

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая и оптическая электроника

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.09 Квантовая и оптическая электроника относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен исследовать методы построения и разрабатывать алгоритмы реализации систем безопасности телекоммуникационных каналов в подвижной цифровой защищенной связи	<p>ПК-1.1: Знает: - национальные, межгосударственные и международные стандарты, систем подвижной цифровой защищенной связи - руководящие и методические документы уполномоченных федеральных органов исполнительной власти, устанавливающие требования к организации информационной безопасности средств защиты телекоммуникационных каналов связи - основные средства и способы обеспечения информационной безопасности, принципы построения средств защиты систем подвижной цифровой защищенной связи</p> <p>ПК-1.2: Умеет: - организовывать сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по проблемам информационной безопасности беспроводных каналов связи - составлять научно-технические</p>	<p>ПК-1.1: Знания: - сущность и основы построения современных телекоммуникационных каналов связи, современную элементную базу телекоммуникационных систем, включая оптические системы связи с использованием лазерных и оптоэлектронных систем - методы классификации современных систем передачи информации</p> <p>ПК-1.2: Умения: - анализировать и классифицировать научно-техническую информацию в области построения систем телекоммуникационной связи, в том числе – с использованием моделей квантовой электроники и лазерной физики</p>	Опрос	Зачёт: Задачи Контрольные вопросы

	отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований			
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	43
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение	4	2	0	2	2
Квантовая теория излучения и поглощения	13	4	4	8	5
Элементы квантовой кинетики и теории спектральных линий	11	4	2	6	5
Взаимодействие двухуровневой среды с резонансным электромагнитным полем	13	4	4	8	5
Квантовые усилители и генераторы, информационные системы на их основе	30	8	12	20	10
Методы управления лазерным излучением	16	4	6	10	6
Методы регистрации оптических сигналов	10	2	4	6	4
Современная элементная база оптоэлектроники	10	4		4	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	

Итого	108	32	32	65	43
-------	-----	----	----	----	----

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Квантование свободного электромагнитного поля. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Пределы применимости классического описания поля.
2. Понятие фотона. Понятие электромагнитного вакуума.
3. Оператор энергии взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Электродипольное приближение. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения).
4. Квантовая теория излучения. Однофотонные переходы в первом порядке теории возмущений. Матричные элементы оператора энергии взаимодействия поля с веществом для процессов однофотонного излучения и поглощения.
5. Индуцированное и спонтанное излучение фотона. Соотношение между вероятностями индуцированного и спонтанного процессов. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении.
6. Многофотонные процессы. Типы двухфотонных и многофотонных процессов.
7. Соотношение неопределенностей энергия-время и естественная ширина линии излучения. Спектральный контур линии спонтанного излучения. Спонтанное излучение в оптике и радиодиапазоне.
8. Добротность спектральной линии. Оценки величин. Физические основы построения квантовых стандартов частоты.
9. Механизмы уширения спектральных линий.
10. Сечения фотопоглощения и излучения квантовой системы.
11. Понятие динамической и диссипативной подсистемы на примере спонтанного излучения атома. Релаксация динамической подсистемы как процесс взаимодействия с диссипативной подсистемой.
12. Квантовое кинетическое уравнение. Времена релаксации для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности. Оценки продольного и поперечного времен релаксации для различных сред.
13. Двухуровневая идеализация. Уравнения для двухуровневой среды, взаимодействующей с классическим электромагнитным полем.
14. Поведение двухуровневой среды при ее взаимодействии с резонансным электромагнитным полем. Стационарные решения уровней двухуровневой среды, взаимодействующей с резонансным полем.
15. Эффекты насыщения и просветления среды в сильном электромагнитном поле. Мощность, поглощаемая средой из электромагнитного поля. Насыщающая мощность (интенсивность).
16. Термодинамически неравновесная система. Инверсия населенностей. Трех- и четырех-уровневые системы. Метод оптической накачки. Инверсия населенностей в Nd^{3+} лазере.
17. Создание инверсной разности населенностей в газах с помощью газового разряда. Перенос энергии при неупругом соударении атомов и молекул. Гелий-неоновый лазер. Величины инверсной разности населенностей для газовых лазеров.
18. Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент и показатель усиления. Оценки величины показателя усиления для различных сред.
19. Условие самовозбуждения оптического квантового генератора. Зависимость порога генерации от параметров активной среды и резонатора.
20. Полуклассические и балансные уравнения квантового генератора. Одномодовое приближение. Учет спонтанного излучения в балансных уравнениях. Примеры возникновения многомодового режима генерации (выжигание спектральных и пространственных провалов).
21. Стационарный режим работы квантового генератора и его характеристики. Эффект затягивания частоты в квантовом генераторе.
22. Оптический резонатор. Типы резонаторов. Собственная и нагруженная добротность резонатора. Время жизни фотона в резонаторе.

23. Мощность квантового генератора. Оценка мощности для различных типов лазеров.
24. Нестационарные режимы генерации. Методы повышения мощности генерации лазеров. Метод модулированной добротности. Метод синхронизации мод в лазерах. Генерация гигантских импульсов.
25. Полупроводниковый инжекционный лазер, спектральные, мощностные и модуляционные характеристики.
26. Шумы излучения лазеров. Применение полупроводниковых лазеров в оптических системах передачи информации.
27. Волоконные световоды. Моды волоконных световодов. Уширение импульсов при распространении в оптическом волноводе: материальная и волноводная дисперсия. Потери в волноводах.
28. Волоконно-оптические линии связи. Спектральное уплотнение каналов.
29. Модуляторы оптического излучения. Электрооптическая и магнитооптическая модуляция. Взаимодействие света с акустическими волнами; дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Электрооптические и акустооптические модуляторы и дефлекторы.
30. Детектирование оптических сигналов. Прямое детектирование и гетеродинирование. Классификация фотоприемников. Фоторезисторы и фотодиоды (лавинные фотодиоды и pin - диоды); принцип действия. Фотогальванический и фотодиодный режим работы. Шумы приемников излучения.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 8 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Маругин А.В. КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МОДЕЛИ:

Учебное пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2022. - 105 с.

Рекомендовано Ученым советом радиофизического факультета для студентов ННГУ,

обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика», 02.04.02

«Фундаментальная информатика и информационные технологии» и 10.05.02

«Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

Маругин А.В., Савикин А.П., Шарков В.В., Шаркова О.В. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО

КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ: Практикум. — Нижний

Новгород: Нижегородский университет, 2018. - 34 с.

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета для студентов ННГУ,

обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика», 02.03.02

«Фундаментальная информатика и информационные технологии» и специальности 10.05.02

«Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Понятие фотона. Понятие электромагнитного вакуума.
2. Квантовая теория излучения. Однофотонные переходы в первом порядке теории возмущений. Матричные элементы оператора энергии взаимодействия поля с веществом для процессов однофотонного излучения и поглощения.
3. Индуцированное и спонтанное излучение фотона. Соотношение между вероятностями индуцированного и спонтанного процессов. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении.
4. Добротность спектральной линии. Оценки величин. Физические основы построения квантовых стандартов частоты.
5. Механизмы уширения спектральных линий.
6. Поведение двухуровневой среды при ее взаимодействии с резонансным электромагнитным полем. Стационарные решения уровней двухуровневой среды, взаимодействующей с резонансным полем.
7. Эффекты насыщения и просветления среды в сильном электромагнитном поле. Мощность, поглощаемая средой из электромагнитного поля. Насыщающая мощность (интенсивность).
8. Термодинамически неравновесная система. Инверсия населенностей. Трех- и четырех-уровневые системы. Метод оптической накачки. Инверсия населенностей в Nd^{3+} лазере.
9. Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент и показатель усиления. Оценки величины показателя усиления для различных сред.
10. Условие самовозбуждения оптического квантового генератора. Зависимость порога генерации от параметров активной среды и резонатора.
11. Мощность квантового генератора. Оценка мощности для различных типов лазеров.
12. Нестационарные режимы генерации. Методы повышения мощности генерации лазеров. Метод модулированной добротности. Метод синхронизации мод в лазерах. Генерация гигантских импульсов.
13. Полупроводниковый инжекционный лазер, спектральные, мощностные и модуляционные характеристики.
14. Шумы излучения лазеров. Применение полупроводниковых лазеров в оптических системах передачи информации.
15. Волоконные световоды. Моды волоконных световодов. Уширение импульсов при распространении в оптическом волноводе: материальная и волноводная дисперсия. Потери в волноводах.
16. Волоконно-оптические линии связи. Спектральное уплотнение каналов.
17. Модуляторы оптического излучения. Электрооптическая и магнитооптическая модуляция. Взаимодействие света с акустическими волнами; дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Электрооптические и акустооптические модуляторы и дефлекторы.
18. Детектирование оптических сигналов. Прямое детектирование и гетеродинирование. Классификация фотоприемников. Фоторезисторы и фотодиоды (лавинные фотодиоды и pin - диоды); принцип действия. Фотогальванический и фотодиодный режим работы. Шумы приемников излучения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Для идеальной квантовой ямы (потенциальный двусторонний барьер с бесконечными стенками) указать незапрещенные в электродипольном взаимодействии переходы. Вычислить матричные элемент оператора электродипольного взаимодействия для перехода с 1 на 2 энергетические уровни.
2. Получить выражение коэффициента Эйнштейна для стимулированного излучения через матричный элемент оператора взаимодействия. Получить связь коэффициентов Эйнштейна для стимулированного и спонтанного излучения.
3. Вычислить частоту Раби осцилляций при точном резонансе для перехода с 1 на 2 энергетические уровни идеальной квантовой ямы. Ширина ямы 10 нм, плотность мощности поля 10 Вт/см²
4. Рассчитать ширину линии для 2p-1s перехода в атоме водорода.
5. Для выбранного механизма получить выражение для неоднородно уширенного контура линии. Для выбранных условий оценить её ширину.
6. Найти ширину линии спонтанного излучения квантового гармонического осциллятора при переходе E₁-E₀. Наблюдаема ли такая ситуация в эксперименте.
7. Определить линейный коэффициент усиления слабого сигнала в 2-х уровневой среде. Если концентрация инверсии N₀ = 10⁹ см⁻³, вероятность спонтанного излучения 10⁷ сек⁻¹. Линия имеет форму Лоренца с шириной, определяемой спонтанным излучением.
- 10
8. Оценить минимальную мощность лампы-накачки (к.п.д. = 100 %), необходимую для создания инверсии в твердотельном лазере с концентрацией активных частиц n = 10¹⁹ см⁻³, объемом кристалла V = 10 см³. Частота середины полосы оптической накачки равна $\omega = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, время жизни частиц на верхнем рабочем уровне $\tau_{sp} = 3 \cdot 10^{-3}$ сек.
9. Линия люминесценции иона Nd³⁺ в стекле для рабочего перехода Nd лазера имеет полуширину 30

- нм. Найти ширину верхнего лазерного уровня, если нижний деактивируется со скоростью 108 с^{-1} .
10. Используя классическое определение добротности резонатора (контура) $Q_S : |dW/dt|$ (мощность потерь) $= \omega s/Q_S \cdot W$ (запасенная в резонаторе энергия) и концепцию плоских волн в резонаторе Фабри-Перо с коэффициентом отражения по мощности R_1 и R_2 , покажите, что добротность Q_s такого резонатора равна $Q_s = -2L \cdot \omega s / (c \cdot \ln R_1 R_2)$, где L - длина резонатора.
11. Рассчитать добротность Q_r и время жизни фотона τ_f в резонаторе Фабри-Перо с плоскими зеркалами. Расстояние между зеркалами $L = 1 \text{ м}$, коэффициенты отражения зеркал $R_1 = R_2 = 0,95$, рабочая длина волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$. Коэффициент поглощения среды, заполняющей резонатор, $\alpha = 0,01 \text{ см}^{-1}$. Дифракционными потерями пренебречь.
12. Газовый лазер работает на однородно-уширенном переходе, ширина линии 200 МГц . Вероятность спонтанного излучения на рабочем переходе ($\lambda = 1 \text{ мкм}$) $A_{sp} = 107 \text{ с}^{-1}$. Параметры резонатора Фабри-Перо: длина $L = 1 \text{ м}$, полные потери $0,02$. Определить пороговую концентрацию инверсии.
13. Рассчитать необходимую пороговую инверсию перехода газового лазера ($\lambda = 510 \text{ нм}$), если вероятность перехода $A_{ik} = 5 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$. Однородная ширина линии $\Delta \omega_{\text{одн}} = 20 \text{ МГц}$, длина резонатора $L = 20 \text{ см}$, а потери в резонаторе при двойном проходе составляют 5% .
14. Лазерная среда имеет доплеровский профиль усиления с шириной $\Delta \nu = 2 \text{ ГГц}$. Однородная ширина равна $\Delta \omega_{\text{одн}} = 50 \text{ МГц}$, а вероятность перехода $A_{ik} = 10^8 \text{ с}^{-1}$. Пусть частота одной из мод резонатора ($L = 30 \text{ см}$) совпадает с центральной частотой профиля усиления. Какова пороговая инверсия для центральной моды и при какой инверсии генерация начнется на соседних модах, если потери в резонаторе составляют 10% ?
15. Для соседних продольных мод резонатора Фабри-Перо длиной 1 м , заполненного активной средой с шириной лоренцевой линии излучения на рабочем переходе $\Delta \omega = 2 \cdot 10^{12} \text{ рад/сек}$ (рубин), сделайте оценку относительной разницы коэффициентов (показателей) усиления.
16. Резонатор инжекционного полупроводникового лазера образован естественными гранями кристалла с коэффициентами отражения $R_1 = R_2 = 0,37$. Определите пороговый уровень усиления для резонаторов длиной $L = 400 \text{ мкм}$ и $L = 100 \text{ мкм}$, если внутренние потери составляют $\alpha_{\text{внут}} = 5 \text{ см}^{-1}$. Что произойдет, если на грани резонатора нанести отражающие покрытия с $R_1 = 0,98$ и $R_2 = 1$?
17. Мощность непрерывной генерации полоскового полупроводникового лазера равна 10 мВт , длина волны излучения $\lambda = 0,8 \text{ мкм}$, ширина спектральной линии $\Delta \nu = 100 \text{ МГц}$, размеры ближнего поля - $1 \text{ мкм} \times 10 \text{ мкм}$. До какой температуры надо нагреть абсолютно черное тело, чтобы его спектральная яркость в заданном диапазоне достигла яркости на зеркале лазера?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами или без них
не зачтено	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имеют место грубые ошибки.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Сформулировать правила отбора для гармонического осциллятора.

2. Обосновать применимость теории возмущения в атоме водорода при возбуждении его электрическим полем на частоте ($\lambda = 121 \text{ нм}$) с плотностью мощности

10 Вт/см²

3. Почему происходит уширение спектральных линий поглощения (излучения) вещества в сильных полях?
4. Почему в оптическом диапазоне длин волн для измерения ширины линии можно использовать явление флуоресценции, а в радиодиапазоне – только вынужденное излучение или поглощение среды?
5. Для выбранного механизма получить выражение для неоднородно уширенного контура линии. Для выбранных условий оценить её ширину.
6. Известно, что время жизни электрона в возбужденном состоянии τ . Получить выражение для спектральной формы линии.
7. Отношение населенностей двух уровней для вещества, находящегося в состоянии равновесия при температуре 3000 К, равно 10. Вычислить частоту излучения, соответствующую переходу между этими уровнями.
8. Типичное время жизни для разрешённого электродипольного перехода в видимом диапазоне – 10 нс. Оценить естественную ширину линии рентгеновского лазера, излучающего в диапазоне 10 нм.
9. Механизмы однородного уширения. Вывести выражение для однородно уширенного контура линии. Дать оценку её ширины (в см⁻¹) для одного из радиационных переходов Ne.
10. Механизмы неоднородного уширения. Для выбранного механизма получить выражение для неоднородно уширенного контура линии. Для выбранных условий оценить её ширину (в см⁻¹).
11. Доплеровская ширина линии 500 МГц. Оценка времени жизни уровня 10-8с. Предложить метод измерения ширины лоренцевского контура.
12. Обосновать принципиальные трудности создания УФ и рентгеновских активных сред.
13. Связь коэффициента ненасыщенного усиления с коэффициентами Эйнштейна. Сравнить зависимости коэффициента усиления от мощности накачки в случае однородного и неоднородного насыщения усиления.
14. Двух-, трёх- и четырёхуровневая схемы лазеров: возможности реализации, достоинства и недостатки. Оптимальная ширина уровней.
15. Nd:АИГ лазер: квантовая схема, преимущество матрицы, организация эффективной накачки.
16. Традиционное устройство Nd лазера известно. Почему бы не сделать лазер того же диапазона на парах неодима? На газообразном соединении Nd, например, с галогеном?
17. Почему в лазерах, работающих на молекулярных переходах, используют полированные металлические зеркала, а в лазерах, работающих на электронных переходах, – диэлектрические?
18. Показать, что абсолютная ширина линии открытого оптического резонатора с плоскими зеркалами не зависит от частоты. Оценить (в см⁻¹) интервал между продольными модами и ширину линии такого резонатора для $R=0,99$ и $L=1$ м.
19. Изобразить структуру мод (линии уровня интенсивности, поляризацию, профиль напряжённости поля) TEM₀₀ и TEM₁₁ открытого резонатора с круглыми зеркалами. Для какой из них следует ожидать больших дифракционных потерь?
20. Изобразить и обосновать спектральный контур насыщенного усиления в резонаторе газового лазера при возбуждении в нём одной моды с частотой, лежащей в стороне от центра линии вещества.
21. Оценить число продольных мод, генерируемых He-Ne лазером длиной 1 м, считая, что температура разряда не слишком отличается от комнатной. Зависит ли ширина провала в насыщенном контуре усиления и ширина линии излучения лазера от длины резонатора?
22. Найти значение ненасыщенного коэффициента усиления для полупроводникового лазера с длиной активной области 100 мкм при использовании сколов по кристаллическим поверхностям в качестве зеркал.
23. Оценить ширину Лэмбовского провала для He-Ne лазера и сравнить полученное значение с доплеровской шириной линии.
24. Объяснить принцип действия и преимущества ДГС с отдельным ограничением. Типичные оптические параметры ДГС. Изобразить зонную диаграмму, привести варианты используемых материалов.

25. Обосновать необходимость многокомпонентных материалов для приготовления диодных структур. Преимущества и недостатки соединения AlGaAs как материала для лазерных диодов. Привести пример материалов для диодной структуры на «телекоммуникационный» диапазон 1,3 мкм
26. Особенности гетероструктуры на основе InGaAsP/InP. Вид ватт-амперной характеристики, спектр лазера и светодиода на её основе.
27. Чем определяется ширина полосы лазерного диода как источника информации? Почему светодиоды уступают им по этому параметру? Указать оценки для обоих случаев.
28. Как и почему зависит от температуры рабочая частота лазерного диода? Почему с ростом температуры снижается эффективность генерации?
29. Чем определяется толщина активной области лазерного диода, выполненного на основе простейшей гомоструктуры?
30. Указать и обосновать преимущества лазерных диодов с распределённой обратной связью и распределённым брэгговским отражением по сравнению с диодами простейшей геометрии.
31. Сравнить эффективность управления сигналами от лазерного диода путём модуляции накачки, модуляции добротности и модуляции выходного пучка.
32. Оценить ширину линии излучения и интервал между продольными модами для типичного лазерного диода

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы, продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, предусмотренном программой
не зачтено	Отсутствие владения материалом. Уровень знаний ниже минимальных требований.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Страховский Глеб Михайлович. Основы квантовой электроники : учеб. пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики". - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1979. - 303 с. : ил. - 0.95., 41 экз.
2. Карлов Николай Васильевич. Лекции по квантовой электронике : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1983. - 319 с. : ил. - 1.10., 63 экз.
3. Гауэр Дж. Оптические системы связи / пер. с англ. под ред. А. И. Ларкина. - М. : Радио и связь, 1989. - 500, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00113-2 (в пер.) : 2.50., 3 экз.
4. Оптика и связь : оптическая передача и обработка информации / пер. с фр. А. Г. Кочеткова, Н. Г. Соколовой ; под ред. В. К. Соколова. - М. : Мир, 1984. - 502 с. : ил. - 3.00., 8 экз.
5. Оокоси Таканори. Оптоэлектроника и оптическая связь / пер. с яп. А. А. Генина ; под ред. [и с предисл.] М. И. Беловолова. - М. : Мир, 1988. - 95, [1] с. : ил. - ISBN 5-03-001077-7 : 0.45., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Гроднев Игорь Измаилович. Волоконно-оптические линии связи : [учеб. пособие для электротехн. ин-тов связи специальности 2305, 2306]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 223, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00395-X : 0.55., 2 экз.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / пер. с англ., под ред. Н. Н. Слепова. - М. : Техносфера, 2003. - 440 с. : ил. - (Мир связи). - ISBN 5-94836-010-5. - ISBN 0-471-41477-8 : 320.00., 15 экз.
3. Сорокин Юрий Михайлович. Оптические потери в световодах : монография / ННГУ, Ин-т химии высокочистых веществ РАН. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2000. - 324 с. - 50.00., 25 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://books.ifmo.ru/file/pdf/115.pdf>

А. Л. Дмитриев

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор(ы): Маругин Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.