

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Основы радиопотоники

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

11.03.04 - Электроника и наноэлектроника

---

Направленность образовательной программы

Радиопотоника и оптоэлектроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2021 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.14 Основы радиофотоники относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	<p>ПК-1.1: Знает фундаментальные явления и процессы, лежащие в основе работы приборов, схем и устройств электроники, приборов оптических систем связи и СВЧ диапазона.</p> <p>ПК-1.2: Имеет фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов, схем и устройств электроники, оптических систем связи, СВЧ электроники для конструирования радиофотонных блоков.</p> <p>ПК-1.3: Владеет навыками анализа и расчета физических явлений и процессов, лежащих в основе работы приборов, схем и устройств оптических систем связи, СВЧ электроники для конструирования радиофотонных блоков.</p>	<p>ПК-1.1: ЗНАТЬ: современные тенденции развития устройств электроники СВЧ, оптических систем связи, информационных технологий для создания радиофотонных схем.</p> <p>ПК-1.2: УМЕТЬ: Учитывать современные тенденции развития приборов электроники СВЧ, оптических систем связи, информационных технологий.</p> <p>ПК-1.3: ВЛАДЕТЬ: навыками использования теоретических основ и базовых разделов развития электроники, приборов электроники СВЧ, оптических систем связи, информационных технологий.</p>	Допуск к лабораторной работе Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

ПК-7: Способность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	<p>ПК-7.1: Знает принципы конструирования отдельных блоков устройств оптических систем связи и СВЧ электронных приборов с использованием средств автоматизации проектирования</p> <p>ПК-7.2: Умеет проводить оценочные расчеты характеристик приборов оптических систем связи, СВЧ электронных устройств с использованием средств автоматизации проектирования.</p> <p>ПК-7.3: Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных радиофотонных схем с использованием средств автоматизации проектирования</p>	<p>ПК-7.1: Знать принципы конструирования отдельных блоков радиофотонных схем с использованием средств автоматизации проектирования</p> <p>ПК-7.2: Уметь конструировать отдельные радиофотонные узлы, состоящие из приборов оптических систем связи, СВЧ электронных устройств</p> <p>ПК-7.3: Владеть навыками конструирования отдельных радиофотонных узлов с использованием средств автоматизации проектирования</p>	Допуск к лабораторной работе Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы
--	--	--	---	---------------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>22</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного	Занятия семинарского	Всего	

		типа	типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы		
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Введение. Радиопотоника. как область, возникшая на стыке радиоэлектроники, волновой оптики, СВЧ-электроники и других отраслей науки и техники.	4	2	0	2	2
Тема 2. Особенности конструирования приборов и схем СВЧ электроники. Особенности сверхвысокочастотной электроники	4	2	0	2	2
Тема 3. Модуляция оптического излучения радиосигналом. Амплитудная, фазовая, частотная виды модуляции. Ортогональное частотное мультиплексирование.	12	4	4	8	4
Тема 4. Волноводные передающие линии. Линии с распределенными параметрами. Волновое сопротивление Полые волноводы и резонаторы, коаксиальные и диэлектрические волноводы, оптоволоконные линии передачи.	10	4	4	8	2
Тема 5.. Фотонные интегральные схемы. Полосковые и микрополосковые передающие линии.. Вопросы согласования.Квантовые наноструктуры для генерации и приема терагерцевых волн. Ге	6	4	0	4	2
Тема 6. Активные элементы радиопотонных схем. Лазеры, фотодетекторы, модуляторы, усилители, фазовращатели, переключатели	8	4	2	6	2
Тема 7. Пассивные элементы радиопотонных схем. Устройства ввода/вывода оптического излучения, разветвители и объединители, мультиплексоры/демультиплексоры, фильтры, линии задержки.	8	6	0	6	2
Тема 8. Методы анализа передающих линий радиопотонных схем.. Шумовые характеристики.	6	2	2	4	2
Тема 9. Основы радиолокации. Приемопередающие модули АФАР. Радиопотонные преобразователи частоты.	12	4	4	8	4
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	32	16	50	22

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Преобразование сигналов при амплитудной, частотной и фазовой модуляции./ Практикум / Сост. С.В. Хазанова, А.В. Нежданов, Д.Е. Николичев, Н.С. Волкова / Изд. Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, 2023 г.
2. Исследование входного сопротивления отрезка длинной линии./ Методическое руководство к лабораторной работе/ Сост. Демидов Е.С., Сдобняков В.В., Шабанов В.Н./ Нижний Новгород, Изд. Нижегородского госуниверситета, 2007 г.,19 с.
3. Исследование квантово-размерного эффекта Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом фотоэлектрической спектроскопии. /Описание лабораторной работы/ Сост. А.П. Горшков, И.А. Карпович / Изд. Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, 2006 г.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

*Лабораторная работа:* "Преобразование сигналов при амплитудной, частотной и фазовой модуляции"

## Вопросы

1. В чем состоит физическая необходимость модуляционных преобразований сигналов?
2. Какие параметры сигналов изменяются в процессах амплитудной, фазовой и частотной модуляции?
3. Что такое видеоимпульс, радиоимпульс?
4. Дать определение однотоновой модуляции, глубины модуляции, индекса модуляции?
5. Чем определяется выражение для распределения мощности в спектре однотонового АМ-сигнала?
6. В чем заключается различие спектральных характеристик сигналов, преобразованных с помощью амплитудной, частотной и фазовой модуляции?
7. Как выглядит АЧХ сигнала при амплитудной модуляции последовательностью прямоугольных импульсов?
8. Как выглядят спектральные характеристики частотно-модулированных сигналов при малом индексе модуляции ( $\beta \ll 1$ )?
9. Как изменяется спектр АМ, ЧМ и ФМ модулированного сигнала при изменении частоты гармонического модулирующего сигнала?
10. Чем определяется ширина спектра ЧМ модулированного сигнала?
11. Чем определяется ширина спектра АМ модулированного сигнала?
12. Как выглядят ASK, FSK, PSK сигналы?

*Лабораторная работа «Исследование входного сопротивления отрезка длинной линии»*

## Вопросы

1. Какие типы длинных линий вам известны?
2. В чем отличие терминов: “цепь с распределенными параметрами” и “цепь с сосредоточенными параметрами”?
3. Что представляет собой входное сопротивление длинной линии?
4. Объясните картину распределения амплитуды напряжения и тока в короткозамкнутой линии без потерь. Как изменяется картина при размыкании линии на конце?
5. Что представляет собой измерительная длинная линия? Как проводится измерение импеданса нагрузки линии?
6. Определить длину электромагнитной волны в измерительной линии, сопоставить с расчетом.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-7**

Лабораторная работа: "Исследование квантово-размерного эффекта Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом фотоэлектрической спектроскопии".

1. Что такое экситоны? Чем двумерные экситоны в КЯ квантовых ямах отличаются от экситонов в объемном материале?
2. От чего зависит энергетическое положение длинноволнового края и величина коэффициента поглощения КЯ?

3. Какие закономерности характеризуют эффект Штарка в КЯ?
4. Какой вид имеет зависимость Штарковского сдвига экситонного пика от напряженности поля в симметричной КЯ?
5. Особенности распределения потенциала и напряженности электрического поля в р-і-п диоде и на барьере Шоттки?
6. Каков механизм фоточувствительности при поглощении излучения в КЯ? При каких условиях спектр фоточувствительности повторяет спектр оптического поглощения?
7. В чем состоят достоинства и недостатки методов фотоэлектрической спектроскопии в р-і-п диоде и диодах с барьером металл(электролит)/полупроводник?
8. Опишите назначение элементов оптической схемы измерения спектральной зависимости фоточувствительности.
9. Какими методами можно рассчитать уровни размерного квантования в квантовых ямах конечной глубины?
10. От каких параметров квантовой ямы зависит положение уровней размерного квантования в одиночных квантовых ямах?
11. Как меняется положение уровней размерного квантования в туннельно-связанных квантовых ямах?

**Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	студент ответил на все вопросы допуска к лабораторной работе, правильно сделал предварительные расчеты для проведения эксперимента
не зачтено	студент не смог ответить на все вопросы допуска к лабораторной работе, неправильно сделал предварительные расчеты для проведения эксперимента

**5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

1. Основные типы линий передач СВЧ-сигналов.
2. Основные типы линий передач оптических систем связи.
3. Спектр амплитудно-модулированного сигнала для однотоновой модуляции.
4. Спектр частотной модуляции при малом индексе модуляции.
5. Понятие мультиплексирования каналов связи.
6. Коэффициент стоячей волны (КСВ) в режиме короткого замыкания и
7. Коэффициент стоячей волны в режиме холостого хода в длинной линии.
8. Определение КСВ в волноводе прямоугольного и круглого сечения.
9. Типы волн, распространяющихся в волноводах. Определение ТМ и ТЕ типов электромагнитных волн.
10. Зависимость фазовой скорости электромагнитной волны от частоты в вакуумном волноводе.

11. Понятие критической частоты и критической длины волны в волноводе.
12. Волновое сопротивление вакуумного прямоугольного волновода, коаксиального кабеля.
13. Понятие низшей моды волновода. Нахождение частоты основной моды прямоугольного волновода.
14. Понятие объемного резонатора. Нахождение спектра частот прямоугольного и цилиндрического объемных резонаторов.
15. Устройства ввода/вывода оптических сигналов.
16. Распределение поля электромагнитной волны в сечении полосковых и микрополосковых волноводов.

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-7**

1. Рассчитать профиль потенциала для квантовой ямы зоны проводимости гетероструктуры (параметр  $Q = 0.65$ )
2. Получить зависимость положения первого и второго уровней размерного квантования электронов от состава индия ( $x$ ) квантовой ямы при фиксированной температуре и ширине КЯ.
3. Получить зависимость положения первого и второго уровня размерного квантования от ширины квантовой ямы для состава индия  $x=0.2, 0.3$ ;
4. Получить зависимость энергии электронно-дырочного перехода от ширины квантовой ямы при концентрации индия 30%, 50%.
5. Получить зависимость туннельного расщепления основного первого и второго уровня размерного квантования от расстояния  $L$  между квантовыми ямами при фиксированном составе ( $x=0.25$ ) и ширине каждой из квантовых ям (5 нм, 7 нм, 10 нм) и температуре 300 К.
6. Рассчитать матричные элементы межзонных переходов в InGaAs/GaAs гетероструктуре с квантовыми ямами при различных напряжениях смещения, приложенном в поперечном направлении.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	студент выполнил все задания лабораторной работы, получил результаты. в пределах погрешностей совпадающие с теоретическими прогнозами, правильно построил необходимые графики и грамотно их анализирует
не зачтено	студент выполнил не все задания лабораторной работы, получил результаты. не совпадающие с теоретическими прогнозами. Неправильно построил графики и плохо их анализирует. Плохо оформил отчет и сделал неправильные выводы из проделанной работы.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации



Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Контрольные вопросы

##### Экзамен

##### Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, однако имеются отдельные замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.

Оценка	Критерии оценивания
хорошо	Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практический задания, однако имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент выполнил не менее 2/3 практических заданий, имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Студент выполнил менее 1/3 практических заданий, показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Студент не выполнил практические задания. Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-1 (Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники)**

1. Особенности конструирования приборов и схем сверхвысокочастотной электроники.
2. Особенности распространения электромагнитных волн оптического диапазона.
3. Радиофотонный канал связи.
4. Распространение волн в полых волноводах. Режимы распространения волн в волноводе. Понятие критической длины волны. Типы волн.
5. Волны в прямоугольных и цилиндрических волноводах. Понятие волнового сопротивления.
6. Волноводы открытого типа. Диэлектрические волноводы.
7. Волны в коаксиальных волноводах. Возбуждение волноводов.
8. Определение ТМ и ТЕ, ТЕМ типов электромагнитных волн.
9. Оптоволоконные линии связи.
10. Полосковые и микрополосковые волноводы и резонаторы.
11. Методы анализа СВЧ тракта. Понятие матрицы рассеяния. Диаграмма Вольперта-Смита. Коэффициент стоячей волны.
12. Сравнительные характеристики передающих линий. Диапазон волновых сопротивлений.
13. Понятие объемного резонатора. Классификация резонаторов.
14. Прямоугольный и цилиндрический резонаторы закрытого типа.
15. Волновые моды в резонаторах. Собственная и нагруженная добротность резонаторов.
16. Способы модуляции лазерного излучения радиосигналом.
17. Активные и пассивные элементы радиofотонных схем.

18. Принцип работы оптического модулятора по схеме Маха Цендера.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-7 (Способность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования)**

1. Структурная схема многоканального интегрального радиопотонного преобразователя частоты.
2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала для различных частот модулирующего сигнала.
3. Спектр амплитудно-модулированного сигнала для одной частоты модулирующего сигнала при различных значениях глубины модуляции
4. Спектр частотно-модулированного сигнала для различных значений частоты исходного сигнала.
5. Спектр частотно-модулированного сигнала для одной частоты исходного сигнала при различных значениях девиации частоты.
6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала для различных значений частоты следования прямоугольных импульсов.
7. Волновое сопротивление ТЕ волны в вакуумном прямоугольном волноводе
8. Низшие моды круглого и коаксиального полых волноводов
9. Рабочие моды диэлектрических волноводов.
10. Формула для расчета спектра частот прямоугольного объемного резонатора.
11. Волновое сопротивление коаксиального волновода.
12. Низшие моды круглого и коаксиального полых волноводов.
13. Длина волны оптических волноводов.
14. Способы возбуждения волноводов и резонаторов.
15. Согласование узлов связи.
16. Значение коэффициента стоячей волны (КСВ) в режиме короткого замыкания.
17. Значение коэффициента стоячей волны в режиме холостого хода в длинной линии.
18. Спектр уровней размерного квантования одиночной квантовой ямы.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Ярив Амнон. Оптические волны в кристаллах / пер. с англ. С. Г. Кривошлыкова, Н. И. Петрова ; под ред. И. Н. Сисакяна. - М. : Мир, 1987. - 616 с. : ил. - 5.60., 2 экз.
2. Никольский Вячеслав Владимирович. Электродинамика и распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 543 с. : ил. - ISBN 5-02-014033-3 (в пер.) : 1.60., 155 экз.
3. Милованов Олег Сергеевич. Техника сверхвысоких частот : [учеб. пособие для втузов]. - М. : Атомиздат, 1980. - 464 с. : ил. - 1.30., 1 экз.
4. Куш Г. Г. Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов / Куш Г. Г., Соколова Ж. М.,

Шангина Л. И. - Москва : ТУСУР, 2012. - 414 с. - "Рекомендовано Сибирским региональным отделением учебно-методического объединения высших учебных заведений РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 654200 «Радиотехника» и 654400 «Телекоммуникации»". - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ТУСУР - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=711413&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Тимофеев В. Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур / Тимофеев В. Б. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 512 с. - Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области прикладных математики и физики в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «Прикладные математика и физика», а также для студентов, обучающихся по другим направлениям и специальностям в области естественных и математических наук, техники и технологии. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-1745-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=800074&idb=0>.
2. Драгунов Валерий Павлович. Основы нанoeлектроники : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. - 332 с. - В надзаг.: Федеральная целевая программа "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997 - 2000 годы". - ISBN 5-7782-0281-4 : 33.00., 7 экз.
3. Демиховский Валерий Яковлевич. Физика квантовых низкоразмерных структур / В. Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер. - М. : Логос, 2000. - 248 с. : ил. - ISBN 5-88439-045-9 : 25.00., 3 экз.
4. Устройства СВЧ и антенны / Филонов А. А., Фомин А. Н., Дмитриев Д. Д., Тяпкин В. Н. - Красноярск : СФУ, 2014. - 492 с. - Допущено Министерством обороны Российской Федерации в качестве учебника для студентов военных кафедр и курсантов учебных военных центров Военно-воздушных сил, обучающихся по военно-учетной специальности «Эксплуатация и ремонт радиолокационных комплексов противовоздушной обороны Военно-воздушных сил». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции СФУ - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-7638-3107-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=700909&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Лабораторный практикум проводится в специализированной аудитории, оснащенной измерительным оборудованием, средствами вычислительной техники, источниками питания и

макетами лабораторных устройств.  
Программное обеспечение, управляющее лабораторными макетами, осуществляется в среде программирования LabView.  
Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Хазанова Софья Владиславовна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.