

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института физики
д.ф.-м.н., профессор С. Б. Вениг

" 8 " _____ 2021 г.



Рабочая программа дисциплины
Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства

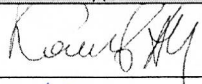
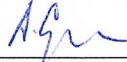

Направление подготовки бакалавриата
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Профиль подготовки бакалавриата
«Инфокоммуникационные технологии в системах радиосвязи»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Конюхов А. И.		4.10.2021
Председатель НМК	Скрипаль А. В.		6.10.2021
Заведующий кафедрой	Аникин В. М.		4.10.2021
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины состоит в получении студентами теоретических знаний и практических навыков по современным оптоэлектронным устройствам, включая полупроводниковые и интегрально-оптические устройства, применяемые в информационных технологиях.

Задачами настоящего курса являются выработка практических навыков решения физических проблем в области оптоэлектроники и квантовых приборов, получение высшего профессионально профилированного образования позволяющего выпускнику успешно работать в избранной сфере деятельности в РФ и за рубежом, обладать универсальными и предметно специализированными компетенциями, способствующими его социальной мобильности, востребованности на рынке труда и успешной профессиональной карьере.

В дисциплине "Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства" рассматриваются основные принципы передачи и обработки информации с использованием как электрических, так и оптических сигналов. Излагаются физические эффекты, принципы работы и конструктивные особенности основных типов оптоэлектронных приборов. Приводятся физические и технические характеристики таких устройств, рассматриваются вопросы их применения в системах обработки информации. Большое внимание уделяется современному состоянию элементной базы оптоэлектроники и тенденциям ее развития, базирующимся на нанотехнологиях.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений (Б1.В), Блока 1 Дисциплины (Модули) ООП по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», профиль «Инфокоммуникационные технологии в системах радиосвязи». Индекс дисциплины в учебном плане Б1.В.04.

При освоении данной дисциплины необходимы знания по следующим разделам общего курса физики: электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика, а также математики: математический анализ, аналитическая геометрия, теория функций комплексного переменного, дифференциальные уравнения.

Студенты должны иметь навыки самостоятельной работы с учебными пособиями и монографической учебной литературой, умение решать физические задачи, требующие применения дифференциального и интегрального математического аппарата, умение производить приближенные преобразования аналитических выражений, навыки работы на компьютере с математическими пакетами программ (например Octave, Mathematica), графическим (например, SciDavis, Gnuplot), графическим для схемных решений (например, LTspiceIV) и текстовыми (например, Libre Office, Open Office) редакторами, умение программировать (например, в среде Code::Blocks) и использовать численные методы решения физических задач, иметь навыки работы на физических экспериментальных установках, умение оформления результатов экспериментов с использованием графического материала и с оценкой погрешностей измерений.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
Научно-исследовательская деятельность.		

Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам компьютерной физики, физики информационных и коммуникационных систем		
ПК-1 Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи.	ИД-1_{ПК-1} Знает принципы построения и работы сетей связи и протоколов передачи данных различных информационных систем ИД-2_{ПК-1} Умеет анализировать эффективность радиосистем и систем передачи данных ИД-3_{ПК-1} Владеет навыками разработки новых сетевых платформ и технологий, интеграции новых элементов сети и оборудования для совершенствования существующих сетевых платформ и технологий	Знает принципы построения и работы сетей связи и протоколов передачи данных различных информационных систем. Умеет анализировать эффективность радиосистем и систем передачи данных, разрабатывать, выполнять расчет пропускной способности сетей радио и телекоммуникаций. Владеет навыками разработки схемы организации связи и интеграции новых сетевых элементов, интеграции новых элементов сети, оборудования новых технологий сети, выполнению планов по расширению существующего оборудования сетевых платформ и новых технологий.
ПК-2 Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.	ИД-1_{ПК-2} Знает основы сетевых технологий, принципы функционирования радиосетей, их характеристики и параметры ИД-2_{ПК-2} Умеет работать с программным обеспечением, используемым при обработке информации инфокоммуникационных систем ИД-3_{ПК-2} Владеет навыками экспериментального исследования характеристик и параметров инфокоммуникационных систем.	Знает основы сетевых технологий, принципы функционирования радиосетей, их характеристики и параметры. Умеет работать с программным обеспечением, используемым при обработке информации инфокоммуникационных систем. Владеет навыками экспериментального исследования характеристик и параметров инфокоммуникационных систем

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 час., из них лекций – 26 час., лабораторных занятий – 26 час., самостоятельная работа – 92 час; промежуточная аттестация в форме экзамена – 36 час.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Лабораторные занятия	Самост. раб.	
1	Предмет оптоэлектроники.	8	1,2	2	2	8	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос

2	Источники излучения для оптоэлектронных систем	8	3,4	4	4	14	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос
3	Детекторы светового излучения	8	5,6	4	4	16	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос
4	Методы управления оптическим излучением	8	7,8	4	4	14	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос
5	Интегральная оптика и оптическая связь	8	9,10	8	8	20	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос
6	Тенденции развития оптоэлектроники и перспективы	8	11-12	4	4	20	Проверка выполнения лабораторных работ, устный опрос
	Итого: 180						Экзамен(36)

Содержание дисциплины.

Раздел 1. Предмет оптоэлектроники.

- 1.1 Достоинства оптоэлектронных приборов. Их классификация.
- 1.2 Основные элементы оптоэлектронной цепи.

Раздел 2. Источники излучения для оптоэлектронных систем

- 2.1. Принцип действия инжекционных лазеров и светоизлучающих диодов.
- 2.2. Светоизлучающие диоды
- 2.3. Лазерные диоды
- 2.4. Многомодовые лазеры, или лазеры с резонаторами Фабри-Перо
- 2.5. Одномодовые (SML) лазеры
- 2.6. Полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью (DFB)
- 2.7. Полупроводниковые лазеры с внешним резонатором.
- 2.8. Лазер с вертикальным резонатором (VCSEL)

Раздел 3. Детекторы светового излучения

- 3.2. PIN-фотодиоды
- 3.3. Конструкция детектора на основе кремниевого фотодиода
- 3.4. Обзор фотодиодных детекторов на основе InGaAs
- 3.5. Лавинные фотодиоды (APD)
- 3.6. Оптические термомпары, пироэлектрические приемники.

Раздел 4. Методы управления оптическим излучением

- 4.1 Физические эффекты, используемые для управления параметрами оптического излучения: эффект Поккельса, фотоупругий эффект, эффект Фарадея.
- 4.2 Прямая модуляция светодиодов и инжекционных лазеров.
- 4.3 Акустооптические модуляторы
- 4.4 Электрооптические модуляторы
- 4.5 Фильтры на основе оптоволоконных дифракционных решеток Брэгга
- 4.6 Интерференционные фильтры на тонких пленках
- 4.7 Поляризационные фильтры на жидких кристаллах
- 4.8 Акусто-оптические перестраиваемые фильтры

4.9 Пространственная модуляция света. Управляемые транспаранты для систем оптической обработки информации.

Раздел 5. Интегральная оптика и оптическая связь

5.1 Распространение света в планарных и цилиндрических диэлектрических волноводах.

5.2 Моды оптических волноводов. Условие существования волноводных мод. Структура поля волноводных мод.

5.3 Устройства на базе оптических микрорезонаторов.

5.4 Типы оптических волокон.

5.5 Моды в волноводах со ступенчатым и плавным изменением показателя преломления.

5.6 Виды дисперсии: межмодовая, внутримодовая и материальная.

5.7 Механизмы потерь в световодах.

5.8 Принципиальная схема оптической линии связи. Примеры практической реализации.

Раздел 6. Тенденции развития оптоэлектроники и перспективы

6.1 Применение нанотехнологий при разработке и создании источников оптического излучения и фотоприемников.

6.2 Волоконные лазеры.

6.3 Рамановские волоконные усилители излучения.

6.4 Фотонные кристаллы.

Лабораторные работы:

Работа №1. Вольт-амперная характеристика светодиода.

Работа №2. Моделирование динамики полупроводникового лазера на основе скоростных уравнений.

Работа №3. Расчет мод оптического волокна.

Работа №4. Дисперсия в одномодовых оптических волокнах.

Работа № 5. Фемтосекундный волоконный лазер. Общее устройство и принципы работы

Работа № 6. Автокорреляционная функция фемтосекундных лазерных импульсов.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

Программа курса предусматривает чередование образовательного материала, ставящего проблему, с активной и интерактивной формами занятий посредством выполнения системы заданий по физическим задачам из области оптоэлектроники и последующим анализом полученных результатов в конкретных ситуациях. Частично разделы дисциплины могут предлагаться студентам для самостоятельной проработки или выполнения рефератов. Предусматривается чередование форм занятий в процессе времени аудиторных занятий. Для самостоятельной работы также предлагаются задания, требующие использования компьютерной вычислительной среды.

Для лиц с ограниченными возможностями, не имеющих противопоказаний к обучению согласно письму Минздравсоцразвития от 12.04.2011 № 302-н, учебные занятия организуются с учетом индивидуальных возможностей обучаемых – с применением дистанционных образовательных технологий и средств удаленного доступа, с проведением консультаций в интерактивном режиме on-line (Skype) и (или) по электронной почте, с обеспечением электронными образовательными ресурсами (электронными пособиями, презентациями).

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены следующие формы организации педагогического процесса и контроля знаний:

-для слабовидящих:

обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

задания для выполнения, а также инструкция о порядке выполнения контрольных заданий оформляются увеличенным шрифтом (размер 16-20);

- для глухих и слабослышащих:

обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования;

- для лиц с тяжелыми нарушениями речи, глухих, слабослышащих все контрольные задания по желанию обучающихся могут проводиться в письменной форме.

Основной формой организации педагогического процесса является интегрированное обучение инвалидов, т.е. все студенты обучаются в смешанных группах, имеют возможность постоянно общаться со сверстниками, легче адаптируются в социуме.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Важную роль при освоении дисциплины «Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства» играет самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа способствует углублению и расширению знаний; формированию интереса к познавательной деятельности; овладению приемами процесса познания; развитию познавательных способностей. Все это способствует обеспечению качества подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями основной образовательной программы по направлению подготовки бакалавров 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Виды самостоятельной работы студента:

- изучение теоретического материала по конспектам лекций и рекомендованным учебным пособиям, монографической учебной литературе;
- самостоятельное изучение некоторых теоретических вопросов, нерассмотренных на лекциях;
- выполнение заданий теоретического характера, расчетных и графических по всем разделам дисциплины;
- решение рекомендованных задач.

Порядок выполнения и контроля самостоятельной работы студентов:

- предусмотрена еженедельная самостоятельная работа обучающихся по изучению теоретического лекционного материала;
- самостоятельное изучение некоторых теоретических вопросов, выделенных в программе дисциплины и нерассмотренных на лекциях предусматривается по мере изучения соответствующих разделов, в которых выделены эти вопросы для самостоятельного изучения; контроль выполнения этой самостоятельной работы предусмотрен в рамках промежуточного контроля – экзамена по данной дисциплине;
- выполнение и письменное оформление комплекса заданий теоретического характера, расчетных и графических по основным разделам дисциплины предусмотрено еженедельно по мере формулировки этих заданий на лекциях; предусматривается письменное выполнение этой самостоятельной работы с текстовым, включая формулы, и графическим оформлением; контроль выполнения этой самостоятельной работы предусмотрен при завершении изучения дисциплины по представленному в печатном виде отчету по этому виду самостоятельной работы;
- решение рекомендованных задач предполагается еженедельным при подготовке к занятиям и при усвоении теоретического лекционного материала;

Промежуточная аттестация – устный экзамен с вопросами по программе дисциплины.

Для обеспечения интерактивного характера лекционных занятий и подготовки к выполнению самостоятельных заданий студенту предлагаются контрольные вопросы. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

2.1 Задания для текущего контроля

1) Доклад

Принцип действия инъекционных лазеров и светоизлучающих диодов
Детекторы светового излучения
Модуляция оптических сигналов
Интегральная оптика и оптическая связь
Волоконные лазеры
Оптические усилители
Методы приема модулированного оптического излучения
Оптоволоконные фильтры на основе решеток Брэгга

2) Реферат

Полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL)
Методы модуляции оптических сигналов
Моды оптических волноводов.
Оптические линии связи со спектральным уплотнением информационных каналов WDM
Интегральная оптика
Рамановские волоконные усилители излучения

3) Тесты

1. Запишите условия согласования полей на границе раздела диэлектриков.
2. Постройте поперечное распределение направляемых мод планарных волноводов – TE₀₀, TM₀₀.
3. Запишите математическое условие приближения слабонаправляющего планарного волновода.
4. Методы изготовления интегрально-оптических волноводов.
5. Сколько мод будет распространяться в планарном волноводе, если толщина сердцевины равен 2.5 мкм, разность показателей преломления сердцевины и оболочки $n=0.01$, длина волны $\lambda=1.55$ мкм
6. Какова минимальная длительность импульса, который может быть усилен волоконно-оптическим эрбиевым усилителем с полосой усиления $\Delta\lambda=40$ нм.
7. Какова минимальная величина коэффициента усиления полоскового лазера длиной 100 мкм при потерях мощности на проход в 6%?
8. Рассчитайте длительность импульсов при амплитудной модуляции при передаче сигнала по волокну с дисперсией 8 пс/нм/км и скорости передачи данных $B=10$ Гб/с.
9. Постройте спектр прямоугольных импульсов длительностью 1 нс.
10. Сколько каналов может быть задействовано в сети CWDM при спектральной ширине полосы пропускания 200 нм и скорости передачи в канале 0.1 Гб/с?
11. Сколько каналов может быть задействовано в сети DWDM при спектральной ширине полосы пропускания 40 нм и скорости передачи в канале 1 Гб/с?
12. Какова минимальная длительность импульса в отдельном канале сети, использующей DWDM на 80 каналов?
13. Какова максимальная скорость передачи в отдельном канале сети, использующей DWDM на 40 каналов?
12. Каковы условия для возникновения солитона в оптическом волокне?
13. Световой импульс с длительностью 2 нс прошел через 50 км волокна. На сколько увеличится длительность импульса с центральной длиной волны $\lambda=1.55$ мкм после прохождения оптического волокна с дисперсией 8 пс/нм/км?

4) Задания для практических и лабораторных занятий

- Работа №1. Вольт-амперная характеристика светодиода.
Работа №2. Моделирование динамики полупроводникового лазера на основе скоростных уравнений.
Работа №3. Расчет мод оптического волокна.
Работа №4. Дисперсия в одномодовых оптических волокнах.
Работа № 5. Фемтосекундный волоконный лазер. Общее устройство и принципы работы
Работа № 6. Автокорреляционная функция фемтосекундных лазерных импульсов.

1.2 Промежуточная аттестация

1) Список вопросов к устному экзамену и/или зачету

Билет 1

1. Достоинства оптоэлектронных приборов. Их классификация.
2. Принцип действия инжекционных лазеров и светоизлучающих диодов.

Билет 2

1. Основные элементы оптоэлектронной цепи.
2. Светоизлучающие диоды.

Билет 3

1. Полупроводниковые лазеры с внешним резонатором.
2. Методы модуляции оптической несущей.

Билет 4

1. Физические эффекты, используемые для управления параметрами оптического излучения: эффект Поккельса, фотоупругий эффект, эффект Фарадея.
2. Распространение света в планарных и канальных диэлектрических волноводах.

Билет 5

1. Моды оптических волноводов.
2. Пассивные и активные устройства интегральной оптики: направленные ответвители, модуляторы, дефлекторы, коммутаторы.

Билет 6

1. Оптические линии связи со спектральным уплотнением информационных каналов (WDM-системы).
2. Лазерные диоды

Билет 7

1. Многомодовые лазеры, или лазеры с резонаторами Фабри-Перо.
2. PIN-фотодиоды.

Билет 8

1. Методы приема модулированного оптического излучения: прямое фотодетектирование и оптическое гетеродинамирование.
2. Оптические термпары, пироэлектрические приемники.

Билет 9

1. Лавинные фотодиоды (APD).

2. DFB-лазеры с внешним модулятором.

Билет 10

1. Конструкция детектора на основе кремниевого фотодиода.
2. Лазер с вертикальным резонатором (VCSEL).

Билет 11.

1. Фотодиодные детекторы на основе InGaAs.
2. Фотоматрицы для ИК области спектра.

Билет 12

1. Пространственная модуляция света. Управляемые транспаранты для систем оптической обработки информации.
2. Методы ввода и вывода излучения в оптические волноводы.

Билет 13.

1. Акустооптические модуляторы. Электрооптические модуляторы.
2. Принцип работы полупроводникового лазера. Зонная структура полупроводников.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.2 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
8	40	20	0	40	0	0	0	100
Итого	40	20	0	40	0	0	0	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

8 семестр

Лекции

Опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 15 баллов.

Критерии оценки:

- не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов,
- от 51% до 60% – 1-3 балла;
- от 61% до 70% – 4-7 балла;
- от 71% до 80% – 8-10 баллов;
- от 81% до 90% – 11-14 баллов;
- не менее 91% занятий – 15 баллов.

Лабораторные занятия

Выполнение, оформление, представление отчета по лабораторным работам за семестр – от 0 до 20 баллов.

Практические занятия

Не предусмотрено.

Не предусмотрено.

Самостоятельная работа

Выполнение индивидуальных заданий } от 0 до 40 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности, не вошедшие в предыдущие колонки таблицы

Критерии оценивания: вид деятельности оценивается от 0 до 5 баллов в зависимости от качества конечного результата.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 8 семестр по дисциплине "Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства" составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине "Оптоэлектроника и квантовые приборы и устройства" в оценку (экзамен):

85 - 100 баллов	«отлично»
71 - 84 баллов	«хорошо»
51 - 70 баллов	«удовлетворительно»
0 - 50 баллов	«не удовлетворительно»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Литература:

1. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. 2-е изд., испр. Москва : Техносфера, 2006. 588 с. (в НБ СГУ – 14 экз.).
2. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанопотоника. СПб – М. – Краснодар : Лань, 2011. 538 с. (в НБ СГУ – 12 экз.).

б) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. ЭБС «Лань»: Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанопотоника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Игнатов. - Москва: Лань, 2020. - 596 с. ISBN 978-5-8114-5149-4 <https://e.lanbook.com/book/133479>
2. ЭБС «Лань»: Давыдов В. Н. Физические основы оптоэлектроники: Учебное пособие – 2016. 139 с. <https://e.lanbook.com/book/110271>
<https://znanium.com/catalog/document?id=389498>
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30520357>
3. ЭБС «Znanium.com»: Электронные приборы и устройства: Учебник / Ф.А. Ткаченко. М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. 682 с.: ил. - (Высшее образование). ISBN 978-5-16-004658-7.
4. Офисный пакет Libre Office <https://ru.libreoffice.org/>
5. Среда для численных вычислений GNU Octave <https://www.gnu.org/software/octave/about>
6. Программный пакет Code::Blocks <http://www.codeblocks.org/>
7. Симулятор LTspice <https://www.analog.com/ru/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

Компьютерные классы Института физики (ауд. 307 и 308 8-го учебного корпуса СГУ). Учебная аудитория 55 3-го учебного корпуса СГУ) для проведения лекционных по курсу с комплектом мультимедийного оборудования. Помещения соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности и охраны труда при проведении учебных, научно-исследовательских и научно-производственных работ.

Персональные ЭВМ, объединенные в локальную сеть и с выходом в Интернет. Мультимедиапроектор.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02. «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Автор: к.ф.-.м.н., доцент  А.И. Конюхов

Программа одобрена на заседании кафедры компьютерной физики и метаматериалов на базе Саратовского филиала Института радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН от 04.10.2021 , протокол № 2.