

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Линник Оксана Владимировна  
Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 12.10.2020 14:40:30  
Уникальный программный ключ:  
d85fa2f259a0913da9b08799985891736430181f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Снежинский физико-технический институт -  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СФТИ НИЯУ МИФИ)»**

«УТВЕРЖДАЮ»  
Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.  
\_\_\_\_\_ П.О.Румянцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Радиационная физика твердого тела**  
наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки «Физика атомного ядра и частиц»

Квалификация (степень) выпускника Бакалавр

Форма обучения Очная

г. Снежинск, 2020 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины *Радиационная физика твердого тела* является формирование у слушателей целостной системы знаний об эффектах в материалах и изделиях полупроводниковой электроники, возникающих при воздействии на них ионизирующих излучений.

Основными задачами дисциплины «Радиационная физика твердого тела» являются:

- изучение физических основ дозиметрии ионизирующего излучения, системы дозиметрических величин;
- освоение понятийно-терминологического аппарата, используемого в радиационной физике твердого тела;
- получение знаний об изменении физических свойств вещества и характеристик приборов в результате воздействия ионизирующих излучений и об основных радиационных технологиях.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина Б1.В.03 «Радиационная физика твердого тела» относится к вариативной части Блока Б1 «Дисциплины (модули)» рабочего учебного плана ООП ВО по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии». Курс «Радиационная физика твердого тела» посвящен одному из разделов современной физики, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков, специализирующихся в области физики радиационных повреждений и радиационного материаловедения. Радиационная физика твердого тела изучается на третьем курсе в шестом семестре обучения.

Радиационная физика твердого тела появилась в начале XX-го века на стыке трех научных направлений: атомной физики, ядерной физики и физики твердого тела. Многие закономерности в этой области были получены в тридцатые годы прошлого века, но основное развитие радиационная физика твердого тела получила после появления мощных источников проникающих (ионизирующих) излучений: ядерного и термоядерного оружия, ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц. С началом исследования космоса возникла задача об изучении воздействия излучений космического пространства на объекты космической техники. Прогресс в развитии атомной энергетики, создании разнообразных и мощных источников ионизирующих излучений привел к появлению новых разделов прикладной физики и техники: радиационного материаловедения, радиационной химии, радиационной биологии, радиационной медицины и др. Применение ионной имплантации стало ведущим фактором, обеспечивающим создание сверхбольших интегральных микросхем – основы современных информационных систем. Радиационная физика твердого тела, изучающая первичные процессы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, является базой при использовании излучений в практической деятельности.

Для того чтобы обеспечить качественную подготовку специалистов высшей квалификации, в данном курсе отражаются как базисные, фундаментальные основы радиационной физики твердого тела, так и новейшие тенденции в развитии данной и прикладной отрасли знаний.

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин учебного плана:

- Б1.О.23 «Математика»;
- Б1.О.24 «Физика»;
- Б1.О.11 «Электротехника и электроника»
- Б1.О.10 «Атомная физика»;
- Б1.О.13 «Введение в ядерную физику»;

Изучение дисциплины предполагает последующее освоение следующих дисциплин учебного плана:

- Б1.В.ДВ.10.01 «Регистрация быстропротекающих процессов»;
- Б1.В.ДВ.02.02 «Прохождение излучения через вещество»;
- Б1.В.ДВ.09.01 «Дозиметрия».

### **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 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

В результате изучения дисциплины обучающимися должны быть освоены следующие компетенции:

ОПК-1 – способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

ПК-3 – способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- Основные источники ионизирующих излучений;

- Начальные сведения о свойствах твердого тела;
- Основы взаимодействия излучения с веществом;
- Основы теории атомных столкновений;
- Первичные процессы в материалах при воздействии ионизирующих излучений;
- Эволюция радиационных дефектов;
- Основные радиационные технологии;
- Радиационные эффекты в изделиях полупроводниковой электроники.

Уметь:

- Использовать основные закономерности взаимодействия излучения с веществом;
- Планировать эксперименты на облучательных установках;
- Определять доминирующие радиационные эффекты в изделиях полупроводниковой электроники;
- Осуществлять поиск информации по полученному заданию, сбор, анализ данных, необходимых для решения поставленных физических и технических задач;
- Применять информационные технологии для решения физических и технических задач.

Владеть:

- Методами расчета характеристик полей излучений и дозовых нагрузок на приборы и материалы;
- методологическими подходами по оценке уровней влияния ионизирующих излучений на характеристики приборов и свойства материалов;
- 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.	Контроль, час.	СР, час.	Форма контроля, экз./зачет
6	2	72	36	18	0	18	зачет

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 ЗЕТ, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	учебной	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	Введение в предмет. Общие положения	1	2			Конспект, контрольные вопросы		
2	Источники ионизирующего излучения	2	2	2		Конспект	3 неделя Сам. раб	5
3	Начальные сведения о свойствах твердого тела	3-4	4	2		Конспект, контрольные вопросы		
4	Взаимодействие излучения с веществом	5-7	6	2		Конспект	6 неделя Дом. раб.	5
							7 неделя Конт. раб.	12,5
5	Теория атомных столкновений. Каскад столкновений	8	2	2		Конспект, контрольные вопросы		
6	Первичные процессы в материалах при воздействии ионизирующих излучений	9-10	4	2		Конспект, контрольные вопросы	9 неделя Сам. раб	5
7	Эволюция радиационных дефектов	11-12	4	2		Конспект, контрольные вопросы		
8	Влияние облучения на макроскопические свойства материалов	13	2	2		Конспект, контрольные вопросы	11 неделя Дом. раб.	5
							Сам. раб.	5
9	Радиационные технологии	14	2			Конспект, контрольные вопросы		
10	Объемные ионизационные эффекты в изделиях ЭКБ	15	2	2		Конспект	15 неделя Конт. раб	12,5
11	Одиночные радиационные эффекты в изделиях ЭКБ	16	2	2		Конспект, контрольные вопросы		
Всего:			32	18				50
Зачет								50
Итого за 6 семестр:								100

### Раскрытие лекционных тем и тем практических занятий

#### Тема 1. Введение в курс «Радиационная физика твердого тела»

Предмет радиационной физики твердого тела. Основные сведения о влиянии ионизирующих излучений на свойства материалов. Основные сведения о радиационных эффектах в изделиях полупроводниковой электроники.

#### Тема 2. Источники ионизирующего излучения

Ионизирующие излучения. Классификации и характеристики источников ионизирующего излучения. Характеристики поля ионизирующего излучения. Ядерный взрыв. Ионизирующее излучение космического пространства. Ускорители заряженных частиц. Ядерные реакторы. Изотопные источники. Генераторы нейтронов.

#### Тема 3. Начальные сведения о свойствах твердого тела.

Атом водорода по Бору. Спектр электронов в твердом теле. Дефекты в твердом теле.

#### Тема 4. Взаимодействие излучения с веществом

Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Допущения модели взаимодействия частиц с веществом. Электронное торможение. Область малых скоростей. Область больших скоростей. Промежуточная область скоростей. Прохождение электронов, гамма-квантов и нейтронов через вещество. Пробеги частиц.

#### Тема 5. Теория атомных столкновений.

Приведенная масса. Движение в центральном поле. Рассеяние частиц. Потенциалы взаимодействия. Потенциал «твердых шаров». Кулоновский потенциал. Экранированные потенциалы. Пороговые энергии в каскадных моделях. Модель Кинчина–Пиза. Модель Линдхарда. Каскад в многоатомных веществах. Каналирование. Фокусированные столкновения. Групповые дефекты, тепловой клин, клин смещения.

Тема 6. Первичные процессы в материалах при воздействии ионизирующих излучений

Пороговая энергия образования электронно-дырочных пар. Экспериментальные методы определения энергии образования электронно-дырочной пары. Определение пороговой энергии смещения атомов. Определение числа смещенных атомов. Расчет дозы и скорости генерации дефектов при воздействии нейтронного, протонного, электронного и гамма-излучений.

#### Тема 7. Эволюция радиационных дефектов

Подвижность дефектов. Отжиг дефектов. Определение параметров отжига. Изотермический отжиг. Изохронный отжиг. Диффузия дефектов.

#### Тема 8. Влияние облучения на макроскопические свойства материалов

Изменения механических свойств материалов. Изменения электрических свойств металлов, полупроводников, диэлектриков. Изменения теплофизических и оптических свойств материалов.

#### Тема 9 Радиационные технологии

Радиационная полимеризация. Нейтронное трансмутационное легирование полупроводников. Высокодозная имплантация ионов в полупроводники. Ионное легирование полупроводников и металлов. Основы радиационной медицины.

#### Тема 10. Радиационные эффекты в изделиях полупроводниковой электроники

Доминирующие радиационные эффекты в изделиях полупроводниковой электроники. Эффекты, обусловленные ионизацией. Радиационные эффекты, связанные со структурными повреждениями полупроводника.

#### Тема 11. Одиночные радиационные эффекты

Одиночные радиационные эффекты в современных интегральных микросхемах. Классификация одиночных радиационных эффектов. Одиночные радиационные эффекты в условиях космического пространства.

## **5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

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

1. Лекции 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 14.03.02 «Ядерная 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 контролирующую 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 ответов контрольные вопросы. Рубежный контроль проводится в виде двух письменных контрольных работ и трех самостоятельных работ. Зачет проводится в классической форме, по билетам.

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

а) основная литература:

1. Бондаренко, Г. Г. Радиационная физика, структура и прочность твердых тел: учебное пособие / Г. Г. Бондаренко. — 2-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 465 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151492>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

1. Сарина, М. П. Физика твердого тела: учебное пособие / М. П. Сарина. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 107 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118467>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **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), оснащенная 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 «Ядерная физика и технологии», утвержденного Ученым советом НИЯУ МИФИ 31.05.2018 г., протокол №18/03

Автор: канд. физ.- мат. наук О.В. Ткачев

Рецензент \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании спецкафедры «Ядерная физика и технологии»  
\_\_\_\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_.