

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Квантовая радиоп физика Б3.Б.4.4

Направление подготовки: 011800.62 - Радиоп физика

Профиль подготовки: Телекоммуникационные системы и информационные технологии

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Никитин С.И.

**Рецензент(ы):**

Таюрский Д.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6138217

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) директор института физики Никитин С.И. Директорат Института физики Институт физики, Sergey.Nikitin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Изучение основных положений квантовой электроники, основных принципов работы лазеров, физических процессов в лазерах, свойства различных режимов работы лазеров, базовых принципов электронного парамагнитного резонанса; формирование у студентов современного естественнонаучного мировоззрения; освоение ими современного стиля физического мышления; формирование способности к креативному мышлению и ориентации в современном научном мире.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б3.Б.4 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике, общей физике (раздел "Электричество и магнетизм", "Оптика", "Атомная и ядерная физика"), теоретической физике ("Электродинамика", "Квантовая теория", "Термодинамика и статистическая физика").

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- основные физические процессы в лазерах и их влияние на параметры лазеров;
- свойства различных режимов работы лазеров (стационарная генерация, режим модуляции добротности, синхронизация мод);
- элементы теории оптических резонаторов и динамики процессов в лазере;

- принципы работы различных типов газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров;
- основы электронного парамагнитного резонанса.

2. должен уметь:

- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;
- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, измерять основные параметры лазерного излучения, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по квантовой электронике;
- использовать методы физических исследований материалов квантовой электроники

3. должен владеть:

- системным научным анализом проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности;
- навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой;
- навыками проведения физического эксперимента

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;
- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, измерять основные параметры лазерного излучения, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по квантовой электронике;
- использовать методы физических исследований материалов квантовой электроники

**4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

**4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю**

**Тематический план дисциплины/модуля**

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение Предмет квантовой радиофизики	8	1	2	6	0	Отчет Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Механизмы уширения спектральных линий. Релаксация	8	2	2	2	0	Отчет Устный опрос
3.	Тема 3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля	8	3-5	6	0	0	Устный опрос
4.	Тема 4. Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом	8	6-7	4	0	0	Устный опрос
5.	Тема 5. Квантовые усилители	8	8	2	0	0	Отчет Устный опрос
6.	Тема 6. Открытые резонаторы.	8	9-10	4	2	0	Отчет
7.	Тема 7. Квантовые генераторы	8	11-12	4	4	0	Отчет
8.	Тема 8. Твердотельные лазеры.	8	13	2	4	0	Отчет
9.	Тема 9. Атомные лазеры.	8	14	2	0	0	Отчет
10.	Тема 10. Полупроводниковые лазеры	8	15-16	4	6	0	Отчет
11.	Тема 11. Перестраиваемые лазеры	8	17	2	0	0	Отчет
12.	Тема 12. Электронный парамагнитный резонанс	8	18	2	4	0	Отчет
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Зачет
	Итого			36	28	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Введение Предмет квантовой радиофизики

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Предмет квантовой радиофизики. Спонтанные и вынужденные переходы, их свойства, коэффициенты Эйнштейна. Свойства лазерного излучения: пространственная и временная когерентность, монохроматичность, расходимость.

###### *практическое занятие (6 часа(ов)):*

Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер" и лабораторной работы ♦ 2 "Гелий-неоновый лазер". Измерение параметров лазерного излучения на примере рубинового и гелий-неонового лазеров. Объяснение полученных результатов на основе свойств вынужденного излучения. Объяснение влияния спонтанного излучения на параметры исследуемых лазеров. Выполнение лабораторной работа ♦ 5 ?Голография?. Изучение принципов записи и восстановления голографического изображения, принципов построения голографических установок, методов измерения пространственной и временной когерентности.

## **Тема 2. Механизмы уширения спектральных линий. Релаксация**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Однородное уширение спектральных линий. Физические механизмы однородного уширения спектральных линий в газах, жидкостях и твердых телах. Неоднородное уширение спектральных линий. Физические механизмы неоднородного уширения. Оценки величин однородного и неоднородного уширения линий в различных средах. Релаксация. Время релаксации. Релаксация и уширение спектральных линий.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер" и лабораторной работы ♦ 2 "Гелий-неоновый лазер". Выяснение основных механизмов уширения спектральных линий в газах и твердых телах, их влияния на параметры лазерного излучения, объяснение полученных результатов.

## **Тема 3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля**

### ***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Постановка задачи. Идея квантования. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы физических величин для электромагнитных полей. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии. Понятие электромагнитного вакуума. Его характерные свойства. Опыт Лэмба и его трактовка. Сила Казимира. Понятие фотона. Свойства фотона. Одномодовые состояния электромагнитного поля с определенным числом фотонов, с определенной амплитудой. Когерентные фотонные состояния.

## **Тема 4. Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом**

### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Оператор энергии взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения). Связь пространственной четности волновой функции квантовой системы с правилом отбора для дипольного излучения (поглощения). Спонтанное излучение. Свойства спонтанного излучения

## **Тема 5. Квантовые усилители**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент усиления. Инверсия населенностей. Понятие отрицательной температуры. Основные методы создания инверсии в средах. Трехуровневые системы. Преимущества четырехуровневых систем

## **Тема 6. Открытые резонаторы.**

### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Открытые резонаторы. Спектр мод резонатора. Типы открытых резонаторов. Поля в открытых резонаторах. Принципы расчета оптического резонатора. Метод Фокса и Ли. Конфокальный резонатор. Гауссовы пучки, свойства гауссовых пучков.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер". Изучение методов юстировка открытых резонаторов на примере плоского резонатора в лазере на кристалле рубина. Изучение свойств открытых резонаторов, метода Фокса-Ли, модового состава для интерферометра Фабрик-Перо, влияние дифракционных потерь на модовый состав. Ознакомление с методами расчета электромагнитного поля в открытом резонаторе.

## **Тема 7. Квантовые генераторы**



**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Динамика процессов в лазере. Режим стационарной генерации. К.п.д. лазера в стационарном режиме, оптимальный коэффициент пропускания выходного зеркала. Режим модуляции добротности. Методы реализации режима модуляции добротности. Синхронизация мод. Методы осуществления синхронизации мод.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер" и лабораторной работы ♦2 "Гелий-неоновый лазер". Изучение подходов для описания стационарного режима генерации, ознакомление с режимом модуляции добротности, способами реализации режима модуляции добротности.

**Тема 8. Твердотельные лазеры.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Уровни энергии редкоземельных и переходных ионов в кристаллах. Лазеры на кристаллах рубина и алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd<sup>3+</sup>.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер". Исследование энергетических характеристик лазера на кристалле рубина в режиме свободной генерации и режиме модуляции добротности, физических причин определяющих к.п.д. лазера на рубине.

**Тема 9. Атомные лазеры.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Атомные лазеры. Гелий-неоновый лазер. Аргоновый лазер. Молекулярные лазеры. Электронные, колебательные и вращательные уровни. Оптические переходы в молекулах, разрешенные и запрещенные переходы, вероятность переходов. Лазер на углекислом газе. Состав рабочей смеси. Технические решения и особенности конструкций непрерывных и импульсных CO<sub>2</sub> лазеров. Газодинамические CO<sub>2</sub> лазеры. Азотный лазер. Эксимерные лазеры.

**Тема 10. Полупроводниковые лазеры**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Условия создания инверсной населенности. Усиление излучения в p-n переходе вырожденных полупроводников. Принцип действия и конструкция инжекционного лазера на p-n переходе. Принцип действия и устройство лазера на гетеропереходе. Пространственно-энергетические и спектральные характеристики излучения полупроводниковых лазеров. Преимущества и недостатки полупроводниковых лазеров. Применение полупроводниковых лазеров. Твердотельные лазеры с полупроводниковой накачкой.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Выполнение лабораторной работы ♦3 "Полупроводниковый лазер". Изучение методов создания инверсной населенности в полупроводниковых лазерах, принципов построения и свойства полупроводниковых лазеров на гомопереходе, принципов построения и свойства полупроводниковых лазеров на гетеропереходе. Объяснение физических причин, определяющих расходимость, временную и пространственную когерентность, к.п.д. полупроводниковых лазеров, Излучение методов формирования спектра излучения полупроводниковых лазеров, принципов перестройки длины волны излучения полупроводниковых лазеров.

**Тема 11. Перестраиваемые лазеры**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Активные среды для перестраиваемых лазеров (растворы красителей, кристаллы, активированные ионами группы железа, кристаллы с центрами окраски). Способы накачки и энергетические характеристики. Физические основы и методы внутрирезонаторной селекции спектра излучения лазеров на красителях. Лазерная спектроскопия.

**Тема 12. Электронный парамагнитный резонанс**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Парамагнетики, Классическое и квантовое описание электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Продольная и поперечная релаксация. Ширина линии ЭПР. Спектр ЭПР ионов  $Mn^{2+}$  в кристалле  $CaF_2$ . Принципы построения спектрометров ЭПР. Применение ЭПР в науке (физика, химия, биология) и технике.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Выполнение лабораторной работы  $\blacklozenge$ 4 "Электронный парамагнитный резонанс". Изучение электронного парамагнитного резонанса как явления, применения ЭПР для исследования микроскопической структуры вещества на примере кристалла  $CaF_2:Mn^{2+}$ , основных видов взаимодействий определяющих спектр ЭПР. Ознакомление с принципами построения спектрометров ЭПР, методами работы на них, методов обработки экспериментальных результатов.

### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение Предмет квантовой радиофизики	8	1	подготовка к отчету	1	отчет
				подготовка к устному опросу	1	устный опрос
2.	Тема 2. Механизмы уширения спектральных линий. Релаксация	8	2	подготовка к отчету	1	отчет
				подготовка к устному опросу	1	устный опрос
3.	Тема 3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля	8	3-5	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
4.	Тема 4. Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом	8	6-7	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
5.	Тема 5. Квантовые усилители	8	8	подготовка к отчету	2	отчет
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
6.	Тема 6. Открытые резонаторы.	8	9-10	подготовка к отчету	4	отчет
7.	Тема 7. Квантовые генераторы	8	11-12	подготовка к отчету	4	отчет
8.	Тема 8. Твердотельные лазеры.	8	13	подготовка к отчету	4	отчет
9.	Тема 9. Атомные лазеры.	8	14	подготовка к отчету	4	отчет
10.	Тема 10. Полупроводниковые лазеры	8	15-16	подготовка к отчету	4	отчет
11.	Тема 11. Перестраиваемые лазеры	8	17	подготовка к отчету	2	отчет



№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
12.	Тема 12. Электронный парамагнитный резонанс	8	18	подготовка к отчету	2	отчет
	Итого				44	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекции (использование проблемных ситуаций), лабораторные работы, самостоятельная работа студента (подготовка отчетов для сдачи лабораторных работ и подготовка к устному опросу), консультации

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

### Тема 1. Введение Предмет квантовой радиофизики

отчет , примерные вопросы:

Способы измерения параметров лазерного излучения на примере рубинового и гелий-неонового лазеров. Методы измерения пространственной и временной когерентности. Принципы записи и восстановления голографического изображения.

устный опрос , примерные вопросы:

Свойства спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна, связь коэффициентов Эйнштейна. Пространственная и временная когерентность, монохроматичность, расходимость.

### Тема 2. Механизмы уширения спектральных линий. Релаксация

отчет , примерные вопросы:

Оценки величин однородного и неоднородного уширения линий в газах и твердых телах, сравнения с экспериментально полученными значениями для гелий-неонового и рубинового лазеров.

устный опрос , примерные вопросы:

Однородное уширение спектральных линий. Физические механизмы однородного уширения спектральных линий в газах, жидкостях и твердых телах. Неоднородное уширение спектральных линий.

### Тема 3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля

устный опрос , примерные вопросы:

Квантование свободного электромагнитного поля. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии. Понятие электромагнитного вакуума. Его характерные свойства. Опыт Лэмба и его трактовка. Сила Казимира.

### Тема 4. Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом

устный опрос , примерные вопросы:

Оператор энергии взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения). Объяснение свойств спонтанного и вынужденного излучения при учете квантования электромагнитного поля.

### Тема 5. Квантовые усилители

отчет , примерные вопросы:

Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент усиления. Инверсия населенностей. Оценка сечения усиления для рубинового и гелий-неонового лазеров.

устный опрос , примерные вопросы:

Основные методы создания инверсии в средах. Понятие отрицательной температуры. Трехуровневые системы. Преимущества четырехуровневых систем

### **Тема 6. Открытые резонаторы.**

отчет , примерные вопросы:

Открытые резонаторы. Спектр мод резонатора. Типы открытых резонаторов. Поля в открытых резонаторах. Принципы расчета оптического резонатора. Метод Фокса и Ли. Конфокальный резонатор. Гауссовы пучки, свойства гауссовых пучков. практическое занятие (2 часа(ов)): Выполнение лабораторной работы ♦1 "Рубиновый лазер". Изучение методов юстировка открытых резонаторов на примере плоского резонатора в лазере на кристалле рубина. Изучение свойств открытых резонаторов, метода Фокса-Ли, модового состава для интерферометра Фабрик-Перо, влияние дифракционных потерь на медовый состав. Ознакомление с методами расчета электромагнитного поля в открытом резонаторе.

### **Тема 7. Квантовые генераторы**

отчет , примерные вопросы:

Режим стационарной генерации. К.п.д. лазера в стационарном режиме, оптимальный коэффициент пропускания выходного зеркала. Режим модуляции добротности. Методы реализации режима модуляции добротности.

### **Тема 8. Твердотельные лазеры.**

отчет , примерные вопросы:

Уровни энергии редкоземельных и переходных ионов в кристаллах. Схема энергетических уровней ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в кристалле рубина, схема накачки лазера на кристалле рубина. Схема энергетических уровней ионов  $\text{Nd}^{3+}$  в кристалле алюмоиттриевого граната, схемы накачки лазеров на алюмоиттриевом гранате, активированного ионами  $\text{Nd}^{3+}$ . Временные характеристики лазера на кристалле рубина в режиме свободной генерации и режиме модуляции добротности.

### **Тема 9. Атомные лазеры.**

отчет , примерные вопросы:

Схема уровней атомов неона, схема накачки в гелий-неоновом лазере. Ионные лазеры, схема уровней иона аргона, механизмы накачки в аргоновом лазере. Молекулярные лазеры. Электронные, колебательные и вращательные уровни. Схема уровней молекул углекислого газа. Схемы накачки и особенности конструкций непрерывных и импульсных  $\text{CO}_2$  лазеров. Газодинамические  $\text{CO}_2$  лазеры.

### **Тема 10. Полупроводниковые лазеры**

отчет , примерные вопросы:

Принцип действия и конструкция инжекционного лазера на p-n переходе. Параметры полупроводниковых лазеров на гетеропереходе. Принцип действия и устройство лазера на гетеропереходе. Пространственно-энергетические и спектральные характеристики излучения полупроводниковых лазеров (необходимо объяснить полученные экспериментальные результаты).

### **Тема 11. Перестраиваемые лазеры**

отчет , примерные вопросы:

Кристаллы, активированные ионами группы железа (на примере кристалла сапфира, допированного ионами  $\text{Ti}^{3+}$ ) Перестраиваемые лазеры на кристаллах с центрами окраски. Методы внутрирезонаторной селекции спектра излучения перестраиваемых лазеров. лазеров на красителях.

### **Тема 12. Электронный парамагнитный резонанс**

отчет , примерные вопросы:

Описание электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в классическом и квантовом представлениях. Продольная и поперечная релаксация. Ширина линии ЭПР. Объяснение экспериментально измеренного спектра ЭПР ионов  $\text{Mn}^{2+}$  в кристалле  $\text{CaF}_2$ .

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

1. Спонтанные и вынужденные переходы, коэффициенты Эйнштейна.
2. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы физических величин для электромагнитных полей. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии.
3. Понятие электромагнитного вакуума. Его характерные свойства.
4. Опыт Лэмба.
5. Сила Казимира.
6. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении с учетом квантования электромагнитного поля. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения). Свойства вынужденного излучения.
7. Спонтанное излучение. Вероятность спонтанного излучения. Свойства спонтанного излучения.
8. Однородное уширение спектральных линий. Физические механизмы однородного уширения спектральных линий в газах, жидкостях и твердых телах.
9. Неоднородное уширение спектральных линий. Физические механизмы неоднородного уширения.
10. Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент усиления. Инверсия населенностей. Понятие отрицательной температуры.
11. Основные методы создания инверсии в средах. Трехуровневые системы. Преимущества четырехуровневых систем.
12. Открытые резонаторы. Спектр мод резонатора. Типы открытых резонаторов. Поля в открытых резонаторах. Принципы расчета оптического резонатора. Метод Фокса и Ли.
13. Конфокальный резонатор.
14. Динамика процессов в лазере. Режим стационарной генерации. Уравнения, описывающие режим стационарной генерации.
15. Режим модуляции добротности. Методы реализации режима модуляции добротности.
16. Синхронизация мод. Методы реализации режима синхронизации мод.
17. Лазеры на кристаллах рубина и алюмоиттриевого граната, активированного ионами  $Nd^{3+}$ .
18. Атомные лазеры. Гелий-неоновый лазер.
19. Ионные лазеры. Аргоновый лазер.
20. Молекулярные лазеры. Электронные, колебательные и вращательные уровни. Оптические переходы в молекулах, разрешенные и запрещенные переходы, вероятность переходов.
21. Лазер на углекислом газе.
22. Газодинамические  $CO_2$  лазеры.
23. Эксимерные лазеры.
24. Перестраиваемые лазеры на кристаллах, активированных ионами группы железа.
25. Перестраиваемые лазеры на центрах окраски.
26. Условия создания инверсной населенности в полупроводниках. Усиление излучения в p-n переходе вырожденных полупроводников.
27. Принцип действия и конструкция инжекционного лазера на p-n переходе.
28. Принцип действия и устройство лазера на гетеропереходе.
29. Пространственно-энергетические и спектральные характеристики излучения полупроводниковых лазеров.
30. Полупроводниковые лазеры с распределенной обратной связью.
31. Электронный парамагнитный резонанс (классическое и квантовое описание).
32. Спектр ЭПР кристалла  $CaF_2:Mn^{2+}$ , определение константы сверхтонкого взаимодействия и значения g-фактора, качественное объяснение полученных результатов.

### 7.1. Основная литература:

1. Электронные приборы и устройства: Учебник / Ф.А. Ткаченко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 682 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004658-7, 2000 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=209952>
2. Быков В.П. Лазерная электродинамика. М.: "Физматлит", 2006 г. - 378 с. <http://e.lanbook.com/view/book/48242/page75/>
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: "Физматлит", 2010 г. - 848 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2238/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Крюков П.Г. Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики. М.: "Физматлит", 2008 г. - 208 с.
2. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. М.: "Физматлит", 2004 г. - 320 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Издательский дом -

[http://www.edu.ru/modules.php?page\\_id=6&name=Web\\_Links&op=modload&l\\_op=visit&lid=60649](http://www.edu.ru/modules.php?page_id=6&name=Web_Links&op=modload&l_op=visit&lid=60649)

Сетевые ресурсы библиотеки КФУ - [http://portal.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8224](http://portal.kpfu.ru/main_page?p_sub=8224)

Федеральный портал - <http://www.edu.ru>

электронная библиотечная система Издательства - <http://e.lanbook.com>

электронно-библиотечная система Znanium - <http://znanium.com>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовая радиофизика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Для лучшего освоения лекционного материала студенты по курсу "Квантовая радиофизика" выполняют работы на лабораторном практикуме по "Квантовой радиофизике". Практикум полностью оснащен всем необходимым оборудованием для выполнения лабораторных работ. При прохождении лабораторного практикума студентами выполняются следующие лабораторные работы:

1. Лабораторная работа ♦ 1 "Рубиновый лазер".

Цель работы: изучение принципов построения твердотельных лазеров, исследование квазистационарного режима и режима модуляции добротности, получение навыков юстировки оптических резонаторов.

2. Лабораторная работа ♦ 2 "Гелий-неоновый лазер"

Цель работы: изучение принципов построения газовых лазеров, измерение параметров лазерного излучения.

3. Лабораторная работа ♦ 3 "Полупроводниковый лазер"

Цель работы: изучение свойств полупроводниковых лазеров (зависимость порогового тока и мощности генерации от температуры лазерного перехода, зависимость спектра излучения от температуры перехода, пространственная и временная когерентность полупроводниковых лазеров).

принципов построения газовых лазеров, измерение параметров лазерного излучения.

4. Лабораторная работа ♦ 4 "Электронный парамагнитный резонанс"

Цель работы: изучение электронного парамагнитного резонанса как явления, применения ЭПР для исследования микроскопической структуры вещества на примере кристалла  $\text{CaF}_2:\text{Mn}^{2+}$ .

Цель работы: изучение принципов записи голографического изображения, применение голографии в науке и технике.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Телекоммуникационные системы и информационные технологии .

Автор(ы):

Никитин С.И. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Таюрский Д.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.