

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

**Саровский физико-технический институт -**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физико-технического  
факультета СарФТИНИЯУ МИФИ

\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев  
«...» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Радиационные эффекты в элементной базе и материалах**

Направление подготовки (специальность) **03.04.01 Прикладные математика и физика**

Профиль подготовки **Физика фундаментальных взаимодействий**

Квалификация (степень) выпускника **магистр**

(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения **очная**

(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Автор \_\_\_\_\_ к.ф.-м. н.С.А. Лазарев

Рецензент \_\_\_\_\_ д.ф.-м. н. А.В. Грунин

**Согласовано:**

Зав. кафедрой ЯРФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ (актуализирован  
Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2023 г)

Программа одобрена

на заседании кафедры Ядерной и радиационной физики  
от 31.08.23 (протокол №2).

г. Саров, 2023 г.

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

*1.1 Цель изучения дисциплины* – формирование у будущих специалистов современного представления о радиационных эффектах в элементной базе и материалах при воздействии ионизирующих излучений естественного и искусственного происхождения, влияющих на функционирование электронной аппаратуры. Кратко ознакомить студентов с современными методами исследований радиационных эффектов в материалах электронной техники, электронной компонентной базе (ЭКБ), нормативной базой и методами радиационных испытаний.

*1.2 Задачидисциплины:*

- изучение основных понятий и радиационных эффектов;
- изучение методов исследований радиационных эффектов и измерений характеристик полей излучений;
- изучение нормативной базы и методов проведения радиационных испытаний;
- научиться применять полученные знания в практической деятельности.

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

«Радиационные эффекты в элементной базе и материалах» читается студентам на 2 курсе обучения (3 семестр).

«Радиационные эффекты в элементной базе и материалах» - учебный курс, призванный дать необходимый объем знаний о радиационных эффектах в материалах электронной техники, ЭКБ и приборах, методах их исследования, нормативной базе и методах проведения радиационных испытаний. Изучение курса основано на базе дисциплин «Физика атомного ядра и элементарных частиц», «Физика твердого тела», «Электроника» и является их продолжением.

## **3 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИЮ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

В совокупности с другими дисциплинами курс «Радиационные эффекты в элементной базе и материалах» направлен на формирование следующих профессиональных компетенций магистра:

ПК-1– способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств;

ПК-11 – способен разрабатывать методики исследований, планировать экспериментальные и теоретические работы, формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя;

ПК-13.1– способен к обеспечению безопасности при проведении работ на ядерно-физических и электрофизических установках, с делящимися материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами;

ПК-13.2 – способен к проведению испытаний согласно техническим требованиям, анализу характеристик испытываемого изделия, а также к подготовке аналитической документации испытаний.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:**

– З-ПК-1 основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств.

– З-ПК-11 основные методики, цели и задачи научно-прикладных проектов, разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач.

– З-ПК-13.1 федеральные нормы и правила, отраслевые нормативные документы по ядерной и радиационной безопасности, электробезопасности и охране труда при эксплуатации исследовательских ядерных и электрофизических установок – источников излучения, высоковольтного и измерительного оборудования; технические характеристики установок и оборудования; технологические регламенты безопасной эксплуатации установок и оборудования

– З-ПК-13.2 Метрологию, стандартизацию и сертификацию в атомной отрасли, методы и средства автоматизации выполнения испытаний; порядок разработки и оформления технологической, методической документации для подготовки и проведения испытаний, отчетной документации по результатам выполненных исследований

**В том числе:**

– основные понятия и характеристики полей излучений и методы их измерений;

– основные виды радиационных эффектов в материалах электронной техники и ЭКБ;

– методы исследований радиационных эффектов в материалах электронной техники и электронной компонентной базе;

– представления о современном уровне развития и проблемах радиационных исследований.

**Уметь:**

– У-ПК-1 ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива

– У-ПК-11 формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя.

– У-ПК-13.1 анализировать научно-техническую информацию по теме исследований, в том числе для организации контроля за техническим состоянием установок и оборудования; средств измерений, контроля, управления и автоматики, обеспечивающих безопасную эксплуатацию установок и стендов

– У-ПК-13.2 оценивать научно-технический уровень достигнутых результатов

**В том числе:**

– проводить оценку уровней требуемого радиационного воздействия при проведении радиационных исследований;

– анализировать результаты радиационных исследований и испытаний;

– пользоваться нормативной документацией.

**Владеть:**

В-ПК-1 Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.

В-ПК-11 Владеть навыками разработки теоретических моделей решаемых задач.

В-ПК-13.1 навыками разработки планов перспективных исследований по инновационным ядерным технологиям и мероприятий по обеспечению ядерной безопасности планируемых работ

В-ПК-13.2 навыками анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок, включая разработку методик выполнения измерений, испытаний и контроля работоспособности основных подсистем и узлов испытательного оборудования и применяемых средств измерений; а также анализ результатов, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания)

**В том числе:**

- современными методами организации и проведения радиационных исследований и испытаний;
- современной терминологией в области радиационных исследований и испытаний;
- навыками самостоятельной работы, самоорганизации и организации выполнения заданий.

#### 4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 2 ЗЕТ, из них: 16 ч - лекции, 32ч - практика (в том числе, 30 часов в интерактивной форме (ИФ)).

##### 4.1 СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный балл за раздел
		Лекции, час	Практ. занятия/ семинары, час	Самостоятельная работа.			
Тема 1. Ионизирующие излучения. Характеристики полей и методы измерений	1	2	2		УО	экзамен	
Тема 2. Источники ионизирующих излучений	2		2 (ИФ)		семинар по теме 2 дискуссия	экзамен	
Тема 3. Воздействие ионизирующих излучений на материалы и приборы, методы измерений	3	2	2(ИФ)		доклад с презентацией, дискуссия	экзамен	5
<b>Дискуссия по теме:</b> Физические процессы при взаимодействии ионизирующих излучений с материалами электронной техники	4		2(ИФ)		дискуссия		5
Тема 4. Обзор радиационных эффектов в ЭКБ и приборах	5		2 (ИФ)		доклад с презентацией, дискуссия	экзамен	

Тема 5. Радиационные эффекты в диодах и биполярных транзисторах	6	2	2(ИФ)		семинар по теме 5, дискуссия	экзамен	
<b>Дискуссия по теме:</b> Объемные и поверхностные радиационные эффекты.	7		2(ИФ)		дискуссия		5
Тема 6. Особенности радиационных эффектов в биполярных приборах при воздействии низкоинтенсивного излучения	8	2	2(ИФ)		семинар по теме 6, дискуссия	экзамен	
<b>Дискуссия по теме:</b> Накопление и релаксация зарядов в структуре Si/SiO <sub>2</sub> при радиационном воздействии.	9		2(ИФ)		дискуссия		5
Тема 7. Радиационные эффекты в МОП-транзисторах	10	2	2(ИФ)		семинар по теме 7, дискуссия	экзамен	
<b>Дискуссия по теме:</b> Физические модели эффектов низкоинтенсивного облучения биполярных приборов и микросхем.	11		2(ИФ)		дискуссия		5
Тема 8. Одиночные события в БИС при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства	12	2	2(ИФ)		доклад с презентацией, дискуссия	экзамен	5
Тема 9. Радиационные эффекты в оптических материалах и изделиях оптоэлектроники	13		2(ИФ)		семинар по теме 9, дискуссия	экзамен	
Ионизационные и структурные эффекты в ПЗС ИМС	14		2(ИФ)		доклад с презентацией, дискуссия		5
Тема 10. Компьютерные методы моделирования радиационного воздействия на материалы и приборы	15		2(ИФ)		семинар по теме 10, дискуссия	экзамен	
Тема 11. Методы радиационных испытаний	16	2	2(ИФ)		доклад с презентацией, дискуссия	экзамен	5
Установки для проведения испытаний	16	2			доклад с презентацией	экзамен	5

<b>Работа в семестре:</b>							
посещаемость							5
Дискуссии (4)							20
Доклады с презентацией (5)+ дискуссии							25
<b>Экзамен</b>							50
Итоги за семестр		16	32				100

## 4.2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### **1. Ионизирующие излучения. Характеристики полей и методы измерений**

Основные типы ионизирующих излучений. Радиометрические и дозиметрические величины и единицы.

### **2. Источники ионизирующих излучений**

Естественная радиоактивность. Излучения в окружающей среде. Излучения космического пространства. Искусственная радиоактивность. Промышленные источники ионизирующих излучений. Ядерные реакторы и ускорители. Источники импульсного излучения.

### **3. Физические процессы при взаимодействии ионизирующих излучений с материалами электронной техники**

Ионизация возбуждение атомов заряженными частицами. Тормозное излучение. Взаимодействие фотонного и нейтронного излучения с материалами.

### **4. Обзор радиационных эффектов в ЭКБ и приборах**

Структурные дефекты в материалах. Ионизационные эффекты. Эффекты воздействия высокоинтенсивного излучения. Эффекты низкой интенсивности и одиночных сбоев.

### **5. Радиационные эффекты в диодах и биполярных транзисторах**

Влияние излучений на характеристики приборов. Влияние облучения на свойства полупроводников. Объемные и поверхностные радиационные эффекты. Радиационные эффекты в ИМС биполярной технологии.

### **6. Особенности радиационных эффектов в биполярных приборах при воздействии низкоинтенсивного излучения**

Влияние интенсивности излучения на радиационный отклик биполярных транзисторов. Влияние интенсивности излучения на радиационный отклик биполярных интегральных схем. Физические модели эффектов низкоинтенсивного облучения биполярных приборов и микросхем.

### **7. Радиационные эффекты в МОП-транзисторах**

Особенности строения структуры Si/SiO<sub>2</sub>. Методы исследования заряда в оксиде и плотности поверхностных состояний. Накопление и релаксация зарядов в структуре Si/SiO<sub>2</sub> при радиационном воздействии. Модели переноса заряда. Влияние излучений на характеристики МОП-транзистора. Радиационные эффекты в КМОП ИМС.

#### **8. Одиночные события в БИС при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства**

Основные виды и классификация одиночных событий. Физические процессы, приводящие к возникновению одиночных событий. Экспериментальные методы исследований чувствительности изделий полупроводниковой электроники к одиночным событиям при воздействии тяжелых заряженных частиц, протонов и нейтронов.

#### **9. Радиационные эффекты в оптических материалах и изделиях оптоэлектроники**

Радиационные эффекты в оптических материалах и волоконно-оптических линиях. Радиационные характеристики дискретных оптоэлектронных приборов. Ионизационные и структурные эффекты в ПЗС ИМС.

#### **10. Компьютерные методы моделирования радиационного воздействия на материалы и приборы**

Существующие методы решения задач переноса ионизирующего излучения. Программы метода Монте-Карло. Упрощенные методы расчетов. Расчет локальных доз в элементах конструкции ЭКБ и приборов.

#### **11. Методы радиационных испытаний**

Место испытаний в процессе разработки ИЭТ. Виды испытаний. Методы испытаний ИЭТ для определения показателей стойкости к ВВФ. Установки для проведения испытаний и их характеристики. Имитационные методы испытаний. Ускоренные испытания.

### **4.3 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля
2	<b>Тема 2.</b> Источники ионизирующих излучений	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
3	<b>Тема 3.</b> Воздействие ионизирующих излучений на материалы и приборы, методы измерений	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
4	<b>Тема</b> Физические процессы при взаимодействии ионизирующих излучений с материалами электронной техники	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
5	<b>Тема 4.</b> Обзор радиационных эффектов в ЭКБ и приборах	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
6	<b>Тема 5.</b> Радиационные эффекты в диодах и биполярных транзисторах	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
7	<b>Тема :</b> Влияние излучений на характеристики приборов. Объемные и поверхностные радиационные эффекты.	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
8	<b>Тема 6.</b> Особенности радиационных эффектов в	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов

	биполярных приборах при воздействии низкоинтенсивного излучения			
9	<b>Тема:</b> Накопление и релаксация зарядов в структуре Si/SiO <sub>2</sub> при радиационном воздействии.	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
10	Тема 7. Радиационные эффекты в МОП-транзисторах	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
11	<b>Тема :</b> Физические модели эффектов низкоинтенсивного облучения биполярных приборов и микросхем.	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
12	<b>Тема 8.</b> Одиночные события в БИС при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
13	<b>Тема 9.</b> Радиационные эффекты в оптических материалах и изделиях оптоэлектроники	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
14	Ионизационные и структурные эффекты в ПЗС ИМС	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
15	<b>Тема 10.</b> Компьютерные методы моделирования радиационного воздействия на материалы и приборы	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
16	Тема 11. Методы радиационных испытаний	Дискуссия	2	Оценка активности участия студентов
ИТОГО часов			30	

## 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

### 5.1 ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
- изучение литературы и подготовка к семинарским занятиям;
- подготовка презентаций;
- ответы на вопросы для обсуждения;
- подготовка к экзамену.

### 5.2. ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

В течение семестра каждый студент может сделать 5 докладов с презентацией по предлагаемым преподавателем темам либо предложить тему самостоятельно в рамках читаемого курса. Максимально за каждый доклад можно получить 5 баллов.

#### Темы

1. Характеристики ИИ в околоземном космическом пространстве
2. Характеристики ИИ ускорителей электронов
3. Взаимодействие фотонного и нейтронного излучения с материалами

4. Объемные и поверхностные радиационные эффекты
5. Влияние интенсивности излучения на радиационный отклик биполярных транзисторов
6. Накопление и релаксация зарядов в структуре Si/SiO<sub>2</sub> при радиационном воздействии
7. Экспериментальные методы исследований чувствительности изделий полупроводниковой электроники к одиночным событиям при воздействии протонов и нейтронов
8. Возможности программы SRIM (TRIM)
9. Расчет локальных доз в элементах конструкции ЭКБ и приборов
10. Координатные детекторы заряженных частиц
11. Радиационные эффекты в оптоволоконных линиях
12. Ионизационные и структурные эффекты в ПЗС ИМС
13. Классификация одиночных событий при воздействии ТЗЧ
14. Виды испытаний
15. Установки для проведения испытаний и их характеристики
16. Использование лазерных имитаторов

### 5.3 ФОРМЫ КОНТРОЛЯ

Оценка докладов и презентаций.

## 6. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Текущий и итоговый контроль знаний студентов:*

- посещаемость лекций и семинарских занятий,
- активность на всех видах занятий,
- подготовка докладов,
- участие в дискуссиях;
- сдача экзамена.

### 6.1. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

- 6.1.1. Виды ионизирующих излучений.
- 6.1.2. Основные эффекты воздействия ионизирующих излучений на ЭКБ и РЭА.
- 6.1.3. Объяснить отличие дозы и удельной переданной энергии.
- 6.1.4. Радиометрические характеристики полей ионизирующих излучений.
- 6.1.5. Основные характеристики полупроводникового диода.
- 6.1.6. Зависимость времени жизни от флюенса нейтронного излучения.
- 6.1.7. Источники ионизирующих излучений.
- 6.1.8. Характеристики и схемы включения биполярного транзистора.
- 6.1.9. Эффект низкой интенсивности.
- 6.1.10. Свойства полупроводниковых материалов.
- 6.1.11. Основные процессы взаимодействия ионизирующего излучения с Si.
- 6.1.12. Основные характеристики галактических космических лучей.

- 6.1.13. Виды одиночных радиационных эффектов.
- 6.1.14. Характеристики и схемы включения полевого транзистора.
- 6.1.15. Объяснить отличие дозы и экспозиционной дозы.
- 6.1.16. Радиационные эффекты в полупроводниковых диодах и биполярных транзисторах.
- 6.1.17. Характеристики радиационных поясов Земли.
- 6.1.18. Радиационные эффекты в оптических материалах.
- 6.1.19. Радиационные эффекты в МОП транзисторах.
- 6.1.20. Характеристики солнечных космических лучей.
- 6.1.21. Чем отличаются моделирующие и имитационные установки.

## 6.2. УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса.

Формой промежуточной аттестации является экзамен, который проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билетов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- оценки за работу в семестре;
- оценки знаний в ходе экзамена.

Ориентировочное распределение баллов по видам работы:

1. Работа в семестре – 50 баллов
  2. Экзамен – 50 баллов
- Итого – 100 баллов

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом

Количество баллов	Оценка (ECTS)	
90 - 100	A	"Отлично" – содержание курса освоено полностью, без пробелов; практические навыки работы сформированы; все учебные задания выполнены с высоким баллом
85 - 89	B	"Очень хорошо" – содержание курса освоено полностью; практические навыки работы в основном сформированы; все учебные задания выполнены с высоким баллом
75 - 84	C	"Хорошо" – содержание курса освоено полностью, без пробелов; некоторые практические навыки работы сформированы недостаточно; все учебные задания выполнены с качеством, которое не оценивалось минимальным количеством баллов; некоторые задания выполнены с ошибками
65 - 74	D	"Удовлетворительно" - содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера; необходимые практические навыки работы в основном сформированы; большинство учебных заданий выполнено, но с ошибками
60 - 64	E	"Посредственно" - содержание курса освоено частично; многие задания не выполнены или их качество оценено минимальным количеством баллов
Ниже 60	F	"Неудовлетворительно" – очень слабые знания, недостаточные для понимания курса

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (разбор конкретных задач, дискуссия по проблемным вопросам и др.) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, готовятся к тестированию, готовят рефераты и доклады. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

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

### **8.1 Основная литература**

1. Модель Космоса: Научно-информационное издание. В 2 т. / Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова. Т.1-2. Модели космоса. – Москва: КДУ, 2007.
2. Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. - Москва: Энергоатомиздат, 1988.
3. Вологдин Э.Н., Лысенко А.П. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах и методы испытаний изделий полупроводниковой электроники на радиационную стойкость. Учебное пособие.- Москва: МГИЭМ, 2002. – 46с..
4. Чумаков А.И. Действие космической радиации на интегральные схемы. - Москва: Радио и связь, 2004.
5. Никифоров А.Ю., Телец В.А., Чумаков А.И. Радиационные эффекты в КМОП ИС. - Москва: Радио и связь, 1994.
6. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. Под общей редакцией Б.М.Калина - Том 1. Физика твердого тела /Г.Н. Елманов, А.Г.Залужный, В.И. Скрытний, Е.А. Смирнов, Ю.А. Перлович, В.Н. Яльцев – М.:НИЯУ МИФИ, 2012.- 764 с.

### **8.2 Дополнительная литература:**

1. Лисицын В.М. Радиационная физика твердого тела. Учебное пособие.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. -170 с.
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Ч. 1. - Москва: Атомиздат, 1974.– 616с..
3. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. - Москва: Атомиздат, 1979. -304 с.
4. Хесс В. Радиационный пояс Земли и магнитосфера. Пер с англ. – Москва: Атомиздат, 1972. – 352с.
5. Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. - Москва: Атомиздат, 1969..
6. Инструмент моделирования условий космического пространства <http://www.trad.fr/OMERE,107.html>.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ)**

Изучение дисциплины " Радиационные эффекты в элементной базе и материалах " предполагает освоение материалов лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения семинарских занятий, подготовки рефератов и докладов. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в разделе 7 рабочей программы " Радиационные эффекты в элементной базе и материалах ". По каждой из тем следует сначала прочитать конспект и рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в изучаемой теме.

Одной из задач преподавателя является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для их дальнейшей работы по специальности. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от факторов, влияющих на организацию учебного процесса,
- активное участие студентов в учебном процессе,
- проведение практических занятий, позволяющих приобрести навыки решения конкретных задач,
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала для использования в анализе свойств конкретных объектов, методов измерений.

Используемые методы преподавания: лекционные занятия, индивидуальные и групповые задания при проведении практических занятий.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекций и рекомендованной литературы используются студентами для подготовки к семинарским занятиям.

Целью семинарского занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия.

Целью решения задач является выработка практических навыков по использованию теоретических знаний.

РП составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика»

## **Лист регистрации изменений**

### Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номера листов			Основание	для внесения	изменений	Подпись	Расшифровка
	замененных	новых	аннулированных					
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								