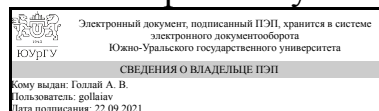


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Высшая школа электроники и  
компьютерных наук



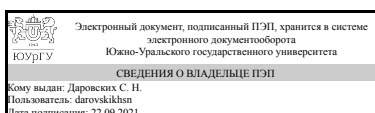
А. В. Голлай

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.15 Основы квантовой радиоэлектроники  
для специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы  
уровень Специалитет  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Инфокоммуникационные технологии**

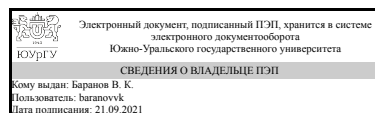
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.02.2018 № 94

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., доц.



С. Н. Даровских

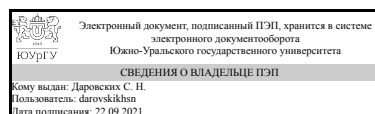
Разработчик программы,  
к.техн.н., доц., доцент



В. К. Баранов

СОГЛАСОВАНО

Руководитель специальности  
д.техн.н., доц.



С. Н. Даровских

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины «Основы квантовой радиоэлектроники» - дать представление о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе кванто-вой и оптической электроники, рассмотреть принцип действия, особенности конструкций, требования к активным материалам и элементам, возможности и технические характеристики приборов и устройств квантовой и оптической электроники. Радиофотоника СВЧ диапазона. Создание устройств и систем СВЧ-диапазона с параметрами, недостижимыми традиционными электронными средствами. Интегрально оптические компоненты радиофотонных схем. Задачами дисциплины является подготовка будущих специалистов к грамотному использованию достижений данной области науки в своей практической деятельности.

## Краткое содержание дисциплины

Дисциплина «Основы квантовой радиоэлектроники» предназначена для изучения студентами физических основ взаимодействия оптического излучения с квантовыми системами. Усиление и генерация оптического излучения, основные типы когерентных и некогерентных источников оптического излучения, физические принципы и основные элементы для регистрации, модуляции, отклонения, трансформации, передачи и обработки оптического излучения Современное состояние и перспектив развития квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств, их типов, характеристик и особенностей работы и применения в технике. Радиофотоника СВЧ диапазона. Создание устройств и систем СВЧ- диапазона с параметрами, недостижимыми традиционными электронными средствами. Активные приборы и устройства формирования и обработки сигналов радиочастотного диапазона с использованием оптических и оптоэлектронных средств и их применение в различных оптических и радиотехнических системах передачи и извлечения информации.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Планируемые результаты освоения<br>ОП ВО (компетенции)                                                                               | Планируемые результаты<br>обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 Способен осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования | Знает: математический аппарат квантовой электроники, теории волн и электродинамики сплошных сред для анализа работы и расчета характеристик устройств и систем оптического диапазона; основные закономерности, содержание и сущность процессов и явлений, устройство, принципы действия квантовых приборов и систем. основные законы естественнонаучных дисциплин; методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов квантовой и оптической электроники.<br>Умеет: использовать математический аппарат квантовой электроники, теории волн и электродинамики сплошных сред для анализа |

|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                  | <p>работы и расчета характеристик приборов квантовой электроники; использовать возможности и технические характеристики приборов и устройств квантовой и оптической электроники в современных радиосистемах</p> <p>Имеет практический опыт: навыками привлекать для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-математический аппарат; навыками использования устройств квантовой и оптической электроники в радиоэлектронных системах;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>ПК-2 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ</p> | <p>Знает: основные научно-технические проблемы и перспективы развития квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств, а также основные области их применения и степени экологической опасности; основные физические и математические модели квантовых приборов и компонентов систем, используемых на этапах расчета и проектирования радиоэлектронных систем и комплексов</p> <p>Умеет: использовать базовые элементы квантовой и оптической электроники и применять основные методы анализа квантовых и оптоэлектронных устройств для решения задач в системах передачи и обработки информации; ориентироваться в технической документации, делать оптимальный выбор оборудования.</p> <p>Имеет практический опыт: методиками расчета основных характеристик систем связи, локационных и навигационных систем и комплексов, использующих оптический диапазон; методологией использования аппаратуры для измерения характеристик радиотехнических систем оптического диапазона; методами использования физических и математических моделей компонентов и устройств оптического диапазона, используемых на этапах расчета и проектирования систем и комплексов</p> |

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

| Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана                                                                                                                                    | Перечень последующих дисциплин, видов работ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1.Ф.22 Основы теории радиолокационных систем и комплексов,</p> <p>1.Ф.11 Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств,</p> <p>1.Ф.01 Основы радиофотоники</p> | <p>1.Ф.04 Основы теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы,</p> <p>1.Ф.24 Основы построения непрерывно дискретных радиосистем и комплексов управления,</p> <p>1.Ф.13 Основы построения устройств радиосистем и комплексов управления,</p> <p>1.Ф.12 Многоуровневые радиосистемы и комплексы управления,</p> <p>1.Ф.23 Методы оптимизации радиосистем и</p> |

|  |                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------|
|  | комплексов управления,<br>1.Ф.10 Основы теории радиосистем передачи информации |
|--|--------------------------------------------------------------------------------|

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

| Дисциплина                                                                          | Требования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.Ф.01 Основы радиопотоники                                                         | Знает: классификацию оборудования для построения сетей оптической связи; основные физические и математические модели квантовых приборов и компонентов систем, используемых на этапах расчета и проектирования радиоэлектронных систем и комплексов; основные научно-технические проблемы и перспективы развития квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств, математический аппарат квантовой электроники, теории волн и электродинамики сплошных сред для анализа работы и расчета характеристик устройств и систем оптического диапазона; основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; основные принципы построения и расчета оптических сетей; Умеет: рассчитывать основные параметры ВОЛС; использовать базовые элементы квантовой и оптической электроники; применять основные методы анализа квантовых и оптоэлектронных устройств для решения задач в системах передачи и обработки информации, использовать базовые элементы квантовой и оптической электроники; применять основные методы анализа квантовых и оптоэлектронных устройств для решения задач в системах передачи и обработки информации Имеет практический опыт: методологией измерения характеристик радиотехнических систем оптического диапазона., навыками расчета оптоволоконных линий связи; методологией использования аппаратуры для измерения характеристик радиотехнических систем оптического диапазона |
| 1.Ф.11 Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств | Знает: особенности и функциональные возможности современного программного обеспечения для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств, используемые в таком ПО языки для описания структурных, функциональных и принципиальных схем, схемы замещения и модели основных электронных приборов., методы разработки и управления проектами, особенности и функциональные возможности современного программного обеспечения для проектирования и моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           | <p>радиоэлектронных средств, Умеет: создавать работоспособные модели радиоэлектронных устройств и систем для существующего программного обеспечения,отлаживать такие модели, правильно выбирать и настраивать алгоритмы численного решения при наличии такой возможности, анализировать работу моделей, производить их оптимизацию.,</p> <p>Создавать работоспособные модели радиоэлектронных устройств и систем для существующего программного обеспечения, отлаживать такие модели, правильно выбирать и настраивать алгоритмы численного решения при наличии такой возможности, анализировать работу моделей, производить их оптимизацию.</p> <p>Имеет практический опыт: владения навыками работы с современным программным обеспечением для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств. , методиками разработки и управления проектом; навыками работы с современным программным обеспечением для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств, а также применяемой в таких системах терминологией.</p> |
| 1.Ф.22 Основы теории радиолокационных систем и комплексов | <p>Знает: физические основы и принципы проектирования радиолокационных систем и комплексов . Умеет: проводить расчеты характеристик радиолокационных систем и комплексов , пользоваться программными пакетами для моделирования РЛС. Имеет практический опыт: владения навыками разработки принципиальных схем РЛС и комплексов с применением современных САПР и пакетов прикладных программ.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 48,25 ч. контактной работы

| Вид учебной работы                                                         | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|
|                                                                            |             | Номер семестра                     |
|                                                                            |             | 8                                  |
| Общая трудоёмкость дисциплины                                              | 108         | 108                                |
| <i>Аудиторные занятия:</i>                                                 | 48          | 48                                 |
| Лекции (Л)                                                                 | 32          | 32                                 |
| Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ) | 0           | 0                                  |
| Лабораторные работы (ЛР)                                                   | 16          | 16                                 |
| <i>Самостоятельная работа (СРС)</i>                                        | 53,75       | 53,75                              |

|                                                                                                                           |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| с применением дистанционных образовательных технологий                                                                    | 0     |       |
| Реферат: Радиофотоника. Принципы построения радиофотонных систем. Проблемы, решаемые методами и средствами радиофотоники. | 33,75 | 33.75 |
| Доклад с презентацией: Активные квантовые среды для полупроводниковых и волоконно-оптических лазеров.                     | 20    | 20    |
| Консультации и промежуточная аттестация                                                                                   | 6,25  | 6,25  |
| Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)                                                                                  | -     | зачет |

## 5. Содержание дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины                                                                                                                                                                          | Объем аудиторных занятий по видам в часах |   |    |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---|----|----|
|           |                                                                                                                                                                                                           | Всего                                     | Л | ПЗ | ЛР |
| 1         | Взаимодействие квантовых систем с ЭМВ. Реализация положительной обратной связи в оптическом резонаторе. Квантовые генераторы. Квантовые усилители.                                                        | 12                                        | 8 | 0  | 4  |
| 2         | Активные приборы квантовой электроники. Квантовые приборы СВЧ диапазона (Мазеры). Газовые лазеры. Особенности активной среды. Лазеры на основе конденсированных сред. Полупроводниковые лазеры.           | 10                                        | 8 | 0  | 2  |
| 3         | УПРАВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ. ОПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАТЧИКИ. ПРИЁМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.                                                                                                                | 12                                        | 8 | 0  | 4  |
| 4         | СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСТРОЙСТВА СВЧ. РАДИОФОТОНИКА. Интегрально оптические компоненты радиофотонных схем. Принципы построения радиофотонных систем. Проблемы, решаемые методами и средствами радиофотоники | 14                                        | 8 | 0  | 6  |

### 5.1. Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Кол-во часов |
|----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1        | 1         | Взаимодействие квантовых систем с ЭМВ. Энергетические состояния изолированных частиц (атомов, молекул) и типы переходы между ними. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение (усиление) оптического излучения. Методы создания инверсии в квантовых системах. Рабочие лазерные уровни энергии. Процесс возбуждения (накачка) активной среды (активного вещества) с целью получения инверсии населенностей., Источники накачки. Три статистических постулата Эйнштейна. Усиление-поглощение ЭМВ в среде. Спектр оптического излучения (поглощения) Механизмы однородного уширения. Механизмы неоднородного уширения.                    | 2            |
| 2        | 1         | МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ИНВЕРСИИ В КВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ. Типы квантовых уровней (переходов между уровнями). Рабочие лазерные уровни энергии. Схемы создания инверсии населённости Двухуровневая схема. Методы ин-версии населенностей в двухуровневой системе. Трёхуровневая схема. Анализ трёхуровневой схемы. Особенности трёх-уровневой системе с оптической накачкой. Четырёхуровневая схема. Анализ четырёхуровневой схемы. Особенности и характеристики четырёхуровневой схеме с оптической накачкой (ОН). Многоуровневые схемы оптической накачкой Стимулированное Бриллюэновское рассеяние. Стимулированное Рамановское рассеяние | 2            |

|   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|---|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 3 | 1 | Основы теории квантовых приборов Радиоэлектроника – основа рождения квантовой электроники. Общность и отличия радиоэлектроники и квантовой оптики. Активная среда и резонатор являются принципиально важными элементами устройств квантовой электроники. Реализация положительной обратной связи в оптическом резонаторе. Принципы создания резонатора оптического диапазона. Резонансные частоты оптического резонатора. Устойчивость ООР. Мощность на выходе лазера, оптимальное пропускание выходного зеркала. Условия резонанса в оптическом резонаторе. Резонансные частоты оптического резонатора и расстояние между соседними резонансными частотами. Виды потерь и ширина полосы пропускания в оптических резонаторах. Влияние резонатора на спектральный состав лазерного. Характеристики излучения с учётом резонатора.                                                                                                                                                                                                                                             | 2 |
| 4 | 1 | Квантовые генераторы. Основные идеи и принципы - вынужденное излучение + положительная оптическая обратная связь. Динамика развития генерации в квантовом генераторе. Условия самовозбуждения и существования стационарного режима. Условие баланса фаз и баланса амплитуд Спектр излучения квантового генератора. Мощность излучения на выходе квантового генератора, оптимальное пропускание выходного зеркала. Ширина спектра излучения квантового генератора Переходные процессы в генераторах оптического и СВЧ-диапазонов. Квантовые усилители. Основные принципы и идеи. Усилительные свойства частицы. Эффективное сечение ее взаимодействия с резонансным электромагнитным полем. Насыщение коэффициента усиления. Форма линии усиления. Схемы построения квантовых усилителей. Усилитель бегущей волны. Резонаторный усилитель. Характеристики усиления. АЧХ и ФЧХ квантовых усилителей. Динамический диапазон усиления. Шумы квантовых усилителей.                                                                                                                 | 2 |
| 5 | 2 | Квантовые приборы СВЧ диапазона (Мазеры). Пучковые мазеры. Молекулярный мазер на пучке молекул аммиака. Структура и энергетический спектр молекулы аммиака Образование пучка молекул. Сортировка молекул. Параметры сортирующей системы. Режим усиления. Коэффициент усиления и полоса пропускания. Режим генерации. Выходная мощность мазера на аммиаке. Стабильность частоты мазера на аммиаке. Мазер на пучке атомов водорода. Принцип действия квантового генератора на пучке атомов водорода. Магнитный дипольный переход между уровнями сверхтонкой структуры атома водорода. Сортирующая система (СС) мазера на водороде. Особенности устройства генератора на пучке атомов водорода. Квантовые парамагнитные усилители (КПУ) СВЧ диапазона. Электронные переходы между энергетическими уровнями парамагнитных ионов в диэлектриках, расщепленными внешними или внутренними полями. Квантовые переходы между Зеемановскими подуровнями парамагнитных ионов в кристаллах во внешнем магнитном поле. КПУ бегущей волны. Резонаторные КПУ отражательного проходного типа. | 2 |
| 6 | 2 | Газовые лазеры. Особенности активной среды. Типы переходов между рабочими энергетическими уровнями в нейтральных или ионизированных атомах и молекулах (электронные, колебательные, вращательные). Условия создания инверсии населённостей в газовых лазерах. Методы накачки газовых лазеров (газоразрядные, газодинамические, химические) Гелий-неоновый лазер. Инверсия населённостей в электрическом разряде (газоразрядные лазеры). Функция электронов в плазме газоразрядного лазера. Процессы в плазме ПС, приводящие к накачке лазерных переходов. Особенности конструкции гелий-неонового лазера.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 |
| 7 | 2 | ЛАЗЕРЫ НА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ Лазеры на основе конденсированных сред. Специфика оптической накачки активной среды лазера. Квантовые приборы с оптической накачкой, работающие по "трёхуровневой схеме". Рубиновый лазер. Эрбиевый волоконно-оптический лазер. Лазеры с оптической накачкой, работающие по "четырёх-уровневой                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2 |

|    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |
|----|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|    |   | схеме”. Неодимовый лазер.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
| 8  | 2 | Полупроводниковые лазеры. Создание инверсной населенности в полупроводниках. Процесс возникновения излучения в p-n-переходе. Излучательная ре-комбинация. Интенсивность излучения и толщина активной области. Гетеро-структуры. Условия максимальной эффективности излучения. Основные характеристики полупроводниковых лазеров. Типы полупроводниковых лазеров.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2 |
| 9  | 3 | Эффект Рамана. Стимулированное Рамановское рассеяние. ВКР Рамановские усилители. Типичные параметры рамановских усилителей. Параметры усилителей Бриллюэна. Эрбиевые волоконно-оптические усилители EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) – это усилители, созданные на основе оптического волокна легированного ионами эрбия EDF (erbium doped fiber). Достоинства усилителей EDFA: равномерная амплитудно-частотная характеристика усиления во всем диапазоне частот, значительный уровень усиления при высоком качестве сигнала. Неодимовые волоконные лазеры.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2 |
| 10 | 3 | Управление оптическим излучением. Распространение света в анизотропных средах и поляризация излучения. Эффекты Керра, Поккельса, Фарадея. Электро-, магнито- и акустооптические эффекты. Методы модуляции и отклонения лазерного луча. Типы лазерных модуляторов и дефлекторов. Перестройка длины волны излучения лазеров. Физические эффекты, используемые для управления параметрами оптического излучения: эффект Поккельса, фотоупругий эффект, эффект Фарадея. Характеристики электрооптических модуляторов: полоса частот модуляции, потребляемая мощность, динамический диапазон. Модулятор Маха -Зендера. Прямая модуляция светодиодов и инжекционных лазеров. Акустооптический эффект. Модуляторы света с бегущей и стоячей акустической волной. Акустооптические дефлекторы и фильтры. Особенности модуляции на СВЧ.                                                                                                                                                                                                                                          | 2 |
| 11 | 3 | ОПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАТЧИКИ Общая характеристика источников света. Естественная ширина спектральной линии. Принцип оптического усиления. Полупроводниковые и волоконно-оптические усилители на основе редкоземельных элементов. Конструкции, принцип действия, основные характеристики. Условие самовозбуждения для лазеров. Спектр генерации. Пороговая плотность тока. Ватт-амперная характеристика. Лазеры с распределенной обратной связью. Лазеры с вертикальным резонатором. Светодиоды, их достоинства и недостатки. Оптические передатчики. Основные элементы оптических передатчиков. Требования к излучателям оптического излучения. Светодиоды и лазерные диоды. Типы полупроводниковых лазеров. Волоконные лазеры с брэгговской решёткой. Виды модуляции оптического излучения. Методы модуляции оптической несущей. Прямая (непосредственная) модуляция оптической несущей. Модуляция с использованием промежуточной несущей. Внешняя модуляция оптического излучения. Электрооптическая модуляция. Электроабсорбционная модуляция. Акустооптическая модуляция. | 2 |
| 12 | 3 | Приём оптического сигнала. Непосредственный приём. Прямое фотодетектирование. Метод счета фотонов. Когерентный приём. Приёмники оптического излучения их типы, параметры и характеристики. Основные элементы детекторных приёмников оптического излучения. Оптико-электронные преобразователи. Полупроводниковые приемники излучения (детекторы). Фоторезисторы, фотодиоды, гетерофотодиоды, лавинные и p-i-n фотодиоды, фототранзисторы). Одноэлементные фотоприемники на основе МДП-структур. Многоэлементные фотоприемные устройства. Типы фотоприемников. Основные характеристики: чувствительность, быстродействие, обнаружительная способность, спектральный диапазон. Приемники с внешним и внутренним фотоэффектом: фотоэлементы, ФЭУ,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2 |

|    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |
|----|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|    |   | фоторезисторы, фотодиоды, МОП-структуры и фотоматрицы. Шумы фотоприемников. Методы приема модулированного оптического излучения: прямое фотодетектирование и оптическое гетеродинирование.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |
| 13 | 4 | РАДИОФОТОНИКА Основные направления применений квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств. Оптические методы синтеза, преобразования, передачи и обработки радиочастотных сигналов. Перспективные направления использования элементов радиофотоники в альтернативных радиосистемах для улучшения тактико-технических характеристик РЛС: • повышение разрешающей способности по дальности и информативности – за счет возможности значительного (на несколько порядков) расширения эффективной полосы сигнала; • увеличение дальности обнаружения – за счет снижения потерь в длинных линиях при использовании оптического волокна и соответствующей коммутационной аппаратуре; • обеспечение стабильности характеристик при изменяющихся климатических, прежде всего температурных, условиях за счет применения термо-стабильного оптического волокна; | 2 |
| 14 | 4 | РАДИОФОТОНИКА Основные направления применений квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств. Оптические методы синтеза, преобразования, передачи и обработки радиочастотных сигналов. Перспективные направления использования элементов радиофотоники в альтернативных радиосистемах для улучшения тактико-технических характеристик РЛС: • повышение разрешающей способности по дальности и информативности – за счет возможности значительного (на несколько порядков) расширения эффективной полосы сигнала; • увеличение дальности обнаружения – за счет снижения потерь в длинных линиях при использовании оптического волокна и соответствующей коммутационной аппаратуре; • обеспечение стабильности характеристик при изменяющихся климатических, прежде всего температурных, условиях за счет применения термо-стабильного оптического волокна; | 2 |
| 15 | 4 | Интегрально оптические компоненты радиофотонных схем. Волоконно-оптические лазерные и фотодиодные модули СВЧ-диапазона и системы радио-фотоники на их основе. Волоконно-оптические модули. Волоконно-оптическая линия передачи СВЧ-сигналов с оптическим усилением. Усилители на волокне легированном эрбием. Высокоскоростные оптоэлектронные приборы (лазерные диоды, электрооптические модуляторы, фотодетекторы. Волоконно-оптическая система распределения СВЧ-синхросигналов Оптоэлектронный генератор СВЧ на линиях задержки. Структурная схема оптоэлектронного генератора с высокой спектральной чистотой. Основные характеристики и пути их совершенствования. Двухконтурная схема ОЭГ с одним и двумя управляемыми плечами.                                                                                                                      | 2 |
| 16 | 4 | РАДИОФОТОННЫЕ СИСТЕМЫ Принципы построения нового поколения телекоммуникационных и радиолокационных устройств, обладающих принципиально лучшими характеристиками по сравнению с существующими в настоящее время. Методы формирования сверхширокополосных линий передачи СВЧ сигнала на основе радиофотонных компонентов, предназначенных для высокоскоростной передачи цифровых потоков данных, а так же сложно-модулированных и шумоподобных сигналов, обеспечивающих качественное улучшение технических характеристик приемопередающих устройств. Разработка сверхширокополосных линий передачи ВЧ сигнала на основе радиофотонных компонентов, обеспечивающих сверхширокополосную обработку сигнала.                                                                                                                                                      | 2 |

## 5.2. Практические занятия, семинары

Не предусмотрены

### 5.3. Лабораторные работы

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание лабораторной работы                                                                                                                            | Кол-во часов |
|-----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1         | 1         | Основы квантовой теории лазеров. Активные среды лазеров. Эффективное сечение, Усиление -поглощение квантовой среды. Условия усиления и генерации квантовой среды                   | 4            |
| 2         | 2         | Лазеры на основе конденсированных сред. Полупроводниковые лазеры. Волоконные лазеры                                                                                                | 2            |
| 3         | 3         | Управление оптическим излучением. Модуляторы на основе интерферометра Маха-Цендера. Оптические передатчики. Приёмники оптического излучения                                        | 4            |
| 4         | 4         | Радиофотоника. Интегральные оптоэлектронные и фотонные компоненты радиофотоники. Принципы построения радиофотонных систем. Проблемы, решаемые методами и средствами радиофотоники. | 6            |

### 5.4. Самостоятельная работа студента

| Выполнение СРС                                                                                                            |                                                                                             |         |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|
| Подвид СРС                                                                                                                | Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс                  | Семестр | Кол-во часов |
| Реферат: Радиофотоника. Принципы построения радиофотонных систем. Проблемы, решаемые методами и средствами радиофотоники. | Методические указания по выполнению СРС                                                     | 8       | 33,75        |
| Доклад с презентацией: Активные квантовые среды для полупроводниковых и волоконно-оптических лазеров.                     | Методические указания к Лабораторно-практической работе "АКТИВНЫЕ СРЕДЫ КВАНТОВЫХ ПРИБОРОВ" | 8       | 20           |

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

| № КМ | Се-местр | Вид контроля     | Название контрольного мероприятия                          | Вес | Макс. балл | Порядок начисления баллов                                                                                                              | Учитывается в ПА |
|------|----------|------------------|------------------------------------------------------------|-----|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1    | 8        | Текущий контроль | Активные конденсированные среды                            | 1   | 20         | Работа проводится письменно (10 баллов) и защищается в виде презентации на занятии (10 баллов).<br>Максимальное количество баллов - 10 | зачет            |
| 2    | 8        | Текущий контроль | Управление оптическим излучением.<br>Оптические модуляторы | 1   | 10         | По результатам защиты (5 баллов) с презентацией (5 баллов)                                                                             | зачет            |
| 3    | 8        | Текущий          | Прёмно-передающие                                          | 1   | 10         | Работа представляется письменно                                                                                                        | зачет            |

|   |   |                          |                                            |   |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |
|---|---|--------------------------|--------------------------------------------|---|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|   |   | контроль                 | оптические устройства.                     |   |    | (5 баллов) и в виде презентации (5 баллов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |
| 4 | 8 | Текущий контроль         | РАДИОФОТОНИКА                              | 1 | 20 | Защита реферата по теме                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | зачет |
| 5 | 8 | Промежуточная аттестация | КВАНТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА и РАДИОФОТОНИКА | 1 | 40 | На зачете происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации. Студент получает зачет, если его рейтинг по итогам изучения дисциплины с учетом мероприятий текущего контроля (с учетом бонуса) и мероприятия промежуточной аттестации равен или превышает 60% | зачет |

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

| Вид промежуточной аттестации | Процедура проведения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Критерии оценивания                     |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| зачет                        | В соответствии с пп. 2.5, 3.6 ПОЛОЖЕНИЯ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения |
| зачет                        | На зачете происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации. Студент получает зачет, если его рейтинг по итогам изучения дисциплины с учетом мероприятий текущего контроля (с учетом бонуса) и мероприятия промежуточной аттестации равен или превышает 60% | В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения |

## 6.3. Оценочные материалы

| Компетенции | Результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | № КМ |   |   |   |   |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|---|---|---|
|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ПК-1        | Знает: математический аппарат квантовой электроники, теории волн и электродинамики сплошных сред для анализа работы и расчета характеристик устройств и систем оптического диапазона; основные закономерности, содержание и сущность процессов и явлений, устройство, принципы действия квантовых приборов и систем. основные законы естественнонаучных дисциплин; методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов квантовой и оптической электроники. | ++   |   |   |   |   |
| ПК-1        | Умеет: использовать математический аппарат квантовой электроники, теории волн и электродинамики сплошных сред для анализа работы и расчета характеристик приборов квантовой электроники; использовать возможности и технические характеристики приборов и устройств квантовой и оптической электроники в современных радиосистемах                                                                                                                                                     | ++   |   |   |   |   |
| ПК-1        | Имеет практический опыт: навыками привлекать для решения проблем,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ++   |   |   |   |   |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |    |  |  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|----|--|--|
|      | возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-математический аппарат; навыками использования устройств квантовой и оптической электроники в радиоэлектронных системах;                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |    |  |  |
| ПК-2 | Знает: основные научно-технические проблемы и перспективы развития квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств, а также основные области их применения и степени экологической опасности; основные физические и математические модели квантовых приборов и компонентов систем, используемых на этапах расчета и проектирования радиоэлектронных систем и комплексов                                                                                           |  |  | ++ |  |  |
| ПК-2 | Умеет: использовать базовые элементы квантовой и оптической электроники и применять основные методы анализа квантовых и оптоэлектронных устройств для решения задач в системах передачи и обработки информации; ориентироваться в технической документации, делать оптимальный выбор оборудования.                                                                                                                                                                 |  |  | ++ |  |  |
| ПК-2 | Имеет практический опыт: методиками расчета основных характеристик систем связи, локационных и навигационных систем и комплексов, использующих оптический диапазон; методологией использования аппаратуры для измерения характеристик радиотехнических систем оптического диапазона; методами использования физических и математических моделей компонентов и устройств оптического диапазона, используемых на этапах расчета и проектирования систем и комплексов |  |  | ++ |  |  |

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Базовые лекции по электронике [Текст] сборник : в 2 т. Т. 1 Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника Ж. И. Алферов и др. ; под общ. ред. В. М. Пролейко. - М.: Техносфера, 2009. - 479 с.
2. Базовые лекции по электронике [Текст] Т. 2 Твердотельная электроника сборник : в 2 т. Ж. И. Алферов и др. ; под общ. ред. В. М. Пролейко. - М.: Техносфера, 2009. - 607 с. ил. 25 см

#### б) дополнительная литература:

1. Пихтин, А. Н. Оптическая и квантовая электроника Учеб. для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" А. Н. Пихтин. - М.: Высшая школа, 2001. - 572, [1] с. ил.
2. Базовые лекции по электронике [Текст] сборник : в 2 т. Т. 1 Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника Ж. И. Алферов и др. ; под общ. ред. В. М. Пролейко. - М.: Техносфера, 2009. - 479 с.
3. Дудкин, В. И. Квантовая электроника. Приборы и их применение Учеб. пособие для вузов по направлению подгот. 140400 "Техн. физика" В. И. Дудкин, Л. Н. Пахомов. - М.: Техносфера, 2006. - 432 с. ил.

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. РАДИОФОТОНИКА

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

## 2. РАДИОФОТОНИКА

### Электронная учебно-методическая документация

| № | Вид литературы                                           | Наименование разработки         | Наименование ресурса в электронной форме | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---|----------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Методические пособия для самостоятельной работы студента | СШП СИСТЕМЫ и РАДИОФОТОНИКА     | Электронный архив ЮУрГУ                  | ЛокальнаяСеть / Свободный                                                       |
| 2 | Методические пособия для самостоятельной работы студента | КОМПОНЕНТЫ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМ | Электронный архив ЮУрГУ                  | ЛокальнаяСеть / Свободный                                                       |

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)
2. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Вид занятий          | № ауд.    | Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий |
|----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лабораторные занятия | 406 (ПЛК) | Персональные компьютеры                                                                                                                          |
| Лекции               | 406 (ПЛК) | Мультимедийный класс                                                                                                                             |