

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

президиумом

Ученого совета ННГУ

протокол от

«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Введение в радиационную физику твердого
тела

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 год

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Введение в радиационную физику твердого тела» относится к дисциплинам по выбору вариативной части (блок Б1.В) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина преподаётся в 8-м семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- приобретение совокупности знаний о радиационных технологиях, применяемых в процессе производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
- приобретение совокупности знаний о поведении изделий микроэлектроники в условия радиационных воздействий различной физической природы (космического пространства, ядерных энергетических установок и импульсных источников ионизирующего излучения).

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-1</i> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (этап освоения - завершающий)	<i>З1 (ПК-1) Знать</i> основные принципы взаимодействия корпускулярных и фотонных излучений с полупроводниками. <i>У1 (ПК-1) Уметь</i> рационально выбирать методы физико-технологического и физико-топологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники. <i>В1 (ПК-1) Владеть</i> навыком анализа изменений параметров изделий микроэлектроники, подвергнутых воздействию радиации.
<i>ПК-2</i> способность использовать основные методы радиофизических измерений (этап освоения - завершающий)	<i>З1 (ПК-2) Знать</i> основные механизмы образования дефектов в твердых телах. <i>У1 (ПК-2) Уметь</i> выбирать методы исследования радиационных дефектов. <i>В1 (ПК-2) Владеть</i> навыком оценки влияния дефектов на электрофизические характеристики полупроводниковых приборов.
<i>ПК-3</i> владение компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий (этап освоения - завершающий)	<i>З1 (ПК-3) Знать</i> основные способы обработки данных на компьютере. <i>У1 (ПК-3) Уметь</i> выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную аппаратуру. <i>В1 (ПК-3) Владеть</i> навыком моделирования изделий микроэлектроники физико-технологическим и физико-топологическим методами.

3. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 23 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (0 часов занятия лекционного типа, 22 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов групповые консультации, 0 часов индивидуальные консультации, 0 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 мероприятия промежуточной аттестации), 49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе															Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы																	
				из них																	
	Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Консультации			Всего								
Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная				
1. Введение в радиационную физику твердого тела и радиационные технологии электроники.	10					3							3			7					
2.Взаимодействи е корпускулярного и фотонного излучений с веществом.	10					3							3			7					
3.Образование дефектов в твердых телах.	10					3							3			7					
4.Ионная имплантация. Импульсный отжиг.	10					3							3			7					
5.Методы физико-технологическог о и физико-топологического	10					3							3			7					

моделирования изделий микроэлектроники.																			
6.Особенности проведения радиационных испытаний.	10					3							3				10		
7.Возможности применения малых электрофизических установок для проведения предварительной отбраковки полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	8					4							4				4		
Промежуточная аттестация: зачет																			

4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических занятий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях практического типа:

- проблемное изложение учебного материала.
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

5.1 Темы занятий, по которым дается домашнее задание

1. Взаимодействие нейтронов с веществом
2. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом
3. Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом
4. Взаимодействие квантов высоких энергий с веществом
5. Энергетический спектр некоторых радиационных дефектов
6. Влияние дефектов на электрофизические характеристики полупроводниковых приборов
7. Метод обратного рассеяния легких частиц как способ определения профиля внедренной примеси
8. Высокопроизводительные параллельные вычисления в задачах физико-

технологического и физико-топологического моделирования изделий микроэлектроники.

9. Влияние разброса электрических характеристик дискретных полупроводниковых приборов на порог катастрофического отказа при воздействии ионизирующих излучений

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

5.2 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Взаимодействие корпускулярного и фотонного излучений с веществом
2. Радиационная среда и ее основные характеристики.
3. Методы исследования радиационных дефектов.
4. Пробег ионов. Распределение примесных атомов после процесса внедрения.
5. Особенности диффузии примесей при лазерном отжиге.
6. Отжиг точечных дефектов и слабо разупорядоченных слоев.
7. Особенности поведения неосновных носителей заряда. Геттерирование.
8. Метод обратного рассеяния легких частиц как способ определения профиля внедренной примеси.
9. Понятие физико-технологического моделирования изделий микроэлектроники
10. Анализ данных о механизме воздействия радиационных факторов на свойства изделий электронной техники.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-1 способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
Знания Знать основные принципы взаимодействия корпускулярных и фотонных излучений с полупроводниками	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей

.							
<u>Умения</u> Уметь рационально выбирать методы физико-технологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники.	Отсутствует умение рационально выбирать методы физико-технологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники	Наличие грубых ошибок при выборе методов физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники	Способность выбрать методы физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники с существенными ошибками	Способность выбрать методы физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники с незначительными погрешностями	Способность выбрать методы физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники без ошибок и погрешностей	Способность выбрать методы физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники	Способность выбрать методы физикотехнологического и физикотопологического моделирования для конкретных изделий микроэлектроники и других приборов
<u>Навыки</u> Владеть навыком анализа изменений параметров изделий микроэлектроники, подвергнутых воздействию радиации.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполнен	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ных контроль ных заданий							
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

ПК-2 способность использовать основные методы радиофизических измерений

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные механизмы образования дефектов в твердых телах.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь выбирать методы исследования радиационных дефектов	Отсутствует способность выбирать методы исследования радиационных дефектов	Наличие грубых ошибок при выборе методов исследования радиационных дефектов	Способность выбирать методы исследования радиационных дефектов с существенными ошибками	Способность выбирать методы исследования радиационных дефектов с незначительными погрешностями	Способность выбирать методы исследования радиационных дефектов в почти без ошибок и погрешностей	Способность выбирать методы исследования радиационных дефектов	Способность выбирать методы исследования радиационных дефектов и методы исследования других дефектов
<u>Навыки</u> Владеть навыком оценки влияния дефектов на электрофизические характеристики полупроводников	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

одниковы х приборов							
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-3 владение компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные способы обработки данных на компьютере.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную аппаратуру	Отсутствует способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную	Наличие грубых ошибок при выборе подходящего программного обеспечения для моделирования радиационного воздействия на специальную	Способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную аппаратуру	Способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную аппаратуру	Способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную	Способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную	Способность выбирать подходящее программное обеспечение для моделирования радиационного воздействия на специальную

ру.	ную аппаратур у.	ьную аппарат уру.	у с существе нными ошибками	у с незначите льными погрешно стями	аппарат уру почти без ошибок и погрешн остей	аппарат уру.	аппарат уру и методы исследо вания других дефекто в
<u>Навыки</u> Владеть навыком моделиро вания изделий микроэле ктроники физико- технолог ическим и физико- топологи ческим методами .	Полное отсутстви е навыка	Отсутст вие навыка	Владение навыком в минималь ном объёме	Посредст венное владение навыком	Достато чное владени е навыком	Хороше е владени е навыком	Всестор оннее владени е навыко м
Шкала оценок по проценту правильн о выполнен ных контроль ных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Описание шкал оценивания.

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета с оценкой, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики

курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть предусматривает решение задачи.

Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на занятиях.</p> <p>100 %-ное выполнение контрольных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.</p> <p>Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Студент посещал занятия.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 50 до 70%.</p>

Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных заданий до 50%.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы. Выполнение контрольных заданий менее 20 %.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные и письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются: устный опрос, решение практических задач.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Вопросы для оценки сформированности компетенций ОПК-3, ПК-2

1. Радиационная среда и ее основные характеристики.
2. Общие положения. Трансформация излучений. Взаимодействие нейтронов с веществом. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом.
3. Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом. Взаимодействие квантов высоких энергий с веществом.
4. Пороговая энергия образования точечных дефектов. Пары Френкеля.
5. Методы исследования радиационных дефектов. Энергетический спектр некоторых радиационных дефектов. Влияние дефектов на электрофизические характеристики полупроводниковых приборов.
6. Ионное легирование полупроводников. Общие положения. Оборудование для проведения процесса ионной имплантации.
7. Пробег ионов. Распределение примесных атомов после процесса внедрения. Образование радиационных дефектов при внедрении атомов примеси.
8. Импульсный отжиг. Особенности диффузии примесей при лазерном отжиге. Отжиг точечных дефектов и слабо разупорядоченных слоев. Создание мелких переходов.
9. Электрические свойства ионно-легированных полупроводников. Особенности поведения неосновных носителей заряда. Геттерирование. Метод обратного рассеяния легких частиц как способ определения профиля внедренной примеси.

10. Методология комплексных исследований и радиационных испытаний. Анализ данных о механизме воздействия радиационных факторов на свойства изделий электронной техники.
11. Организация и проведение радиационных испытаний. Анализ экспериментальных результатов.
12. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах.
13. Влияние разброса электрических характеристик полупроводниковых приборов на пробой при воздействии экстремальных факторов.

Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ОПК-3, ПК-2

1. Тонкий (толщиной менее 1 мм) кремниевый образец n-типа облучается потоком гамма-квантов с энергией 1 МэВ. В некоторый момент времени облучение прекращается. Найти зависимость концентрации дырок в объеме образца от времени.
2. Тонкий (толщиной менее 1 мм) кремниевый образец n-типа облучается потоком гамма-квантов с энергией 1 МэВ. Учитывая явление поверхностной рекомбинации, найти распределение концентрации дырок в объеме образца.
3. Кремниевый образец n-типа освещается ультрафиолетовым излучением в стационарном режиме. Найти пространственное распределение концентрации дырок в объеме образца.
4. Кремниевый образец n-типа подвергается воздействию короткого пространственно-локализованного лазерного импульса (длительность импульса лазера существенно короче времени жизни неосновных носителей заряда, ширина пучка излучения существенно меньше диффузионной длины неосновных носителей заряда). Найти пространственно-временное распределение концентрации дырок в образце.
5. Ионный пучок с величиной тока 10 мкА имеет полуугловое расхождение 10° после прохождения квадратной апертурной диафрагмы 8×8 см, расположенной на расстоянии 6 см от мишени. Используя амперметр, определите время процесса, необходимое для ионной имплантации с дозой 10^{13} см^{-2} : а) для однократно ионизованных одноатомных частиц; б) для трижды ионизованных двухатомных частиц.
6. Величина тока ионного пучка ускорителя составляет 10 мкА. Расстояние между отклоняющими пластинами равно 2 см, на них подается пилообразное напряжение развертки величиной 2 кВ. Энергия имплантируемых ионов мышьяка 10 кэВ. Оцените: а) какова величина снижения напряженности электрического поля в центре пучка; б) может ли эта установка быть перенастроена на величину тока пучка ионов 1 мА без изменения ее размеров.
7. Рассчитайте величины поверхностного сопротивления кремниевых структур, полученных имплантацией As и BF_2 с энергией 30 кэВ и дозой 10^{15} см^{-2} , с учетом предположения о полной активности примеси, внедренной в соответствии с неразмытым профилем распределения Гаусса. Профиль может быть аппроксимирован участками постоянной концентрации и подвижности.
8. Постройте профили вертикального и бокового легирования при $x = R_p$ для дозы имплантации 10^{15} см^{-2} с энергией 60 кэВ. Используйте, соответственно гауссово распределение и распределение дополнительной функции ошибок с учетом резкости края маски большой толщины в вертикальном направлении.
9. Покажите, что глубина перехода в вертикальном направлении определяется соотношением $x_j = R_p + \Delta R_p \sqrt{2 \ln \left(\frac{\phi}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p n_B} \right)}$, где n_B – фоновая концентрация легирующей примеси.

10. Постройте профили распределения легирующей примеси (доза имплантации 10^{15} см^{-2} с энергией 60 кэВ) в вертикальном направлении для отжига течение 30 минут при температуре 850 и 1000 °С, используя коэффициенты диффузии примеси $5 \times 10^{-16} \text{ см}^2/\text{с}$ и $8 \times 10^{-15} \text{ см}^2/\text{с}$.
11. Покажите, что маска толщиной d обладает коэффициентом пропускания $T = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d - R_p}{\sqrt{2\Delta R_p}} \right)$. Какова должна быть толщина аморфной поликремниевой маски, чтобы коэффициент пропускания был равен 10^{-4} для ионов бора с энергией 150 кэВ?
12. Анализ методом просвечивающей электронной микроскопии показывает, что дефектная область, формируемая одиночным ионом, имеет диаметр 3 нм. Используя значения длины пробега и линейных потерь энергии для ионов мышьяка с энергией 30 кэВ, докажите, что дефектная область траектории иона является аморфным слоем.
13. Найдите решение для интеграла рассеяния
$$\theta = \pi - 2p \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r^2 \sqrt{1 - \frac{V(r)}{E_c} - \frac{p^2}{r^2}}}$$
 для отталкивающего кулоновского потенциала $V(r) = \frac{C}{r}$, $C > 0$ и рассчитайте дифференциальное сечение рассеяния.
14. Найдите решение для интеграла рассеяния и рассчитайте сечение рассеяния для потенциала в приближении «жесткой сердцевины» $V(r) = \begin{cases} \infty & r < r_0 \\ 0 & r > r_0 \end{cases}$. Какой физический смысл имеет полученное решение?
15. Рассчитайте энергию, передаваемую в среднем атомам бора, кремния и мышьяка, при их упругом взаимодействии с нейтроном с энергией 1 МэВ и их линейные потери энергии на начальном участке траектории. Как будут меняться линейные потери энергии указанных атомов в процессе движения в среде?

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. «Физика полупроводниковых приборов» Наука, М., 1977

б) дополнительная литература

1. Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С. Действие излучений на полупроводники. – М.: Наука, 1988. – 192 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционный зал, аудитории для практических занятий в группах.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению (профилю), специальности (специализации) радиофизика

Автор Пузанов А.С.

Рецензент Осипов Г.В.

Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.