

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан _____ Матросов В.В.

« 29 » _____ июня 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.Б.33 Квантовая и оптическая электроника

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

специалист

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2020

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

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», преподается 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 генерации и передаче когерентного электромагнитного излучения в лазерных схемах, а также в системах оптической связи и других устройствах современной оптоэлектроники.

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

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1. Способность анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности (этап освоения: завершающий)	31 (ОПК-1) Знать физические законы и явления в области квантовой электроники и физические принципы, лежащие в основе современных оптоэлектронных систем У1 (ОПК-1) Уметь анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности В1 (ОПК-1) Владеть навыками анализа и способностью формулирования профессиональных задач на основе принципов квантовой и оптической электроники
ОПК-2. Способность применять соответствующий математический аппарат для решения профессиональных задач (этап освоения: завершающий)	32 (ОПК-2) Знать методики сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники, необходимых для решения профессиональных задач У2 (ОПК-2) Уметь интерпретировать и применять данные современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники для решения профессиональных задач В2 (ОПК-2) Владеть математическим аппаратом, необходимым для обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и решения соответствующих профессиональных задач

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

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 65 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 16 часов занятия лабораторного типа, в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 43 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля) форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	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	10	2	2	2	6	4
8. Современная элементная база оптоэлектроники	10	4			4	6
В т.ч. текущий контроль	2		2		2	
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.

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. 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 $N_0 = 10^9 \text{ см}^{-3}$, вероятность спонтанного излучения 10^7 сек^{-1} . Линия имеет форму Лоренца с шириной, определяемой спонтанным излучением.

8. Оценить минимальную мощность лампы-накачки (к.п.д. = 100 %), необходимую для создания инверсии в твердотельном лазере с концентрацией активных

частиц $n = 10^{19} \text{ см}^{-3}$, объемом кристалла $V = 10 \text{ см}^3$. Частота середины полосы оптической накачки равна $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$, время жизни частиц на верхнем рабочем уровне $t_{\text{сп}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$.

9. Линия люминесценции иона Nd^{3+} в стекле для рабочего перехода Nd лазера имеет полуширину $\sim 30 \text{ нм}$. Найти ширину верхнего лазерного уровня, если нижний дезактивируется со скоростью 10^8 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_p 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 ($\lambda = 1 \text{ мкм}$) $A_{\text{сп}} = 10^7 \text{ с}^{-1}$. 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 $\Delta\nu^{\text{одн}} = 20 \text{ МГц}$, 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 $\Delta\nu^{\text{одн}} = 50 \text{ МГц}$, 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?

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 анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
З1 Знать физические законы и явления в области квантовой электроники и физические принципы, лежащие в основе современных оптоэлектронных систем	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
У1 Уметь анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и использовать их в профессиональной деятельности	Полное отсутствие требуемых умений	Фрагментарные умения анализировать явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники	Умение анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники с рядом негрубых ошибок	Умение анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности с рядом заметных погрешностей	Умение анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности с незначительными погрешностями	Умение анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности	Умение анализировать базовые явления и процессы в области квантовой электроники и оптоэлектроники и использовать их в профессиональной деятельности
В1 Владеть навыками анализа и способностью формулирования профессиональных задач на основе принципов квантовой и оптической электроники	Полное отсутствие навыков анализа	Фрагментарные навыки анализа и способность формулирования профессиональных задач и их использования в профессиональной деятельности	Наличие минимальных навыков анализа и способность формулирования профессиональных задач на основе принципов квантовой и оптической электроники	Посредственное владение навыками анализа и способность формулирования задач на основе принципов квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Достаточное владение навыками анализа и способность формулирования задач на основе принципов квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Хорошее владение навыками анализа и способность формулирования задач на основе принципов квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности	Всестороннее владение навыками анализа и способность формулирования задач на основе принципов квантовой и оптической электроники и их использования в профессиональной деятельности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных	0 – 20 %	21 – 50 %	51 – 70%	71-80%	81 – 90%	91 – 99%	100%

контрольных заданий							
---------------------	--	--	--	--	--	--	--

ОПК-2. Способность применять соответствующий математический аппарат для решения профессиональных задач

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
32 Знать методики сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники, необходимых для решения профессиональных задач	Отсутствие знаний методики сбора, обработки и интерпретации данных и использования соответствующего математического аппарата	Наличие грубых ошибок в методике сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований и при использовании математического аппарата	Знание методики сбора, обработки и интерпретации данных с рядом негрубых ошибок	Знание методики сбора, обработки и интерпретации данных и применения математического аппарата с рядом заметных погрешностей	Знание методики сбора, обработки и интерпретации данных и применения математического аппарата с незначительными погрешностями	Знание методики сбора, обработки и интерпретации данных и применения математического аппарата без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала по методике сбора, обработки и интерпретации данных и применения математического аппарата без ошибок и погрешностей
У2 Уметь интерпретировать и применять данные современных научных исследований в области квантовой электроники и оптоэлектроники для решения профессиональных задач	Полное отсутствие требуемых умений	Наличие грубых ошибок при использовании математического аппарата	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
В2 Владеть математическим аппаратом, необходимым для обработки и интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники и	Полное отсутствие навыков владения математическим аппаратом	Фрагментарное владение навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и	Наличие владения минимальным и навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и интерпретации	Посредственное владение навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и интерпретации данных в	Достаточное владение навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и интерпретации данных в	Хорошее владение навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и	Всестороннее владение навыками использования математического аппарата для сбора, обработки и интерпретации данных в

решения соответствующих профессиональных задач		интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники	и данных в области квантовой и оптической электроники	области квантовой и оптической электроники при их использовании в профессиональной деятельности	области квантовой и оптической электроники при их использовании в профессиональной деятельности	интерпретации данных в области квантовой и оптической электроники при их использовании в профессиональной деятельности	области квантовой и оптической электроники при их использовании 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.

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.

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	В целом хорошая подготовка с возможными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на дополнительные вопросы.

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 (ОПК - 2), 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 (ОПК – 1).

Для оценивания результатов обучения в виде владений используются: индивидуальное собеседование (ОПК – 1), комплексные практические задания (ОПК – 1,2).

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 $L=1\text{ м}$.

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 $\sim 1\text{ м}$, 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 $\sim 1,3\text{ мкм}$

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 ОПК-2 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.
3. Ярив А. Квантовая электроника - М.: «Сов.радио», 1980, 460с.

б) дополнительная литература:

1. Я.И.Ханин «Лекции по квантовой радиофизике» Н.Н., ИПФ РАН, 2005г.
2. Ю.М.Сорокин, В.С.Ширяев «Оптические потери в световодах» Н.Н., ННГУ, 2000г.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также учебно-исследовательская лаборатория «Оптические квантовые генераторы на твердом теле». Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, а лаборатория 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 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

Автор _____ Маругин А.В.

Рецензент _____ Жуков С.Н.

Заведующий кафедрой _____ Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20 .