

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования



Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-ae0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

П. Е. Троян

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Основы квантовой оптики»**

Уровень основной образовательной программы \_\_\_\_\_ Бакалавриат \_\_\_\_\_

Направление подготовки **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Профиль «Оптические системы и сети связи»

Форма обучения \_\_\_\_\_ заочная \_\_\_\_\_

Факультет \_\_\_\_\_ Радиотехнический \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР) \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_ второй, третий \_\_\_\_\_ Семестр \_\_\_\_\_ четвертый, пятый \_\_\_\_\_

Учебный план набора 2012 года

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции				4	-				4	часов
2.	Лабораторные работы				-	8				8	часов
3.	Практические занятия				2	4				6	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-					-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				6	12				18	часов
6.	Из них в интерактивной форме				1	3				4	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				66	20				86	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				72	32				104	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена/зачета					4				4	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				72	36				108	часов
	(в зачетных единицах)									3	ЗЕТ

Диф. зачет \_\_\_\_\_ пятый \_\_\_\_\_ семестр

Томск 2017

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», утвержденного Приказом Минобрнауки России 06 марта 2015 г.

регистрационный номер 174, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » \_\_\_\_\_ 2016 г.,

протокол № \_\_\_\_

Разработчик Профессор каф. СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шандаров В.М.  
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами.

Декан РТФ \_\_\_\_\_ Попова К.Ю.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. профилирующей  
кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей  
кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

#### Эксперты:

ТУСУР, каф.ТОР, доц. \_\_\_\_\_ С.И.Богомолов

ТУСУР, каф. СВЧиКР Профессор \_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

### **1. Цели и задачи дисциплины:**

Целью преподавания дисциплины является подготовка студентов в области основ квантовой физики и эффектов взаимодействия излучения с веществом, а также физических принципов функционирования современных оптических усилителей и генераторов когерентного излучения.

**Основной задачей** дисциплины является изучение основных положений квантовой физики и квантовой оптики, эффектов взаимодействия излучения с веществом, основных принципов построения лазеров и лазерных приборов.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты получают знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической работы специалистов в области оптической связи.

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

Дисциплина по выбору Б1.В.ДВ.7.2.

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта (ПК-7);
- способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики (ПК-17).

В результате изучения дисциплины студент должен:

#### ***Знать:***

- основные законы и соотношения квантовой физики и квантовой оптики (ПК-7);
- основные законы и соотношения квантовой теории взаимодействия света с веществом (ПК-7);
- основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов (ПК-7, ПК-17);

#### ***Уметь:***

- объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы квантовых приборов оптического диапазона, а также оптоэлектронных компонентов включая лазерные и светодиодные источники излучения (ПК-7);
- применять на практике известные методы экспериментального исследования квантовых эффектов взаимодействия света с веществом, а также оптоэлектронных компонентов и устройств (ПК-7);
- выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик квантовых приборов оптического диапазона (ПК-17);
- проводить компьютерное моделирование и проектирование квантовых приборов оптического диапазона, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик (ПК-17);
- пользоваться справочными данными по материалам квантовой электроники и оптоэлектроники при проектировании оптоэлектронных и лазерных приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов (ПК-17);

#### ***Владеть:***

- навыками чтения и изображения схем оптических и лазерных приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и квантовой электроники (ПК-17);
- навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств (ПК-7, ПК-17);

- навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и лазерных элементов и приборов, а также с контрольно-измерительной аппаратурой (ПК-7).

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
В том числе:			
Лекции	4	4	-
Лабораторные работы (ЛР)	8	-	8
Практические занятия	6	2	4
<b>Самостоятельная работа (всего), в том числе:</b>	<b>86</b>	<b>66</b>	<b>20</b>
Изучение материала лекций	12	26	-
Подготовка к контрольным работам	12	20	16
Самостоятельное изучение отдельных тем	24	20	4
Подготовка к экзамену и сдача экзамена		-	4
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)		Диф. зачет	
Общая трудоемкость	108	108	
Зачетные единицы трудоемкости	3	3	

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Практ. Зан.	СРС	Всего час.	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение. Основные положения квантовой оптики.	1	-	2	20	23	ПК-7, ПК-17
2	Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом. Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона.	2	4	2	36	44	ПК-7, ПК-17
3	Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики. Принципы управления характеристиками лазерного излучения.	1	4	2	30	37	ПК-7, ПК-17
	Итого:	4	8	6	86	104	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение. Основные положения квантовой оптики	Задачи курса. Место дисциплины в учебном процессе. Постоянная Планка, концепция корпускулярно-волнового дуализма при описании явлений взаимодействия света с веществом. Виды квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Ширина спектральной линии.	1	ПК-7, ПК-17
2	Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом. Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона.	Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой. Закон Бугера. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах. Оптические резонаторы. Структуры электрических полей. Схемы оптических резонаторов. Резонатор-интерферометр Фабри-Перо, спектральные характеристики. Перестраиваемые резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод. Условия самовозбуждения лазера.	2	ПК-7, ПК-17
3	Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики. Принципы управления характеристиками лазерного излучения	Трех- и четырехуровневые лазеры. Стационарные режимы лазеров. Импульсные режимы. Модуляция добротности и синхронизация мод. Типы лазеров (газовые, твердотельные, волоконные, полупроводниковые). Электрооптический и акустооптический эффекты. Электрооптические и акустооптические модуляторы. Параметры и характеристики модуляторов. Осуществление разных видов модуляции. Дефлекторы.	1	ПК-7, ПК-17

## 5.3 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

## 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля по всем видам занятий
	Л	Лаб	Пр.	КР/КП	СРС	
ПК-7	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет
ПК-17	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет

Л – лекция, Лаб – лабораторные работы, Пр – практические занятия, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Методы	Практические занятия	Лабораторные занятия	Лекции	Всего
Работа в группах	1	3	-	4
Итого	1	3	-	4

## 7. Лабораторный практикум

№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	ОК, ПК
2	Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления	4	ПК-7, ПК-17
3	Исследование пространственного самовоздействия световых пучков в нелинейно - оптической среде	4	ПК-7, ПК-17

## 8. Практические занятия

№	Раздел дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
1	Введение. Основные положения квантовой оптики.	Постоянная Планка, энергия фотонов. Механизмы уширения спектральных линий.	2	ПК-7, ПК-17
3	Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом. Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона.	Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах. Моды оптических резонаторов, добротность резонаторов, условия баланса амплитуд.	2	ПК-7, ПК-17
3	Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики. Принципы управления характеристиками лазерного излучения	Характеристики электрооптического и акустооптического эффектов	2	ПК-7, ПК-17

## 9. Самостоятельная работа

№ п/п	Разделы дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы
1.	Введение. Основные положения квантовой оптики.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям.	20	ПК-7	Диф. Зачет.
2.	Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом. Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе	36	ПК-7, ПК-17	Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Диф. Зачет.
3.	Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики. Принципы управления характеристиками лазерного излучения.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к лабораторной работе.	30	ПК-7, ПК-17	Отчет по лабораторной работе. Диф.Зачет.

## 10. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены

## 11. Балльно-рейтинговая система

### МЕТОДИКА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Осуществляется в соответствии с Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает текущий контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга (раздел 6).

**Правила формирования пятибалльных оценок** за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$КТx|_{x=1,2} = \frac{(Сумма \_ баллов, \_ набранная \_ к \_ КТx) * 5}{Требуемая \_ сумма \_ баллов \_ по \_ балльной \_ раскладке}.$$

После окончания семестра студент, набравший менее 50 баллов, считается неуспевающим, не получившим зачет. Студент, выполнивший все запланированные лабораторные работы, и т.д. и набравший сумму 60 и более баллов, получает зачет «автоматом»..

**Таблица 11.1** Распределения баллов в течение семестра

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение лекций	16			16
Тестовый контроль		30		30
Выполнение лабораторных работ		20	20	40
Компонент своевременности		7	7	14
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>16</b>	<b>57</b>	<b>27</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>16</b>	<b>73</b>	<b>100</b>	

**Таблица 11.2** Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

### **12.1. Основная литература**

1. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику: Учебное пособие / Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие - Томск: ТУСУР, 2012. – 98 с. Режим доступа:

<https://edu.tusur.ru/training/publications/1578>

2. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 197 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/750>

### **12.2. Дополнительная литература**

1д. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. М.: Наука. 1970.855с. (5)

2д. В.М. Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 185 с. (50 экз.)

3д. С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 241 с. (64 экз.)

### **12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам**

1. Шандаров В. М., Тренихин П.А. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/72>
2. Карпушин П. А., Шандаров В. М. Исследование эффекта пространственного самовоздействия световых пучков в фоторефрактивном кристалле: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 14 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/75>
3. В. М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210401.65, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 57 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2888/>

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **13.1 Общие требования**

1. Компьютерный класс, оборудованный компьютерами класса Pentium II и выше, включенный в сеть Internet.

### **13.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

2. Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

3. При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.



4. При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

5. При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

#### **14. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Объем часов, предусмотренных учебным планом для изучения дисциплины, позволяет осветить только ключевые моменты и раскрыть базовые понятия при чтении лекций. Поэтому при реализации программы студенты должны достаточно много работать самостоятельно как при повторении лекционного материала, так и при подготовке к лабораторным занятиям и выполнении самостоятельной работы. Для обеспечения эффективного усвоения студентами материалов дисциплины необходимо на первом занятии снабдить их перечнем вопросов, которые подлежат изучению, списком основной и дополнительной литературы для самостоятельной работы, тематикой заданий для самостоятельной работы.

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется тестовый контроль знаний.

Лекционные занятия желательно проводятся с применением презентаций, а так же лекционных демонстраций. Это существенно улучшает динамику лекций и способствует лучшему усвоению материала. На лекциях необходимо обращать внимание на особенности применения рассматриваемого материала в последующих курсах, а также в будущей профессиональной деятельности.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ П.Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ**

Уровень основной образовательной программы: БАКАЛАВРИАТ

Направление(я) подготовки (специальность): 11.03.02 «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

Профиль(и): ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Форма обучения ЗАОЧНАЯ

Факультет РТФ (РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ)

Кафедра СВЧиКР (СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ)

Курс 2, 3

Семестр 4, 5

Учебный план набора 2012 года

Диф. Зачет \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ семестр

Томск 2017

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Основы квантовой оптики» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов ( типовые задачи ( задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведен в таблице 1

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-7	готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта	<p><b>Должен знать</b> основные законы и соотношения квантовой оптики; основные законы и соотношения квантовой теории взаимодействия света с веществом; основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.</p> <p><b>Должен уметь</b> объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы квантовых приборов оптического диапазона, а также оптоэлектронных компонентов включая лазерные и светодиодные источники излучения; применять на практике известные методы экспериментального исследования квантовых эффектов взаимодействия света с веществом, а также оптоэлектронных компонентов и устройств.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств; навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и лазерных элементов и приборов, а также с контрольно-измерительной аппаратурой.</p>
ПК-17	способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики	<p><b>Должен знать</b> основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.</p> <p><b>Должен уметь</b> выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик квантовых приборов оптического диапазона; проводить компьютерное моделирование и проектирование квантовых приборов оптического диапазона, иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по материалам квантовой электроники и оптоэлектроники при проектировании оптоэлектронных и лазерных приборов.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками чтения и изображения схем оптических и лазерных приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и квантовой электроники; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств.</p>

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическим и теоретическим знанием в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем.	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы.
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования.	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями.	Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач.	Работает при прямом наблюдении.

## 2. Реализация компетенций

### 2.1. Компетенция ПК-7

ПК-7: готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

**Таблица 3–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные законы и соотношения квантовой оптики; основные законы и соотношения квантовой теории взаимодействия света с веществом; основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.	Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы квантовых приборов оптического диапазона, а также оптоэлектронных компонентов включая лазерные и светодиодные источники излучения; применять на практике известные методы экспериментального исследования квантовых эффектов взаимодействия света с веществом, а также оптоэлектронных компонентов и устройств.	Навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств; навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и лазерных элементов и приборов, а также с контрольно-измерительной аппаратурой.

Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Зачет.	Задачи. Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 1 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные законы и соотношения квантовой оптики; основные законы и соотношения квантовой теории взаимодействия света с веществом; основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.	Умеет объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы квантовых приборов оптического диапазона, а также оптоэлектронных компонентов включая лазерные и светодиодные источники излучения; применять на практике известные методы экспериментального исследования квантовых эффектов взаимодействия света с веществом, а также оптоэлектронных компонентов и устройств.	Свободно владеет навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств; навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и лазерных элементов и приборов, а также с контрольно-измерительной аппаратурой.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связи между различными понятиями в области квантовой оптики. Понимает принципы построения оптических квантовых элементов и приборов.	Умеет выполнять поиск информации в области квантовой оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области квантовой оптики.	Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с квантовыми явлениями в оптике.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Дает определения основных понятий в области квантовой оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить информацию, связанную с квантовыми явлениями в оптике.

## 2.2. Компетенция ПК-17

ПК-17: способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 5.

**Таблица 5–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.	Выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик квантовых приборов оптического диапазона; проводить компьютерное моделирование и проектирование квантовых приборов оптического диапазона, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по материалам квантовой электроники и оптоэлектроники при проектировании оптоэлектронных и лазерных приборов.	Навыками чтения и изображения схем оптических и лазерных приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и квантовой электроники; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств.
Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы.  Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Зачет.	Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

**Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные принципы построения, особенности и характеристики оптических квантовых элементов и приборов.	Умеет выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик квантовых приборов оптического диапазона; проводить компьютерное моделирование и проектирование квантовых приборов оптического диапазона, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик;	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптических и лазерных приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и квантовой электроники; навыками расчета, проектирования и компьютерного

		пользоваться справочными данными по материалам квантовой электроники и оптоэлектроники при проектировании оптоэлектронных и лазерных приборов.	моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связь принципов построения с характеристиками оптических квантовых элементов и приборов.	Имеет представление о методах расчета параметров и характеристик квантовых приборов оптического диапазона; о компьютерном моделировании и проектировании квантовых приборов оптического диапазона, о методах компьютерной оптимизации их характеристик; может пользоваться справочными данными по материалам квантовой электроники и оптоэлектроники при проектировании оптоэлектронных и лазерных приборов. Умеет самостоятельно определять методы решения задач проектирования.	Владеет навыками чтения и изображения схем оптических и лазерных приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и квантовой электроники; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования характеристик оптоэлектронных и лазерных элементов и устройств.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов, об основных понятиях в области оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить знания и информацию, связанную с квантовыми явлениями в оптике.

### 3. Типичные контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

- контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

**Контрольные задачи (типичные) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:**

#### 3.1. ТЕМА: Основные положения квантовой оптики.

##### Задача 1.

Запишите выражение для напряженности электрического поля плоской световой волны, распространяющейся в среде вдоль оси Z, если в плоскости XOY фазовый сдвиг между

компонентами вектора  $E$  вдоль осей  $X$  и  $Y$  составляет  $90^\circ$ , а отношение их амплитуд  $E_{mx}/E_{my}=0,5$ .

**Решение:**

Согласно условиям задачи, плоская световая волна распространяется вдоль оси  $z$ . Тогда, исходя из поперечной структуры ее поля, вектор  $\vec{E}$  может располагаться лишь в плоскости  $XOY$  и имеет составляющие  $E_x$  и  $E_y$ . В соответствии с (1.12) изменение величины напряженности электрического поля плоской световой волны во времени и пространстве определяется выражением:

$\vec{E} = [\bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 E_{my} \cos(\omega t - kz - \varphi)]$ . Поскольку фазовый сдвиг между составляющими вектора  $\vec{E}$  вдоль этих осей равен  $90^\circ$ , а  $E_{my} = 2E_{mx}$  то это соотношение принимает окончательный вид:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= [\bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 \cdot 2E_{mx} \sin(\omega t - kz)] = \\ &= E_{mx} \cdot [\bar{x}_0 \cos(\omega t - kz) + 2\bar{y}_0 \sin(\omega t - kz)] \end{aligned}$$

Таким образом, рассматриваемый случай соответствует плоской световой волне с эллиптической поляризацией, причем большая ось эллипса параллельна оси  $Y$  (поскольку  $E_{my} = 2E_{mx}$ ).

**Задача 2.**

На пленочный поляризатор падает линейно поляризованный световой пучок мощностью 1 мВт, плоскость поляризации света отклонена от направления главной оси поляризатора на  $30^\circ$ . Какова величина световой мощности, прошедшей через поляризатор, если поляризующий материал заключен между двумя стеклянными пластинками (для стекла  $n=1,51$ ), а френелевскими отражениями на границе между стеклом и этим материалом можно пренебречь?

**Решение:**

Уменьшение мощности световой волны, прошедшей через поляризатор, обусловлено в реальных элементах эффектами частичного отражения света на границах раздела сред с разными свойствами, поглощения света в материале структуры, а также собственно поляризующим действием такого элемента.

Для наглядности представим схему данного элемента (рис. 1.2). Частичное отражение света может наблюдаться здесь на границах раздела 1 – 4 (отмечены стрелками). Согласно условиям задачи, можно пренебречь эффектом отражения света на границах 2 и 3. Поскольку условиями не определена величина оптического поглощения в материале поляризатора, им также пренебрегаем. В итоге, для определения прошедшей световой мощности учитываем эффект частичного отражения света на входной и выходной границах структуры (границы 1 и 4), а также отклонением плоскости поляризации света от главного направления поляризатора. определяемым законом Малюса.



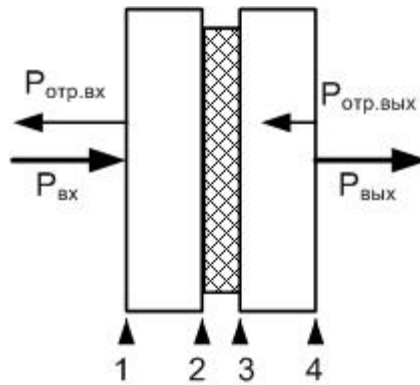


Рис. 1.2. Схема пленочного поляроида.

Поскольку коэффициент отражения света (по интенсивности) на границе диэлектрической среды с показателем преломления  $n$  и воздуха определяется соотношением  $r = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$  [2, 3], то интенсивность (или мощность) прошедшего пучка при полном пропускании поляроида была бы равна  $P_{i\delta} = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)(1-r) = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)^2$ . Учет поворота главной оси поляроида относительно плоскости поляризации световой волны приводит это соотношение к виду:

$P_{i\delta} = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)^2 \cdot \cos^2 \theta$ , где  $\theta = 30^\circ$ . Для  $n=1,51$  в итоге получаем:

$$r=0,0413; P_{\text{пр}}=1 \cdot (1-0,0413)^2 \cdot \cos^2(30^\circ)=0,9178 \cdot 0,75=0,6884 \text{ мВт.}$$

Таким образом, мощность прошедшего через поляроид светового пучка в данном случае составляет 0,6884 мВт.

### 3.2. ТЕМА: Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом

#### Задача 1.

Круговой гауссов пучок имеет полуширину перетяжки  $w_0=10$  мкм. Найдите полуширину пучка на расстоянии 10 м от области перетяжки, если длина волны света  $\lambda=1$  мкм.

#### Решение:

Используем выражение для связи полуширины пучка в произвольном сечении с его шириной в области перетяжки:

$$w^2(z) = w_0^2 \left( 1 + \frac{z^2}{z_0^2} \right) \text{ и соотношение для продольного размера перетяжки } z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}.$$

Комбинируя их, получим:  $w(z) = w_0 \left( 1 + \frac{z^2 \lambda^2}{\pi^2 w_0^4} \right)^{1/2}$ . И, подставляя сюда заданные параметры, получим  $w = w_0 (1 + 10^9)^{0,5} = 3,2$  см.

### 3.3. ТЕМА: Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона

#### Задача 1.

Найдите критическую толщину волноводного слоя для направляемой  $TE_3$  моды тонкопленочного асимметричного волновода, если он представляет собой пленку стекла с показателем преломления  $n_1=1,6$ , нанесенную на подложку из стекла с показателем

преломления  $n_1=1,5$ . Длина волны света  $\lambda=1,5$  мкм.

**Решение:**

Используя соотношение (4.3), найдем:

$$h_{кр} = \frac{3\pi + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2 - n_1^2}}}{k_0 \sqrt{n_0^2 - n_1^2}} = \frac{3\pi + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1,5^2 - 1}{1,6^2 - 1,5^2}}}{2\pi \sqrt{1,6^2 - 1,5^2}} \lambda = \frac{3,352\pi}{2\pi \cdot 0,557} \lambda = 3\lambda .$$

Таким образом, критическая толщина волноводного слоя для  $TE_3$  моды равна 4,5 мкм.

**3.4. ТЕМА: Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики**

Задача 1.

Линейно поляризованная световая волна распространяется в направлении оси X кристалла ниобата лития. Найти величину изменения показателя преломления, если к электродам, нанесенным на грани кристалла, перпендикулярные оси Z (толщина кристалла в этом направлении – 1 см), приложено электрическое напряжение в 1 кВ. Плоскость поляризации света совпадает с плоскостью XOY, длина волны света  $\lambda=633$  нм.

Справка: Величины обыкновенного и необыкновенного показателей преломления на данной длине волны составляют 2,286 и 2,2; а электрооптических коэффициентов  $r_{13}=9,6 \cdot 10^{-10}$  см/В;  $r_{33}=30,9 \cdot 10^{-10}$  см/В.

**Решение:**

Поскольку световая волна распространяется вдоль оси X, а плоскость поляризации света совпадает с плоскостью XOY, то она соответствует обыкновенной волне в кристалле. Величина изменения показателя преломления за счет линейного электрооптического эффекта в случае обыкновенной поляризации света и управляющего электрического поля, приложенного вдоль оси Z, как следует из (5.8), определяется соотношением:

$$\Delta n_2 = -\frac{1}{2} n_0^3 \cdot r_{13} \cdot E_3$$

Подставляя в это выражение заданные значения обыкновенного показателя преломления, соответствующего электрооптического коэффициента, электрического напряжения и толщины кристаллического образца, получим:

$$\Delta n_2 = -\frac{1}{2} 2,286^3 \cdot 9,6 \cdot 10^{-10} \cdot 10^3 = 5,734 \cdot 10^{-6}$$

Таким образом, величина изменения обыкновенного показателя преломления составляет в данном случае  $5,734 \cdot 10^{-6}$ .

**3.5. ТЕМА: Принципы управления характеристиками лазерного излучения**

Задача 1.

Какому режиму дифракции (Рамана – Ната или Брэгга?) соответствует случай дифракции света с длиной волны  $\lambda=633$  нм на акустическом пучке шириной  $L=5$  мм при частоте продольных акустических волн 30 МГц в плавленом кварце ( $n=1,46$ )? Скорость продольной волны в кварце  $v=5,95 \cdot 10^3$  м/с.

## 4. Темы самостоятельной работы студентов

4.1. Основные положения квантовой оптики
4.2. Квантовое описание явлений взаимодействия излучения с веществом
4.3. Основные принципы построения квантовых приборов оптического диапазона
4.4. Современные лазеры и оптические усилители – основные характеристики
4.5. Принципы управления характеристиками лазерного излучения

## 5. Темы лабораторных работ

1. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления.
2. Исследование пространственного самовоздействия световых пучков в нелинейно - оптической среде.

## 6. Экзаменационные вопросы

1. Постоянная Планка, связь между частотой и энергией, импульсом и волновым вектором фотона.
2. Правило частот Бора.
3. Волна де Бройля, физический смысл волновой функции.
4. Уравнение Шредингера.
5. Типичная структура системы энергетических уровней молекулы.
6. Виды квантовых переходов (спонтанные и индуцированные переходы).
7. Различия в характеристиках спонтанного и индуцированного излучения.
8. Коэффициенты Эйнштейна для спонтанных и индуцированных переходов. Соотношение между коэффициентами Эйнштейна.
9. Механизмы уширения спектральных линий для активных сред в разном агрегатном состоянии. Естественная ширина спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение.
10. Условия усиления колебаний в квантовых системах.
11. Понятие отрицательной температуры (инверсии населенностей).
12. Кинетические уравнения для двухуровневой квантовой системы.
13. Взаимодействие плоской световой волны с активной средой.
14. Способы достижения инверсии населенностей в квантовых системах.
15. Открытый оптический резонатор. Продольные и поперечные моды в резонаторе Фабри-Перо. Соотношения для собственных частот продольных мод и межмодового расстояния.
16. Добротность открытого оптического резонатора.
17. Перестраиваемые оптические резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод.
18. Многослойные диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры.
19. Условия самовозбуждения лазера.
20. Типы газовых лазеров. Основные отличия атомарных, ионных и молекулярных лазеров.
21. Твердотельные лазеры. Особенности накачки.
22. Акустооптический эффект. Управление параметрами световых волн акустооптическими элементами.
23. Электрооптические элементы управления оптическим излучением.
24. Нелинейная поляризация среды.
25. Генерация оптических гармоник.

## 7. Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы для оценивания знаний и характеризующие этапы формирования компетенций ( все методические материалы приведены в п.12 программы):

1. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику: Учебное пособие / Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие - Томск: ТУСУР, 2012. – 98 с. Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/training/publications/1578>
2. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 197 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/750>
3. Шандаров В. М., Тренихин П.А. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/72>
4. Карпушин П. А., Шандаров В. М. Исследование эффекта пространственного самовоздействия световых пучков в фоторефрактивном кристалле: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 14 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/75>
5. В. М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210401.65, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 57 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2888/>