

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан радиофизического факультета
_____ Матросов В.В.
«___» _____ 201_г.

**Рабочая программа дисциплины
«Квантовая и оптическая электроника»**

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки
02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

Информационные системы и технологии

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2017

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» относится к обязательным дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», преподаётся в 7 семестре.

Целями освоения дисциплины является: формирование у студента современного представления о фотонной структуре электромагнитного поля, об элементарных квантовых актах однофотонного и многофотонного взаимодействия поля с веществом и их конкретном проявлении при преобразовании, усилении и генерации когерентного электромагнитного излучения в квантовых генераторах оптического диапазонов длин волн и других устройствах современной оптоэлектроники.

Законы, модели и уравнения, рассмотренные в лекционном курсе, дополняются изучением современных лазерных генераторов в рамках практических занятий и общефизического лабораторного практикума.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (Код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями Этап формирования базовый	З1 (ОПК-1) Знать методики получения базовых знаний и физических принципов в области квантовой электроники и оптоэлектроники У1 (ОПК-1) Уметь овладевать базовыми знаниями в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности В1 (ОПК-1) Владеть опытом накопления базовых знаний и способностью их использования в области квантовой и оптической электроники в профессиональной деятельности
ПК-1 Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям Этап формирования базовый	З2 (ПК-1) Знать методики сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники, необходимых для формирования научных выводов У2 (ПК-1) Уметь и обладать навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использования их для формирования научных выводов в профессиональной деятельности В2 (ПК-1) Владеть опытом сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники, необходимых для формирования выводов по соответствующим направлениям научных исследований

3. Структура и содержание дисциплины «Квантовая и оптическая электроника»

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 65 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часов практические занятия, 16 часов – лабораторный практикум, 1 час – мероприятия промежуточного контроля), 43 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

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

Формируемые компетенции (Код компетенции, этап формирования)	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение	4	2			2	2
2. Квантовая теория излучения и поглощения	13	4	4		8	5
3. Элементы квантовой кинетики и теории спектральных линий	11	4	2		6	5
4. Взаимодействие двухуровневой среды с резонансным электромагнитным полем	13	4	2	2	8	5
5. Квантовые усилители и генераторы, информационные системы на их основе	30	8	4	8	20	10
6. Методы управления лазерным излучением	16	4	2	4	10	6
7. Методы регистрации оптических сигналов	19	2	2	2	6	4
8. Современная элементная база оптоэлектроники	10	4			4	6
В т.ч. текущий контроль	1	1			1	
Промежуточная аттестация – зачет						

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения практических занятий. Лабораторный практикум предусматривают демонстрацию физических опытов, а также

изучение лазерных и оптоэлектронных моделей с привлечением инструментальной приборной базы и информационных технологий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- выполнение домашних заданий по решению задач
- подготовка отчета по результатам выполнения лабораторной работы в лаборатории спецпрактикума

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проведения тестовых контрольных заданий во время практических занятий и проверки выполнения домашних заданий.

Примеры тестовых контрольных заданий:

1. Сформулировать правила отбора для гармонического осциллятора.
2. Почему происходит уширение спектральных линий поглощения (излучения) вещества в сильных полях.
3. Почему в оптическом диапазоне длин волн для измерения ширины линии можно использовать явление флуоресценции, а в радиодиапазоне – только вынужденное излучение или поглощение среды.
4. Обосновать применимость теории возмущения в атоме водорода при возбуждении его электрическим полем на частоте ($\lambda=121$ нм) с плотностью мощности 10 Вт/см^2
5. Известно, что время жизни электрона в возбужденном состоянии τ . Получить выражение для спектральной формы линии.
6. Считая одно зеркало в резонаторе Фабри-Перо "глухим" ($R_1 = 1$), а другое полупрозрачным ($R_2 = R$), качественно изобразите зависимость мощности лазера от R . Существует ли оптимальная величина R ?
7. Отношение населенностей двух уровней для вещества, находящегося в состоянии равновесия при температуре 300°K , 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.

Примерный список домашних заданий:

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. Для электрона в атоме водорода, находящегося в $3p$ возбуждённом состоянии указать переход при электродипольном взаимодействии с максимальным значением частоты. Найти матричный элемент оператора взаимодействия для этого перехода.
4. 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/см^2

5. Для двухуровневой системы получить зависимость от времени вероятности нахождения электрона на уровнях от времени под действием внешнего переменного электрического поля на частоте $\omega = \omega_{12} + \delta\omega$, где ω_{12} – частота перехода, $\delta\omega$ – отстройка.
6. Рассчитать ширину линии для 2p-1s перехода в атоме водорода.
7. Для выбранного механизма получить выражение для неоднородно уширенного контура линии. Для выбранных условий оценить её ширину.
8. Найти ширину линии спонтанного излучения квантового гармонического осциллятора при переходе E1-E0. Наблюдаема ли такая ситуация в эксперименте.
9. Что является доминирующим механизмом уширения линии в поглощающей ячейке SF₆, облучаемого CO₂-лазером ($\lambda = 10,6$ мкм, U=50Вт), если каустика лазерного пучка в фокусе имеет диаметр 0,5 мм, T=300°K, p = 100 тор, $\sigma_{\text{погл}} = 5 \cdot 10^{-14}$ см²
10. Определить естественную, доплеровскую и столкновительную ширину линии для перехода неона $3s_2 \rightarrow 2p_4$ ($\lambda = 632,8$ нм) в He-Ne разряде при давлениях p_{He} = 1 тор, p_{Ne} = 0,2 тор и температуре смеси T = 400°K. Остальные параметры: $\tau(3s_2) = 60$ нс, $\tau(2p_4) = 20$ нс, $\sigma_{\text{изл}} = 6 \cdot 10^{-14}$ см².
11. Определить линейный коэффициент усиления слабого сигнала в 2-х уровневой среде. Если концентрация инверсии $N_0 = 10^9$ см⁻³, вероятность спонтанного излучения 10^7 сек⁻¹. Линия имеет форму Лоренца с шириной, определяемой спонтанным излучением.
12. Для 2-х уровневой среды без диссипации ($T_1 = T_2 = \infty$) найдите выражение для поляризации при наложении на среду резонансного внешнего поля $E = E_0 \cdot \cos(w_{21}t)$.
13. Для двухуровневого парамагнетика со спином 1/2 найти матричный элемент перехода и доказать, что его вероятность равна 0 при $H \parallel H_0$.
14. На 2-х уровневой атомный газ воздействует поле $E(t) = E_0 \cdot \cos(w_{21}t)$, w_{21} – боровская частота атомного перехода. Для стационарного режима рассчитайте мощность спонтанного излучения (соударениями в газе пренебречь).
15. Для соседних продольных мод резонатора Фабри-Перо длиной 1м, заполненного активной средой с шириной лоренцовой линии излучения на рабочем переходе $\Delta w = 2 \cdot 10^{12}$ рад/сек (рубин), сделайте оценку относительной разницы коэффициентов (показателей) усиления.
16. Оценить минимальную мощность лампы-накачки (к.п.д. = 100 %), необходимую для создания инверсии в твердотельном лазере с концентрацией активных частиц $n = 10^{19}$ см⁻³, объемом кристалла $V = 10$ см³. Частота середины полосы оптической накачки равна $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, время жизни частиц на верхнем рабочем уровне $t_{\text{сп}} = 3 \cdot 10^{-3}$ сек.
17. Возбужденный уровень молекулы E_i связан с тремя нижними уровнями E_n радиационными переходами с вероятностями $A_{i3} = 5 \cdot 10^7$ с⁻¹, $A_{i2} = 3 \cdot 10^7$ с⁻¹ и $A_{i1} = 2 \cdot 10^7$ с⁻¹. Вычислить время жизни по отношению к спонтанному распаду для E_i и относительные населенности N_n/N_i для случая непрерывного возбуждения уровня E_i при условии, что $\tau_1 = 10^{-8}$ с, $\tau_2 = 5 \cdot 10^{-7}$ с, $\tau_3 = 5 \cdot 10^{-9}$ с. Какая требуется накачка из основного состояния E₀, чтобы обеспечить инверсию населенностей на уровнях E_i и E₁?
18. Линия люминесценции иона Nd³⁺ в стекле для рабочего перехода Nd лазера имеет полуширину ~30 нм. Найти ширину верхнего лазерного уровня, если нижний дезактивируется со скоростью 10^8 с⁻¹.
19. Оценить квантовый и электронный КПД He-Ne лазера, если известно, что электронная температура в разрядной трубке ~5 эВ.
20. 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 R₁ и R₂, покажите, что добротность Q_s такого резонатора равна $Q_s = -2L \cdot w_s / (c \cdot \ln R_1 R_2)$, где L – длина резонатора.
21. Рассчитать добротность Q_p и время жизни фотона τ_f в резонаторе Фабри-Перо с плоскими зеркалами. Расстояние между зеркалами L = 1 м, коэффициенты отражения зер

- кал $R_1 = R_2 = 0,95$, рабочая длина волны $\lambda = 0,6$ мкм. Коэффициент поглощения среды, заполняющей резонатор, $\alpha = 0,01$ см⁻¹. Дифракционными потерями пренебречь.
22. Газовый лазер работает на однородно-уширенном переходе, ширина линии 200 МГц. Вероятность спонтанного излучения на рабочем переходе ($\lambda = 1$ мкм) $A_{сп} = 10^7$ с⁻¹. Параметры резонатора Фабри-Перо: длина $L = 1$ м, полные потери 0,02. Определить пороговую концентрацию инверсии.
 23. Рассчитать необходимую пороговую инверсию перехода газового лазера ($\lambda = 510$ нм), если вероятность перехода $A_{ik} = 5 \cdot 10^7$ с⁻¹. Однородная ширина линии $\Delta\nu^{одн} = 20$ МГц, длина резонатора $L = 20$ см, а потери в резонаторе при двойном проходе составляют 5%.
 24. Лазерная среда имеет доплеровский профиль усиления с шириной $\Delta\nu = 2$ ГГц. Однородная ширина равна $\Delta\nu^{одн} = 50$ МГц, а вероятность перехода $A_{ik} = 10^8$ с⁻¹. Пусть частота одной из мод резонатора ($L = 30$ 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% ?
 25. Частота моды пассивного плоскопараллельного Фабри-Перо резонатора ($L = 15$ см) сдвинута на $0,5 \cdot \Delta\nu_{Доппл}$ от центра гауссовской линии усиления газового лазера с $\lambda = 633$ нм. Оценить затягивание моды, если ширина резонанса резонатора $\Delta\nu_p = 20$ МГц, а $\Delta\nu_{Доппл} = 1$ ГГц.
 26. Для соседних продольных мод резонатора Фабри-Перо длиной 1 м, заполненного активной средой с шириной лоренцовой линии излучения на рабочем переходе $\Delta\omega = 2 \cdot 10^{12}$ рад/сек (рубин), сделайте оценку относительной разницы коэффициентов (показателей) усиления.
 27. Резонатор инжекционного полупроводникового лазера образован естественными гранями кристалла с коэффициентами отражения $R_1 = R_2 = 0,37$. Определите пороговый уровень усиления для резонаторов длиной $L = 400$ мкм и $L = 100$ мкм, если внутренние потери составляют $\alpha_{внут} = 5$ см⁻¹. Что произойдет, если на грани резонатора нанести отражающие покрытия с $R_1 = 0,98$ и $R_2 = 1$?
 28. Мощность непрерывной генерации полоскового полупроводникового лазера равна 10 мВт, длина волны излучения $\lambda = 0,8$ мкм, ширина спектральной линии $\Delta\nu = 100$ 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?
 29. Определить оптимальный коэффициент пропускания зеркал резонатора лазера, позволяющий получить максимальную выходную мощность. Длина резонатора $L = 10$ см, коэффициент ненасыщенного усиления на проход $g_0 = 0,1$ см⁻¹, коэффициент потерь на проход $\alpha = 0,01$ см⁻¹. Дифракционными потерями пренебречь.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

ОПК-1 Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
Знать методики получения базовых знаний и физических принципов в области квантовой электроники и оптоэлектроники	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
Уметь овладевать базовыми знаниями в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности	Полное отсутствие знаний	Фрагментарные знания овладевать базовыми знаниями в области квантовой и оптической электроники	Знание овладевать базовыми знаниями в области квантовой и оптической электроники с рядом негрубых ошибок	Знание овладевать базовыми знаниями в области квантовой оптической электроники и использовать их в профессиональной деятельности с рядом заметных погрешностей	Знание овладевать базовыми знаниями в области квантовой и оптической электроники и использовать их в профессиональной деятельности с незначительными погрешностями	Знание овладевать базовыми знаниями в области квантовой и оптической электроники и использовать их в профессиональной деятельности	Знание овладевать базовыми и дополнительными знаниями в области квантовой и оптической электроники и использовать их в профессиональной деятельности
Владеть опытом накопления базовых знаний и способностью их использования в области квантовой и оптической электроники в профессиональной деятельности	Полное отсутствие навыков накопления базовых знаний в области квантовой и оптической электроники в профессиональной деятельности	Фрагментарные навыки получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Наличие минимальных навыков получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Полное овладение навыками получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Достаточное овладение навыками получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Хорошее овладение навыками получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Всестороннее овладение навыками получения базовых знаний в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	21 – 50 %	51 – 70%	71-80%	81 – 90%	91 – 99%	100%

ПК-1 Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
Знать методики сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники, необходимых для формирования научных выводов	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей

Уметь и обладать навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использования их для формирования научных выводов в профессиональной деятельности	Полное отсутствие требуемых умений	Фрагментарные умения сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники	Умение сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники с рядом негрубых ошибок	Умение сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники с рядом заметных погрешностей	Умение сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники с незначительными погрешностями	Умение и обладание навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использования их для формирования научных выводов в профессиональной деятельности	Умение и обладание навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использования их для формирования научных выводов в профессиональной деятельности
Владеть опытом сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники, необходимых для формирования выводов по соответствующим направлениям научных исследований	Полное отсутствие опыта сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической	Фрагментарные навыки владения опытом сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники	Наличие минимальных навыков владения опытом сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Посредственное владение навыками сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Достаточное владение навыками сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Хорошее владение навыками сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Всестороннее владение навыками сбора, обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	21 – 50 %	51 – 70%	71-80%	81 – 90%	91 – 99%	100%

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способность студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решении задачи (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

Результатом проверки усвоения студентом материала и правильности решения задачи является выставление студенту оценки «зачтено». При отсутствии соответствующего уровня знаний и навыков студент не аттестовывается с выставлением оценки «не зачтено»

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование (ОПК - 1), домашние задания (ПК - 1), тестовые контрольные вопросы (ОПК - 1).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются: индивидуальное собеседование (ОПК - 1), практические контрольные задания и результаты выполнения студентом лабораторного практикума по данной дисциплине (ПК - 1).

Для оценивания результатов обучения в виде владений используются: индивидуальное собеседование (ОПК - 1), комплексные практические задания (ПК - 1).

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Сформулировать правила отбора для гармонического осциллятора.
2. Обосновать применимость теории возмущения в атоме водорода при возбуждении его электрическим полем на частоте ($\lambda=121$ нм) с плотностью мощности 10 Вт/см^2
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 300°K , 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^{-8} с. 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) TEM_{00} и TEM_{11} 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 вариант 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 $\sim 1,3$ 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

Для оценки сформированности компетенции ПК-1 используются также контрольные задания, примеры которых приведены в пункте 5.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Квантовая и оптическая электроника»

а) основная литература:

1. Страховский Г.Н., Успенский А.В. *Основы квантовой электроники* - М.: «Высшая школа», 1979, 336с.
2. Карлов Н.В. *Лекции по квантовой электронике* - М.: «Наука», 1983, 320с.(4)
3. Ярив А. *Квантовая электроника* - М.: «Сов.радио»,1980, 460с. (24)

б) дополнительная литература:

1. Я.И.Ханин «Лекции по квантовой радиофизике» Н.Н., ИПФ РАН, 2005г.(1)
2. Ю.М.Сорокин , В.С.Ширяев «Оптические потери в световодах» Н.Н., ННГУ, 2000г. 186с.(1)
3. Пантелл Р., Путхофф Г. Основы квантовой электроники – М. «Мир», 1972г 254с. (4)
4. Электронная физико-математическая библиотека EqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/quantum.htm>
5. Клышко Д.Н. Фотон и нелинейная оптика. М.: Наука, 1980 Электронная физико-математическая библиотекаEqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/optics.htm>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также учебно-исследовательская лаборатория спецпрактикума «Оптические квантовые генераторы на твердом теле». Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, а лаборатория спецпрактикума дополнительно оснащена современным оптико-электронным оборудованием и вычислительными средствами на базе комплекса ЭВМ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

Автор _____доцент Маругин А.В.

Рецензент _____доцент Пархачев В.В.

Заведующий кафедрой _____ профессор Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Радиофизического факультета.
Протокол № 03/17 от «26» мая 2017 года.