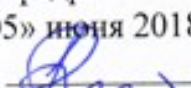



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол от «05» июня 2018 г. №7  
Зав. кафедрой  / Салихов Р.Б.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ  
 / Балапанов М.Х.

### Рабочая программа дисциплины (модуля)

дисциплина **ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ И КВАНТОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА**  
(наименование дисциплины)

Вариативная часть  
(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

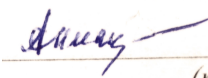
Направленность (профиль) подготовки

Оптические системы и сети связи  
(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

Бакалавр  
(указывается квалификация)

Разработчик (составитель)  
профессор, к.ф.-м.н., доцент  
(должность, ученая степень, ученое звание)

 / Акманов А.Г.  
(подпись/ Ф.И.О.)

Для приема 2018г.

Уфа 2018г.

Составитель/составители: к.ф.-м.н., доцент, профессор \_\_\_\_\_ Акманов А.Г. \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники, \_\_\_\_\_ протокол от « 05 » июня 2018 г. № 7

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники, \_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_ от « \_\_ » июня \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / Салихов Р.Б. \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_ » июня \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / Салихов Р.Б. \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_ » \_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

### Список документов и материалов

1.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2.Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3.Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	5(19)
4.Фонд оценочных средств по дисциплине	5
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	5
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	9
4.3. Рейтинг-план дисциплины (Приложение №2)	10(31)
5.Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	16
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	16
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	17
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	18

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**  
(с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

ПК-16 -готовность изучать научно-техническую информацию,отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования

ОПК-6 -способность проводить инструментальные измерения,используемые в области инфо-коммуникационных технологий

ПК-17-способность применять современные теоретические и экспериментальные исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать: 1.Физические принципы действия приборов квантовой и оптоэлектроники; 2.Устройство и характеристики излучения твердотельных, газовых и полупроводниковых лазеров; приемников оптического излучения; 3.Нелинейные оптические эффекты при распространении лазерного излучения в оптической среде; 4.Терминологию, определения, обозначения и единицы измерения характеристик квантовых и оптоэлектронных приборов	ПК-16	
Умения	Уметь: 1.Выполнять экспериментальные исследования на установках с различными типами лазеров, проводить юстировку и измерения параметров их выходного излучения 2.Проводить расчеты и компьютерное моделирование различных режимов генерации лазеров.	ОПК-6	-
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владеть: 1.Научно-технической информацией о состоянии квантовой и оптоэлектроники и устройств, основанных на эффектах нелинейной оптики и перспективах использования результатов теоретических и экспериментальных исследований в оптических системах и сетях связи	ПК-17	

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «*Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства*» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 6-м семестре.

Целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с физическими принципами действия, конструкцией и характеристиками квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств и приобретение ими следующих компетенций: готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; способность проводить экспериментальные исследования и инструментальные измерения на лазерных установках с использованием оптоэлектронных устройств; знание возможностей применения оптоэлектронных и квантовых приборов и устройств для создания новых перспективных средств электро- и оптической связи.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные при изучении дисциплин: Электричество и магнетизм; Волновая и квантовая оптика, Квантовая физика, Физические основы электроники, Электромагнитные поля и волны.

Данная дисциплина призвана также обеспечить обучающихся знаниями и навыками, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, а также является фундаментом для успешного освоения программ ряда учебных дисциплин профиля подготовки «*Оптические системы и сети связи*», таких как Источники и приемники оптического излучения, Оптические направляющие среды и др.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении №1

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции:

**ПК-16** -готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования

Экзамен:

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)

Первый этап Знания	<p>Знать:</p> <p>1.Физические принципы действия лазеров:вынужденное излучение,инверсия населенностей квантовых уровней и методы ее получения, положительная обратная связь (оптический резонатор).</p> <p>2.Твердотельные, газовые, полупроводниковые лазеры, устройство и режимы работы, параметры выходного излучения лазера.</p> <p>3.Свойства лазерных пучков, методы управления параметрами лазерного излуч.</p> <p>4.Нелинейные эффекты при распространении лазерного излучения в оптических средах: генерация гармоник, вынужденное рассеяние света</p> <p>5. Принцип работы полупроводниковых фотоприемников. Фотодиоды.</p>	<p>Ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и неполном знании основных понятий и материала включенных в рабочую программу, не смог ответить ни на один дополнительный вопрос</p>	<p>При ответе на теоретические вопросы допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно,но с пропусками части материала.</p>	<p>В ответе в целом раскрыты теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий и в ответе на дополнительные вопросы</p>	<p>Ответ является полным, развернутым по всем теоретическим вопросам, знает терминологию и дополнительные вопросы.</p>
Второй этап Умения	<p>Уметь:</p> <p>-применять теоретические знания при выполнении лабораторных работ</p>	<p>Не готовился к выполнению лабораторной работы, не знает теорию</p>	<p>Поверхностно ознакомился с описанием лабораторной работы и теорией</p>	<p>Готов к выполнению лабораторной работы, в целом знает теорию</p>	<p>Готов к выполнению лабораторной работы,знает теорию</p>
Третий этап Владение навыками	<p>Владеть:</p> <p>-научно-технической информацией по тематике исследования из учебных пособий, справочников, ресурсов сети «Интернет»</p>	<p>Не владеет научно-технической информацией по тематике исследования</p>	<p>Частично владеет научно-техн.информацией по тематике исследования</p>	<p>В основном владеет научно-технической информацией по тематике исследования</p>	<p>Владеет научно-технической информацией по тематике исследования</p>

Код и формулировка компетенции

**ОПК-6:** способность проводить инструментальные измерения, используемые в области инфокоммуникационных технологий и систем связи

Экзамен

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап Знания	Знать -элементную базу лазерной техники (активные вещества, зеркала, лампы накачки); -устройства электропитания и управления, -аппаратуру для измерения параметров лазерного излучения	Практически не знает элементную базу лазерной техники, устройства электропитания и управления, измерительную аппаратуру	Знает частично элементную базу лазерной техники, устройства электропитания и управления, измерительную аппаратуру	Знает в целом элементную базу лазерной техники, устройства электропитания и управления, измерительную аппаратуру	Знает элементную базу лазерной техники, устройства электропитания и управления, измерительную аппаратуру
Второй этап Умения	Уметь: -применять теоретические знания при выполнении лабораторных работ -обрабатывать результаты измерений	Не готов к применению теоретических знаний при выполнении лабораторных работ, не умеет обрабатывать результаты измерений	Частично готов к применению теоретических знаний при выполнении лабораторных работ, умеет обрабатывать результаты измерений	В целом готов к применению теоретических знаний при выполнении лабораторных работ, умеет обрабатывать результаты измерений	Готов к применению теоретических знаний при выполнении лабораторных работ, умеет обрабатывать результаты измерений
Третий этап Владеть навыками	Владеть: -методикой составления научно-технического отчета -навыками анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований	Не владеет методикой составления научно-техн. отчета и навыками анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований	Частично владеет методикой составления научно-технич. отчета и навыками анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований	В целом владеет методикой составления научно-техн. отчета и навыками анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований	Владеет методикой составления научно-техн. отчета и навыками анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований

Код и формулировка компетенции\_

**ПК-17:** способность применять современные теоретические и экспериментальные исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики

Экзамен

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап Знания	Знать -о достижениях науки и техники в области квантовой и оптоэлектроники	Имеет очень слабое представление о достижениях в этих областях	Имеет фрагментарное представление о достижениях в этих областях	В основном имеет представление о достижениях в этих областях	Имеет представление о достижениях в этих областях
Второй этап Умения	Уметь: -проводить анализ научно-технической информации,отечественной и зарубежной литературы по заданной тематике	Умеет фрагментарно проводить информационно-поисковую работу	Уверенно проводит информационно-поисковую работу, но не умеет отбирать данные для решения конкретной задачи	В целом уверенно проводит информационно-поисковую работу	Уверенно и полно проводит информационно-поисковую работу
Третий этап Владеть навыками	Владеть: -информацией о современном состоянии инфокоммуникац. систем связи и перспективах их развития	.Не владеет информацией по заданной тематике	Частично владеет информацией по заданной тематике	В целом владеет информацией по заданной тематике	Владеет информацией по заданной тематике

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10 ) и за ответы обучаемого на экзамене-максимум 30 баллов.

Шкалы оценивания

Для экзамена: от 0 до 44 баллов- «неудовлетворительно»  
от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;  
от 60 до 79 баллов – «хорошо»;  
от 80 до 110 баллов – «отлично».



**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать: 1.Физические принципы действия лазеров и приборов оптоэлектроники; 2.Устройство твердотельных, газовых и полупроводниковых лазеров; 3.Методы управления параметрами лазерного излучения; 4.Нелинейные оптические эффекты при распространении лазерного излучения в среде; 5.Терминологию, определения, обозначения и единицы измерения характеристик квантовых и оптоэлектронных приборов	ПК-16	тесты; отчет по лабораторной работе; экзамен
2-й этап Умения	. Уметь: 1.Выполнять исследования на экспериментальных установках с различными типами лазеров, проводить юстировку и измерение параметров их выходного излучения 2.Выполнять расчеты и компьютерное моделирование различных режимов генерации лазеров ; 3.Обрабатывать результаты экспериментальных измерений	ОПК-6	тесты; отчет по лабораторной работе; экзамен
3-й этап Владеть навыками	Владеть: 1.Научно-технической информацией о современном состоянии и перспективах развития квантовой электроники, оптоэлектроники и устройств, основанных на эффектах нелинейной оптики и возможностях использования результатов этих исследований в устройствах сетей оптической связи	ПК-17	тесты; отчет по лабораторной работе; экзамен

### 4.3. Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг-план дисциплины представлен в приложении №2.

#### Экзаменационные билеты

Структура экзаменационного билета

*Билет состоит из трех вопросов:*

- 1) учебный материал, относящийся к 1-му модулю курса (принципы действия лазера);*
- 2) учебный материал, относящийся к 2-му модулю курса (устройство лазеров различных типов, режимы работы лазера);*
- 3) параметры лазерного излучения, вопросы нелинейной оптики, оптоэлектронные устройства.*

Примерные вопросы для экзамена

1. Квантовые свойства вещества. Населенности квантовых уровней. Распределение населенностей по уровням в условиях термодинамического равновесия (формула Больцмана).

2. Световая волна и ее характеристики. Поток, плотность потока энергии электромагнитной волны (света), их размерности. Вектор Пойнтинга. Что определяет модуль вектора Пойнтинга?

Интенсивность света, плотность потока фотонов.

3. Взаимодействие света с веществом, спонтанные и индуцированные переходы в квантовых системах. Вероятности квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна.

4. Резонансное поглощение. Спонтанное и вынужденное излучения, их свойства. Нарисуйте схему «размножения» фотонов при вынужденных переходах

5. Связь между коэффициентами Эйнштейна  $B_{21}$  и  $B_{12}$ ,  $A_{21}$  и  $B_{21}$  (термодинамическое рассмотрение).

6. Закон убывания населенности квантового уровня вследствие спонтанных переходов. Время жизни атома на верхнем уровне, его связь с вероятностью перехода. Излучательные и безызлучательные квантовые переходы.

Мощность спонтанного излучения (формула, график)

7. Основы теории формы и ширины линии излучения. Функция формы линии излучения, ширина линии излучения

8. Естественная ширина линии излучения (оценка из соотношения неопределенностей Гейзенберга). Лоренцева форма линии излучения. Другие факторы уширения линии излучения.

9. Физические принципы, лежащие в основе действия квантового усилителя. Схема линейного оптического квантового усилителя.

Формула для интенсивности света в двухуровневой усиливающей среде. Графики изменения интенсивности в среде (при различных соотношениях населенностей) Коэффициент квантового усиления. Сечение квантового перехода

10. Физические принципы, лежащие в основе работы лазера. Оптическая схема устройства лазера. Принцип обратной связи в лазерах. Условие самовозбуждения лазера.

- 11..Инверсия населенностей квантовых уровней. Понятие отрицательной температуры. Методы получения состояния вещества с инверсией населенностей квантовых уровней
- 12.Метод вспомогательного излучения в оптическом диапазоне. Трех и четырех уровневые схемы накачки. Их сравнение.
- 13.Анализ трехурвневой схемы накачки для оптического диапазона. Кинетические уравнения. Условие получения инверсии населенностей.
- 14.Открытые резонаторы , их назначение. Параметры ОР. Добротность ОР.
- 15.Классификация открытых резонаторов.
16. Условие устойчивости открытого резонатора (основы геометрической теории).
- 17.Волновая теория открытого резонатора. Спектр продольных и поперечных типов колебаний (мод) открытого резонатора
- 18.Твердотельные лазеры.. Устройство и принцип действия.
- 19.Элементы твердотельных лазеров: активные вещества, лампы накачки, зеркала.
- 20.Схема электропитания твердотельных лазеров.
- 21.Лазер на рубине. Устройство, схема энергетических уровней. Основные характеристики выходного излучения
- 22.Неодимовые лазеры. Обобщенная схема энергетических уровней. Основные характеристики выходного излучения.
- 23.Анализ работы твердотельного лазера в режиме свободной генерации.
- 24.Анализ работы твердотельного лазера в режиме модулированной добротности.
25. Методы модуляции добротности резонатора лазера: оптико-механический; электрооптический; с насыщающимся красителем.
- 26.Твердотельный лазер с электрооптической модуляцией добротности.
27. Твердотельный лазер в режиме синхронизации мод. Методы синхронизации,характеристики выходного излучения.
- 28.Газовые лазеры. Общая характеристика. Типы газовых лазеров. Устройство, принцип действия.
- 29.Механизмы получения инверсии населенностей в плазме газового разряда в газовых лазерах.
- 30.Не-Ne лазер. Конструкция, схема энергетических уровней, характеристики излучения
- 31.Энергетические состояния в полупроводниках. Графики зависимости энергии электронов и дырок в \ зоне проводимости и в валентной зоне в параболическом приближении.Условие квантового усиления электромагнитной волны (света) в полупроводнике.
- 32.Принцип действия лазерного диода на р-п переходе полупроводника.
33. Полупроводниковый лазер на арсениде галлия на гомопереходе. Конструкция, основные характеристики и параметры лазерного излучения. Основной недостаток лазера на гомопереходе.
34. Полупроводниковый лазер на арсениде галлия на гетеропереходе. Конструкция, основные характеристики и преимущества такого лазера.
- 35.Свойства лазерного излучения: когерентность, монохроматичность, расходимость, их количественное описание. Энергетические характеристики лазерного излучения.
- 36.Формирование спектра и поперечной структуры излучения лазера. Селекция продольных и поперечных мод.
- 37.Взаимодействие светового излучения с веществом. Сравнение величин напряженностей электрического поля классических и лазерных источников с напряженностью поля в атоме. Линейная и нелинейная поляризации вещества. Нелинейные оптические эффекты.

38. Генерация второй оптической гармоники в нелинейных кристаллах. Когерентная длина. Эксперимент по получению второй гармоники излучения лазера на рубине в кристалле кварца.

39.Способ увеличения когерентной длины в анизотропном кристалле. Направление синхронизма.

40. Кубическая нелинейность вещества. Самофокусировка света.

41. Принцип работы полупроводниковых фотоприемников. Внутренний фотоэффект.

Фотопроводимость.

42.Характеристики и параметры фотоприемников.

Фотодиод. Принцип действия,схемы включения, вольт-амперная характеристика.

#### Образец экзаменационного билета:

Приведен в приложении №3

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов,полученных при прохождении текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент может набрать до 70 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде или студенческой научной конференции.для допуска к экзамену студент должен набрать в семестре не менее 35 баллов.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом на экзамене, составляет 30 баллов.

Перевод оценки из 100-бальной в пятибальную производится следующим образом:

-отлично –от 80 до 100 баллов (включая 100 поощрительных баллов);

-хорошо -от 60 до 79 баллов;

-удовлетворительно-от 45 до 59 баллов

-неудовлетворительно –менее 45 баллов

#### **Критерии оценки (в баллах):**

- **25-30 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы.

- **17-24 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности.

- **10-16 баллов** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос.

- **1-10 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос/

## Темы лабораторных работ

Лабораторная работа №1 Компьютерное моделирование режима работы твердотельного лазера

Лабораторная работа № 2 Лазер на кристалле ИАГ:Nd<sup>+3</sup> в режиме свободной генерации

Лабораторная работа №3 Лазер на кристалле ИАГ:Nd<sup>+3</sup> в режиме модуляции добротности

Лабораторная работа № 4 Полупроводниковый лазер

Лабораторная работа № 5 Электрооптические модуляторы светового излучения

Лабораторная работа № 6 Лазерный доплеровский измеритель скорости частиц

### Лабораторные работы описаны в методичке:

«Оптоэлектронные и квантовые приборы. Методические указания по выполнению лабораторных работ» - Уфа: РИО БашГУ, 2012.

Пособие размещено на сайте Электронно-библиотечной системы Башкирского государственного университета «Университетская библиотека online» <http://www/biblioklub.ru/>

Порядок выполнения, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы для сдачи отчета имеются в описании каждой лабораторной работы.

### Комплект тестов (тестовых заданий)

по дисциплине «Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства»

Текущий и рубежный контроль знаний обучающихся проводится в соответствии с рейтинг-планом учебной дисциплины.

### Текущий контроль

1. Контроль за посещением и выполнением лабораторных работ в практикуме
2. Проверка и прием отчетов

Критерии оценки одной лабораторной работы ( в баллах)

Выполнение работы	3 балла,
Представление оформленного отчета	2 балла,
Даны правильные ответы на все контрольные вопросы	2 балла.

### Рубежный контроль

реализуется путем проведения письменного тестирования:

- после изучения учебного материала 1-го модуля курса;
- после изучения учебного материала 2-го модуля курса.

Пример варианта тестового задания по учебному материалу 1-го модуля курса

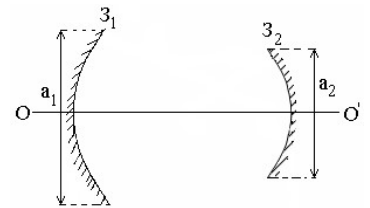
1. В табл. перечислены физические явления, связанные с физикой работы оптического квантового усилителя (ОКУ) и оптического квантового генератора (ОКГ).

Спонтанное излучение (а)	Вынужденное излучение (б)	Резонансное поглощение (в)	Инверсия населенностей квантовых уровней (г)	Положительная обратная связь (д)
--------------------------	---------------------------	----------------------------	--	----------------------------------

- Выберите из таблицы ответы, определяющие принципы работы ОКУ (обведите кружочком нужные из ряда - (а), (б), (в), (г), (д)). Нарисуйте схему ОКУ
- Выберите из таблицы ответы, определяющие принципы работы ОКГ (обведите кружочком нужные из ряда - (а), (б), (в), (г), (д)). Нарисуйте схему ОКГ (лазера)

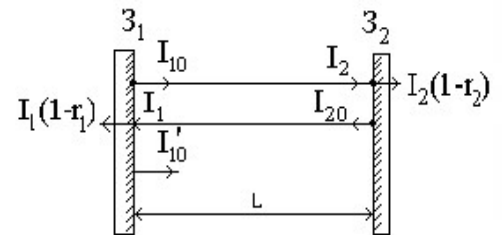
2. На рис. представлена схема устойчивого сферического открытого резонатора (ОР), т.е. выполняется условие  $L \leq R_1 + R_2$ , где  $L$  – база резонатора,  $R_1, R_2$  – радиусы кривизны зеркал.

- нарисуйте на схеме величины  $L, R_1, R_2$ ;
- напишите формулу, определяющую условие устойчивости ОР через  $g$ -параметры;
- нарисуйте диаграмму устойчивости ОР и покажите на ней точку, соответствующую: плоскопараллельному резонатору, конфокальному, полуконфокальному. Какой из этих резонаторов не критичен к разъюстировке зеркал резонатора?

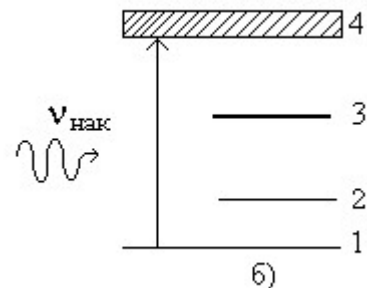
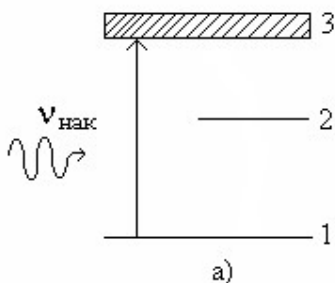


3. Рассмотрите процесс квантового усиления интенсивности световой волны в открытом резонаторе с базой  $L$ , состоящего из двух зеркал с коэффициентами отражения  $r_1$  и  $r_2$  соответственно.

- Напишите формулы для значений интенсивности света  $I_2, I_1, I_{20}$  и  $I_{10}'$  за один обход резонатора в процессе квантового усиления световой волны при заданном  $I_{10}$ . Чему равно критическое значение коэффициента усиления  $G_{кр}$ ?



4. На рисунке приведены трехуровневая (а) и четырехуровневая (б) схемы оптической накачки лазера ( $N_i$  – населенности уровней,  $i=1,2,3,4$ ) под действием излучения накачки с частотой  $\nu_{нак}$ .



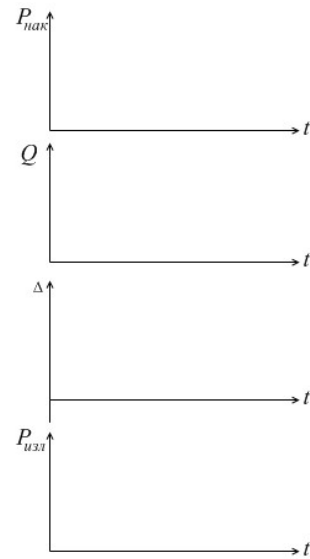
- нарисуйте схемы квантовых переходов, соответственно, для рис. (а); для рис. (б)
- что понимается под инверсной населенностью  $\Delta$  и между какими уровнями реализуется инверсия населенностей  $\Delta$ : для рис. (а) между \_\_\_ и \_\_\_; для рис. (б) между \_\_\_ и \_\_\_
- Обозначьте метастабильные уровни на рисунках а) и б) звездочками.

Пример варианта тестового задания по учебному материалу 2-го модуля курса

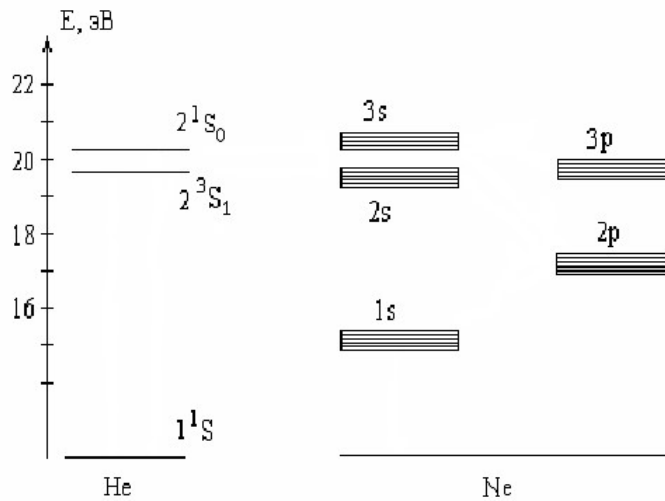
1. Нарисуйте:

оптическую схему твердотельного лазера в режиме модулированной добротности и графики, поясняющие формирование импульса излучения лазера :

- форму импульса накачки  $P_{нак}(t)$ ;
- добротность резонатора  $Q(t)$ ;
- инверсии населенностей  $\Delta(t)$ ,
- мощности выходного излучения лазера  $P_{изл}(t)$ .



2. На рисунке приведена схема энергетических уровней атомов гелия и неона, используемых в гелий – неоновом лазере. Используя рисунок, поясните механизмы накачки и каналы генерации в этом лазере в процессе газового разряда в трубке с газом. Нарисуйте устройство газового лазера.

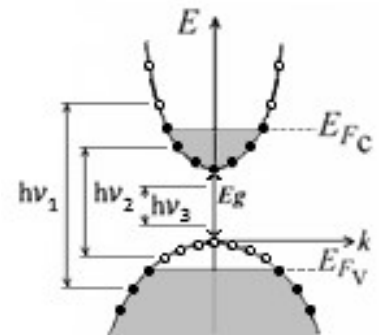


3. На рисунке показана структура энергетических уровней дважды вырожденного прямозонного полупроводника, т.е. зависимость энергии  $E(k)$ , соответственно в зоне проводимости и валентной зоне, и положение квазиуровней Ферми  $E_{Fv}$  и  $E_{Fc}$

На полупроводник воздействует свет с частотой  $\nu$ . Проанализируйте процесс взаимодействия света с образцом полупроводника

для случаев: а)  $\nu = \nu_1$  б)  $\nu = \nu_2$  в)  $\nu = \nu_3$

Напишите, как следствие этого анализа, условие усиления световой волны в полупроводнике.



## Критерии оценки тестового задания

Тестовое задание по 1-му модулю курса состоит из 4-х вопросов, по 2-му модулю-из 3-х. Ответ на один вопрос оценивается максимально 5-ью баллами.

5 баллов выставляется студенту,если дан правильный и полный ответ;

4 балла выставляется студенту,если в целом дан правильный ответ, однако имеются несущественные ошибки;

3 балла выставляется студенту,если в ответе отсутствуют принципиальные положения, характеризующие физические процессы или устройство;

1-2 балла выставляется студенту,если в ответе освещается только часть вопроса или дан ошибочный ответ;

0 балла выставляется студенту при отсутствии ответа.

## **5.Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература**

- 1.Акманов А.Г. Физические основы квантовой электроники и нелинейной оптики. Учебное пособие. -Уфа: РИЦ БашГУ, 2017.
2. Звелто О. Принципы лазеров. - М: Мир,1990.
3. Акманов А.Г., Шакиров Б.Г. Основы квантовых и оптоэлектронных приборов - Уфа: РИО БашГУ, 2013.
4. Пихтин А.Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники -М.:ВШ,1983.

#### **Дополнительная литература**

1. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров.- М:1981
- 2.Оптоэлектронные и квантовые приборы. Методические указания по выполнению лабораторных работ - Уфа: РИО БашГУ, 2012



## 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. Учебные пособия, справочные издания и статьи в ресурсах информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по направлениям: Квантовая электроника, Оптоэлектроника, Нелинейная оптика.

2. Электронные ресурсы библиотеки Башкирского государственного университета:

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ	Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	<a href="https://elib.bashedu.ru">https://elib.bashedu.ru</a>
2. Электронная библиотечная система Университетская библиотека онлайн.	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	<a href="https://www.biblioclub.ru">https://www.biblioclub.ru</a>
3. Электронно-библиотечная система издательства Лань.	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ	Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд.	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	<a href="https://www.bashlib.ru/catalog/">https://www.bashlib.ru/catalog/</a>

## 6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института.

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Аудитория (415 кабинет)	Лекции	Компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска
Аудитория (317 кабинет)	Лабораторные работы	Компьютеры, основные оборудования, используемые для проведения лабораторных занятий

В следующей таблице приведены сведения об основном оборудовании, которое используется при выполнении лабораторных работ по указанным модулям.

### Сведения об обеспеченности образовательного процесса специализированным и лабораторным оборудованием

№ п/п	Наименование модулей	Перечень основного оборудования, используемого для проведения лабораторных занятий
1	2	3
1	Физические основы квантовой электроники	Компьютеры
2	Приборы и устройства квантовой электроники и оптоэлектроники	Стенды (лабораторные установки) для изучения лазеров различных типов и их характеристик, модуляции лазерного излучения, газовые, твердотельные, полупроводниковые лазеры, устройства регистрации и измерения оптического излучения; электроизмерительные приборы (блоки электропитания, осциллографы)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**  
дисциплины Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства, 6 семестр  
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5 /180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	65,2
лекций	32
практических/ семинарских	
лабораторных	32
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	62
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету дифференцированному зачету (Контроль)	52,8

Форма контроля: экзамен - 6-й семестр

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
 ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства, 6 семестр  
 (наименование дисциплины)

заочная

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5 /180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	20
лекций	8
практических/ семинарских	
лабораторных	10
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,7
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	153
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету дифференцированному зачету (Контроль)	7,8

Форма контроля: экзамен - 8-й семестр

Очная форма обучения

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<p><b>Модуль 1:</b> <b>Физические основы квантовой электроники</b> Введение. Квантовые приборы-мазер и лазер. Оптоэлектронные приборы. Применение лазеров и оптоэлектронных приборов в системах оптической связи. Взаимодействие электромагнитного излучения(света) с веществом. Энергетические состояния квантовой системы. Населенности квантовых уровней. Квантовые переходы в двухуровневой модели атома: спонтанные и вынужденные переходы. Вероятности квантовых переходов, коэффициенты Эйнштейна. Резонансное поглощение, спонтанное и индуцированное излучения, их свойства.</p>	2			6	<p>[1] 1.1,1.2; 2.1,2.2. [2] 2.2; 2.3.1.</p>	[4]гл.2, 2.1,2.3	

<p>Связь между коэффициентами Эйнштейна</p> <p>Физические принципы действия оптических квантовых усилителей и квантовых генераторов- (лазеров): вынужденное излучение, инверсия населенностей квантовых уровней, положительная обратная связь. Коэффициент квантового усиления. Оптическая схема лазера. Условие самовозбуждения лазера. Методы инверсии населенностей квантовых уровней. Метод вспомогательного излучения, электрическая накачка. Метод оптической накачки. Трех- и четырех-уровневые схемы накачки. Кинетические уравнения для населенностей уровней.</p> <p>Пассивные оптические резонаторы. Открытый резонатор (ОР) как колебательная система в оптическом диапазоне. Параметры открытых резонаторов, их классификация. Добротность ОР. Геометрическая, волновая и дифракционная теории открытого резонатора. Спектр продольных и поперечных мод ОР.</p>	<p>2</p> <p>4</p> <p>2</p>			<p>6</p> <p>8</p>	<p>[2] 2.4.3</p> <p>[1] 2.4, 2.5</p> <p>;</p> <p>[1] 2.6,2.7</p> <p>[2] .3.2.</p> <p>[1] 2.9,2.10</p> <p>[2] 4.1.</p>	<p>[4]гл.3, 3.1</p> <p>[д1] гл.1,гл.2</p> <p>[4]гл.3, 3.2,</p> <p>[4]гл.3, 3.3,</p>	<p>Отчеты по лабораторным работам</p> <p>Тесты</p>
--	----------------------------	--	--	-------------------	---	---	--

2	<p><b>Модуль2: Приборы и устройства квантовой электроники и оптоэлектроники</b></p> <p>Твердотельные лазеры. Конструкция, составные части лазера- активные элементы, зеркала, лампы накачки. Лазер на рубине, неодимо- вые лазеры. Схемы электропитания твердотельных лазеров. Импульсные режимы ра- боты твердотельных лазеров. Свободная генерация, оптическая схема лазера, динамика формирования импульсов излучения. Режим модулированной добротности резонатора лазера: оптико-меха- нический, электрооптичес- кий и пассивный методы модуляции добротности. Режим синхронизации мод.</p> <p>Газовые лазеры. Механизмы создания инверсии населен- ностей в плазме газового разряда. Атомные, молеку-</p>	6	16	10	<p>[1] 3.1-3.4 [д2]</p> <p>[2] 6.2</p> <p>[1] 3.5</p> <p>[1] 3.6</p> <p>[1] 4.1-4.4</p>	[д 1] гл.4		

<p>лярные и ионные газовые лазеры. Гелий-неоновый, аргоновый лазеры, лазер на молекулах CO<sub>2</sub></p> <p>Полупроводниковые лазеры. Процессы в p-n переходе полупроводника. Условие квантового усиления света в полупроводнике. Лазер на кристалле GaAs на гомо-переходе, конструкция, характеристики, его недостатки. Конструкция и принцип действия полупроводникового лазера на двойном гетеропереходе. Характеристики выходного излучения, преимущества таких лазеров.</p> <p>Свойства лазерных пучков. Монохроматичность лазерного излучения. Основы теории и формы линии излучения. Естественное, столкновительное и доплеровское уширение линии излучения. Управление шириной спектра генерации лазера.</p> <p>Когерентность лазерного излучения. Пространственная и временная когерентность, методы ее измерения.</p> <p>Пространственные характеристики лазерного пучка. Расходимость, методы ее измерения. Распределение</p>	<p>4</p> <p>2</p> <p>2</p>			8	10	<p>[2] 6.3.1.-6.3.3.</p> <p>[1] 5.1-5.6</p> <p>[2] 6.6.</p> <p>[1] 6.1-6.4</p> <p>[2] 7.2, 7.5, 7.6, 7.9.</p>	<p>[д1] гл.13</p> <p>[д1] гл.5</p>	<p>Отчеты по лабораторным работам</p>
--	----------------------------	--	--	---	----	---	------------------------------------	---------------------------------------



	<p>интенсивности лазерного излучения в сечении пучка. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.</p> <p>Нелинейная оптика. Генерация оптических гармоник излучения лазеров, самофокусировка, вынужденное рассеяние света. Применение лазеров</p> <p>Оптоэлектроника. Принцип действия полупроводниковых фотоприемников оптического излучения. Фотодиоды, схемы включения, характеристики.</p>	4		8	8	<p>[1] 7.1-7.5; [2] 8.4. [4] гл.5</p>	[д1] гл.17	Тесты
		2			8	[3] 8.8, 8.9, 8.15,8.16.		Экзамен
...								
	<b>Всего часов:</b>	32		32	62			53

Заочная форма обучения

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<p><b>Модуль 1:</b> <b>Физические основы</b> <b>квантовой электроники</b> Введение. Квантовые приборы-мазер и лазер. Оптоэлектронные приборы. Применение лазеров и оптоэлектронных приборов в системах оптической связи. Взаимодействие электромагнитного излучения(света) с веществом. Энергетические состояния квантовой системы. Населенности квантовых уровней. Квантовые переходы в двухуровневой модели атома: спонтанные и вынужденные переходы. Вероятности квантовых переходов, коэффициенты Эйнштейна. Резонансное поглощение, спонтанное и индуцированное излучения, их свойства.</p>	1			6	[1] 1.1,1.2; 2.1,2.2.	[4]гл.2, 2.1,2.3  [2]2.2; 2.3.1.	

	<p>Связь между коэффициентами Эйнштейна</p> <p>Физические принципы действия оптических квантовых усилителей и квантовых генераторов- (лазеров): вынужденное излучение, инверсия населенностей квантовых уровней, положительная обратная связь. Коэффициент квантового усиления. Оптическая схема лазера. Условие самовозбуждения лазера. Методы инверсии населенностей квантовых уровней. Метод вспомогательного излучения, электрическая накачка. Метод оптической накачки. Трех- и четырехуровневые схемы накачки. Кинетические уравнения для населенностей уровней.</p> <p>Пассивные оптические резонаторы. Открытый резонатор (ОР) как колебательная система в оптическом диапазоне. Параметры открытых резонаторов, их классификация. Добротность ОР. Геометрическая, волновая и дифракционная теории открытого резонатора. Спектр продольных и поперечных мод ОР.</p>	1			6	<p>[1] .2.4,2.5;</p> <p>;</p> <p>[1] .2.6 ,2.7;</p>	<p>[2] 2.4.3.</p> <p>[4] гл.3, 3.1</p> <p>[д 1] гл.1, гл.2</p> <p>[2] 3.2.</p> <p>[4] гл.3, 3.2</p>	
		1			8	<p>[1] 2.9, 2.10;</p>	<p>[2] 4.1.</p> <p>[4] гл.3, 3.3.</p>	

2	<p><b>Модуль2: Приборы и устройства квантовой электроники и оптоэлектроники</b></p> <p>Твердотельные лазеры. Конструкция, составные части лазера- активные элементы, зеркала, лампы накачки. Лазер на рубине, неодимо- вые лазеры. Схемы электропитания твердотельных лазеров. Импульсные режимы ра- боты твердотельных лазеров. Свободная генерация, оптическая схема лазера, динамика формирования импульсов излучения. Режим модулированной добротности резонатора лазера: оптико-меха- нический, электрооптиче- ский и пассивный методы модуляции добротности. Режим синхронизации мод.</p> <p>Газовые лазеры. Механизмы создания инверсии населен- ностей в плазме газового разряда. Атомные, молеку-</p>	2	4	10	<p>[1] 3.1-3.4 [д2]</p> <p>[2] 6.2</p> <p>[1] 3.5</p> <p>[1] 3.6</p> <p>[1] 4.1-4.4</p>	<p>[д 1] гл.4</p> <p>[2] 6.3.1.-6.3.3.</p>		



	<p>интенсивности лазерного излучения в сечении пучка. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.</p> <p>Нелинейная оптика. Генерация оптических гармоник излучения лазеров, самофокусировка, вынужденное рассеяние света. Применение лазеров</p> <p>Оптоэлектроника. Принцип действия полупроводниковых фотоприемников оптического излучения. Фотодиоды, схемы включения, характеристики.</p>	1		2	4  4	<p>[1] 7.1-7.5; [4] гл.5</p> <p>[3] 8.8, 8.9, 8.16</p>	<p>[2] 8.4. [д1] гл.17</p>	<p>Контрольная работа</p> <p>Экзамен</p>
...								
	<b>Всего часов:</b>	8		10	153			7,8

## Рейтинг-план дисциплины

Инфокоммуникационные технологии и системы связи \_\_\_\_\_  
 (название дисциплины согласно рабочему учебному плану)  
 курс 3, семестр\_2

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1: Физические основы квантовой электроники</b>			<b>0</b>	<b>34</b>
<b>Текущий контроль</b>				
1.Выполнение лабораторной работы, составление и сдача отчета	7	2	0	14
<b>Рубежный контроль</b>				
1.Выполнение тестового задания	20	1	0	20
<b>Модуль2: Приборы и устройства квантовой электроники</b>			<b>0</b>	<b>36</b>
<b>Текущий контроль</b>				
1.Выполнение лабораторной работы, составление и сдача отчета	7	3	0	21
<b>Рубежный контроль</b>				
1.Выполнение тестового задания	15	1	0	15
<b>Поощрительные баллы</b>				
1.Участие в конференциях, публикация статей	10	1	0	10
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1.Посещение лекционных занятий			0	-6
2.Посещение практических занятий			0	-10
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Экзамен				<b>30</b>

**Образец экзаменационного билета**

Минобрнауки России  
ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет


Физико-технический институт  
Кафедра инфокоммуникационных технологий и наноэлектроники

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №**

по дисциплине Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства  
Направление 11.03.02. Инфокоммуникационные технологии и системы связи  
Профиль Оптические системы и сети связи

1. Взаимодействие света с веществом, Спонтанные и индуцированные переходы в квантовых системах. Вероятности квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна.
2. Схема электропитания твердотельных лазеров.
3. Кубическая нелинейность вещества. Самофокусировка света

Заведующий кафедрой

  
/ Салихов Р.Б. /