

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.08.2023 16:23:36  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«30»

мая

2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Квантовая радиофизика**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Васильев С.А.

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является 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.

Задачей освоения дисциплины является освоение практических навыков работы с газовыми, жидкостными и твердотельными лазерами.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Квантовая радиофизика» изучается в модуле «Физика и технология радиоэлектронных устройств» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения дисциплины курс должен включать знание разделов общего курса физики "Электричество и магнетизм", "Оптика", "Атомная физика", владение основами квантовой механики, навыки практического применения таких разделов математики, как интегральные и дифференциальные уравнения, матричное исчисление, ряды и интегралы Фурье.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетные единицы, 144 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 26 часов, лабораторные работы 52 часа, в том числе практическая подготовка 52 часа;

**самостоятельная работа:** 66 часов, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

|   |  |
|---|--|
| Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине  |
| УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач. | УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.   |
| ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.                     | ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.<br>ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения. |

## 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

### 1. Для студентов очной формы обучения

| Учебная программа – наименование разделов и тем  | Всего (час.) | Контактная работа (час.) |           |                     |           | Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.) |
|--|--------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|---|
|  |              | Лекции                   |           | Лабораторные работы |           |   |
|  |              | всего                    | в т.ч. ПП | всего               | в т.ч. ПП |   |
| <b>1. Поглощение и вынужденное излучение света.</b><br>Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов. | 9            | 2                        |           | 4                   | 4         | 3   |
| <b>2. Спонтанное излучение.</b><br>Вычисление вероятности спонтанного излучения. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней.                              | 10           | 2                        |           | 4                   | 4         | 4   |

|  |    |   |  |   |   |   |
|--|----|---|--|---|---|---|
| Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения   |    |   |  |   |   |   |
| <b>3. Принцип действия лазера.</b><br>Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.<br>- Демонстрационные работы по наблюдению мод резонатора и режимов работы He-Ne и полупроводниковых лазеров.  | 16 | 4 |  | 8 | 8 | 4 |
| <b>4. Свойства лазерного излучения.</b><br>Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.<br>-Демонстрационные работы по наблюдению и измерениям монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения  | 10 | 2 |  | 4 | 4 | 4 |
| <b>5. Основные типы лазеров.</b><br>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.<br>Определение вращательных постоянных и ширины Лэмбовского провала.<br>-Демонстрационная работа по изучению свойств и особенностей излучения полупроводниковых лазеров. | 10 | 2 |  | 4 | 4 | 4 |
| <b>6. Восприимчивость вещества.</b><br>Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха.<br>Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.   | 10 | 2 |  | 4 | 4 | 4 |
| <b>7. Нестационарная оптика.</b><br>Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение.<br>Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией  | 10 | 2 |  | 4 | 4 | 4 |
| <b>8. Механизмы оптической нелинейности сред.</b>  | 16 | 4 |  | 8 | 8 | 4 |

|  |     |    |  |    |    |    |
|--|-----|----|--|----|----|----|
| Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимо-действия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия.<br>-Коллоквиум по темам, связанным с нелинейной оптикой.<br>-Обсуждение рефератов на тему использования многофотонных процессов в физике.<br>-Решение задач по нелинейной оптике |     |    |  |    |    |    |
| <b>9. Статистическая оптика.</b><br>Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамильтоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем.<br>-Решение задач по статистической оптике   | 16  | 4  |  | 8  | 8  | 4  |
| <b>10. Лазерная спектроскопия.</b><br>Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.<br>-Обсуждение обзорных материалов по флуоресцентному и фотоионизационному методам, по методам спектроскопии с временным разрешением, по нестационарной спектроскопии.<br>- Решение задач   | 10  | 2  |  | 4  | 4  | 4  |
| <b>экзамен</b>   | 27  |    |  |    |    | 27 |
| <b>ИТОГО</b>   | 144 | 26 |  | 52 | 52 | 66 |

### III. Образовательные технологии

| Учебная программа-наименование разделов и тем  | Вид занятия                                  | Образовательные технологии  |
|--|--|---|
| <b>1. Поглощение и вынужденное излучение света.</b><br>Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов. | Лекция, демонстрационная лабораторная работа | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Информационные (цифровые) |
| <b>2. Спонтанное излучение.</b><br>Вычисление вероятности спонтанного излучения.   | Лекция, демонстрационная лабораторная работа | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Информационные (цифровые) |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней. Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения</p>   |   |  |
| <p><b>3. Принцип действия лазера.</b> Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.<br/>- Демонстрационные работы по наблюдению мод резонатора и режимов работы He-Ne и полупроводниковых лазеров.</p>   | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |
| <p><b>4. Свойства лазерного излучения.</b> Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.<br/>-Демонстрационные работы по наблюдению и измерениям монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения</p>   | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |
| <p><b>5. Основные типы лазеров.</b> 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.<br/>Решение задач, связанных с процессами накачки.<br/>Определение вращательных постоянных и ширины</p> | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>Лэмбовского провала.<br/>-Демонстрационная работа по изучению свойств и особенностей излучения полупроводниковых лазеров.</p>  |   |  |
| <p><b>6. Восприимчивость вещества.</b><br/>Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха. Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.</p>   | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |
| <p><b>7. Нестационарная оптика.</b><br/>Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение. Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией</p>  | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |
| <p><b>8. Механизмы оптической нелинейности сред.</b><br/>Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия.<br/>-Коллоквиум по темам, связанным с нелинейной оптикой.<br/>-Обсуждение рефератов на тему использования многофотонных процессов в физике.<br/>-Решение задач по нелинейной оптике</p> | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |
| <p><b>9. Статистическая оптика.</b><br/>Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамиль-тоновая форма уравнений Максвелла.</p>   | <p>Лекция, демонстрационная лабораторная работа</p> | <p>Активное слушание. Групповое решение задач. Информационные (цифровые)</p> |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Статистика фотонов и фотоэлектронов.<br>Взаимодействие атома с квантовым полем.<br>-Решение задач по статистической оптике   |  |   |
| <b>10. Лазерная спектроскопия.</b><br>Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.<br>-Обсуждение обзорных материалов по флуоресцентному и фотоионизационному методам, по методам спектроскопии с временным разрешением, по нестационарной спектроскопии.<br>- Решение задач | Лекция, демонстрационная лабораторная работа | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Информационные (цифровые) |

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**Форма проведения экзамена:** студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.



**Задание:** Дать развернутый ответ о сходстве и различии оптического и электронного ограничения в гетерогенном полупроводниковом лазере.

**Способ аттестации:** устный опрос.

**Критерии оценки:** студент должен отметить связь оптического и электронного ограничений с шириной активного слоя и длиной волны, дополнительно объяснить преимущества РОДГС лазера над ДГС и механизм создания волновода в гетероструктуре.

**ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения.

**Задание:** Назвать недостатки 532нм DPSS лазера

**Способ аттестации:** устный опрос.

**Критерии оценки:** в ответе студента должно быть подробно описано паразитное ИК излучение этих лазеров. Дополнительно можно отметить низкий КПД и высокое энергопотребление, а также неустойчивость работы такого лазера при изменении температуры.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) основная литература:

1. Иродов И. Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс] : учебное пособие. - 17-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 420 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/126942>.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - 13-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2019. - 320 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/123463>

б) дополнительная литература

3. Колесников А.И. Учебно-методический комплекс по дисциплине "Квантовая радиофизика" [Электронный ресурс]. - Тверь, 2012. Режим доступа: <http://texts.lib.tversu.ru/texts2/04292umk.pdf>
4. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2004. — 672 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/619>

2) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

- 1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);
- 2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;
- 3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **1. 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

### **2. Методические рекомендации**

Предметом оценки является подготовка студентов к занятиям, работа студентов на практических занятиях, выполнение ими тестовых заданий.

Оценки успеваемости студентов проходит в модульную неделю в соответствии с графиком учебного процесса.

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы (традиционные или в форме тестов). При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

### 3. Типовые тесты

-Вариант 1

Указать неправильные утверждения:

а) Разность частот, соответствующих двум модам в резонаторе Фабри-Перо с одними и теми же значениями  $l$  и  $m$ , но с  $n$ , отличающимися на 1, равна  $\Delta\nu n = c/d$ , где  $c$  – скорость света,  $d$  – расстояние между зеркалами.

б) Если матрица передачи для оптической системы  $1 \rightarrow 2$  имеет вид  $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$

то фокусное расстояние для такой системы определяется формулой  $f = -\frac{1}{C}$

в) Единицей измерения светимости является нит (нт).

г) Усиление излучения за один проход в активной среде определяется выражением

$K = \exp[\sigma(N_2 - N_1)l]$ , где  $\sigma$  – сечение перехода,  $l$  – длина активной среды,  $N_1$  и  $N_2$  – населенности уровней 1 и 2.

д) Квантовый выход накачки  $\eta$  целиком зависит от спектральной интенсивности света, излучаемого источником оптической накачки.

е) При отсутствии поглощения наиболее интенсивно накачивается внешняя часть цилиндрического лазерного стержня, соответствующая неравенству  $R/\eta < r < R$ , где  $R$  – радиус стержня,  $\eta$  - показатель преломления.

ж) Спонтанное время жизни фотона  $\tau_{сп}$  зависит от интенсивности падающего света.

з) В трехуровневом лазере каждый атом, оказавшийся в возбужденном состоянии, дает вклад в инверсию населенностей.

и) Конфокальный резонатор состоит из плоского и сферического зеркал.

к) Уравнение Гельмгольца имеет вид:  $\nabla^2 \bar{u} = -k^2 \bar{u}$ , где  $\bar{u}$  - вектор напряженности электрического поля,  $k$  – волновое число.

## Вариант 2

Указать правильные утверждения:

а) Квантовый выход накачки  $\varphi_r$  зависит от конструкции системы передачи излучения в стержень.

б) В лазерном излучении среднее число фотонов в моде может быть намного большим, чем единица.

в) Свертка лоренцевой линии шириной  $\nabla\omega_1$  и гауссовой линии шириной  $\nabla\omega_2$  дает линию с шириной  $\Delta\omega = \sqrt{\Delta\omega_1^2 + \Delta\omega_2^2}$ .

г) Спектральная плотность излучения  $\rho_\nu$  зависит только от частоты  $\nu$  и температуры  $T$ .

д) Если матрица передачи для оптической системы  $1 \rightarrow 2$  имеет вид  $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ , то для системы  $2 \rightarrow 1$  она будет иметь такой же вид.

е) Вероятности поглощения и вынужденного поглощения равны друг другу:  $W_{12} = W_{21}$ .

ж) Величина вероятности спонтанных переходов  $A$  растет как квадрат частоты:  $A \sim \omega_0^2$ .

з) В формуле для разности населенностей  $\Delta N = \frac{N_t}{1 + 2\omega\tau}$ , где  $\tau$  - безызлучательное время.

и) Плоскопараллельный резонатор неустойчив.

к) В отсутствие поглощения в лазерном стержне радиусом  $R$  наиболее сильно накачиваются области, соответствующие условию  $R/\eta \leq r \leq R$ , где  $\eta$  - показатель преломления материала стержня.

### Вариант 3

Указать правильные утверждения:

а) Коэффициенты отражения зеркал, ограничивающих активную среду, в лазере должны быть близкими к единице.

б) В четырехуровневом лазере каждый атом, попавший на верхний уровень, дает вклад в инверсию населенностей.

в) Спектральная ширина линии излучения зависит от выходной мощности излучения.

г) Спектральная эффективность оптической накачки  $\phi_s$  определяется конструкцией системы передачи.

д) При фокальной системе накачки зеркальная поверхность, внутри которой находятся лампа и стержень, представляет собой эллипсоид вращения.

е) Фокусное расстояние для оптической системы, описываемой матрицей передачи

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & -13 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \text{ равно: } f=2.$$

ж) Для излучения АЧТ при комнатной температуре среднее число фотонов в моде для оптического диапазона близко к единице.

з) Эксимерные лазеры относятся к лазерам на красителях.

и) Спонтанное время жизни фотона  $\tau_{сп}$  зависит от интенсивности падающего света.

к) Состояния имеют определенную четность, если гамильтониан системы инвариантен относительно операции инверсии.

#### Вариант 4

Указать неправильные утверждения:

а) Квантовый выход  $\phi_{21}$  определяется как отношение числа фотонов, испущенных при переходе  $2 \rightarrow 1$  к полному числу атомов, первоначально находившихся на уровне 1. тсп, так и от безызлучательного времени  $t_{безызл.}$ .

в) В случае газа, состоящего из двух компонентов, возбуждение атомов может осуществляться лишь при электронном ударе.

г) При любых значения коэффициента поглощения света цилиндрическим стержнем величина плотности энергии накачки в центре стержня больше, чем на поверхности стержня.

д) Энергия электродипольного взаимодействия намного меньше соответствующей энергии магнитодипольного взаимодействия.

е) Эффект Доплера приводит к однородному уширению линий.

ж) Величина вероятности спонтанного перехода  $A$  растет как четвертая степень частоты ( $A \sim \omega_0^4$ ).

з) В Резонаторе Фабри-Перо две соседние продольные моды всегда разрешаются по частоте.

и) Возможна и такая матрица передачи оптической системы:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & -1 \\ 3 & -\sqrt{2} \end{pmatrix}.$$

к) Ксантеновые лазеры – это полупроводниковые лазеры.

#### Вариант 5

Указать правильные утверждения:

а) Из трех величин:  $w$ ,  $\alpha$  и  $\sigma$  только  $\alpha$  зависит исключительно от свойств среды.

б) При оптических частотах вероятность магнитного дипольного перехода примерно в 105 раз меньше вероятности электрического перехода.

в) Мощность, которая должна поглощаться системой для поддержания ее в состоянии насыщения, равна мощности теряемой из-за спонтанного излучения.

г) При малых давлениях газа столкновительное уширение линий больше чем доплеровское.

д) Свертка гауссовой линии с лоренцевой линией дает линию, не являющуюся ни гауссовой, ни лоренцевой.

е) Спонтанное время жизни  $\tau_{сп}$  в одном случае больше, чем полное время жизни  $\tau$ .

ж) Коэффициент поглощения света  $\alpha$  не зависит от величины отношения  $I/I_s$  для данной частоты.

з) Квантовый выход накачки  $\varphi_r$  не зависит от спектральной интенсивности источника накачки.

и) Для лазерного излучения среднее число фотонов в моде намного меньше единицы.

к) Возможна и такая матрица передачи: 
$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -13 \\ -1 & 7 \end{pmatrix}$$

### Вариант 6

Указать правильные утверждения:

а) Число Френеля  $N$  равно одной второй отношения дифракционного полуугла  $\alpha_d$  плоской электромагнитной волны, имеющей те же поперечные

размеры, что и резонатор, к геометрическому полууглу  $\alpha_g$ : 
$$N = \frac{\alpha_d}{2\alpha_g}.$$

б) В четырехуровневом лазере каждый атом, оказавшийся в возбужденном состоянии, дает вклад в инверсию населенностей.

в) Спектральная ширина линии лазерного излучения зависит от времени жизни фотона в резонаторе  $\tau_e$

г) Положительная инверсия ( $N_2 > N_1$ ) является достаточным условием для достижения порога генерации.

д) Электрические дипольные переходы происходят только между состояниями, имеющими различную четность.

е) Форма линии лазерного перехода соответствует  $\delta$ - функции Дирака.

ж) Возможна и такая матрица передачи для оптической системы:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

з) Помещение лазерного стержня длиной  $l$  в прозрачную сферическую обложку с диаметром  $D = \eta l$  позволяет увеличить плотность энергии в стержне в  $\eta^3$  раз ( $\eta$  - показатель преломления оболочки и стержня).

и) Формула Планка для спектральной плотности энергии  $\rho \nu$  переходит в формулу Рэлея-Джинса при условии  $h\nu \rightarrow \infty$ .

к) Из трех величин:  $w$ ,  $\alpha$  и  $\sigma$  только  $\alpha$  (коэффициент поглощения света средой) зависит исключительно от свойств данной среды.

Итоговый контроль

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.

## **VII. Материально-техническое обеспечение**

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>Учебно-научная лаборатория радиоэлектроники № 25 А (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вольтметр цифровой В7-78/2</li> <li>2. Осциллограф цифровой WA 102 (2 шт.)</li> <li>3. Ноутбук DEII Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB</li> <li>4. Генератор сигналов PCG 10A</li> </ol> |  |
|---|--|--|

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | <p>5. Источник питания PCS 64i<br/> 6. Муфельная печь МИМП-3П<br/> 7. Осциллограф двухканальный PCS 500 А<br/> 8. Источник питания Б5-49<br/> 9. Источник питания Б5-50<br/> 10. Генератор Г3-33 2шт<br/> 11. Генератор Г3-109<br/> 12. Генератор Г4-109<br/> 13. Калибратор фазы Ф1-4<br/> 14. Селективный микровольтметр В6-9<br/> 15. Осциллограф С1-72 2шт<br/> 16. Осциллограф С-1-73</p> |  |
| <p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации,<br/> Лекционная аудитория № 28<br/> (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p> | <p>1 Экран настенный Screen Media 153x203<br/> 2. Комплект учебной мебели на 24 посадочных места<br/> 3. Меловая доска<br/> 4. Переносной ноутбук<br/> 5. проектор EPSON EB-X05 с потолочным креплением</p>  | <p>Microsoft Windows 10 Enterprise<br/> MS Office 365 pro plus<br/> Acrobat Reader DC - бесплатно<br/> Google Chrome – бесплатно</p> |

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

| № п.п. | Обновленный раздел рабочей программы дисциплины | Описание внесенных изменений | Реквизиты документа, утвердившего изменения |
|--------|---|------------------------------|---|
| 1.     |   |                              |   |
| 2.     |   |                              |   |