

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.

20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
**Лазерные материалы Б1.В.ДВ.6**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая радиофизика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Никитин С.И.

**Рецензент(ы):**

Юсупов Р.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6146417

Казань  
2017

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) директор института физики Никитин С.И. Директорат Института физики Институт физики, Sergey.Nikitin@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины "Лазерные материалы" является получение базовых знаний о свойствах оптических материалов, используемых для разработки лазеров различного назначения. В рамках данного курса рассматриваются основы физики различных типов конденсированных активных лазерных сред: кристаллов и стекол, активированных редкоземельными ионами, кристаллов активированных ионами группы железа, кристаллов с центрами окраски. Подробно рассматриваются их спектрально-люминесцентные свойства, физико-химические характеристики. Отдельный раздел посвящен изучению физики и свойств нелинейно-оптических и электрооптических кристаллов, которые используются для преобразования лазерного излучения (генерация гармоник), построения параметрических генераторов и усилителей, управления лазерным излучением. Полученные знания позволят разрабатывать лазеры для различных приложений, учитывая свойства активных лазерных сред, а также заниматься целенаправленным поиском новых материалов для квантовой электроники.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты приобретут фундаментальные знания и практические навыки, необходимые для работы в области квантовой электроники, обеспечивается возможность практического применения знаний в наукоемких и высокотехнологичных сферах деятельности, включая образование.

## 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.03 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике, общей физике (раздел "Электричество и магнетизм", "Оптика", "Атомная и ядерная физика"), теоретической физике ("Электродинамика", "Квантовая теория", "Термодинамика и статистическая физика"), а также "Квантовой радиофизике".

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                        | Расшифровка приобретаемой компетенции                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3<br>(профессиональные компетенции) | способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач                                       |
| ПК-2<br>(профессиональные компетенции)  | способностью самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта |
| ПК-6<br>(профессиональные компетенции)  | способностью составлять обзоры перспективных направлений научно-инновационных исследований, готовность к написанию и оформлению патентов в соответствии с правилами                     |

В результате освоения дисциплины студент:

### 1. должен знать:

- основы физики различных типов конденсированных активных лазерных сред: кристаллов и стекол, активированных редкоземельными ионами, кристаллов активированных ионами группы железа, кристаллов с центрами окраски;
- физику и свойства нелинейно-оптических и электрооптических кристаллов;
- основные принципы подбора активной лазерной среды для лазеров, работающих при непрерывной и импульсной накачке, в непрерывном режиме, режимах свободной генерации, модуляции добротности и синхронизации мод;
- основные подходы для целенаправленного поиска новых лазерных сред.

### 2. должен уметь:

- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;
- использовать методы физических исследований материалов квантовой электроники;
- использовать полученные знания для разработки лазерных систем различного назначения, учитывая свойства активных лазерных сред, нелинейных и электрооптических кристаллов.

### 3. должен владеть:

- навыками работы с лабораторными макетами различных лазеров, модуляторов и дефлекторов, а также контрольно-измерительной аппаратурой;
- навыками расчета простейших лазерных систем;
- навыками проведения физического эксперимента.

### 4. должен демонстрировать способность и готовность:

- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;
- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, измерять основные параметры лазерного излучения, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по квантовой электронике;
- использовать методы физических исследований материалов квантовой электроники.

## 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

#### Тематический план дисциплины/модуля

| N | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|---|---------------------------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|   |                                 |         |                    | Лекции                                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |

Тема 1

Физико-химические параметры лазерных материалов



| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля                                                    | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|    |                                                                                    |         |                    | Лекции                                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 2. | Тема 2. Лазерные кристаллы и стекла, активированные редкоземельными ионами         | 3       | 2-3                | 2                                                                 | 2                       | 0                      | Презентация               |
| 3. | Тема 3. Процессы трансформации энергии возбуждения в активированных материалах     | 3       | 4-5                | 2                                                                 | 2                       | 0                      | Презентация               |
| 4. | Тема 4. Кристаллы для перестраиваемых лазеров, активированные ионами группы железа | 3       | 5-7                | 2                                                                 | 4                       | 0                      | Презентация               |
| 5. | Тема 5. Кристаллы с центрами окраски                                               | 3       | 8-9                | 2                                                                 | 2                       | 0                      | Презентация               |
| 6. | Тема 6. Активные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой                    | 3       | 10-11              | 2                                                                 | 2                       | 0                      | Презентация               |
| 7. | Тема 7. Нелинейно-оптические и электрооптические кристаллы                         | 3       | 12-13              | 2                                                                 | 2                       | 0                      | Презентация               |
|    | Тема . Итоговая форма контроля                                                     | 3       |                    | 0                                                                 | 0                       | 0                      | Зачет                     |
|    | Итого                                                                              |         |                    | 14                                                                | 14                      | 0                      |                           |

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Физико-химические параметры лазерных материалов

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Оптические характеристики (пропускание на рабочей длине волны лазера, оптическая однородность). Теплофизические характеристики (предельная энергия накачки, термическая линза). Радиационная устойчивость. Сравнительный анализ разных кристаллических сред.

### Тема 2. Лазерные кристаллы и стекла, активированные редкоземельными ионами

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кристаллы и стекла, активированные ионами Nd<sup>3+</sup>. Эрбиевые активные среды. Кристаллы и стекла, активированные иттербием. Среда для генерации в УФ диапазоне на межконфигурационных переходах.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Кристаллические среды для высокоэффективных неодимовых лазеров (свойства галлиевых гранатов, выращивание и ростовые дефекты галлиевых гранатов, центры окраски в галлиевых гранатах). Лазер на кристалле иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами  $\text{Er}^{3+}$ . Лазеры на стекле, активированном ионами  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Er}^{3+}$ . Волоконные лазеры. Перестраиваемые лазеры УФ-диапазона на фторидных кристаллах, активированных ионами  $\text{Ce}^{3+}$ .

### **Тема 3. Процессы трансформации энергии возбуждения в активированных материалах** **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Внутрицентровые безызлучательные переходы. Безызлучательная передача энергии электронных возбуждений между оптическими центрами и её проявления. Тушение и сенсibilизация люминесценции. Кросс-релаксация, ап-конверсия. Миграция возбуждений. Микроскопическая модель передачи энергии. Экспериментальные и теоретические методы исследования миграции. Примеры многоуровневых функциональных схем лазеров на полиактивированных материалах.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Сенсibilизация люминесценции редкоземельных ионов ионами  $\text{Cr}^{3+}$  в кристаллах на основе гадолиний-скандий-галлиевого граната. Кросс-релаксационный лазер на кристалле  $\text{YAG:Er}$ . Механизмы передачи энергии электронного возбуждения (диполь-дипольный, диполь-квадрупольный, квадруполь-квадрупольный). Кооперативная сенсibilизация люминесценции (примеры).

### **Тема 4. Кристаллы для перестраиваемых лазеров, активированные ионами группы железа**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Введение в физику вибронных лазеров. Уровни энергии ионов группы железа в кубическом кристаллическом поле (диаграмма Сугано-Танабе, сильное и слабое кристаллические поля). Сечение усиления для электронно-колебательных переходов. Поглощение из возбужденного состояния (примеры).

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Лазер на кристалле александрита. Перспективные фторидные лазерные кристаллы, активированные ионами  $\text{Cr}^{3+}$ . Уникальные лазерные характеристики кристалла корунда, активированного ионами  $\text{Ti}^{3+}$ . Перестраиваемый лазер ИК-диапазона на кристалле  $\text{MgF}_2:\text{Co}^{2+}$ . Схемы резонаторов перестраиваемых лазеров.

### **Тема 5. Кристаллы с центрами окраски**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Физика материалов с лазерно-активными центрами окраски. Методы создания центров окраски в диэлектрических кристаллах. Схема энергетических уровней F-центра. Различные виды центров окраски (F-центр, FA-центр, F2-центр, F3-центр,  $\text{TiO}$ -центр).

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Лазеры на центрах окраски в кристалле  $\text{LiF}$ . Техническая реализация лазеров с центрами окраски. Пассивные модуляторы добротности на кристаллах с центрами окраски (примеры).

### **Тема 6. Активные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Одночастотные чип-лазеры (линейные и кольцевые чип-лазеры), лазеры на микросферах. Слэб-лазеры, дисковые лазеры. Мощные твердотельные лазеры, волоконные лазеры.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Наиболее распространенные активные среды для твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Кристаллы  $\text{YAG:Nd}$ , ванадата иттрия  $\text{YVO}_4:\text{Nd}$ , ванадата гадолиния  $\text{GdVO}_4:\text{Nd}$ , лантан-скандиевого бората  $\text{LSB:Nd}$ , гадолиний-скандиевый гранат  $\text{GGG:Nd}$  ? эффективные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой. Композитные активные элементы для лазеров с полупроводниковой накачкой. Композитные лазерные элементы с пассивной модуляцией добротности.

### **Тема 7. Нелинейно-оптические и электрооптические кристаллы**



**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Линейный электрооптический эффект и характеристики электрооптического качества кристаллов. Поляризационно-оптические затворы и модуляторы света. Распространение света в нелинейных оптических средах. Реализация условий фазового синхронизма. Эффективные коэффициенты нелинейности. Расчет преобразователя частоты.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Нелинейные оксидные кристаллы, влияние различных факторов на их применение в качестве нелинейно-оптических преобразователей. Свойства и методы синтеза кристаллов группы KDP. Уникальные свойства кристаллов иодата лития и титанилфосфата калия. Нелинейно-оптические преобразователи на основе боратов.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

| N  | Раздел Дисциплины                                                                  | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Тема 1. Физико-химические параметры лазерных материалов                            | 3       | 1               | подготовка к дискуссии                | 4                      | дискуссия                             |
| 2. | Тема 2. Лазерные кристаллы и стекла, активированные редкоземельными ионами         | 3       | 2-3             | подготовка к презентации              | 4                      | презентация                           |
| 3. | Тема 3. Процессы трансформации энергии возбуждения в активированных материалах     | 3       | 4-5             | подготовка к презентации              | 8                      | презентация                           |
| 4. | Тема 4. Кристаллы для перестраиваемых лазеров, активированные ионами группы железа | 3       | 5-7             | подготовка к презентации              | 8                      | презентация                           |
| 5. | Тема 5. Кристаллы с центрами окраски                                               | 3       | 8-9             | подготовка к презентации              | 4                      | презентация                           |
| 6. | Тема 6. Активные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой                    | 3       | 10-11           | подготовка к презентации              | 8                      | презентация                           |
| 7. | Тема 7. Нелинейно-оптические и электрооптические кристаллы                         | 3       | 12-13           | подготовка к презентации              | 8                      | презентация                           |
|    | Итого                                                                              |         |                 |                                       | 44                     |                                       |

**5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Лекции (использование проблемных ситуаций), практические занятия на которых студенты выступают с презентациями по теме данного практического занятия (у каждого студента индивидуальная тема для презентации), самостоятельная работа студента (подготовка презентаций для практических занятий, подготовка к устному опросу), консультации

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Физико-химические параметры лазерных материалов**

дискуссия , примерные вопросы:

Методы измерений слабого оптического поглощения на длине волны генерации лазера, влияние селективных потерь на к.п.д. генерации. Методы измерения оптической однородности лазерных кристаллов и стекол. Физические причины образования термической линзы в активных элементах лазеров. Зависимость радиационной стойкости от состава активных сред.

### **Тема 2. Лазерные кристаллы и стекла, активированные редкоземельными ионами**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Кристаллические среды для высокоэффективных неодимовых лазеров (выбирается одна из наиболее широко используемых лазерных сред: GGG:Nd, GSGG:Nd, YAG:Nd и рассматриваются ее преимущества и недостатки для разных типов лазеров). 2. Лазер на кристалле иттрийалюминиевого граната, активированного ионами Er<sup>3+</sup>. 3. Лазеры на стекле, активированном ионами Yb<sup>3+</sup> и Er<sup>3+</sup>. Волоконные лазеры. 4. Перестраиваемые лазеры УФ-диапазона на фторидных кристаллах, активированных ионами Ce<sup>3+</sup>.

### **Тема 3. Процессы трансформации энергии возбуждения в активированных материалах**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Сенсibilизация люминесценции редкоземельных ионов ионами Cr<sup>3+</sup> в кристаллах на основе гадолиний-скандий-галиевого граната. 2. Кросс-релаксационный лазер на кристалле YAG:Er. 3. Механизмы передачи энергии электронного возбуждения (диполь-дипольный, диполь-квадрупольный, квадруполь-квадрупольный). 4. Кооперативная сенсibilизация люминесценции (примеры).

### **Тема 4. Кристаллы для перестраиваемых лазеров, активированные ионами группы железа**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Лазер на кристалле александрита. 2. Перспективные фторидные лазерные кристаллы, активированные ионами Cr<sup>3+</sup> (рассмотреть на примере одного из кристаллов: KZnF<sub>3</sub>, LiCaAlF<sub>6</sub>, LiSrAlF<sub>6</sub>)& 3. Уникальные лазерные характеристики кристалла корунда, активированного ионами Ti<sup>3+</sup>. 4. Перестраиваемый лазер ИК-диапазона на кристалле MgF<sub>2</sub>:Co<sup>2+</sup>. 5. Методы измерения спектров поглощения из возбужденного состояния, их идентификация на примере кристаллов, активированных ионами Cr<sup>3+</sup>. 6. Схемы резонаторов перестраиваемых лазеров.

### **Тема 5. Кристаллы с центрами окраски**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Лазеры на центрах окраски в кристалле LiF (на примере F<sub>2</sub><sup>+</sup> или F<sub>2</sub><sup>-</sup> центров). 2. Техническая реализация лазеров с центрами окраски лазерной накачкой. 3. Лазеры на центрах окраски с ламповой накачкой. 4. Пассивные модуляторы добротности на кристаллах с центрами окраски (примеры).

### **Тема 6. Активные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Наиболее распространенные активные среды для твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. 2. Спектроскопические и генерационные характеристики кристалла YAG:Nd при полупроводниковой накачке. 3. Спектроскопические и генерационные характеристики ванадата иттрия YVO<sub>4</sub>:Nd при полупроводниковой накачке. 4. Спектроскопические и генерационные характеристики лантан-скандиевого бората LSB:Nd при полупроводниковой накачке. 5. Композитные активные элементы для лазеров с полупроводниковой накачкой. 6. Композитные лазерные элементы с пассивной модуляцией добротности.

### **Тема 7. Нелинейно-оптические и электрооптические кристаллы**

презентация , примерные вопросы:

Примерные темы презентаций: 1. Нелинейные оксидные кристаллы, влияние различных факторов на их применение в качестве нелинейно-оптических преобразователей. 2. Свойства и методы синтеза кристаллов группы KDP. 3. Уникальные свойства кристаллов иодата лития и титанилфосфата калия. 4. Нелинейно-оптические преобразователи на основе боратов.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

1. Оптические характеристики (пропускание на рабочей длине волны лазера, оптическая однородность). Теплофизические характеристики (предельная энергия накачки, термическая линза). Радиационная устойчивость. Сравнительный анализ разных кристаллических сред.
2. Кристаллы и стекла, активированные ионами  $\text{Nd}^{3+}$ .
3. Эрбиевые активные среды.
4. Кристаллы и стекла, активированные иттербием.
5. Среда для генерации в УФ диапазоне на межконфигурационных переходах.
5. Внутрицентровые безызлучательные переходы. Безызлучательная передача энергии электронных возбуждений между оптическими центрами и её проявления.
6. Тушение и сенсibilизация люминесценции. Кросс-релаксация, ап-конверсия. Миграция возбуждений.
7. Микроскопическая модель передачи энергии. Экспериментальные и теоретические методы исследования миграции.
8. Примеры многоуровневых функциональных схем лазеров на полиактивированных материалах.
9. Сенсibilизация люминесценции редкоземельных ионов ионами  $\text{Cr}^{3+}$  в кристаллах на основе гадолиний-скандий-галиевого граната.
10. Механизмы передачи энергии электронного возбуждения (диполь-дипольный, диполь-квадрупольный, квадруполь-квадрупольный).
11. Кооперативная сенсibilизация люминесценции (примеры).
12. Уровни энергии ионов группы железа в кубическом кристаллическом поле (диаграмма Сугано-Танабе, сильное и слабое кристаллические поля). Сечение усиления для электронно-колебательных переходов.
13. Поглощение из возбужденного состояния (примеры).
14. Лазер на кристалле александрита.
15. Перспективные фторидные лазерные кристаллы, активированные ионами  $\text{Cr}^{3+}$ .
16. Уникальные лазерные характеристики кристалла корунда, активированного ионами  $\text{Ti}^{3+}$ .
17. Перестраиваемый лазер ИК-диапазона на кристалле  $\text{MgF}_2:\text{Co}^{2+}$ .
18. Схемы резонаторов перестраиваемых лазеров.
19. Физика материалов с лазерно-активными центрами окраски. Методы создания центров окраски в диэлектрических кристаллах. Схема энергетических уровней F-центра.
20. Лазеры на центрах окраски в кристалле  $\text{LiF}$ .
21. Пассивные модуляторы добротности на кристаллах с центрами окраски (примеры).
22. Одночастотные чип-лазеры (линейные и кольцевые чип-лазеры), лазеры на микросферах.
23. Слэб-лазеры, дисковые лазеры.
24. Волоконные лазеры.
25. Наиболее распространенные активные среды для твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой.
26. Композитные активные элементы для лазеров с полупроводниковой накачкой. Композитные лазерные элементы с пассивной модуляцией добротности.
27. Линейный электрооптический эффект и характеристики электрооптического качества кристаллов. Поляризационно-оптические затворы и модуляторы света.

28. Распространение света в нелинейных оптических средах. Реализация условий фазового синхронизма. Эффективные коэффициенты нелинейности. Расчет преобразователя частоты.
29. Нелинейные оксидные кристаллы, влияние различных факторов на их применение в качестве нелинейно-оптических преобразователей.

### 7.1. Основная литература:

1. Демтрёдер В., Современная лазерная спектроскопия (уч.пособие)/В.Демтрёдер,( пер. с англ.) - Долгопрудный: Интеллект,2014. - 1071с.
2. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: Учебное пособие в 2 т., Т.1: Долгопрудный, ООО Издательский дом "Интеллект", 2012 г. - 760 с.
3. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: Учебное пособие в 2 т., Т.2: Долгопрудный, ООО Издательский дом "Интеллект", 2012 г. - 764 с.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Константинова А.Ф. и др. Оптические свойства кристаллов, Минск.: "Наука и техника", 1995 - 302 с.
2. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики , М.: "МИСИС", 2000 - 432 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

American Physical Society (APS) - <http://libress.kpfu.ru/proxy/http://pubs.acs.org>  
Elsevier (Science Direct) - <http://libress.kpfu.ru/proxy/http://www.sciencedirect.com/>  
Scopus - <http://libress.kpfu.ru/proxy/http://www.scopus.com/home.url>  
Сетевые ресурсы библиотеки КФУ - [http://portal.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8224](http://portal.kpfu.ru/main_page?p_sub=8224)  
электронно-библиотечная система Znanium - <http://znanium.com>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Лазерные материалы" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Лазерные материалы" студенты готовят презентации по каждой из рассматриваемых тем и докладывают их на практических занятиях. Понимание студентами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе Квантовая радиофизика .

Автор(ы):

Никитин С.И. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Юсупов Р.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.