**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**
**Проректор по учебной работе**

_____ **П. Е. Троян**

«___» _____ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

# «Основы физической оптики»

**Уровень основной образовательной программы** _____Бакалавриат_____

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

**Профиль** «Оптические системы и сети связи»

**Форма обучения**_____очная_____

**Факультет** _____Радиотехнический_____

**Кафедра** _____Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)_____

**Курс** ____второй_____ **Семестр** __четвертый_____

**Учебный план набора 2013, 2014, 2015 годов.**

**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 | | | | 24 | | | | | 24 | часов |
| 2. | Лабораторные работы | | | | 18 | | | | | 18 | часов |
| 3. | Практические занятия | | | | 18 | | | | | 18 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | | - | | | | | - | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | | 60 | | | | | 60 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | | | | - | | | | | - | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | | 48 | | | | | 48 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | | 108 | | | | | 108 | часов |
| 9. | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | | | | | | | | часов |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | | 108 | | | | | 108 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | | 3 | | | | | 3 | ЗЕТ |

**Зачет** ___четвертый_____ **семестр**

**Томск 2016**



Согласована на портале № 8225

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 4 от « 24 » 11 2016 г.

**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 номер174, 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



Согласована на портале № 8225

**1. Цели и задачи дисциплины:**

Целью преподавания дисциплины является подготовка студентов в области физических принципов функционирования современных оптических, оптоэлектронных и нелинейно-оптических элементов и устройств.

Основной задачей дисциплины является изучение основных положений физической оптики, эффектов взаимодействия излучения с веществом, основных принципов построения приборов и систем оптической обработки информации.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты получат 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.7.1.

**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 волновой оптики и оптики ограниченных световых пучков (ПК-7);

  - основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур (ПК-7, ПК-17);

  - основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики (ПК-7);

  - принципы построения, особенности и характеристики интегральнооптических элементов и приборов (ПК-7, ПК-17);

- **уметь:**

  - объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптических и волноводно-оптических элементов и устройств (ПК-7, ПК-17);

  - применять на практике известные методы экспериментального исследования волноводно-оптических элементов и устройств (ПК-7, ПК-17);

  - выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптических и волноводно-оптических компонентов и устройств (ПК-7, ПК-17);

  - проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волноводно-оптических элементов и устройств, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик (ПК-17);

  - пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов (ПК-17);

- **владеть:**

  - навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волноводной оптики (ПК-17);

  - навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств различного назначения (ПК-17);



Согласована на портале № 8225

- навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и волноводно-оптических элементов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой (ПК-17).

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 4 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | 60 | 60 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 24 | 24 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 18 | 18 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа (всего), в том числе:** | 48 | 48 |
| Изучение материала лекций | 12 | 12 |
| Подготовка к контрольным работам | 12 | 12 |
| Самостоятельное изучение отдельных тем | 24 | 24 |
| Подготовка к экзамену и сдача экзамена | | |
| Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен) | 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 | Все-го час. | **Формируемые компетенции (ПК)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Введение | 1 | | | 2 | 3 | ПК-7 |
| 2 | Основные положения физической оптики | 6 | 4 | 4 | 8 | 22 | ПК-7, ПК-17 |
| 3 | Оптика ограниченных световых пучков | 4 | 4 | 2 | 10 | 20 | ПК-7, ПК-17 |
| 4 | Распространение световых волн в материальных средах | 5 | 4 | 4 | 10 | 23 | ПК-7, ПК-17 |
| 5 | Взаимодействия света с физическими полями | 6 | 4 | 4 | 10 | 24 | ПК-7, ПК-17 |
| 6 | Элементы нелинейной оптики | 2 | 2 | 4 | 8 | 16 | ПК-7, ПК-17 |
| Итого: | | 24 | 18 | 18 | 48 | 108 | |



Согласована на портале № 8225

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ПК) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Введение | Задачи курса. Место дисциплины в учебном процессе. | **1** | ПК-7 |
| 2 | Основные положения физической оптики | Уравнения Максвелла для диэлектрической среды. Материальные уравнения. Уравнения граничных условий. Волновое уравнение. Поляризация света. Поляризационные элементы. Отражение света от плоской границы. Полное внутреннее отражение света. | **6** | ПК-7, ПК-17 |
| 3 | Оптика ограниченных световых пучков | Понятие углового спектра плоских волн. Параболическое уравнение теории дифракции. Гауссов световой пучок. Преобразование Фурье и фильтрация регулярных волновых полей в оптических системах. | **4** | ПК-7, ПК-17 |
| 4 | Распространение световых волн в материальных средах | Распространение света в направляющих структурах. Планарные оптические волноводы. Материалы и элементы интегральной оптики. Связанные оптические волноводы. Распространение световых волн в периодических структурах. | **5** | ПК-7, ПК-17 |
| 5 | Взаимодействия света с физическими полями | Феноменологическая теория электрооптического эффекта. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты. Электрооптические модуляторы. Акустооптический эффект. Дифракция света на акустических волнах. Режимы дифракции Рамана – Ната и Брэгга. Акустооптические модуляторы и дефлекторы. Фоторефрактивный эффект. Механизмы транспорта носителей зарядов. Фоторефрактивные материалы. | **6** | ПК-7, ПК-17 |
| 6 | Элементы нелинейной оптики | Поляризация диэлектрика в электрическом поле. Среды с квадратичной и кубичной оптической нелинейностью. Уравнение нелинейных волн. Нелинейно - оптические материалы. Генерация второй гармоники. Самовоздействие световых пучков в нелинейной среде. Временные и пространственные оптические солитоны. Другие нелинейно-оптические эффекты. | **2** | ПК-7, ПК-17 |

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

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | | |
| 1 | Математический анализ | | + | + | + | + | + |
| 2 | Физика | + | + | + | + | + | + |
| 3 | Информатика | | + | + | + | + | + |
| 4 | Математические методы описания сигналов | | | + | | | |
| 5 | Физические основы оптоэлектроники | | | + | + | | |
| 6 | Введение в оптические системы и сети связи | + | | | | | |
| **Последующие дисциплины** | | | | | | | |



Согласована на портале № 8225

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Электромагнитные поля и волны | | + | + | + | | |
| 2 | Основы волоконной оптики | | + | + | + | + | + |
| 3 | Оптические направляющие среды | | + | + | + | | + |
| 4 | Оптические цифровые телекоммуникационные системы | | + | | + | + | + |
| 5 | Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства | | + | + | + | + | + |
| 6 | Волоконно-оптические устройства технологического назначения | | + | + | + | + | + |

### 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. Методы и формы организации обучения

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения согласно основной образовательной программе, с учетом требований к объему занятий в интерактивной форме.

## 7. Лабораторный практикум

| № раздела дисциплины | Наименование лабораторных работ | Трудо-емкость (час.) | ПК |
|---|---|---|---|
| 1 | Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления | 4 | ПК-7, ПК-17 |
| 2 | Исследование пространственного самовоздействия световых пучков в нелинейно - оптической среде | 4 | ПК-7, ПК-17 |
| 3 | Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод | 4 | ПК-7, ПК-17 |
| 4 | Исследование периодических фазовых элементов, формируемых некогерентным излучением в кристалле $LiNbO_3$ с фоточувствительной поверхностью | 6 | ПК-7, ПК-17 |

## 8. Практические занятия (семинары)

| № | Раздел дисциплины из табл. 5.1 | Тематика практических занятий | Трудо-емкость (час.) | Компетенции ПК |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Основные положения физической оптики | Поляризация плоских световых волн | 4 | ПК-7, ПК-17 |
| 2 | Основные положения физической оптики | Интерференция и дифракция света | 2 | ПК-7, ПК-17 |
| 3. | Оптика ограниченных световых пучков | Ограниченные световые пучки | 2 | ПК-7, ПК-17 |
| 4 | Оптика ограниченных световых пучков | Преобразование Фурье в оптических системах | 2 | ПК-7, ПК-17 |
| 5 | Распространение световых | Планарные оптические волноводы | 4 | ПК-7, ПК-17 |



Согласована на портале № 8225

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | волн в материальных средах | | | |
| 6 | Взаимодействия света с физическими полями | Характеристики электрооптического и акустооптического эффектов, электрооптические и акустооптические модуляторы | 4 | ПК-7, ПК-17 |
| 7 | Элементы нелинейной оптики | Фоторефрактивный эффект | 4 | ПК-7, ПК-17 |

## 9. Самостоятельная работа

| № п/п | Разделы дисциплины из табл. 5.1 | Тематика самостоятельной работы *(детализация)* | Трудоемкость (час.) | Компетенции ПК | Контроль выполнения работы |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Введение. | Изучение теоретического материала. | 2 | ПК-7 | Зачет |
| 2. | Основные положения физической оптики | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе | 8 | ПК-7, ПК-17 | Зачет |
| 3. | Оптика ограниченных световых пучков | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе | 10 | ПК-7, ПК-17 | Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Зачет |
| 4. | Распространение световых волн в материальных средах | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе | 10 | ПК-7, ПК-17 | Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Зачет |
| 5. | Взаимодействия света с физическими полями | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе | 10 | ПК-7, ПК-17 | Выступления на семинаре. Зачет |
| 6. | Элементы нелинейной оптики | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе | 8 | ПК-7, ПК-17 | Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. 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 бально- 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:



Согласована на портале № 8225

$$KTx\big|_{x=,2} = \frac{(Сумма_баллов, _набранная_к_KTx)*5}{Требуемая_сумма_баллов_по_балльной_раскладке}.$$

После окончания семестра студент, набравший менее 60 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** |
| **Итого максимум за период:** | **16** | **57** | **27** | **100** |
| **Нарастающим итогом** | **16** | **73** | **100** | |

**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. Введение в оптическую физику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 127 с. Режим доступа: **http://edu.tusur.ru/training/publications/2196**
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. А.Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. - М.: Мир, 1987. - 616 с. **(5)**
3д. А.Акаев, А.Майоров. Оптические методы обработки информации. М.: Высшая школа. - 1988. – 240 с. **(10)**
4д. В.М. Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 185 с. **(50 экз.)**
5д. С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Фоторефрактивные



Согласована на портале № 8225

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. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. 18 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/123
3. Каншу А. В., Шандаров В. М. Исследование периодических фазовых оптических элементов формируемых некогерентным источником света в кристалле linbo3 легированном фотрефрактивными примесями: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 8 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/74
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/

### 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатории каф. СВЧиКР, в том числе, специализированная лаборатория «Оптоэлектроники» (ауд. 333б), а также лаборатории других кафедр РТФ. Вычислительная лаборатория (ауд.337 б), кафедры СВЧиКР оборудована персональными компьютерами, объединенными в локальную вычислительную сеть каф. СВЧиКР с выходом в Internet.

### 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.



Согласована на портале № 8225

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

**УТВЕРЖДАЮ**
**Проректор по учебной работе**
**_____ П.Е. Троян**
**«___» _____ 2016 г.**

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
# ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ 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 ОЧНАЯ**

**Факультет РТФ (РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ)**

**Кафедра СВЧиКР (СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ)**

**Курс 2** **Семестр 4**

**Учебный план набора 2013, 2014, 2015 годов.**

**Зачет _____4_____ семестр** **Диф. зачет _____ семестр**
**Экзамен ___ семестр**

**Томск 2016**



Согласована на портале № 8225

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Основы физической 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 | **Должен знать** основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков и теории оптических направляющих структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы построения, особенности и характеристики интегральнооптических элементов и приборов.<br>**Должен уметь** объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптических и волноводно-оптических элементов и устройств; применять на практике известные методы экспериментального исследования волноводно-оптических элементов и устройств; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптических и волноводно-оптических компонентов и устройств.<br>**Должен владеть** навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волноводной оптики. |
| ПК-17 | способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики | **Должен знать** принципы построения, особенности и характеристики интегральнооптических элементов и приборов<br>**Должен уметь** проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волноводно-оптических элементов и устройств, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов.<br>**Должен владеть** навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и волноводно-оптических элементов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой. |



Согласована на портале № 8225

## 2. Реализация компетенций

### 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 2.

**Таблица 2–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | Основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограничен-ных световых пучков и теории оптических направляющих структур; основы физики взаимо-действия света со средой и нелинейной оптики; принципы построения, особенности и характе-ристики интегрально-оптических элементов и приборов. | Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптических и волноводно-оптических элементов и устройств; применять на практике известные методы экспе-риментального исследова-ния волноводно-оптичес-ких элементов и устройств; выполнять расчеты, связанные с опре-делением параметров и характеристик оптических и волноводно-оптических компонентов и устройств. | Навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волноводной оптики. |
| Виды занятий | Лекции.<br>Практические занятия. | Лабораторные работы.<br><br>Практические занятия.<br><br>Самостоятельная работа студентов. | Лабораторные работы.<br>Практические занятия.<br>Самостоятельная работа студентов. |
| Используемые средства оценивания | Задачи.<br>Зачет. | Задачи.<br>Оформление отчетности и защита лабораторных работ. | Защита лабораторных работ.<br>Зачет. |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

**Таблица 1 – 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. |



Согласована на портале № 8225

| | | | |
|---|---|---|---|
| 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. |

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

**Таблица 2 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| **Показатели и критерии** | **Знать** | **Уметь** | **Владеть** |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | Знает основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков, теории оптических волноводов; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы построения, особенности и характеристики оптических и интегрально-оптических элементов и приборов. | Умеет объяснять физику работы оптических и волноводно-оптических элементов и устройств; применять методы их экспериментального исследования; выполнять расчеты по определению параметров и характеристик оптических и волноводно-оптических компонентов и устройств. | Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волноводной оптики. |
| **Хорошо (базовый уровень)** | Понимает связи между различными понятиями в области физической оптики. Понимает принципы построения оптических и волноводно-оптических элементов и приборов. | Умеет выполнять поиск информации в области оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области физической оптики. | Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с оптическими явлениями. |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | Дает определения основных понятий в области оптики. | Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы. | Может корректно представить информацию, связанную с оптическими явлениями. |



Согласована на портале № 8225

### 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 законы и соотношения волновой теории направляющих структур; характеристики интегрально-оптических элементов и приборов. | Выполнять расчеты характеристик волноводно-оптических устройств; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волноводно-оптических приборов; иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов. | Навыками проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и волноводно-оптических элементов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой. |
| Виды занятий | Лекции.<br>Практические занятия. | Лабораторные работы.<br>Практические занятия.<br>Самостоятельная работа студентов. | Лабораторные работы.<br>Самостоятельная работа студентов. |
| Используемые средства оценивания | Задачи.<br>Зачет. | Оформление отчетности и защита лабораторных работ. | Защита лабораторных работ.<br>Зачет. |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями 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, | Обладает диапазоном практических умений, | Берет ответственность за завершение задач в |



Согласована на портале № 8225

| | | | |
|---|---|---|---|
| | общие понятия в пределах изучаемой области. | требуемых для решения определенных проблем в области исследования. | исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем. |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями. | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач. | Работает при прямом наблюдении. |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

**Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции**

| **Показатели и критерии** | **Знать** | **Уметь** | **Владеть** |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | Знает основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; принципы построения, особенности и характеристики интегрально-оптических элементов и приборов. | Умеет проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волноводно-оптических элементов и устройств; имеет представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов. | Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем; навыками проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств; навыками работы с реальными оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой. |
| **Хорошо (базовый уровень)** | Понимает связи между различными понятиями в области оптики. Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов. | Имеет представление о методах компьютерной оптимизации характеристик оптических элементов и приборов; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов. Умеет самостоятельно определять методы решения задач проектирования. | Владеет навыками работы с литературными источниками в области оптики. |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | 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 оптическими явлениями. |



Согласована на портале № 8225

## 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 физической 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°, 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 $\overline{E}$ может располагаться лишь в плоскости XOY и имеет составляющие $E_x$ и $E_y$. Изменение величины напряженности электрического поля плоской световой волны во времени и пространстве определяется выражением:

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

$$\overline{E} = \bar{x}_0 E_{mx}\cos(\omega \;\; - \;\; z) + \bar{y}_0 \cdot 2E_{mx}\sin(\omega \;\; - \;\; z)] =$$

$$= E_{mx} \cdot [\bar{x}_0 \cos(\omega \;\; - \;\; z) + 2\bar{y}_0 \sin(\omega \;\; - \;\; z)]$$

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 поляроид падает линейно поляризованный световой пучок мощностью 1 мВт, плоскость поляризации света отклонена от направления главной оси поляроида на 30˚. 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 поляроид, 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



Согласована на портале № 8225

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 поляроида, 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 поляроида. определяемым законом Малюса.

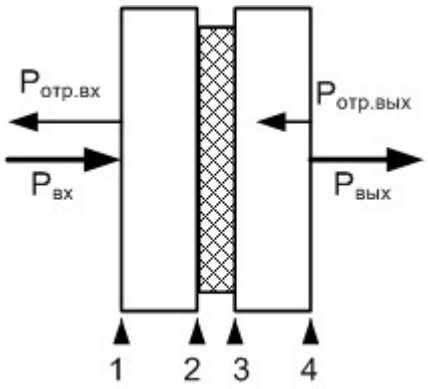


Рис. 1.2. Схема пленочного поляроида.

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

$P_{пр} = P_{пад} \cdot (1 - r)^2 \cdot \cos^2\theta$, где θ=30º. Для n=1,51 в итоге получаем:

r=0,0413; $P_{пр}=1\cdot(1-0,0413)^2\cdot\cos^2(30º)=0,9178\cdot0,75=0,6884$ мВт.

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

### 3.2. ТЕМА: Оптика ограниченных световых пучков

**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 λ=1 мкм.

**Решение:**

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

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

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



Согласована на портале № 8225

### 3.3. ТЕМА: Распространение световых волн в материальных средах

**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:

$$h_{kp} = \frac{3\pi \ - arctg\sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2 - n_1^2}}}{k_0\sqrt{n_0^2 - n_1^2}} = \frac{3\pi \ - arctg\sqrt{\frac{1{,}5^2 - 1}{1{,}6^2 - 1{,}5^2}}}{2\pi \sqrt{1{,}6^2 - 1{,}5^2}}\lambda = \frac{3.352\pi}{2\pi \ 0.557}\lambda = 3\lambda \ .$$

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

### 3.4. ТЕМА: Взаимодействия света с физическими полями

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 $r_{13}$=9,6·10$^{-10}$ см/В; $r_{33}$=30,9·10$^{-10}$ 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 определяется соотношением:

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

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

$$\Delta n_{\cdot} = -\frac{1}{2}2.286^3 \cdot 9.6 \cdot 10^{-\ 0} \cdot 10^3 = 5{,}734 \cdot 10^{-}$$

Таким образом, величина изменения обыкновенного показателя преломления составляет в данном случае 5.734·10$^{-6}$.

### 3.5. ТЕМА: Элементы нелинейной оптики

Задача 1.
Дифракционная эффективность фоторефрактивной решетки составляет 10%. Оценить величину поля пространственного заряда $E_{sc}$, если решетка сформирована в пластине ниобата лития толщиной 1 мм, вектор решетки параллелен оси Z, считывание



Согласована на портале № 8225

осуществляется излучением He-Ne лазера с обыкновенной поляризацией, а период решетки равен 5 мкм.

## 4. Темы самостоятельной работы студентов

| |
|---|
| 4.1. Основные положения физической оптики |
| 4.2. Оптика ограниченных световых пучков |
| 4.3. Распространение световых волн в материальных средах |
| 4.4 Взаимодействия света с физическими полями |
| 4.5. Элементы нелинейной оптики |

## 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.
3. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод.
4. Исследование периодических фазовых элементов, формируемых некогерентным излучением в кристалле $LiNbO_3$ с фоточувствительной поверхностью

## 6. Экзаменационные вопросы

**ТЕМА: Основные положения физической оптики.**

**6.1. Уравнения Максвелла для диэлектрической среды. Материальные уравнения. Уравнения граничных условий.**

1. Материальность электромагнитного поля.
2. Векторы, характеризующие электромагнитное поле.
3. Уравнения Максвелла в интегральной форме.
4. Теоремы векторного анализа для связи характеристик скалярных и векторных полей.
5. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.
6. Материальные уравнения.
7. Граничные условия для нормальных составляющих электрического поля.
8. Граничные условия для нормальных составляющих магнитного поля.
9. Граничные условия для тангенциальных составляющих электрического поля.
10. Граничные условия для тангенциальных составляющих магнитного поля.

**6.2. Волновое уравнение. Поляризация света. Поляризационные элементы.**

11. Волновое уравнение для электрического и магнитного векторов.
12. Плоские волны как простейшее решение волнового уравнения.
13. Символическая форма записи для поля плоских волн.
14. Распространение плоской волны в произвольном направлении.
15. Поперечная структура поля плоских волн.
16. Поляризация света. Неполяризованный свет. Частично поляризованный свет.
17. Линейная, круговая, эллиптическая поляризация.
18. Поляризационные элементы. Дихроизм и оптическая анизотропия.
19. Поляризационные призмы.
20. Фазовые пластинки.



Согласована на портале № 8225

**ТЕМА: Оптика ограниченных световых пучков**

**6.3. Понятие углового спектра плоских волн. Параболическое уравнение теории дифракции.**

21. Понятие углового спектра плоских волн.
22. Приближенное решение дифракционных задач на основе углового спектра плоских волн.
23. Параболическое уравнение.
24. Гауссов световой пучок. Основные свойства, поле гауссова пучка.
25. Высшие гауссовы моды.
26. Суть и достоинства методов оптической обработки информации.
27. Преобразование Фурье в оптической системе.
28. Пространственная фильтрация в оптических системах.

**ТЕМА: Распространение световых волн в материальных средах**

**6.4. Распространение света в направляющих структурах.**

29. Планарный оптический волновод.
30. Моды планарного волновода.
31. Волновое уравнение для ТЕ- мод.
32. Решение для полей планарного волновода.
33. Дисперсионное уравнение планарного волновода.
34. Материалы интегральной оптики.
35. Связанные оптические волноводы.
36. Распространение световых волн в периодических структурах.

**ТЕМА: Взаимодействия света с физическими полями**

**6.5. Электрооптический, акустооптический и фоторефрактивный эффекты.**

37. Электрооптический эффект. Феноменологическое описание.
38. «Поперечный» электрооптический модулятор.
39. Акустооптический эффект. Феноменологическая теория.
40. Режимы дифракции света на акустических волнах. Дифракция Рамана-Ната и дифракция Брэгга.
41. Акустооптический модулятор.
42. Фоторефрактивный эффект. Механизмы пространственного разделения носителей заряда.
43. Кинетика записи и релаксации элементарных голограмм в материале с фотовольтаическим механизмом транспорта носителей заряда.

**ТЕМА: Элементы нелинейной оптики**

**6.6. Нелинейно-оптические преобразования световых полей.**

44. Понятие нелинейно – оптической среды и величина интенсивности светового поля, необходимая для проявления нелинейно - оптических свойств среды.
45. Выражение для диэлектрической проницаемости среды с квадратичной нелинейностью и возможные нелинейно – оптические эффекты в такой среде.
46. Выражение для диэлектрической проницаемости среды с кубичной нелинейностью и возможные нелинейно – оптические эффекты в такой среде.
47. Пространственное самовоздействие световых пучков в среде с кубичной нелинейностью. Пространственные оптические солитоны.

## 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):



Согласована на портале № 8225

1. С.М. Шандаров. Введение в оптическую физику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 127 с. Режим доступа: **http://edu.tusur.ru/training/publications/2196**
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. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. 18 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/123
5. Каншу А. В., Шандаров В. М. Исследование периодических фазовых оптических элементов формируемых некогерентным источником света в кристалле linbo3 легированном фотрефрактивными примесями: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для студентов – 2011, 8 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/74
6. 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
7. 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/



Согласована на портале № 8225