МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Снежинский физико-технический институт –**
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
**(СФТИ НИЯУ МИФИ)**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0BDE66000DAECEA44E1BF4E83F4BE9DB
Владелец: НИЯУ МИФИ
Действителен: с 29.12.2021 до 29.12.2022

«УТВЕРЖДАЮ»
Зам. руководителя по учебной
и научно-методической работе
«_____»_____ 202_ г.
_____П.О.Румянцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дозиметрия рентгеновского излучения большой мощности и интенсивности

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) 14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Профиль подготовки _____«Экспериментальная ядерная физика»_____

Квалификация (степень) выпускника _____Магистр_____

Форма обучения _____очная_____

г. Снежинск, 202_ г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Дозиметрия рентгеновского излучения большой мощности и интенсивности» является ознакомление студентов с основами волновой оптики, физики полупроводников и твердотельных лазеров и их применением.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.02 «Дозиметрия рентгеновского излучения большой мощности и интенсивности» относится к блоку дисциплин по выбору вариативной части профессионального модуля рабочего учебного плана ООП ВО по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии». Курс «Дозиметрия рентгеновского излучения большой мощности и интенсивности» посвящен одному из важных разделов современной физики, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков. «Дозиметрия рентгеновского излучения большой мощности и интенсивности» изучается на втором курсе в третьем семестре обучения.

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин (практик) учебного плана: Ядерная физика (Б1.О.05), Теория прохождения заряженных частиц и гамма-квантов в веществе (Б1.О.06), Экспериментальные методы ядерной физики (Б1.В.05), Электроника в экспериментальной физике (Б1.В.06), Современные источники и детекторы нейтронов (Б1.В.08), Основы ядерной и радиационной безопасности. Нормативная документация (Б1.В.09), Практикум по средствам дозиметрии ионизирующих излучений (Б1.В.ДВ.04.02).

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для освоения следующих дисциплин (практик) учебного плана: Методы и средства измерений на стендах критических сборок и импульсных ядерных реакторах (Б1.В.ДВ.06.01), Детекторы нейтронов и гамма-квантов в импульсных экспериментах (Б1.В.ДВ.06.02), Производственная практика: научно-иследовательская работа (часть 1) (Б2.В.02(П)), Производственная практика: научно-иследовательская работа (часть 2) (Б2.В.03(П)), Производственная практика: преддипломная практика (Б2.В.04(П)).

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии».

В результате изучения дисциплины обучающимися должны быть освоены следующие компетенции:

ПК-4 – способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач;

ПК-23.1 – способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.

В результате освоения дисциплины «Дозиметрия рентгеновского излучения

большой мощности и интенсивности» студенты должны:

*Знать:*

- Ионизирующее излучение;
- Дозиметрические величины;
- Рентгеновское излучение;
- Источники рентгеновского излучения;
- Процессы взаимодействия излучения с веществом;
- Ослабление рентгеновского излучения в веществе;
- Моделирование переноса излучения;
- Применение рентгеновского излучения;
- Методы дозиметрии гамма излучения;
- Люминесцентный, фотографический и химический методы дозиметрии;
- Особенности дозиметрии рентгеновского излучения высокой интенсивности;
- Система уравнений для моделирования динамических процессов в мишени;
- Калориметры;
- Пьезодатчики.

*Уметь:*

- рассчитывать коэффициенты ослабления рентгеновского излучения для различных составов и слоев;
- прогнозировать параметры различных типов детекторов рентгеновского излучения: твердотельных и полупроводниковых лазеров;
- используя накопленные знания, полученные в процессе обучения, грамотно ориентироваться в потоке современных проблем по дозиметрии рентгеновского излучения большой интенсивности;
- на основе полученных данных составлять и отрабатывать методики измерения рентгеновского излучения большой интенсивности;
- осуществлять поиск информации по полученному заданию, сбор, анализ данных, необходимых для решения поставленных физических и технических задач;
- выявлять ключевые физические и технические проблемы при анализе конкретных лазерных систем;
- систематизировать и обобщать информацию для реализации профессиональных функций;
- применять информационные технологии для решения физических и технических задач.

*Владеть:*

- методологическими подходами к выбору теоретического инструментария, соответствующего решаемой задаче;
- навыками поиска и использования информации о физических концепциях и технических решениях;
- навыками публичной речи, аргументации, ведения дискуссии;
- навыками профессиональной аргументации при разборе какой-либо проблемы в профессиональной деятельности;

– программным обеспечением для работы с физической и технической информацией и основами Интернет - технологий.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Семестр | Трудоем-кость, ЗЕТ | Общий объем курса, час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | КСР, час. | СРС, час. | Форма контроля, экз./зачет |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 108 | - | 34 | 27 | 47 | экзамен |

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 ЗЕТ, 108 часов.

| № п/п | Раздел учебной дисциплины | Недели | Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | Текущий контроль успеваемости *(неделя, форма)* | Аттеста-ция раздела *(неделя, форма)* | Макс. балл за раз-дел * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Лекции | Практ. занятия/ семинары | Лаб. работы | | | |
| **6 семестр** | | | | | | | | |
| 1 | Ионизирующее излучение | 1-2 | | 4 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 2 | 3 |
| 2 | Дозиметрические величины. | 3 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 3 | 3 |
| 3 | Рентгеновское излучение | 4 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 4 | 3 |
| 4 | Источники рентгеновского излучения | 5 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 5 | 3 |
| 5 | Процессы взаимодействия излучения с веществом | 6-7 | | 4 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 7 | 3 |
| 6 | Ослабление рентгеновского излучения в веществе | 8 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 8 | 3 |
| 7 | Моделирование переноса излучения | 9 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 9 | 3 |
| 8 | Применение рентгеновского излучения | 10 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 10 | 3 |
| 9 | Методы дозиметрии гамма излучения. | 11 | | 2 | | конспект лекции | | |
| 10 | Люминесцентный, фотографический и химический методы | 12 | | 2 | | конспект лекции, контрольны | КВ – 12 | 3 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | дозиметрии | | | | | е вопросы | | |
| 11 | Особенности дозиметрии рентгеновского излучения высокой интенсивности | 13 | | 4 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 13 | 3 |
| 12 | Система уравнений для моделирования динамических процессов в мишени | 14 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 14 | 3 |
| 13 | Калориметры | 15 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 15 | 3 |
| 14 | Пьезодатчики | 16 | | 2 | | конспект лекции, контрольные вопросы | КВ – 16 | 3 |
| 15 | Защита рефератов | 17 | | | | | РП – 17 | 11 |
| Всего: | | | | 34 | | | | 50 |
| | Экзамен | | | | | | | 50 |
| | Итого за 3 семестр: | | | | | | | 100 |

## Раскрытие тем практических занятий

1. Ионизирующее излучение. Общие характеристики. Поле излучения. Основные понятия. Скалярные характеристики поля излучения. Дифференциальные и векторные характеристики поля излучения. Источники ионизирующего излучения. Токовые и потоковые величины в рассеивающей и поглощающей среде.
2. Дозиметрические величины. Поглощенная энергия излучения. Экспозиционная доза. Коэффициент качества излучения и относительная биологическая эффективность. Эффективная, эквивалентная и коллективная доза. Единицы измерения.
3. Спектр электромагнитного излучения. Характеристики каждого диапазона ЭМ волн. Природа рентгеновского излучения. Виды излучения. Тормозной и характеристический спектры. Закон Мозли.
4. Источники рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки. Ускорители и синхротронное излучение. Ядерный взрыв. Характеристики рентгеновского излучения. Индикатриса интенсивности. Плотность потока, спектры.
5. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Фотоэффект. Оже электроны. Зависимость массового коэффициента от длины волны. Квантовая теория эффекта Комптона. Когерентное рассеяние.
6. Закон ослабления излучения в среде для моноэнергетического рентгеновского излучения и излучения с непрерывным спектром. Массовый, атомный и электронный линейный коэффициент ослабления в случае узкого пучка. Приближенные формулы. Сложный элементный состав.
7. Инженерные методы расчета переноса рентгеновского излучения в воздухе и твердом теле. Уравнение переноса излучения. Дифференциальные сечения взаимодействия. Численные методы решения. Метод Монте-Карло.
8. Применение рентгеновского излучения (характеристического и тормозного) в медицине (диагностика, стерилизация инструмента), дифракционных методах исследования в физике твердого тела (дифракция на монокристаллах и

поликристаллических системах, уравнение Вульфа-Брегга, порошковая дифрактометрия, метод Лауэ), дефектоскопия, изучение стойкости компонентов электроники.

9. Методы дозиметрии гамма излучения. Ионизационные дозиметрические детекторы. Теория Брега-Грея и электронное равновесие. Связь ионизационного тока с дозой излучения. Полостные ионизационные камеры. Газоразрядные детекторы. Полупроводниковые дозиметрические детекторы.
10. Сцинтилляционный метод дозиметрии фотонного излучения. Дозиметрические характеристики сцинтилляторов. Токовый и счетный режимы работы сцинтилляционных детекторов. Люминесцентный, фотографический и химический методы дозиметрии фотонного излучения.
11. Особенности дозиметрии рентгеновского излучения высокой интенсивности. Воздействие «мягкого» и «жесткого» рентгеновского излучения. Физическая картина возникающих эффектов при воздействии «мягкого» и «жесткого» рентгеновского излучения высокой интенсивности. Возникновение термомеханических напряжений при облучении. Разрушение мишени, отколы. Ограничения на измеряемую плотность потока.
12. Математическая модель механических процессов при воздействии «мягкого» и «жесткого» рентгеновского излучения на мишень.
13. Калориметры. Связь экспозиционной дозы и изменения температуры рабочего тела. Конструкции некоторых калориметрических приборов. Дифференциальный калориметр. Детектор Р56-Л2692. Основные характеристики.
14. Пьезодатчики, основанные на термомеханическом эффекте. Методики измерений. Расчетно-экспериментальный метод восстановления спектра рентгеновского излучения.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Практические занятия проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 14.04.02 «Ядерные физика и технологии» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

2. Разбор задач и поиск их решения проводится в рамках практических занятий на каждой учебной неделе и в часы, отведённые на контролируемую самостоятельную работу. Занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой при поиске метода решения поставленной задачи и оформлении решения. Преподаватель обеспечивает консультационное сопровождение процесса поиска решения.

3. Один раз в три недели преподавателем проводится текущая консультация. Вопросы можно задавать лично преподавателю в назначенное время.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках лекционных и практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного изучения оглашаются преподавателем в конце каждого занятия и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством проверки конспекта лекций и контрольных вопросов, рубежный контроль проводится при помощи защиты реферативной работы.

Экзамен проводится в виде письменного контрольного опроса.

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

а) основная литература:

1. Климанов, В.А. Дозиметрия ионизирующих излучений [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Климанов, Е. А. Крамер-Агеев, В. В. Смирнов ; ред. В. А. Климанов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2015. – ISBN 978-5-7262-2096-3.
2. Черняев, А.П. Ионизирующие излучения [Текст] / А. П. Черняев. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : КДУ, 2014. – 313 с. – ISBN 978-5-906226-65-5.
3. Болоздыня, А.И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения [Текст] / А. И. Болоздыня, И. М. Ободовский. – Долгопрудный : ИНТЕЛЛЕКТ, 2012. – 204 с. – ISBN 978-5-91559-105-8.
4. Сборник задач по теории переноса, дозиметрии и защите от ионизирующих излучений [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / ред. В. А. Климанов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. – ISBN 978-5-7262-1487-0.

б) дополнительная литература:

5. Климанов, В.А. Радиационная дозиметрия [Текст] : монография / В. А. Климанов, Е. А. Крамер-Агеев, В. В. Смирнов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 648 с. – ISBN 978-5-7262-2038-3.
6. Тарасенко, Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения [Текст] / Ю. Н. Тарасенко. – Москва : Техносфера, 2013. – 259 с. - ISBN 978-5-94836-349-3.
7. Крамер-Агеев, Е.А. Инструментальные методы радиационной безопасности [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Е. А. Крамер-Агеев, В. С. Трошин. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. - ISBN 978-5-7262-1435-1.
8. Грабовский, Р. И. Курс физики [Электронный ресурс] [Текст] : учебное пособие / Грабовский Р. И. – 12-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 608 с. – ISBN 978-5-8114-0466-7.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

не предусматривается.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Учебная аудитория для проведения занятий практического типа (л212), укомплектованная специализированной мебелью и средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории:

- Ноутбук HP;
- Проектор.

б) Помещение для самостоятельной работы обучающихся (л318), оснащенное компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду:

- Персональный компьютер на базе Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) – 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) – 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», утвержденного Ученым советом НИЯУ МИФИ 31.05.2018 г., протокол №18/03 (актуализирован 27.07.2021 г., протокол №21/11).

Автор:_____

Рецензент_____

_____

Программа одобрена на заседании кафедры «Ядерной физики и спецтехнологий» _____г., протокол № _.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Выпускающая кафедра, курирующая специальность, для которой читается данная дисциплина | Ф.И.О. заведующего данной выпускающей кафедрой | Решение заведующего выпускающей кафедрой по согласованию данной рабочей программы | Подпись заведующего выпускающей кафедрой и дата |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

на 20__ /20__ учебный год

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой направления подготовки (специальности)
“_____’’_____2020 г. _____

**Утверждаю**

Зам. руководителя по учебной и научно-методической работе

_____ П.О. Румянцев