



## **1 Цели и задачи изучения дисциплины**

*Цель дисциплины* – овладение знаниями в области физики и техники генерации и регистрации света, знаниями в области анализа взаимодействия излучения с веществом, математического описания этого взаимодействия, знаниями основных физических явлений, методами их наблюдения и экспериментального исследования, принципами, лежащими в основе действия мазеров, лазеров и других устройств квантовой радиофизики.

*Задачи дисциплины* – применение полученных сведений о практической реализации устройств квантовой радиофизики и квантовой электроники и сфер их реализации в науке и технике. Получение представлений о последних достижениях и перспективах развития квантовой радиофизики и квантовой электроники.

*Дисциплина направлена на формирование* профессиональной компетенции (ПК-2) выпускника.

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – курс входит в формируемую участниками образовательных отношений часть БЛОКА 1 «Дисциплины (модули)» подготовки обучающихся по направлению 03.03.03 Радиофизика (профиль «Инженерно-физические технологии в промышленности»).

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин: «Уравнения математической физики», «Оптика», «Теория колебаний», «Физика конденсированного состояния».

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Проектирование и эксплуатация лазерного технологического оборудования». Освоение данной дисциплины необходимо для выбора направления научно-исследовательской работы, а также, приобретенные знания, могут быть использованы при защите выпускной квалификационной работы, включая подготовку к защите и процедуру защиты, производственной, преддипломной практике.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 54 зачетные единицы, 144 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (36 ак.ч.), практические (36 ак.ч) занятия и самостоятельная работа студента (72 ак.ч.). Дисциплина изучается на 3 курсе во 6 семестре.

Для очно-заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (16 ак.ч.), практические (10 ак.ч.), занятия и самостоятельная работа студента (124 ак.ч.). Дисциплина изучается на 4 курсе во 7 семестре.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

### 3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Квантовая электроника. Квантовые приборы» направлен на формирование компетенции, представленной в таблице 1.

Таблица 1 –Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной, оптической аппаратуры и оборудования, и использовать основные методы радиофизических измерений	ПК-2	ПК-2.1. Обладает базовыми знаниями, необходимыми для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.

#### 4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, самостоятельное изучение материала и подготовку к экзамену.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		б
Аудиторная работа, в том числе:	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	9	9
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	36	36
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	-	-
Домашнее задание(индивидуальное задание)	-	-
Подготовка к контрольной работе	-	-
Подготовка к коллоквиуму	9	9
Аналитический информационный поиск	-	-
Работа в библиотеке	-	-
Подготовка к экзамену	18	18
Промежуточная аттестация – экзамен	Э	Э
Общая трудоёмкость дисциплины		
	ак.ч.	144
	з.е.	4

## **5 Содержание дисциплины**

С целью освоения компетенции, приведенной в п.3 дисциплина разбита на 6 тем:

- тема 1 (Физические основы лазеров);
- тема 2 (Характеристики и параметры излучения лазеров);
- тема 3 (Формирование излучения в резонаторе лазера);
- тема 4 (Способы возбуждения (накачки) активных сред);
- тема 5 (Режимы работы лазера);
- тема 6 (Типы лазеров).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной и очно-заочной формы приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Физические основы лазеров	Электромагнитное излучение и кванты. Представления волновой теории. Ширина спектральной линии. Создание инверсной населенности. Двухуровневая лазерная схема. Трехуровневая лазерная схема. Четырехуровневая лазерная схема. Принцип действия лазера. Усиление света в активной среде. Структурная схема лазера. Классификация лазеров.	4	Коэффициенты Эйнштейна	4
2	Характеристики и параметры излучения лазеров	Характеристики лазерного излучения. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Поляризация. Параметры лазерного излучения. Энергетические параметры. Спектральные параметры. Измерение технических параметров лазеров	4	Вероятность индуцированных переходов Расчет времени жизни атомов в возбужденном состоянии	4
3	Формирование излучения в резонаторе лазера	Обеспечение спектральных характеристики. Продольные моды резонатора. Поперечные моды резонатора. Обеспечение энергетических и временных характеристик. Свободная генерация. Модуляция добротности резонатора. Модуляторы добротности. Разгрузка резонатора. Синхронизация мод.	4	Открытый резонатор, его добротность. Условия самовозбуждения. Условия резонанса	4
		Расходимость лазерного излучения. Влияние на расходимость неоднородностей активной среды	4	Распределение поля. Гауссовы пучки	4
4	Способы возбуждения (накачки) активных сред	Оптическая накачка. Оптическая накачка некогерентными источниками. Оптическая накачка когерентными источниками (лазерами). Эффективность оптической накачки.	3	Расчет спектров поглощения материалов активных элементов оптических квантовых генераторов	4
		Накачка электрическим разрядом. Свойства газового разряда Вольт-амперная характеристика (ВАХ). Накачка газовых лазеров самостоятельным электрическим разрядом. Накачка газовых лазеров самостоятельным электрическим разрядом. Химическая накачка	3	Условие устойчивости, диаграмма устойчивости	4

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.
5	Режимы работы лазера	Непрерывный режим работы лазера. Нестационарный режим работы лазера. Методы модуляции добротности. Активные модуляторы. Пассивные модуляторы. Синхронизация мод.	6	Коэффициент увеличения, потери на излучение. Синхронизация мод	4
6	Типы лазеров	Твердотельные лазеры: рубиновый лазер, неодимовый лазер и другие твердотельные лазеры. Газовые лазеры: гелий-неоновый, аргоновый, CO <sub>2</sub> –лазер и другие газовые и жидкостные лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Рентгеновские лазеры.	8	Типы лазеров	8
Всего аудиторных часов			36		36

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очно-заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Физические основы лазеров	Электромагнитное излучение и кванты. Представления волновой теории. Ширина спектральной линии. Создание инверсной населенности. Двухуровневая лазерная схема. Трехуровневая лазерная схема. Четырехуровневая лазерная схема. Принцип действия лазера. Усиление света в активной среде. Структурная схема лазера. Классификация лазеров.	2	Коэффициенты Эйнштейна	1
2	Характеристики и параметры излучения лазеров	Характеристики лазерного излучения. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Поляризация. Параметры лазерного излучения. Энергетические параметры. Спектральные параметры. Измерение технических параметров лазеров	2	Вероятность индуцированных переходов Расчет времени жизни атомов в возбужденном состоянии	1
3	Формирование излучения в резонаторе лазера	Обеспечение спектральных характеристики. Продольные моды резонатора. Поперечные моды резонатора. Обеспечение энергетических и временных характеристик. Свободная генерация. Модуляция добротности резонатора. Модуляторы добротности. Разгрузка резонатора. Синхронизация мод.	2	Открытый резонатор, его добротность. Условия самовозбуждения. Условия резонанса	2
		Расходимость лазерного излучения. Влияние на расходимость неоднородностей активной среды	1		
4	Способы возбуждения (накачки) активных сред	Оптическая накачка. Оптическая накачка некогерентными источниками. Оптическая накачка когерентными источниками (лазерами). Эффективность оптической накачки.	2	Расчет спектров поглощения материалов активных элементов оптических квантовых генераторов	1
		Накачка электрическим разрядом. Свойства газового разряда Вольт-амперная характеристика (ВАХ). Накачка газовых лазеров самостоятельным электрическим разрядом. Накачка газовых лазеров самостоятельным электрическим разрядом. Химическая накачка	1	Условие устойчивости, диаграмма устойчивости	2

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.
5	Режимы работы лазера	Непрерывный режим работы лазера. Нестационарный режим работы лазера. Методы модуляции добротности. Активные модуляторы. Пассивные модуляторы. Синхронизация мод.	3	Коэффициент увеличения, потери на излучение. Синхронизация мод	1
6	Типы лазеров	Твердотельные лазеры: рубиновый лазер, неодимовый лазер и другие твердотельные лазеры. Газовые лазеры: гелий-неоновый, аргоновый, CO <sub>2</sub> –лазер и другие газовые и жидкостные лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Рентгеновские лазеры.	3	Типы лазеров	2
Всего аудиторных часов			16		10

## **6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **6.1 Критерии оценивания**

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» ([https://www.dstu.education/images/structure/license\\_certificate/polog\\_kred\\_modul.pdf](https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf)) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Таблица 5 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ПК-2	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

- тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (2 работы) – всего 60 баллов;
- практические работы – всего 40 баллов;

Экзамен проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Экзамен по дисциплине «Квантовая электроника. Квантовые приборы» проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время экзамена студент имеет право повысить итоговую оценку. Экзамен по дисциплине «Квантовая электроника. Квантовые приборы» проводится в форме устного экзамена по вопросам, представленным ниже (п.п. 6.4), либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале экзамен
0-59	Неудовлетворительно
60-73	Удовлетворительно
74-89	Хорошо
90-100	Отлично

### 6.2 Домашнее задание

В качестве домашнего задания обучающиеся выполняют:

- проработка лекционного материала;
- подготовка к практическим занятиям.

### 6.3 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

1. Оптический диапазон спектра излучения составляют электромагнитные колебания, длина волн которых лежит в пределах:

- 1) 1 мм – 1 нм
- 2) 0,78 мкм -1 мм
- 3) 0,38 мкм - 0,78 мкм
- 4) 1 нм - 0,38 мкм

2. Отношение числа частиц в единице объема  $N_i$  на данном уровне энергии  $E_i$  к его статистическому весу  $g_i$  называется ..... уровня энергии

- 1) населенностью
- 2) кратностью вырождения
- 3) инверсией населенности

3. Оптический резонатор в лазере служит для:

- 1) многократного пропускания излучения через активную среду
- 2) формирования заданных пространственных, частотных и поляризационных характеристик излучения
- 3) создания инверсной заселенности в активной среде
- 4) обеспечения режима непрерывного генерирования

4. Одно из зеркал оптических резонаторов в лазерах делается полупрозрачным с целью

- 1) вывести излучение из объема резонатора
- 2) уменьшить потери в резонаторе
- 3) преобразовать частоту излучения
- 4) модулировать лазерное излучение

5. Наименьшим порогом создания инверсной заселенности обладает

- 1). четырехуровневая система
- 2). трехуровневая система
- 3). двухуровневая система
- 4). одноуровневая система

6. В твердотельных лазерах (рубин, иттрий-алюминиевый гранат) преимущественным видом накачки является:

- 1) накачка с помощью газового разряда
- 2) оптическая накачка
- 3) химическая накачка
- 4) газодинамическая накачка

#### 6.4 Вопросы для подготовки к экзамену

1. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна.
2. Соотношение неопределенностей «энергия – время», естественное время жизни, ширина спектра спонтанного излучения.
3. Однородное и неоднородное уширение. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.
4. Импульсный режим, энергия насыщения.
5. Волновые функции стационарных состояний.
6. Уравнение Шредингера при наличии возмущений.
7. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.
8. Вычисление коэффициентов Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе.
9. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода.
10. Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
11. Открытый резонатор, его добротность.
12. Пропускной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель.
13. Условия самовозбуждения. Условия резонанса.
14. Частота генерации.
15. Максимальная выходная мощность.
16. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов.
17. Дифракционные потери.
18. Интегральное уравнение открытого резонатора.
19. Конфокальный резонатор.
20. Гауссовы пучки. Размер пятна.
21. Преобразование гауссовых пучков линзой.
22. Согласование мод резонаторов.
23. Фокусирование гауссовых пучков.
24. Устойчивость линзовых световодов.
25. Условие устойчивости, диаграмма устойчивости.
26. Селекция поперечных мод диафрагмой.

27. Неустойчивые резонаторы.
28. Коэффициент увеличения, потери на излучение.
29. Симметричный резонатор, телескопический резонатор.
30. Эквивалентное число Френеля.
31. Селекция продольных мод. Частотная селекция, пространственная селекция тонкими поглотителями.
32. Дисперсионные резонаторы.
33. Генерация излучения в нескольких продольных модах.
34. Синхронизация мод.
35. Модуляция добротности.
36. Особенности газообразной активной среды.
37. Гелий-неоновый лазер, схема уровней.
38. Молекулярные лазеры.
39. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров с высоким КПД
40. CO<sub>2</sub>-лазеры.
41. Рубиновый лазер. Уровни энергии иона неодима.
42. Неодимовый лазер. Лазерное стекло.
43. Спектрально-люминесцентные свойства красителей. Схема уровней.
44. Методы окрашивания кристаллов.
45. Спектры поглощения и люминесценции.
46. Отличительные особенности полупроводниковых лазеров.

### **6.5 Примерная тематика курсовых работ**

Курсовые работы не предусмотрены.

## 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1 Рекомендуемая литература

#### *Основная литература*

1. Кириллов, Г. А. Пособие по физике лазеров: учебное пособие / Г. А. Кириллов, Н. Г. Захаров. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2020. - 236 с. - ISBN 978-5-9515-0453-1. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1230851> (дата обращения: 19.03.2024).

2. Антипенко, В. С. Лазеры и их применение. Часть 1: учебное пособие для студентов специальностей ИТТСУ, ИПСС / В. С. Антипенко, В. А. Никитенко; под ред. проф. В.П. Вороненко. - Москва: РУТ (МИИТ), 2020. — 112 с. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1895063> (дата обращения: 19.03.2024).

#### *Дополнительная литература*

1. Дулин, В.Н. Электронные и квантовые приборы СВЧ: учебник для студ. радиотехн. спец. вузов / В.Н. Дулин. 2-е изд., перераб. М.: Энергия, 1972. 224 с.: ил.

2. Айрапетян, В.С. Физика лазеров [Текст]: учебное пособие/В.С. Айрапетян, О.К. Ушаков. —Новосибирск: СГГА, 2012, — 134 с. <http://www.decoder.ru/media/file/0/378.pdf>

3. Айрапетян, В.С. Лазерная физика [Текст]: учеб. пособие/В.С. Айрапетян, И. Н. Карманов; под общ. ред. В. С. Айрапетяна. —Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – 190 с. <https://lib.sgugit.ru/irbisfulltext/2017/17>

4. Борейшо А.С., Ивакин С. В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 304 с. <https://reader.z-library.sk/read/e7adfe>

5. Вейко, В.П., Введение в лазерные технологии. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии»/ А.А. Петров, А.А. Самохвалов под редакцией В.П. Вейко.: - СПб: Университет: ИТМО, 2018 - 161 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2386.pdf>

6. Андрушко, Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ: учебник для электротехн. ин-тов связи / Л.М. Андрушко, В.М. Бурмистенко. М.: Связь, 1974. 192 с.: ил. <https://reader.z-library.sk/read/e7adfe>

### 7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ: официальный сайт. — Алчевск. — URL: [library.dstu.education](http://library.dstu.education). — Текст: электронный.

2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова: официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>. — Текст: электронный.

3. Консультант студента: электронно-библиотечная система. — Москва. —

- URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. — Текст: электронный.
4. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система. — URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red). — Текст: электронный.
5. IPR BOOKS: электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Текст: электронный.

## 8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<p>Специальные помещения:            Аудитория для проведения лекционных и практических занятий (20 посадочных мест),            оборудованная специализированной (учебной) мебелью,            доска аудиторная, мультимедийная доска – 1 шт.            Лаборатория физических измерений            Лазер твердотельный на грабнате, гелий- неоновый лазер, источник питания Б5-49, осциллограф С1-83, вольтметр В7-35, микроскоп ЛОМО.</p>	<p>ауд. 436 корп.  <u>главный</u></p> <p>ауд. 421 корп.  <u>главный</u></p>

## Лист согласования РПД

Разработал:

Старший преподаватель кафедры  
электроники и радиофизики  
(должность)



(подпись)

Е.В. Мурга  
(Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой  
электроники и радиофизики



(подпись)

А.М.Афанасьев  
(Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания  
кафедры электроники и радиофизики от 30.08.2024

И.о. декана факультета информационных  
технологий и автоматизации  
производственных процессов



(подпись)

В.В. Дьячкова  
(Ф.И.О.)

Согласовано:

Председатель методической комиссии  
по направлению подготовки  
03.03.03 Радиофизика  
(профиль «Инженерно-физические  
технологии в промышленности»)



(подпись)

А.М.Афанасьев  
(Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра



(подпись)

О.А. Коваленко  
(Ф.И.О.)

## Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	