



## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

*Цели дисциплины.* Целью освоения дисциплины является изучение квантовой радиофизики и нелинейной оптики, принципов работы квантовых систем, характеристик и методов расчета систем нелинейной оптики и их применения.

*Задачи изучения дисциплины:*

- систематическое овладение знаниями в области физики процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом и нелинейной оптики;
- изучение физических явлений, возникающих при распространении мощного лазерного излучения в различных средах, а также механизмов и общих закономерностей их протекания; изучение общих закономерностей нелинейно-оптических явлений, а также механизмов оптической нелинейности;
- изучение особенностей практического использования эффектов, возникающих при взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом, в том числе нелинейно-оптических эффектов;
- приобретение навыков составления моделей устройств квантовой оптики.

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – дисциплина «Квантовая радиофизика и нелинейная оптика» относится к Элективным дисциплинам (модулям) Блока 2 «Образовательный компонент» образовательной программы, направлена на формирование высокого уровня теоретической и профессиональной подготовки по специальности 1.3.19. «Лазерная физика» подготовки научных и научно-педагогических кадров в ФГБОУ ВО «ДонГТУ». Она помогает освоить общие концепции физики лазеров, глубоко понять основные разделы этой науки и научиться применять полученные знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин, изученных в результате освоения предшествующих программ специалитета и магистратуры, Педагогическая практика, Производственная практика (научно-исследовательская работа).

Является основой для изучения следующих дисциплин: Научная деятельность аспиранта, направленная на выполнение диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, Подготовка публикаций и (или) заявок на патенты на изобретения, полезные модели, а также направлена на формирование компетенций по умению использовать знания в различных сферах научной деятельности, способности самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (18 ак.ч.), практические (18 ак. ч.) занятия и самостоятельная работа аспиранта (36 ак. ч.). Дисциплина изучается во 1 семестре.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

### 3 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 ак.ч.

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

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		1
Аудиторная работа, в том числе:	36	36
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа аспирантов, в том числе:	36	36
Подготовка к лекциям	4	4
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	9	9
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	5	5
Подготовка к зачёту	9	9
Промежуточная аттестация – зачёт	3	3
Общая трудоёмкость дисциплины		
	ак.ч.	72
	з.е.	2

#### **4 Содержание дисциплины**

Дисциплина разбита на 3 раздела:

- раздел 1 (Взаимодействие лазерного излучения с веществом);
- раздел 2 (Квантово-оптические явления в поле мощного лазерного излучения);
- раздел 3 (Элементы нелинейной оптики).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1-й семестр							
1	Взаимодействие лазерного излучения с веществом	Излучение и вещество. Механическое (пондеромоторное) действие света. Радиационное охлаждение атомных частиц. Оптическая левитация прозрачных частиц. Светоиндуцированный дрейф частиц в газе. Взаимодействие с конденсированными средами. Технологические применения лазерного излучения при обработке материалов. Взаимодействие с плазмой. Основные понятия лазерного термоядерного синтеза. Оптический пробой прозрачных диэлектриков. Распространение оптических разрядов в газах.	6	Механическое (пондеромоторное) действие света. Взаимодействие с конденсированными средами.	6	-	-
2	Квантово-оптические явления в поле мощного лазерного излучения	Классификация квантово-оптических явлений. Особенности практического использования эффектов, возникающих при взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом, в том числе нелинейно-оптических эффектов; получение сведений о последних достижениях и перспективах развития физики процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом и нелинейной оптики	6	Квантово-оптические явления в поле мощного лазерного излучения.	6	-	-
3	Элементы нелинейной оптики	Влияние интенсивности излучения на оптические свойства вещества. Линейная оптика и нелинейная оптика. Нелинейная	6	Линейная оптика и нелинейная оптика. . Статическая и переменная нелинейные	6	-	-

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
		поляризация среды. Статическая и переменная нелинейные поляризации. Классическая модель нелинейной среды – ансамбль нелинейных осцилляторов. Основные эффекты нелинейной оптики, их классификация. Когерентные и некогерентные процессы преобразования света в свет. Генерация второй оптической гармоники. Параметрическая генерация света. Самофокусировка света. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Фазовая саммодуляция импульсов света в нелинейной среде		поляризации. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).			
Всего аудиторных часов за 1-й семестр			18	18		-	
Всего аудиторных часов за семестр			18	18		-	

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

### **5.1 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.

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

- тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (2 коллоквиума) – всего 60 баллов;
- за выполнение практических работ – всего 40 баллов.

Зачёт проставляется автоматически, если аспирант 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.

Зачёт по дисциплине проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает аспиранта, во время сессии аспирант имеет право повысить итоговую оценку. Зачёт по дисциплине проводится в форме устного опроса по вопросам, представленным ниже, либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

### **5.2 Домашнее задание**

В качестве домашнего задания обучающиеся выполняют:

- проработка лекционного материала;
- выполнение практических заданий.

### **5.3 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости**

1. Дайте определение квантовой радиофизики. Каковы её основные задачи?
2. Опишите квантовые свойства электромагнитного поля. Чем фотонное поле отличается от классического?
3. Что такое квантовые флуктуации и как они проявляются в радиодиапазоне?
4. Объясните принцип работы мазера. Чем он отличается от лазера?
5. Каковы основные квантовые ограничения в радиоприёмных устройствах?
6. Выведите основные положения теории Дирака для спонтанного и вынужденного излучения.
7. Что такое матрица плотности? Как она используется для описания квантовых состояний?
8. Опишите явление квантовой телепортации состояний электромагнитного поля.
9. Как работает параметрическое рассеяние света с точки зрения квантовой теории?
10. Что такое сжатые состояния света? Где они применяются?
11. Дайте определение нелинейной восприимчивости среды. Каков её физический смысл?
12. Выведите волновое уравнение для нелинейной среды. Какие приближения используются?
13. Опишите явление генерации второй гармоники. Каковы условия фазового синхронизма?
14. Что такое параметрическое усиление света? Как оно реализуется на практике?
15. Объясните явление четырёхволнового смешения. Каковы его применения?

### **5.4 Вопросы для подготовки к зачету**

1. Какие материалы обладают сильной нелинейной восприимчивостью? Приведите примеры.
2. Опишите нелинейные свойства сегнетоэлектриков. Почему они важны для нелинейной оптики?

3. Что такое фотонные кристаллы? Как они используются для управления нелинейными эффектами?
4. Каковы особенности нелинейного отклика метаматериалов?
5. Как двумерные материалы (графен, MoS<sub>2</sub>) проявляют нелинейные оптические свойства?
6. Опишите явление квантовой запутанности фотонных пар. Как оно реализуется экспериментально?
7. Что такое квантовые корреляции интенсивностей? Как они измеряются?
8. Объясните принцип работы квантового криптографического протокола BB84.
9. Как реализуются квантовые вычисления с использованием фотонных состояний?
10. Что такое квантовая томография световых состояний?
11. Опишите принцип работы параметрического генератора света (ОРО).
12. Как устроены квантовые точки в полупроводниковых лазерах?
13. Что такое квантовые каскадные лазеры? Чем они отличаются от обычных?
14. Опишите устройство однофотонного детектора. Каковы его основные характеристики?
15. Как работают квантовые радары? В чём их преимущества перед классическими?
16. Каковы перспективы использования квантовой радиофизики в системах связи?
17. Как нелинейно-оптические эффекты применяются в волоконно-оптических линиях связи?
18. Опишите применение квантовых технологий в прецизионных измерениях.
19. Каковы возможности использования нелинейной оптики в биомедицинской диагностике?
20. Как квантовые методы применяются в радиоастрономии?
21. Каковы последние достижения в области квантовой памяти на фотонных кристаллах?
22. Что такое топологические изоляторы в нелинейной оптике?
23. Опишите современные методы генерации квантово-запутанных состояний света.

24. Каковы перспективы создания квантовых повторителей для дальнейшей связи?
25. Как развиваются исследования квантовых сенсоров на основе нелинейных эффектов?
26. Опишите методику измерения нелинейных восприимчивостей.
27. Как проводится эксперимент по квантовой томографии световых состояний?
28. Каковы методы наблюдения квантовых корреляций фотонов?
29. Опишите технику фемтосекундной спектроскопии для исследования нелинейных процессов.
30. Как измеряются сжатые состояния электромагнитного поля?

### **5.5 Примерная тематика курсовых работ**

Курсовые работы не предусмотрены.

## **6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1 Рекомендуемая литература**

#### ***Основная литература***

1. Мартинсон, Л. К. Квантовая физика: учебное пособие / Л. К. Мартинсон, Е. В. Смирнов. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2021. - 528 с. - (Физика в техническом университете). - ISBN 978-5-7038-5562-1. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2016288> (дата обращения: 10.04.2024).

2. Паршаков, А. Н. Квантовая физика в избранных задачах: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2020. - 256 с. - ISBN 978-5-91559-273-4. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1117903> (дата обращения: 10.04.2024).

#### ***Дополнительная литература***

1. Шандаров, С. М. Введение в нелинейную оптику: учебное пособие для студентов направлений подготовки «Фотоника и оптоинформатика», «Электроника и микроэлектроника» / С. М. Шандаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 41 с. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1850074> (дата обращения: 10.04.2024).

2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие для вузов: в 10 т. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория)/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. - 6-е изд., испр. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 800 с. - ISBN 978-5-9221-0530-9. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1223529> (дата обращения: 10.04.2024).

3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие для вузов: в 10 т. Том 5. Статистическая физика. Часть 1/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под. ред. Л. П. Питаевского. — 6-е изд., стер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 620 с. - ISBN 978-5-9221-1510-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1223531> (дата обращения: 10.04.2024).

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

1. Научная библиотека ДонГТУ: официальный сайт. — Алчевск. — URL: <https://library.dontu.ru>. — 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.

## 7 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 4.

Таблица 4 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<p>Аудитории для проведения лекционных и практических занятий, для самостоятельной работы:  <i>Компьютерный класс</i>  <i>Персональные компьютеры, локальная сеть с выходом в Internet, проектор Epson, мультимедийный экран</i></p>	<p>ауд. <u>434</u> корп. <u>главный</u></p>

## Лист согласования РПД

Разработал  
доцент кафедры  
электроники и радиопизики



(подпись)

С.А. Юрьев  
(Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой  
электроники и радиопизики



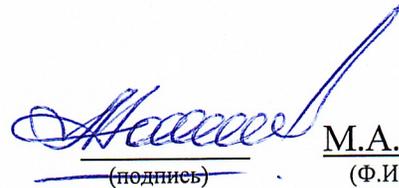
(подпись)

А.М.Афанасьев  
(Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания  
кафедры электроники и радиопизики от 30.08.2024г.

Согласовано

Заведующий аспирантурой



(подпись)

М.А. Филатов  
(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	