение.	Из списка основной и дополнительной литературы.	57

## **6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.**

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

### **1) Овладеть знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно – методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники, Интернета и др.;

## **2) Закреплять и систематизировать знания:**

- работа с конспектом лекций;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных источников;
- тестирование и др.;

## **3) Формировать умения:**

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-3, ПК-1, ПК-2.

**7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии): не предусматривается**

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):**

а) основная литература:

1. Павлинский Г.В. Основы физики рентгеновского излучения.- М.: Физматлит, 2007, 240 с.
2. Павлинский Г.В. Рентгеновская флуоресценция (монография).- Иркутск. Из-во ИГУ, 2013, 85 с.

б) Дополнительная литература:

1. Корсунский М.И. Физика рентгеновских лучей.- М.-Л.: ОНТИ НКПТб 1936, 302 с.
2. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей.- М.: ГИТТЛ, 1957, 518 с.
3. Боровский И.Б. Физические основы рентгеноспектральных исследований.- М.: МГУ, 1956, 350 с.
4. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры /пер. с англ. – М.: ГИТТЛ, 1956.- Т.1, 591 с.; Т.2, 694 с
5. Рид С. Электронно – зондовый микроанализ.- М.: Мир, 1979, 423 с. *сверено с 915 чпу ф*
6. Блохин М.А., Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник.: М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1982, 376 с.
7. Афонин В.П., Комяк Н.И., Николаев В.П., Плотников Р.И. Рентгенофлуоресцентный анализ.- Новосибирск: Наука, 1991, 173 с.
8. Смагунова А.Н., Карпукова О.М. Методы математической статистики в аналитической химии (учебное пособие).- Иркутск, Из-во ИГУ, 2008, 339 с.
9. Als-Nielsen, Mc Morrow Elements of modern X-ray physics.- John Wiley, 2001, 318 р.

в) программное обеспечение: не предусматривается.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: интернет ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ [www.isu.ru](http://www.isu.ru).

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лабораторный практикум по физике рентгеновского излучения.

Сетевые и персональные компьютеры.

Учебные пособия.

**10. Образовательные технологии:**

**11. Оценочные средства (ОС):**

11.1. Оценочные средства для **входного контроля** (могут быть в виде тестов с закрытыми и открытыми вопросами)

11.2. Оценочные средства **текущего контроля** формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета. Программа проведения коллоквиума по физике рентгеновского излучения. Тематика контрольных работ.

**Программа коллоквиума по физике рентгеновского излучения**

1. Систематика спектров характеристического рентгеновского излучения
2. Интенсивность характеристического рентгеновского излучения

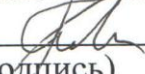
3. Интенсивность и пространственное распределение тормозного рентгеновского излучения.
4. Источники рентгеновского излучения.
5. Электронный, частичный и атомный коэффициенты поглощения.
6. Ослабление рентгеновского излучения многоэлементным образцом.

### **Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов**

1. Понятие структуры краев поглощения
2. Рентгеновские излучения высокотемпературной плазмы
3. Соотношение интенсивностей когерентно и не когерентно - рассеянного излучения
4. Резонансное комбинационное рассеяние (Романовское рассеяние)
5. Влияние процессов рассеяния на интенсивность рентгеновской флуоресценции
6. Стоячие волны в рентгеновском диапазоне

### **11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена** Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

**Разработчики:**

 д.ф.-м.н., профессор  
(подпись)

Г.В. Павлинский

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«\_13\_» июня 2017 г.

Протокол № 12

Зав. кафедрой



д.ф.-м.н. А.А. Гаврилюк