

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.07.2024 12:02:41  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:



Руководитель ООП

*[Handwritten signature]*

Б.Б.Педько

«21» мая 2024 г.

Рабочая программа дисциплины  
**Квантовая радиофизика**

Закреплена за кафедрой: **Общей физики**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика, технологии и компьютерное моделирование функциональных материалов**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **8**

Программу составил(и):  
*канд. физ.-мат. наук, доц., Васильев Сергей Александрович*

*[Handwritten signature]*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Изучение основ лазерной физики и нелинейной оптики на максимально строгом в теоретическом отношении уровне, предполагающем решения уравнений квантовой механики. Должны быть глубоко освоены теории резонаторов и теоретические аспекты многофотонных параметрических и непараметрических процессов в нелинейных средах, методы расчета лазерных оптических схем с применением матричного аппарата, назначения и параметров основных типов лазеров.

### Задачи:

Освоение практических навыков работы с газовыми, жидкостными и твердотельными лазерами

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Аналитическая геометрия и линейная алгебра  
Теория вероятностей и математическая статистика  
Векторный и тензорный анализ  
Электричество и магнетизм  
Оптика  
Атомная физика  
Электродинамика  
Квантовая механика  
Физика лазеров и лазерные технологии

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Физика лазеров и лазерные технологии  
Основы электромагнитной и радиационной безопасности  
Резонансные методы исследования вещества

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	21
часов на контроль	27

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

ПК-3.1: Осуществляет анализ структуры материалов

## 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	8

**6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ**

Язык преподавания: русский.

**7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Поглощение и вынужденное излучение света.					
1.1	Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.2	Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов.	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 2. 2. Спонтанное излучение.					
2.1	Вычисление вероятности спонтанного излучения. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней. Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения	Лек	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
2.2	Вычисление вероятности спонтанного излучения. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней. Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения	Лаб	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 3. 3. Принцип действия лазера.					

3.1	Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров. - Демонстрационные работы по наблюдению мод резонатора и режимов работы He-Ne и полупроводниковых лазеров.	Лек	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
3.2	Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров. - Демонстрационные работы по наблюдению мод резонатора и режимов работы He-Ne и полупроводниковых лазеров.	Лаб	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 4. 4. Свойства лазерного излучения.					
4.1	Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
4.2	Демонстрационные работы по наблюдению и измерениям монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 5. 5. Основные типы лазеров.					
5.1	Твердотельные лазеры. Лазеры на кристаллах и стеклах. Газовые лазеры. Процессы возбуждения и релаксации в газах. Газовые лазеры на нейтральных атомах. Ионные лазеры. Молекулярные газовые лазеры. Жидкостные лазеры. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Решение задач, связанных с процессами накачки. Определение вращательных постоянных и ширины Лэмбовского провала.	Лек	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
5.2	Демонстрационная работа по изучению свойств и особенностей излучения полупроводниковых лазеров.	Лаб	8	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	

	Раздел 6. 6. Восприимчивость вещества.					
6.1	Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха. Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
6.2	Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха. Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 7. 7. Нестационарная оптика.					
7.1	Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение. Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
7.2	Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение. Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 8. 8. Механизмы оптической нелинейности сред.					
8.1	Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
8.2	Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия.	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	

	Раздел 9. 9. Статистическая оптика.					
9.1	Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамильтоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем. -Решение задач по статистической оптике	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
9.2	Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамильтоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем. -Решение задач по статистической оптике	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 10. 10. Лазерная спектроскопия.					
10.1	Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
10.2	Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 11. Самостоятельная работа					
11.1	Самостоятельная работа	Ср	8	21	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	
	Раздел 12. Экзамен					
12.1	Экзамен	Экзамен	8	27	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3	

### Список образовательных технологий

1	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)
---	--

2	Информационные (цифровые) технологии
3	Активное слушание

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение 1

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См. Приложение 1

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

1. Изучение спецкурса заканчивается экзаменом.

На первый модуль отводится 30 баллов, которые распределяются следующим образом:

- 10 баллов за каждую из 3 выполненных лабораторных работ

На второй модуль отводится 30 баллов, которые распределяются следующим образом:

- 10 баллов за каждую из 3 выполненных лабораторных работ

2. Экзамен проводится в день, определенный деканатом в рамках расписания учебного процесса.

На экзамене студентам предлагается ответить на 2 теоретических вопроса, каждый из которых оценивается до 20 баллов. Максимальный балл за экзамен - 40 баллов.

3. Студенты, набравшие в течение семестра 40 баллов могут по своему желанию получить оценку «удовлетворительно» без сдачи экзамена.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Борейшо А. С., Ивакин С. В., Лазеры: устройство и действие, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-8114-8994-7, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/330503">https://e.lanbook.com/book/330503</a>
Л1.2	Мирошниченко И. Б., Лазерные технологии, Новосибирск: НГТУ, 2021, ISBN: 978-5-7782-4354-5, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/216536">https://e.lanbook.com/book/216536</a>

#### 9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Антипенко, Никитенко, Лазеры и их применение. Часть 1, Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 2020, ISBN: , URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=415509">https://znanium.com/catalog/document?id=415509</a>
Л2.2	Тучин В. В., Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях, Москва: Физматлит, 2010, ISBN: 978-5-9221-1278-9, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75958">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75958</a>

Л2.3	Кашапов Н. Ф., Лучкин Г. С., Самигуллин М. Ф., Кашапов Н. Ф., Лазеры и их применение в медицине, Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2011, ISBN: 978-5-7882-1073-5, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=258830">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=258830</a>
------	--

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Adobe Acrobat Reader
2	Google Chrome

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС «Лань»
5	ЭБС ТвГУ
6	Репозиторий ТвГУ

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-25	комплект учебной мебели, компьютеры, осциллограф, принтеры, спектрометр, микроскоп, дифрактометр рентгеновский, электронно-оптический комплекс,
3-28	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран настенный

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вопросы к экзамену

1. История развития квантовой радиофизики.
2. Элементарные многофотонные процессы.
3. Восприимчивость вещества. Теория дисперсии.
4. Уравнение Блоха.
5. Нелинейная оптика.
6. Классификация нелинейных эффектов.
7. Параметрические взаимодействия.
8. Нелинейная спектроскопия.
9. Типы лазеров.
10. Основные свойства лазерного излучения: направленность, яркость, когерентность, мощность, пятнистая картина.
11. Вывод формул Рэнея-Джинса и Планка.
12. Вычисление вероятности поглощения с помощью теории возмущения.
13. Разрешенные и запрещенные переходы.
14. Соотношение между вероятностями электрического дипольного перехода и магнитного дипольного перехода.



15. Коэффициенты Эйнштейна.
16. Вычисление вероятности спонтанного излучения из термодинамических соображений.
17. Спектральный состав спонтанного излучения.
18. Безизлучательная релаксация.
19. Механизм уширения линий.
20. Насыщение. Интенсивность насыщения.
21. Вырождение уровней.
22. Принцип работы лазера.
23. Электрическая накачка.
24. Оптическая накачка. Распределение энергии в лазерном стержне.
25. Химическая накачка.
26. Матрицы передачи для различных оптических систем.
27. Пассивные оптические резонаторы. Типы резонаторов.
28. Обобщенный сферический резонатор.
29. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.
30. Применение лазеров.

#### Планы лабораторных занятий

- Демонстрационные работы по наблюдению мод резонатора и режимов работы He-Ne и полупроводниковых лазеров.
- Демонстрационные работы по наблюдению и измерениям монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения
- Демонстрационная работа по изучению свойств и особенностей излучения полупроводниковых лазеров.
- Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.
- Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией
- Решение задач по нелинейной оптике
- Решение задач по статистической оптике