

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 14:25:13  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Квантовая радиопизика**

Направление подготовки

03.03.03 Радиопизика

профиль

Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., Васильев С.А.

Тверь, 2022

## I. Аннотация

### 1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Квантовая радиоп физика

### 2. Цель и задачи дисциплины

*Целями освоения дисциплины* являются 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.

### 3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина входит в 4 модуль базовой части учебного плана.

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.

### 4. Объем дисциплины: 3 зачетных единиц, 108 академических часов, в том числе

**контактная работа:** лекции 22 часов, лабораторные работы 22 часов; **самостоятельная работа:** 64 часов.

### 5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	<b>Уметь:</b> ясно излагать изученный материал <b>Знать:</b> физические принципы работы и устройство лазеров и мазеров основных типов, свойства лазерных генерационных активных средств, нелинейные оптические эффекты и явления, возникающие в веществе при прохождении лазерных пучков – самофокусировку лучей, генерацию гармоник, трёх- и четырёхфотонных взаимодействий.

<p><b>ПК-2</b>          способность использовать          основные методы          радиофизических измерений</p>	<p><b>Уметь:</b> применять современные методы и технику квантовой радиофизики при проведении научных исследований;  <b>Знать:</b> назначение и применение лазерной техники и нелинейной оптики в науке, промышленности, военной технике, медицине и биологии; понимать роль процессов спонтанного и вынужденного излучения, а также поглощения в работе лазеров, особенностей и отличия непрерывного и нестационарного режимов работы лазеров; физические законы, описывающие излучение лазеров – уравнения для коэффициентов Эйнштейна, скоростные уравнения, описывающие механизмы уширения линий, насыщение, вырождение уровней; моды пассивных оптических резонаторов.</p>
<p><b>ПК-5</b>          способность внедрять          готовые научные разработки</p>	<p><b>Владеть:</b> практическими навыками работы с газовыми, жидкостными и твердотельными лазерами.  <b>Уметь:</b> проводить патентный поиск с использованием российских и зарубежных баз данных</p>

В учебном плане 2014 г.н. **формируемые компетенции ОПК-1. ПК-2.**

<b>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b>
<p><b>ОПК-1</b>          способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности</p>	<p><b>Уметь:</b> решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения  <b>Знать:</b> основные законы и формулы, типичные алгоритмы решения задач</p>

**6. Форма промежуточной аттестации** - зачет в 8 семестре.

В учебном плане 2014 г.н. **форма промежуточной аттестации** – экзамен в 8 семестре .

**7. Язык преподавания** русский.

## II. Структура дисциплины

### 1. Структура дисциплины для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабор.) работы	
<p><b>1. Поглощение и вынужденное излучение света.</b>  Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов.</p>	10	2	2	6
<p><b>2. Спонтанное излучение.</b>  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</p>	10	2	2	6
<p><b>3. Принцип действия лазера.</b>  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.</p>	10	2	2	6
<p><b>4. Свойства лазерного излучения.</b>  Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.  -Демонстрационные работы по наблюдению и измерениям монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения</p>	10	2	2	6

<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. Решение задач, связанных с процессами накачки. Определение вращательных постоянных и ширины Лэмбовского провала.  -Демонстрационная работа по изучению свойств и особенностей излучения полупроводниковых лазеров.</p>	10	2	2	6
<p><b>6. Восприимчивость вещества.</b>  Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха.  Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.</p>	10	2	2	6
<p><b>7. Нестационарная оптика.</b>  Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение.  Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией</p>	10	2	2	6

<p><b>8. Механизмы оптической нелинейности сред.</b>  Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия.  -Коллоквиум по темам, связанным с нелинейной оптикой.  -Обсуждение рефератов на тему использования многофотонных процессов в физике.  -Решение задач по нелинейной оптике</p>	10	2	2	6
<p><b>9. Статистическая оптика.</b>  Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамиль-тоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем.  -Решение задач по статистической оптике</p>	14	2	4	8
<p><b>10. Лазерная спектроскопия.</b>  Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.  -Обсуждение обзорных материалов по флуоресцентному и фотоионизационному методам, по методам спектроскопии с временным разрешением, по нестационарной спектроскопии.  - Решение задач</p>	14	4	2	8
<b>ИТОГО</b>	108	22	22	64

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы лабораторных занятий
- методические рекомендации
- типовые тесты
- итоговый контроль

### **IV. Фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса «Квантовая радиофизика» могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Контроль сформированности компетенции осуществляется с помощью оценочных средств на основе критериев, которые разрабатываются с целью выявления соответствия этапов освоения компетенции планируемому результату обучения (см. карту компетенций).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 "Способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования"**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p><b>Уметь:</b> ясно излагать изученный материал</p>	<p>Сделать доклад на тему - использование многофотонных процессов в физике.</p> <p>Сделать доклад на тему - свойства и особенности излучения полупроводниковых лазеров.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;</li> </ul>
<p><b>Знать:</b> физические принципы работы и устройство лазеров и мазеров основных типов, свойства лазерных генерационных активных средств, нелинейные оптические эффекты и явления, возникающие в веществе при прохождении лазерных</p>	<p>Типы лазеров. Основные свойства лазерного излучения: направленность, яркость, когерентность, мощность, пятнистая картина.</p> <p>Вывести формулу Рэнея-Джинса и Планка.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла</li> <li>• Аргументация на теоретическом уровне неполная, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл</li> <li>• Терминологический аппарат непосредственно</li> </ul>

<p>пучков – самофокусировку лучей, генерацию гармоник, трёх- и четырёхфотонных взаимодействий.</p>		<p>не связан с раскрываемой темой – 0 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 3 балла</li> <li>• Допущена фактическая ошибка, не приведшая к существенному искажению смысла – 2 балла</li> <li>• Допущены фактические и логические ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов</li> </ul>
--	--	---

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2 "Способность использовать основные методы радиофизических измерений"**

<p><b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b></p>	<p><b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b></p>	<p><b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b></p>
<p>заключительный <b>Уметь:</b> применять современные методы и технику квантовой радиофизики при проведении научных исследований</p>	<p>Решить задачу, связанную с матрицами Паули и разложением операторов.</p> <p>провести измерения монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;</li> </ul>
<p>заключительный <b>Знать:</b> назначение и применение лазерной техники и нелинейной оптики в науке, промышленности, военной технике, медицине и биологии; понимать роль процессов спонтанного и вынужденного излучения, а также поглощения в работе лазеров, особен-</p>	<p>Вычислить вероятность спонтанного излучения.</p> <p>Перечислить механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла</li> <li>• Аргументация на теоретическом уровне неполная, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл</li> <li>• Терминологический аппарат непосредственно не связан с рас-</li> </ul>



<p>ностей и отличия непрерывного и нестационарного режимов работы лазеров; физические законы, описывающие излучение лазеров – уравнения для коэффициентов Эйнштейна, скоростные уравнения, описывающие механизмы уширения линий, насыщение, вырождение уровней; моды пассивных оптических резонаторов.</p>		<p>крываемой темой – 0 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 3 балла</li> <li>• Допущена фактическая ошибка, не приведшая к существенному искажению смысла – 2 балла</li> <li>• Допущены фактические и логические ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов</li> </ul>
--	--	--

### 3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-5 "способность внедрять готовые научные разработки"

<p><b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b></p>	<p><b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b></p>	<p><b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b></p>
<p>заключительный <b>Владеть:</b> практическими навыками работы с лазерами.</p>	<p>Провести наблюдение и измерения монохроматичности, когерентности и направленности лазерного излучения на монокристаллах парателлуриата</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;</li> </ul>
<p>заключительный <b>Уметь:</b> проводить патентный поиск с использованием российских и зарубежных баз данных</p>	<p>Провести патентный поиск на тему "Лазерный излучатель"</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла</li> <li>• Аргументация на теоретическом уровне неполная, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл</li> <li>• Терминологический аппарат непосредственно не связан с рас-</li> </ul>

		<p>крываемой темой – 0 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 3 балла</li> <li>• Допущена фактическая ошибка, не приведшая к существенному искажению смысла – 2 балла</li> <li>• Допущены фактические и логические ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов</li> </ul>
--	--	--

## **V. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) основная литература:

1. Шпольский Э. В. Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/443>.

б) дополнительная литература

1. 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>.

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины**

специализированное программное обеспечение для ЭВМ ZetLab, Avideo и др.

## **VII. Методические указания 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 графиков 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

$$f = -\frac{1}{C}$$

расстояние для такой системы определяется формулой

в) Единицей измерения светимости является нт (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  $\Phi_{\text{кр}}$  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 тсп 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  $\Phi_{\text{кр}}$  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  $\rho_\omega$  зависит только от частоты  $\omega$  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.

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

- и) Возможна и такая матрица передачи оптической системы:
- к) Ксантоновые 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.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -13 \\ -1 & 7 \end{pmatrix}$$

- к) Возможна и такая матрица передачи:

#### 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

$$N = \frac{\alpha_d}{2\alpha_g}.$$

геометрическому полууглу  $\alpha_g$ :

- 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.

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

ж) Возможна и такая матрица передачи для оптической системы:

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 зачету

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 Рэя-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.

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Лекции, практические занятия, лабораторные работы, решение задач, специализированное программное обеспечение для ЭВМ ZetLab, Avideo и др.

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

<b>Наименование специальных* помещений</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебно-научная лаборатория радиоэлектроники и микроэлектроники № 25 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Монитор CTX 2 Компьютер Intel Original LGA1155 Core i5-3470, монитор AOC 23" e2370Sd 3 Компьютер Intel Original LGA1155 Core i5-3470, монитор AOC 23" e2370Sd 4 Осциллограф цифровой WA 102 5 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 6 Принтер Samsung лазерный 7 Принтер Samsung лазерный 8 Спектрометр ИКС-29 9 Программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности (микроскоп) 10 Дифрактометр рентгеновский ДСО-2 для уточнения ориентации	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

	монокристаллов 11 Электронно-оптический комплекс для анализа морфологии кристаллов NanoMap-1000WLI 12 Тепловизор FLIR T250 в комплекте 13 Вольметр цифровой В7-78/2	
--	--	--

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт          2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2)          Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь          3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D          4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО          5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО          6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»          7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно          Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009          Google Chrome - бесплатно          Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно          Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.          Lazarus 1.4.0 - бесплатно          Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно          Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011          MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012          Microsoft Express Studio 4 - бесплатно          MiKTeX 2.9 - бесплатно          MPICH 64-bit – бесплатно          MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно          Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017          MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>



## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.