

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направлений «Электроника и  
микроэлектроника», «Нанотехнология»

2012

Башкиров Александр Иванович

Квантовая и оптическая электроника = Квантовая и оптическая электроника: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» и направления «Нанотехнология» / А.И. Башкиров. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 20 с.

Целью преподавания дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» является подготовка студентов к разработке, эксплуатации и исследованию приборов и устройств квантовой и оптической электроники на основе изучения студентами базовых физических принципов функционирования основных элементов квантовой и оптической электроники.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» по курсу «Квантовая и оптическая электроника».

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## **КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направлений «Электроника и микроэлектроника»,  
«Нанотехнология»

Разработчик  
канд. физ.-мат. наук, доц.  
каф.ЭП  
\_\_\_\_\_ А.И. Башкиров  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## Содержание

Введение.....	5
Раздел 1 Введение .....	5
1.1 Содержание раздела .....	5
1.2 Методические указания по изучению раздела .....	5
Раздел 2 Способы описания и характеристики электромагнитного излучения оптического диапазона.....	5
2.1 Содержание раздела .....	5
2.2 Методические указания по изучению раздела .....	6
2.3 Вопросы для самопроверки .....	6
Раздел 3 Физические основы взаимодействия оптического излучения с квантовыми системами.....	7
3.1 Содержание раздела .....	7
3.2 Методические указания по изучению раздела .....	7
3.3 Вопросы для самопроверки .....	7
Раздел 4 Усиление оптического излучения .....	8
4.1 Содержание раздела .....	8
4.2 Методические указания по изучению раздела .....	8
4.3 Вопросы для самопроверки .....	8
Раздел 5 Генерация оптического излучения.....	9
5.1 Содержание раздела .....	9
5.2 Методические указания по изучению раздела .....	9
5.3 Вопросы для самопроверки .....	10
Раздел 6 Основные типы когерентных и некогерентных источников оптического излучения .....	10
6.1 Содержание раздела .....	10
6.2 Методические указания по изучению раздела .....	10
6.3 Вопросы для самопроверки .....	11
Раздел 7 Физические принципы и основные элементы для регистрации, модуляции, отклонения, трансформации, передачи и обработки оптического излучения .....	11
7.1 Содержание раздела .....	11
7.2 Методические указания по изучению раздела .....	12
7.3 Вопросы для самопроверки .....	12
8 Лабораторные работы .....	13
9 Практические занятия .....	14
10 Темы для самостоятельного изучения .....	14
11 Подготовка к контрольной работе.....	15
Заключение .....	17
Рекомендуемая литература .....	18

## **Введение**

Целью преподавания дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» является подготовка инженеров и бакалавров к разработке, эксплуатации и исследованию приборов и устройств квантовой и оптической электроники на основе изучения студентами базовых физических принципов функционирования основных элементов квантовой и оптической электроники.

Задачей дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» является изучение основных методов и приемов реализации устройств и приборов квантовой и оптической электроники, рассмотрение конкретных устройств, методов их расчета и проектирования.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами по дисциплинам:

1. «Методы математической физики» (дифференциальные уравнения в частных производных, волновые уравнения);
2. «Твердотельная электроника» (изотипные и анизотипные гетеропереходы, полупроводниковые излучатели и фотоприемники).

### **Раздел 1 Введение**

#### **1.1 Содержание раздела**

Предмет квантовой и оптической электроники, содержание курса. Основные понятия и определения. Квантовая электроника, оптоэлектроника и интегральная оптика, их особенности, примеры приборов и устройств.

#### **1.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Введение» следует обратить внимание на основные понятия и определения, на особенности квантовой электроники, оптоэлектроники и интегральной оптики.

### **Раздел 2 Способы описания и характеристики электромагнитного излучения оптического диапазона**

#### **2.1 Содержание раздела**

Особенности электромагнитных волн оптического диапазона. Волновое уравнение. Плоские скалярные волны. Электромагнитные плоские волны. Поляризация плоских электромагнитных волн. Энергия электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Распространение волновых пакетов\*. Групповая скорость\*.

## 2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Способы описания и характеристики электромагнитного излучения оптического диапазона» следует обратить внимание на электромагнитные волны оптического диапазона, волновые уравнения, электромагнитные плоские волны, виды поляризации плоских электромагнитных волн, уравнение баланса энергии электромагнитных волн, вектор Пойнтинга.

## 2.3 Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятию фазового или волнового фронта волны.
2. Запишите материальные уравнения для изотропной среды, не обладающей дисперсией. Поясните все обозначения.
3. Запишите уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Поясните все обозначения.
4. Выведите волновое уравнение из уравнений Максвелла в дифференциальной форме для непроводящей изотропной среды, в которой отсутствуют свободные заряды и сторонние токи.
5. Запишите математическую формулировку одномерного волнового уравнения. Поясните все обозначения.
6. Запишите математическое выражение для напряженности электрического поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся в произвольном направлении. Поясните все обозначения.
7. Запишите уравнения Максвелла для плоских гармонических волн в непроводящей среде, в которой также отсутствуют свободные заряды и сторонние токи. Поясните все обозначения.
8. Какое поле называют поляризованным, а какое неполяризованным?
9. Чем отличаются волны с линейной, эллиптической и круговой (левой и правой) поляризациями?
10. Запишите математическое выражение для волнового сопротивления среды, поясните все обозначения. Чему равно волновое сопротивление вакуума как среды распространения?
11. Запишите математическое выражение для фазовой скорости света через материальные параметры среды распространения, а также через скорость света в вакууме и коэффициент преломления. Поясните все обозначения.
12. В чем состоит достоинство комплексного метода при описании гармонических плоских волн?

## **Раздел 3 Физические основы взаимодействия оптического излучения с квантовыми системами**

### **3.1 Содержание раздела**

Энергетические состояния квантовых систем. Термостатированный ансамбль. Безизлучательные переходы. Описание релаксации. Общие уравнения для матрицы плотности. Электрические и магнитные дипольные моменты и энергия взаимодействия микрочастиц с внешним полем. Двухуровневая система микрочастиц во внешнем поле. Вероятности индуцированных переходов. Анализ поглощения электромагнитного поля двухуровневой системой. Эффект насыщения. Оптические переходы. Структура спектров. Ширина, форма и уширение спектральных линий. Спонтанные переходы\*. Оптические явления в средах с различными агрегатными состояниями.

### **3.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Физические основы взаимодействия оптического излучения с квантовыми системами» следует обратить внимание на интерпретацию энергетических состояний квантовых систем, описание термостатированного ансамбля, безизлучательные переходы, описание релаксации, уравнения для матрицы плотности, описание двухуровневой системы микрочастиц во внешнем поле, индуцированные переходы, эффект насыщения поглощения электромагнитного поля, оптические переходы, форму и уширение спектральных линий, спонтанные переходы.

### **3.3 Вопросы для самопроверки**

1. Каков физический смысл диагональных элементов матрицы плотности?
2. Каков физический смысл недиагональных элементов матрицы плотности? Чему они равны в стационарном состоянии?
3. Запишите математическое выражение для среднего по ансамблю значения некоторой физической величины, считая матрицу плотности данного ансамбля известной. Поясните все обозначения.
4. Запишите математическую формулировку для уравнения движения матрицы плотности смешанного ансамбля. Поясните все обозначения.
5. Какая система частиц называется термостатированным ансамблем? Приведите пример термостатированного ансамбля.

6. Что такое релаксация для термостатированного ансамбля?
7. Запишите уравнение движения для недиагонального элемента матрицы плотности термостатированного ансамбля. Поясните все обозначения.
8. Запишите уравнение движения для диагонального элемента матрицы плотности термостатированного ансамбля. Поясните все обозначения.
9. В чем заключается принцип детального равновесия при тепловых переходах?
10. Что такое тепловые (безызлучательные) переходы?
11. В чем суть полуклассического описания при рассмотрении электродипольного взаимодействия микрочастиц с электромагнитным полем?
12. Чему равны диагональные матричные элементы оператора электродипольного момента? Поясните свой ответ.
13. Каковы основные свойства спонтанных переходов?

## **Раздел 4 Усиление оптического излучения**

### **4.1 Содержание раздела**

Принцип квантового усиления электромагнитных волн. Активные среды. Методы создания инверсной населенности по двухуровневой схеме. Многоуровневые схемы создания инверсной населенности. Насыщение усиления в активных средах. Балансные уравнения.

### **4.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Усиление оптического излучения» следует обратить внимание на содержание принципа квантового усиления электромагнитных волн, описание активных сред, основные методы создания инверсной населенности по двухуровневой и трехуровневой схемам, использование балансных уравнений

### **4.3 Вопросы для самопроверки**

1. Запишите полную систему уравнений, которая позволяет описать взаимодействие электромагнитного поля с двухуровневой системой частиц. Поясните все обозначения.
2. Запишите математическое выражение, описывающее частотную зависимость вероятности индуцированного перехода для двухуровневой системы, взаимодействующей с внешним электромагнитным полем с частотой, близкой к частоте квантового перехода. Поясните все обозначения.

3. Запишите уравнение, описывающее динамику диагонального элемента матрицы плотности  $\rho_{11}$  двухуровневой системы, взаимодействующей с внешним полем, с учетом индуцированных и тепловых переходов. Поясните все обозначения.

4. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, с учетом эффекта насыщения. Поясните все обозначения.

5. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, в приближении слабого поля. Поясните все обозначения.

6. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, в приближении сильного поля. Поясните все обозначения.

7. В чем заключается эффект насыщения при взаимодействии двухуровневой системы частиц с внешним электромагнитным полем?

8. Запишите математическое выражение для вероятности спонтанного перехода через коэффициент Эйнштейна. Поясните все обозначения.

9. Запишите балансное (кинетическое) уравнение для числа частиц на энергетическом уровне. Поясните все обозначения.

## **Раздел 5 Генерация оптического излучения**

### **5.1 Содержание раздела**

Оптические резонаторы, особенности открытых резонаторов. Элементарная теория открытых оптических резонаторов. Добротность резонаторов. Волновая теория открытых резонаторов. Классификация оптических резонаторов. Селекция типов колебаний в оптических резонаторах. Характеристики лазерного излучения, монохроматичность, временная и пространственная когерентность. Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков. Нелинейно-оптические эффекты

### **5.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Генерация оптического излучения» следует обратить внимание на особенности оптических резонаторов, способы повышения добротности резонаторов, волновую теорию открытых резонаторов, селекцию типов колебаний в оптических резонаторах, монохроматичность, временную и пространственную когерентность, фокусировку лазерных пучков, нелинейно-оптические эффекты.

### 5.3 Вопросы для самопроверки

1. Выведите выражение для собственной частоты продольной моды резонатора Фабри-Перо.
2. Опишите способы селекции поперечных мод в оптических резонаторах.
  1. Опишите способы селекции продольных мод в оптических резонаторах.
  2. Дайте определение одночастотному режиму генерации лазера.
  3. Что такое длина когерентности? Какова длина когерентности различных источников излучения?
  4. Дайте определение понятия когерентности.
  3. Нарисуйте картину распределения светового поля на зеркале оптического резонатора для лазера, генерирующего моду  $TEM_{11q}$ .
  4. Что собой представляет полуконфокальный оптический резонатор? Каковы его достоинства?
  5. Выведите выражение для добротности оптического резонатора с учетом только полезных потерь, на связь с нагрузкой.
  6. По каким причинам свойство временной когерентности лазерного излучения очень важно для голографии?
  7. Для какой из поперечных мод расходимость лазерного пучка минимальна? Каково распределение амплитуды и фазы по сечению такого пучка, каков угол его расходимости?

## Раздел 6 Основные типы когерентных и некогерентных источников оптического излучения

### 6.1 Содержание раздела

Общая характеристика и особенности газовых лазеров. Механизмы возбуждения газовых лазеров. Газоразрядные лазеры: атомарные, ионные, молекулярные. Жидкостные лазеры на растворах органических красителей\*. Твердотельные лазеры. Основные лазерные материалы: рубин, стекла с  $Nd^{3+}$ . Системы накачки твердотельных лазеров\*. Лазеры с модулированной добротностью резонатора. Режим синхронизации мод. Полупроводниковые лазеры. Принцип действия и конструкция инжекционных лазеров на гомопереходах и гетеропереходах. Светоизлучающие диоды.

### 6.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Основные типы когерентных и некогерентных источников оптического излучения» следует обратить

внимание на особенности газовых лазеров. газоразрядные лазеры, твердотельные лазеры на рубине, стеклах с  $\text{Nd}^{3+}$ , лазеры с модулированной добротностью резонатора, полупроводниковые лазеры, светоизлучающие диоды.

### 6.3 Вопросы для самопроверки

1. Перечислите особенности газов, как активного вещества для лазеров.
2. Перечислите способы реализации инверсии населенностей в газах.
3. Назовите основные процессы, создающие инверсию населенностей в газовом разряде.
4. Что такое столкновения 1-го рода?
5. Что такое столкновения 2-го рода?
6. Нарисуйте схему энергетических уровней для газов гелия и неона.
7. Чем обусловлено ограничение поперечных размеров газоразрядной трубки для гелий-неонового лазера.
8. Какие энергетические уровни используют для генерации в лазере на углекислом газе.
9. Назовите системы накачки твердотельных лазеров.
10. Запишите балансные уравнения для режима непрерывной генерации в твердотельных лазерах.
11. Опишите режим свободной генерации в твердотельных лазерах.
12. Опишите принцип действия лазера с модулированной добротностью резонатора.
13. Опишите методы получения инверсной населенности в полупроводниках.
14. Дайте определение понятию внешнего квантового выхода излучающего диода.
15. Назовите условия получения вынужденного излучения в полупроводниках.
16. Перечислите основные материалы, применяемые для светодиодов, их основные характеристики.
17. Опишите принцип действия светодиодов.

## Раздел 7 Физические принципы и основные элементы для регистрации, модуляции, отклонения, трансформации, передачи и обработки оптического излучения

### 7.1 Содержание раздела

Фотопроводимость полупроводников. Собственная и примесная фотопроводимость. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках\*. Фоторезисторы и фотодиоды. Лавинные фотодиоды\*. Электрооптические

модуляторы\*. Акустооптические модуляторы, дефлекторы. Акустооптические анализаторы спектра радиосигналов\*. Элементы интегральной оптики. Геометрическая оптика планарных волноводов. Электромагнитная теория планарных волноводов. Волоконно-оптические системы передачи.

## 7.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Физические принципы и основные элементы для регистрации, модуляции, отклонения, трансформации, передачи и обработки оптического излучения» следует обратить внимание на фотопроводимость полупроводников, фотовольтаические эффекты в полупроводниках, фотодиоды, электрооптические и акустооптические модуляторы, геометрическую оптику планарных волноводов, электромагнитную теорию планарных волноводов, волоконно-оптические системы передачи.

## 7.3 Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные параметры приемников оптического излучения.
2. Опишите фотогоальванический режим работы фотодиода.
3. Опишите фотомангнетический эффект.
4. Какими преимуществами обладает фотодиодный режим по сравнению с фотогоальваническим при работе фотоприемников
5. Перечислите типы фотоприемников.
6. Объясните принцип работы лавинного фотодиода.
7. Что такое линейный электрооптический эффект?
8. В чем отличие продольного электрооптического эффекта от поперечного?
9. За счет каких эффектов происходит изменение диэлектрической проницаемости среды под действием акустической волны?
10. Что такое коллинеарное акустооптическое взаимодействие?
11. Что такое планарный волновод?
12. Что такое волноводная мода?
13. Нарисуйте траекторию распространения волноводной моды тонкоплёночного волновода.
14. Что такое номер моды?
15. Перечислите типы оптических волокон. Ответ поясните рисунком.
16. Опишите процесс распространения света в оптическом волокне.
17. Объясните механизмы потерь в оптических волокнах.
18. Как осуществляется ввод и вывод излучения для оптического волокна?

## 8 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование основных параметров полупроводникового лазера
2. Определение электрооптических параметров анизотропных кристаллов
3. Исследование затухающих колебаний электрического заряда в последовательном колебательном контуре

#### 4. Полупроводниковые детекторы оптического излучения

### 9 Практические занятия

На практических занятиях студенты рассматривают варианты задач. Целью занятий является углубление понимания процессов, происходящих при распространении электромагнитных волн в резонаторе, усилении и генерации оптического излучения в квантовых системах, управлении характеристиками лазерного излучения. Уделяется внимание поляризации, монохроматичности, когерентности, направленности света, твердотельным и полупроводниковым лазерам.

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы. Темы практических занятий приведены ниже:

1. Квантовые переходы. Ширина спектральных линий. Усиление и генерация в квантовых системах
2. Оптические резонаторы, моды резонатора. Добротность резонаторов
3. Свойства лазерного излучения. Монохроматичность, когерентность, направленность
4. Твердотельные лазеры
5. Полупроводниковые лазеры
6. Управление пространственными характеристиками лазерного излучения

### 10 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение ниже предложенных тем.

1. Распространение волновых пакетов
2. Групповая скорость
3. Спонтанные переходы
4. Жидкостные лазеры на растворах органических красителей
5. Системы накачки твердотельных лазеров
6. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках
7. Лавинные фотодиоды
8. Электрооптические модуляторы
9. Акустооптические анализаторы спектра радиосигналов

Студент защищает реферат, по выбранной теме.

## 11 Подготовка к контрольной работе

Студенты выполняют три контрольных работы. Контрольные работы проводятся по следующим темам:

1. Квантовые переходы. Энергетические уровни.
2. Оптические резонаторы.
3. Пространственные характеристики излучения ОКГ.

При выполнении контрольной работы каждому студенту выдается индивидуальное задание, включающее в себя теоретическую часть (тестовый опрос) и три задачи, выбранные из предложенных задач для самостоятельного решения (задачи представлены в методическом указании к практическим занятиям по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»).

### 11.1 Теоретические вопросы для тестового опроса по теме «Квантовые переходы. Энергетические уровни»

1. Дайте математическую формулировку для закона распределения частиц по энергетическим уровням в состоянии термодинамического равновесия.
2. Почему для реализации принципа квантового усиления электромагнитных волн необходимо создать в веществе состояние инверсии населенностей?
3. Почему для реализации принципа квантового усиления электромагнитных волн необходимо использование индуцированного излучения?
4. Почему спонтанное излучение не может быть использовано для реализации принципа квантового усиления электромагнитных волн?
5. Каков физический смысл диагональных элементов матрицы плотности?
6. Каков физический смысл недиагональных элементов матрицы плотности?
7. Чему недиагональных элементов матрицы плотности равны в стационарном состоянии?
8. Запишите математическое выражение для среднего по ансамблю значения некоторой физической величины.
9. Запишите математическую формулировку для уравнения движения матрицы плотности смешанного ансамбля.
10. Какая система частиц называется термостатированным ансамблем?

## 11.2 Теоретические вопросы для тестового опроса по теме «Оптические резонаторы»

1. Запишите выражение для собственной частоты продольной моды резонатора Фабри-Перо.
2. Запишите способы селекции поперечных мод в оптических резонаторах.
3. Запишите способы селекции продольных мод в оптических резонаторах.
4. Дайте определение одночастотного режима работы резонатора.
5. К чему приводит жесткая связь между фазами колебаний генерируемых лазером продольных мод?
6. Нарисуйте картину распределения светового поля на зеркале оптического резонатора для лазера, генерирующего моду  $TEM_{11q}$ .
7. Что собой представляет полуконфокальный оптический резонатор?
8. Каковы достоинства полуконфокального оптического резонатора?
9. Запишите выражение для добротности оптического резонатора с учетом только полезных потерь.
10. Запишите выражение для добротности оптического резонатора с учетом полезных и дифракционных потерь.

## 11.3 Теоретические вопросы для тестового опроса по теме «Пространственные характеристики излучения ОКГ»

1. Что такое длина когерентности?
2. Дайте определение понятия когерентности.
3. Для какой из поперечных мод расходимость лазерного пучка минимальна?
4. Каким образом можно уменьшить расходимость лазерного пучка, соответствующего основной поперечной моде  $TEM_{00q}$ ?
5. Что такое естественная ширина спектральной линии?
6. Какие причины приводят к однородному уширению спектральных линий?
7. Какие причины приводят к неоднородному уширению спектральных линий?
8. Какое из условий принципа квантового усиления электромагнитных волн определяет большую длину когерентности лазерного излучения?
9. Какое из условий принципа квантового усиления электромагнитных волн определяет высокую пространственную когерентность лазерного излучения?
10. Какой кривой может описываться неоднородно уширенная спектральная линия?

## Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Запишите материальные уравнения для изотропной среды, не обладающей дисперсией. Поясните все обозначения.

2. Запишите уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Поясните все обозначения.

3. Выведите волновое уравнение из уравнений Максвелла в дифференциальной форме для непроводящей изотропной среды, в которой отсутствуют свободные заряды и сторонние токи.

4. Запишите математическую формулировку одномерного волнового уравнения. Поясните все обозначения.

5. Запишите математическое выражение для напряженности электрического поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся в произвольном направлении. Поясните все обозначения.

6. Запишите уравнения Максвелла для плоских гармонических волн в непроводящей среде, в которой также отсутствуют свободные заряды и сторонние токи. Поясните все обозначения.

7. Какое поле называют поляризованным, а какое неполяризованным?

8. Каков физический смысл диагональных элементов матрицы плотности?

9. Каков физический смысл недиагональных элементов матрицы плотности? Чему они равны в стационарном состоянии?

10. Запишите математическое выражение для среднего по ансамблю значения некоторой физической величины, считая матрицу плотности данного ансамбля известной. Поясните все обозначения.

11. Запишите математическую формулировку для уравнения движения матрицы плотности смешанного ансамбля. Поясните все обозначения.

12. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, с учетом эффекта насыщения. Поясните все обозначения.

13. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, в приближении слабого поля. Поясните все обозначения.

14. Запишите выражение для мощности, поглощаемой двухуровневой системой частиц, взаимодействующей с внешним полем, в приближении сильного поля. Поясните все обозначения.

15. В чем заключается эффект насыщения при взаимодействии двухуровневой системы частиц с внешним электромагнитным полем?

16. Опишите способы селекции продольных мод в оптических резонаторах.
17. Дайте определение одночастотному режиму генерации лазера.
18. Что такое длина когерентности? Какова длина когерентности различных источников излучения?
19. Дайте определение понятия когерентности.
20. Назовите основные процессы, создающие инверсию населенностей в газовом разряде.
21. Что такое столкновения 1-го рода?
22. Что такое столкновения 2-го рода?
23. Опишите методы получения инверсной населенности в полупроводниках.
24. Дайте определение понятию внешнего квантового выхода излучающего диода.
25. Назовите условия получения вынужденного излучения в полупроводниках.
26. Перечислите основные параметры приемников оптического излучения.
27. Опишите фотогальванический режим работы фотодиода.
28. Что такое линейный электрооптический эффект?
29. В чем отличие продольного электрооптического эффекта от поперечного?
30. За счет каких эффектов происходит изменение диэлектрической проницаемости среды под действием акустической волны?

### **Рекомендуемая литература**

1. Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1991. - 191 с.
2. Информационная оптика / Под ред. Н.Н. Евтихеева. Учебное пособие – М., Издательство МЭИ, 2000. - 516 с.
3. Квасница М.С. Квантовые и оптоэлектронные приборы: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002.– 73 с.
4. Малышев В. А. Основы квантовой электроники и лазерной техники: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
5. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник для ВУЗов.- М.: Высшая школа, 2001. – 574 с.
6. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. - М.: Радио и связь, 1990. - 225 с.
7. Шангин А.С. Квантовая и оптическая электроника: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2008. – 112 с.

8. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника. Учебное методическое пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 228 с.

9. Шандаров С.М., Башкиров А.И. Введение в квантовую и оптическую электронику. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 100 с.

10. Шандаров С.М., Колегов А.А., Вишнев А.С., Буримов Н.И. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства. Учебно-методическое пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. - 34 с.

11. Щербина В.В., Башкиров А.И. Исследование основных параметров полупроводникового лазера. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу: «Квантовая и оптическая электроника». – Томск: ТУСУР, 2011. - 15 с.

12. Щербина В.В., Башкиров А.И. Полупроводниковые детекторы оптического излучения. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу: «Квантовая и оптическая электроника». – Томск: ТУСУР, 2011. - 12 с.

Учебное пособие

Башкиров А.И.

Квантовая и оптическая электроника

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л.                      Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40