

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (ИСТОЧНИКИ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ / X-RAYS  
(SOURCES, FEATURES, APPLICATIONS))**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП	
7	2	72	16	16	0		40	0	3
Итого	2	72	16	16	0	0	40	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Рентгеновское излучение, электромагнитное излучение с длинами волн порядка размеров атомов, постоянных решетки кристаллических структур и связывающих расстояний атомов в молекулах найденное, как и, например, оптика видимого света, радиоволны, используемые для связи, инфракрасный свет в лазерной физике или микроволны в радиолокационной технике, в сотовых телефонных и беспроводных интернет сетях, имеет множество разнообразных практических применений в медицине, материаловедении, химии, астрофизике и в других областях фундаментальных, прикладных и жизни науки и техники.

Физика рентгеновского излучения ясно демонстрирует, как наука XIX-го века прогрессировала к новому и более глубокому пониманию нашего мира, его фундаментальной микроструктуры и космических явления. В области энергий рентгеновских излучения, двойственность света представляет себя в практически доступной форме, не в последнюю очередь потому, что рентгеновские лучи являются одним из видов ионизирующих излучений, что является опасным.

В связи с разнообразием применений рентгеновского излучения в области науки и техники, физики и инженеры, получившие образование в НИЯУ МИФИ должны быть хорошо знакомы с особенностями рентгеновского излучения и понимать основные механизмы его взаимодействия с веществом и их различные практические реализации.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- Классификация явления рентгеновского излучения в рамках великих физических открытий;
- Понимание принципов работы основных источников рентгеновского излучения;
- Описание специальных свойств рентгеновского излучения;
- Изучение принципов детектирования рентгеновского излучения;
- Обзор экспериментальных и практических методов применения рентгеновского излучения.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Предполагается, что студенты, приступающие к изучению данного курса, прослушали курсы общей физики, линейной алгебры, математического анализа, дифференциальных и интегральных уравнений, уравнений математической физики, а также курсы теоретической физики (механика, теория поля, квантовая механика); прослушали или слушают параллельно курс макроскопической электродинамики.

Курс сконцентрирован на изучении узкой области электромагнитного излучения, но также затрагивает граничащие с ним области ультрафиолетового и гамма-излучения, так как границы между ними размыты и строго не фиксированы. Внимание, в большей степени, направленно на демонстрацию практического применения и методологических возможностей рентгеновского излучения, как для научных исследований так и для технических решений, и в меньшей на теоретические выкладки, включая лишь особо важные, позволяющие студентам понимать суть физических эффектов.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-2 [1] – Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	З-ОПК-2 [1] – Знать современные информационные технологии и программные средства для решения задач профессиональной деятельности У-ОПК-2 [1] – Уметь выбирать и использовать современные информационные технологии и программные средства для решения задач профессиональной деятельности В-ОПК-2 [1] – Владеть навыками применения современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	ПК-4.1 [1] - Способен применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики конденсированных сред  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.044	З-ПК-4.1[1] - Знать физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики конденсированных сред; У-ПК-4.1[1] - Уметь применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных

			данных в области физики конденсированных сред; В-ПК-4.1[1] - Владеть аналитическими методами, методами обработки экспериментальных данных в области физики конденсированных сред
конструкторско-технологический			
Контроль соответствия выполненных работ требованиям технического задания и соотношения получаемых результатов с известными мировыми разработками и образцами в данной области исследований	Модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально - экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса	ПК-7 [1] - Способен к разработке прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.075, 24.078	З-ПК-7[1] - Знать текущее положение современных научных достижений, современные методы и алгоритмы для разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований. ; У-ПК-7[1] - Уметь применять современные методы и алгоритмы для разработки наукоемкого программного обеспечения.; В-ПК-7[1] - Владеть навыками разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований.

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной

	технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств

		<p>студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Теоретические аспекты рентгеновского излучения	1-8	8/8/0		25	Т-8	
2	Практические аспекты рентгеновского излучения	9-16	8/8/0		25	КИ-16	
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		

	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	
--	---------------------------------------------	--	--	--	----	---	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	16	0
<b>1-8</b>	<b>Теоретические аспекты рентгеновского излучения</b>	8	8	0
1	<b>Исторические предпосылки открытия рентгеновского излучения и основные особенности рентгеновского спектра электромагнитного излучения.</b> Исторические предпосылки открытия рентгеновского излучения и основные особенности рентгеновского спектра электромагнитного излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
2	<b>Двойственность света, характеристики электромагнитных волн и фотонов.</b> Двойственность света, характеристики электромагнитных волн и фотонов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
3	<b>Микроскопическое описание и различия ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения.</b> Микроскопическое описание и различия ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
4	<b>Комплексное описание взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.</b> Комплексное описание взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
5	<b>Естественные источники рентгеновского излучения: радиоактивность, солнце, космические источники.</b> Естественные источники рентгеновского излучения: радиоактивность, солнце, космические источники.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
6	<b>Модель атома по Бору, классическая и квантово-механическая интерпретация, характеристики рентгеновского излучения.</b> Модель атома по Бору, классическая и квантово-механическая интерпретация, характеристики рентгеновского излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		

7	<b>Методы регистрации и спектрометрии рентгеновского излучения.</b> Методы регистрации и спектрометрии рентгеновского излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
8	<b>Излучение ускоренных заряженных частиц, тормозное излучение.</b> Излучение ускоренных заряженных частиц, тормозное излучение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
9-16	<b>Практические аспекты рентгеновского излучения</b>	8	8	0
9	<b>Искусственные источники рентгеновского излучения: рентгеновская трубка.</b> Искусственные источники рентгеновского излучения: рентгеновская трубка.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
10	<b>Эффект Комптона, рассеяние рентгеновского излучения.</b> Эффект Комптона, рассеяние рентгеновского излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
11	<b>Каналированное излучение, когерентное тормозное излучение, обратное рассеяние лазерного излучения.</b> Каналированное излучение, когерентное тормозное излучение, обратное рассеяние лазерного излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
12	<b>Синхротронное излучение, характеристики источника, элементы установки.</b> Синхротронное излучение, характеристики источника, элементы установки.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
13	<b>Переходное излучение, параметрическое рентгеновское излучение, пинч излучение.</b> Переходное излучение, параметрическое рентгеновское излучение, пинч излучение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
14	<b>Применение рентгеновского излучения: рентгенография и метод фазового контраста.</b> Применение рентгеновского излучения: рентгенография и метод фазового контраста.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
15	<b>XFA и XAS методы.</b> XFA и XAS методы.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
16	<b>Дифракционные методы Брэгга и Лауэ.</b> Дифракционные методы Брэгга и Лауэ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы



АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	<p><b>Открытие рентгеновского излучения и основные особенности рентгеновского спектра электромагнитного излучения.</b></p> <p>Исторические предпосылки открытия рентгеновского излучения и основные особенности рентгеновского спектра электромагнитного излучения.</p> <p>Двойственность света, характеристики электромагнитных волн и фотонов.</p>
3 - 4	<p><b>Описание и различия ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения.</b></p> <p>Микроскопическое описание и различия ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения.</p> <p>Комплексное описание взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.</p>
5 - 6	<p><b>Источники рентгеновского излучения: радиоактивность, солнце, космические источники. Модель атома.</b></p> <p>Естественные источники рентгеновского излучения: радиоактивность, солнце, космические источники.</p> <p>Модель атома по Бору, классическая и квантово-механическая интерпретация, характеристики рентгеновского излучения.</p>
7 - 8	<p><b>Регистрация и спектрометрия рентгеновского излучения.</b></p> <p>Методы регистрации и спектрометрии рентгеновского излучения.</p> <p>Излучение ускоренных заряженных частиц, тормозное излучение.</p>
9 - 16	<p><b>Искусственные источники рентгеновского излучения.</b></p> <p>Искусственные источники рентгеновского излучения: рентгеновская трубка.</p> <p>Эффект Комптона, рассеяние рентгеновского излучения.</p> <p>Канализованное излучение, когерентное тормозное излучение, обратное рассеяние лазерного излучения.</p> <p>Синхротронное излучение, характеристики источника, элементы установки.</p> <p>Переходное излучение, параметрическое рентгеновское излучение, пинч излучение.</p> <p>Применение рентгеновского излучения: рентгенография и</p>

	метод фазового контраста. Дифракционные методы Брэгга и Лауэ.
--	------------------------------------------------------------------

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, с применением проектора и презентаций по избранным темам;
- самостоятельная работа студентов с избранной литературой;

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения
-------------	---------------------

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69		E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала,
60-64			

			но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Р 58 Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными : , Москва: ДМК Пресс, 2016
2. ЭИ Л12 Лабораторный практикум "Компьютерное моделирование графена и его производных" : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 12 Основы физики рентгеновского излучения : научное издание, Москва: Физматлит, 2007
2. 537 А95 Электродинамика высоких энергий в веществе : , А. И. Ахиезер, Н. Ф. Шульга, М.: Наука, 1993
3. 539.1 Д50 Дифракционное излучение релятивистских частиц : учебное пособие, А. П. Потылицын [и др.], Томск: ТПУ, 2008
4. 537 П12 Основы физики рентгеновского излучения : , Г. В. Павлинский, Москва: Физматлит, 2007
5. 539.2 К63 Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками : , Комаров Ф.Ф., Кумахов М.А., Ташлыков И.С., Минск: Университетское, 1987
6. 548 К90 Излучение каналированных частиц в кристаллах : , М.А. Кумахов, М.: Энергоатомиздат, 1986

7. 539.1 К90 Атомные столкновения в кристаллах : , М.А. Кумахов, Г. Ширмер, М.: Атомиздат, 1980

8. 537 Р99 Введение в электродинамику конденсированного вещества : , Рязанов М.И., Москва: Физматлит, 2002

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Для повторения и более детального изучения ряда проблем, не нашедших отражения в курсе, рекомендуется самостоятельное повторение материалов курсов по квантовой механике, теории поля и макроскопической электродинамике.

Кроме того, рекомендуется материал каждой лекции прорабатывать непосредственно в день, когда она была прочтена, и в случае наличия вопросов обращаться к преподавателю.

Для студентов, чья учебно-исследовательская работа так или иначе связана с кругом рассматриваемых в курсе лекций явлений рекомендуется ознакомление литературы из дополнительного списка.

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- Объяснить студентам роль рентгеновского излучения в рамках великих физических открытий;
- Объяснить принципы работы основных источников рентгеновского излучения;
- Описание специальных свойств рентгеновского излучения;
- Рассказать о способах детектирования рентгеновского излучения;
- Обзорно показать примеры экспериментальных и практических методов применения рентгеновского излучения.

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, с применением проектора и презентаций по избранным темам;
- самостоятельная работа студентов;

Необходимо акцентировать внимание студентов на наиболее актуальных проблемах, явлениях в физике рентгеновского излучения. Структуру лекций необходимо строить таким образом, чтобы студент получил качественное описание изучаемого явления, имел представления об актуальности темы, четко понял и усвоил физическое описание явления. Контроль проводится в середине и в конце семестра. В середине семестра студентам

предлагается тестовое задание по пройденному материалу, которое выполняется в письменной форме. В конце семестра проводится устный опрос студентов по пройденному материалу.

Автор(ы):

Вагнер Вольфганг Зигфрид