

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. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Практикум по лазерной спектроскопии Б1.В.ОД.1

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Юсупов Р.В.

**Рецензент(ы):**

Никитин С.И.

**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

Казань  
2015

## **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) старший научный сотрудник, к.н. (доцент) Юсупов Р.В. Центр квантовых технологий КФУ, Roman.Yusupov@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями прохождения специального физического практикума по лазерной спектроскопии являются закрепление знаний, полученных в рамках лекционных курсов "Лазерная спектроскопия", "Фемтосекундная спектроскопия конденсированных сред", "Оптика наноразмерных систем", "Лазерные материалы", а также приобретение навыков практической работы с лазерами как инструментами для оптической спектроскопии высокого спектрального и временного разрешения.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ОД.1 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.03 Радиофизика и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Дисциплина является базовой для обучающихся в магистратуре "Квантовая радиофизика". Для успешного прохождения дисциплины необходимо владение материалом курсов общей физики "Оптика", "Квантовая радиофизика" и "Электричество и магнетизм", специальных курсов по магистерской программе "Лазерная спектроскопия" и "Фемтосекундная спектроскопия конденсированных сред". Выполнение набора лабораторных работ данного практикума обеспечивает лучшее освоение материала обозначенных курсов настоящей магистратуры.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                      | Расшифровка приобретаемой компетенции                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОК-1<br>(общекультурные компетенции)  | способность оперировать углубленными знаниями в области математики и естественных наук                                                                                                                                                                                     |
| ОК-10<br>(общекультурные компетенции) | способность использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности, защиты государственной тайны                                                      |
| ОК-3<br>(общекультурные компетенции)  | способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности знания и умения, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение |
| ОК-4<br>(общекультурные компетенции)  | способность использовать углубленные знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов                                                                               |
| ОК-5<br>(общекультурные компетенции)  | способность выдвигать новые идеи                                                                                                                                                                                                                                           |

| Шифр компетенции                       | Расшифровка приобретаемой компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОК-7<br>(общекультурные компетенции)   | способность адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности                                                                                                                                |
| ПК-1<br>(профессиональные компетенции) | способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своим профилем подготовки)                                                                                                                      |
| ПК-2<br>(профессиональные компетенции) | способность к свободному владению профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, использованию современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки |
| ПК-3<br>(профессиональные компетенции) | способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики                                                                                                                                                                         |
| ПК-4<br>(профессиональные компетенции) | способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки) и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта                                                                                        |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- Методы получения лазерного излучения высокой степени монохроматичности,
- Принципы получения одномодовой лазерной генерации и перестройки по длине волны,
- Методы генерации лазерных импульсов фемтосекундной длительности
- Принципы нелинейно-оптических преобразований - генерации второй, третьей и четвертой гармоник, параметрической генерации света;
- Природу явлений, связанных с кубической восприимчивостью - самофокусировки и фазовой самомодуляции;
- Принципы изменения параметров лазерного излучения - длительности ультракоротких импульсов, характера и степени поляризации, усиления импульсов, увеличения ширины спектра и т.д.

2. должен уметь:

измерять основные характеристики:

- а) лазерного излучения высокой степени монохроматичности - длину волны, энергию, длину когерентности, характер и степень поляризации;
- б) ультракоротких лазерных импульсов - длительность (по измеренной автокорреляционной функции), спектральный состав, наличие и степень частотной модуляции (чирпа)

3. должен владеть:

навыками подготовки и проведения экспериментов в областях лазерной спектроскопии сверхвысокого спектрального разрешения и фемтосекундной лазерной спектроскопии

4. должен демонстрировать способность и готовность:

самостоятельной подготовки и выполнения экспериментальных исследований по лазерной спектроскопии высокого спектрального и временного разрешения, творческого отношения к осуществлению поставленных целей.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

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

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет во 2 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 |                           |
| 1. | Тема 1. Лабораторная работа "Исследование многоцентровости ионов Yb <sup>3+</sup> в кристалле BaF <sub>2</sub> "                                         | 2       | 10-11              | 0                                                                 | 0                       | 8                      | отчет<br>устный опрос     |
| 2. | Тема 2. Лабораторная работа "Изучение нелинейно-оптических свойств металлических наночастиц в кварце методом Z-сканирования"                             | 2       | 12                 | 0                                                                 | 0                       | 4                      | отчет<br>устный опрос     |
| 3. | Тема 3. Лабораторная работа "Фемтосекундный лазер на сапфире с титаном и измерение спектральных, энергетических и временных характеристик его излучения" | 2       | 13                 | 0                                                                 | 0                       | 4                      | отчет<br>устный опрос     |

| 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 |                           |
| 4. | Тема 4. Лабораторная работа "Регенеративный многопроходовой усилитель фемтосекундных импульсов на сапфире с титаном и исследование характеристик его излучения" | 2       | 14                 | 0                                                                 | 0                       | 4                      | отчет<br>устный опрос     |
| 5. | Тема 5. Лабораторная работа "Измерение временных характеристик излучения фемтосекундных лазеров автокорреляционным методом"                                     | 2       | 15                 | 0                                                                 | 0                       | 4                      | отчет<br>устный опрос     |
| 6. | Тема 6. Лабораторная работа "Генерация второй, третьей и четвертой оптических гармоник фемто- и наносекундных лазерных импульсов"                               | 2       | 16                 | 0                                                                 | 0                       | 4                      | отчет<br>устный опрос     |
| ·  | Тема . Итоговая форма контроля                                                                                                                                  | 2       |                    | 0                                                                 | 0                       | 0                      | зачет                     |
|    | Итого                                                                                                                                                           |         |                    | 0                                                                 | 0                       | 28                     |                           |

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Лабораторная работа "Исследование многоцентровости ионов Yb3+ в кристалле BaF2"

*лабораторная работа (8 часа(ов)):*

Данная лабораторная работа посвящена ознакомлению студентов с явлением многоцентровости, возникающим при легировании ионных диэлектрических кристаллов примесями переходных и редкоземельных металлов. Подобные материалы служат активными средами лазеров различных диапазонов спектра. В теоретической части работы рассматривается природа и условия возникновения многоцентровости, варианты ее реализации. Лазерная спектроскопия высокого разрешения (селективная лазерная спектроскопия) является одним из основных, наиболее информативных методов изучения многоцентровости в кристаллах. В теоретической части работы студентам предлагается ознакомиться с основными способами реализации одномодовой одночастотной лазерной генерации. Предлагается изучить схему и принцип работы перестраиваемого лазера на сапфире с титаном с шириной линии генерации  $0.003 \text{ см}^{-1}$ . Практическая часть работы включает в себя обучение основным навыкам работы с перестраиваемым лазером на сапфире с титаном, обучение принципам измерения длины волны с высокой точностью, контроля энергии и состояния поляризации выходного излучения лазера. Основная часть работы состоит в выполнении реального спектроскопического эксперимента с кристаллами  $\text{BaF}_2$ , содержащими различную концентрацию примесных ионов  $\text{Yb}^{3+}$ . Образцы в таких исследованиях находятся при температуре жидкого гелия или ниже. Соответственно, студенты получают навыки работы с вакуумным и криогенным оборудованием, изучают конструкцию заливного гелиевого криостата с возможностью откачки для понижения температуры до  $1.5 \text{ К}$ . В ходе выполнения экспериментов будут измерены спектры люминесценции и возбуждения люминесценции, исследована кинетика люминесценции методом многоканального счета фотонов. Будет показано, что определенные линии в спектрах люминесценции принадлежат различающимся по микроструктуре примесным центрам. Используя высокую селективность перестраиваемого лазера как источника света возбуждения, разделяются спектры двух доминирующих типов центров - кубической и тригональной симметрии. Для успешного выполнения работы студенты должны также изучить энергетическую схему уровней примесных центров ионов  $\text{Yb}^{3+}$  в кристалле  $\text{BaF}_2$ .

## **Тема 2. Лабораторная работа "Изучение нелинейно-оптических свойств металлических наночастиц в кварце методом Z-сканирования"**

### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Одним из современных направлений экспериментальных исследований является изучение нелинейно-оптических свойств наночастиц благородных металлов и меди в диэлектрических средах. Наиболее часто используемым для этих целей является метод Z-сканирования, когда образец контролируемым образом перемещается вдоль оптической оси в поле сфокусированного лазерного пучка, проходя через область перетяжки. Такое перемещение позволяет в достаточно широких пределах варьировать плотность энергии лазерного излучения, падающей на образец. Наличие нелинейных поглощения и рефракции проявляется в специфической зависимости энергии прошедшего света либо структуры пучка от положения образца относительно перетяжки. В предлагаемой работе студенты изучают принципы метода Z-сканирования, математический аппарат, позволяющий определять абсолютные значения нелинейных коэффициентов поглощения и преломления, а также предположения, лежащие в основе таких оценок. Экспериментальная часть работы включает в себя измерение зависимостей интенсивности прошедшего через образец света от координаты относительно перетяжки пучка при различных уровнях зондирующего света и определение коэффициента нелинейного поглощения образца наночастиц меди, внедренных методом ионной имплантации в кварцевое стекло

## **Тема 3. Лабораторная работа "Фемтосекундный лазер на сапфире с титаном и измерение спектральных, энергетических и временных характеристик его излучения"**

### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

В настоящей лабораторной работе студенты получают базовые представления о режиме синхронизации мод лазера в сопоставлении с режимами свободной генерации и модуляции добротности резонатора. Рассматриваются методы активной и пассивной синхронизации мод, их достоинства и недостатки. Для рассмотрения принципа синхронизации мод в лазере на сапфире с титаном студенты изучают нелинейно-оптические явления, связанные с кубической восприимчивостью и, как следствие, с зависимостью показателя преломления от интенсивности распространяющегося в среде света: самофокусировкой и фазовой самомодуляцией. В рамках работы студенты знакомятся с оптической схемой фемтосекундного лазера Micra-5, основным ее элементами, изучают способ реализации в лазере режима синхронизации мод (метод линзы Керра). В практической части работы студенты изучают спектральные, энергетические и временные характеристики выходного излучения лазера, возможности их модификации путем изменения настроек и юстировки лазерной схемы. Изучается взаимосвязь между шириной генерируемого спектра и длительностью импульса.

#### **Тема 4. Лабораторная работа "Регенеративный многопроходовой усилитель фемтосекундных импульсов на сапфире с титаном и исследование характеристик его излучения"**

##### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Одной из задач, которые не решаются "в лоб", является увеличение энергии фемтосекундных лазерных импульсов (усиление). С современным подходом к решению такой задачи студенты знакомятся в ходе выполнения данной лабораторной работы. Практическая часть работы выполняется на действующем регенеративном усилителе марки Legend Elite USP производства компании Coherent. Студенты знакомятся с базовыми принципами усиления фемтосекундных импульсов, в частности, с усилением частотно-модулированного импульса с последующим сжатием в оптическом компрессоре.

#### **Тема 5. Лабораторная работа "Измерение временных характеристик излучения фемтосекундных лазеров автокорреляционным методом"**

##### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Измерение длительностей лазерных импульсов в единицы-десятки фемтосекунд невозможно электронными методами, которые являются заведомо более медленными. Поэтому измерение длительности таких импульсов в простейшем варианте осуществляется с помощью изучения автокорреляционной функции. Студенты в ходе подготовки к выполнению лабораторной работы знакомятся с представлениями об автокорреляционной функции и способами ее измерения в оптических автокорреляторах разной конструкции. Изучается зависимость ширины автокорреляционной функции от формы импульса. В практической части работы студенты измеряют длительность выходного импульса регенеративного усилителя с помощью автокоррелятора на базе неколлинеарной генерации второй гармоники и зависимость формы автокорреляционной функции от настроек оптического компрессора на выходе усилителя.

#### **Тема 6. Лабораторная работа "Генерация второй, третьей и четвертой оптических гармоник фемто- и наносекундных лазерных импульсов"**

##### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Одним из наиболее эффективных способов изменения спектрального состава лазерных импульсов является нелинейно-оптическое преобразование. Примерами таких процессов являются генерация гармоник и параметрические процессы. Генерация второй, третьей и четвертой гармоник реализуется на основе нелинейных кристаллов с квадратичной восприимчивостью. Студенты изучают закономерности преобразования во вторую гармонику и проверяют их на практике. Генерация третьей гармоники изучается в отношении фемтосекундных импульсов лазера на сапфире с титаном, а четвертой - для лазера на гранате с неодимом, генерирующем импульсы наносекундной длительности.

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

| N     | Раздел<br>Дисциплины                                                                                                                                                                          | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды<br>самостоятельной<br>работы<br>студентов | Трудоемкость<br>(в часах) | Формы контроля<br>самостоятельной<br>работы |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| 1.    | Тема 1. Лабораторная<br>работа "Исследование<br>многоцентровости<br>ионов Yb3+ в<br>кристалле BaF2"                                                                                           | 2       | 10-11              | подготовка к<br>отчету                         | 4                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 4                         | устный опрос                                |
| 2.    | Тема 2. Лабораторная<br>работа "Изучение<br>нелинейно-оптических<br>свойств металлических<br>наночастиц в кварце<br>методом<br>Z-сканирования"                                                | 2       | 12                 | подготовка к<br>отчету                         | 2                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 4                         | устный опрос                                |
| 3.    | Тема 3. Лабораторная<br>работа<br>"Фемтосекундный<br>лазер на сапфире с<br>титаном и измерение<br>спектральных,<br>энергетических и<br>временных<br>характеристик его<br>излучения"           | 2       | 13                 | подготовка к<br>отчету                         | 2                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 6                         | устный опрос                                |
| 4.    | Тема 4. Лабораторная<br>работа<br>"Регенеративный<br>многопроходовой<br>усилитель<br>фемтосекундных<br>импульсов на сапфире<br>с титаном и<br>исследование<br>характеристик его<br>излучения" | 2       | 14                 | подготовка к<br>отчету                         | 4                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 4                         | устный опрос                                |
| 5.    | Тема 5. Лабораторная<br>работа "Измерение<br>временных<br>характеристик<br>излучения<br>фемтосекундных<br>лазеров<br>автокорреляционным<br>методом"                                           | 2       | 15                 | подготовка к<br>отчету                         | 2                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 6                         | устный опрос                                |
| 6.    | Тема 6. Лабораторная<br>работа "Генерация<br>второй, третьей и<br>четвертой оптических<br>гармоник фемто- и<br>наносекундных<br>лазерных импульсов                                            | 2       | 16                 | подготовка к<br>отчету                         | 2                         | отчет                                       |
|       |                                                                                                                                                                                               |         |                    | подготовка к<br>устному опросу                 | 4                         | устный опрос                                |
| Итого |                                                                                                                                                                                               |         |                    |                                                | 44                        |                                             |

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

Лабораторные работы практикума по лазерной спектроскопии выполняются на самом современном оборудовании, в том числе, приобретенном в рамках Программы развития КФУ. При выполнении работ студенты имеют возможность получения знаний от экспертов мирового уровня в области оптической лазерной спектроскопии.

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

### **Тема 1. Лабораторная работа "Исследование многоцентровости ионов $\text{Yb}^{3+}$ в кристалле $\text{BaF}_2$ "**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить энергетические схемы для мультиплетов основного и возбужденного состояний двух основных типов центров ионов  $\text{Yb}^{3+}$ , образующихся в кристаллах  $\text{BaF}_2$ . Отчет обязательно должен содержать оценки погрешностей определяемых величин. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Многоцентровость примесных редкоземельных ионов в кристаллах. 2. Основные центры, образуемые редкоземельными ионами во флюоритах, представления об их микроструктуре. 3. Энергетические уровни ионов  $\text{Yb}^{3+}$ . Основное и возбужденные состояния. 4. Схема перестраиваемого одночастотного лазера на сапфире с титаном. 5. Причины проведения экспериментов по селективной лазерной спектроскопии кристаллов при гелиевых температурах. 6. Схема установки по селективной лазерной спектроскопии. 7. Многоканальный метод счета фотонов. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

### **Тема 2. Лабораторная работа "Изучение нелинейно-оптических свойств металлических наночастиц в кварце методом Z-сканирования"**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить графики зависимостей интенсивностей прошедшего света от положения образца относительно фокуса линзы и оценки на нелинейный коэффициент оптического поглощения. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Гауссовы пучки. Фокусировка гауссова пучка. Зависимость ширины перетяжки от фокусного расстояния линзы. 2. Нелинейные поглощение и рефракция. нелинейные коэффициенты поглощения и преломления. 3. Насыщение поглощения. Интенсивность насыщения. 4. Методика оценки коэффициента нелинейного поглощения наночастиц меди, внедренных в кварцевое стекло. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

### **Тема 3. Лабораторная работа "Фемтосекундный лазер на сапфире с титаном и измерение спектральных, энергетических и временных характеристик его излучения"**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить спектры излучения, среднюю мощность и энергию в импульсе фемтосекундного лазера на сапфире с титаном, измеренную длительность импульсов. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Синхронизация мод. 2. Пассивная и активная синхронизация мод. 3. Картина электромагнитного поля в резонаторе лазера, работающего в режиме синхронизации мод. 4. Насыщение усиления и поглощения. Самофокусировка. 5. Схема фемтосекундного лазера. Самосинхронизация мод в лазере на сапфире с титаном. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

#### **Тема 4. Лабораторная работа "Регенеративный многопроходовой усилитель фемтосекундных импульсов на сапфире с титаном и исследование характеристик его излучения"**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить результаты изучения временных, спектральных и энергетических характеристик выходного излучения регенеративного многопроходового усилителя фемтосекундных лазерных импульсов. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Проблемы, связанные с усилением фемтосекундных лазерных импульсов. 2. Стретчер и компрессор в схеме регенеративного усилителя. Их назначение. 3. Автокорреляционная функция и оценка длительности выходных импульсов усилителя. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

#### **Тема 5. Лабораторная работа "Измерение временных характеристик излучения фемтосекундных лазеров автокорреляционным методом"**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить формы автокорреляционных функций фемтосекундного лазера и регенеративного усилителя, а также провести сопоставление длительности импульса и ширины спектра и сделать заключение об ограниченности длительности спектром либо ее отсутствии. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Проблема измерения длительности световых импульсов в диапазоне фемтосекунд/десятков фемтосекунд. 2. Автокорреляционная функция, ее свойства и информация об источнике. 3. Схемы автокорреляторов, их достоинства и недостатки. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

#### **Тема 6. Лабораторная работа "Генерация второй, третьей и четвертой оптических гармоник фемто- и наносекундных лазерных импульсов"**

отчет , примерные вопросы:

Отчет по лабораторной работе выполняется в письменной форме, следуя указаниям, содержащимся в методическом пособии к практикуму по лазерной спектроскопии. На основе выполненных экспериментов студенты должны представить спектры основной, второй, третьей и четвертой гармоник лазеров на сапфире с титаном и на гранате с неодимом. Должны быть выполнены оценки КПД преобразования. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

устный опрос , примерные вопросы:

Результаты ознакомления студентов с теоретической частью работы контролируются путем устного опроса по следующим вопросам: 1. Нелинейная оптика. 2. Явления, обусловленные квадратичной восприимчивостью. 3. Генерация второй гармоники, ее закономерности. Фазовый синхронизм и его достижение в одноосных нелинейных кристаллах. 4. Наиболее популярные нелинейные кристаллы, их достоинства и недостатки. 5. Схемы генераторов третьей и четвертой гармоник. Формируемые компетенции: ОК-1, ОК-3, ОК-5, ПК-1, ПК-2.

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

Примерные вопросы к зачету:

Итоговый рейтинг на зачете определяется суммой баллов, набранной в результате устных опросов и защиты отчетов о выполненных работах в течение семестра. Максимальный балл, который можно набрать за каждую из работ, устанавливается преподавателем и озвучивается на первом занятии.

#### **7.1. Основная литература:**

1. Демтрёдер В., Современная лазерная спектроскопия (уч.пособие ) /В.Демтрёдер,( пер. с англ.) - Долгопрудный: Интеллект, 2014. - 1071 с.
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. Физика лазеров / О. Звелто. Пер. под науч. Ред. Т.А. Шмаонова, изд-во "Лань", 2008, 720 с.
2. Анохов С. П., Марусий Т. Я., Соскин М. С. Перестраиваемые лазеры. М.: Радио и связь, 1982, 359 с.

#### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Википедия - свободная энциклопедия - <http://ru.wikipedia.org/>

Все для студента - <http://www.twirpx.com/>

Научная библиотека им. Н.И.Лобачевского - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5056](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056)

Электронно-библиотечная система - <http://ibooks.ru>

Электронные книги - <http://eknigi.org/>

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

Освоение дисциплины "Практикум по лазерной спектроскопии" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

1. Система лазерная фемтосекундная, включающая генератор фемтосекундных импульсов марки "Micra-5", регенеративный усилитель марки "LegendUSP", нелинейный оптический параметрический усилитель "Opera-Solo"
  2. Автокоррелятор "SSA"
  3. Прецизионный линейный транслятор с длиной хода 306 мм PhysikInstrumente M-531.2S (2 шт.)
  4. Цифровой синхронный детектор SignalRecovery 7270 (2 шт.)
  5. Комплект оптико-механический для фемтосекундной спектроскопии (1 шт.)
  6. Продувной гелиевый криостат Janis.
- 
1. Перестраиваемый твердотельный лазер на сапфире с титаном LX-325 с лазером накачки LQ-829 (вторая гармоника YAG:Nd)
  2. Заливной оптический гелиевый криостат
  3. Монохроматоры МДР-23 и МДР-12
  4. Детекторы на базе фотоэлектронных умножителей ФЭУ-100, ФЭУ-83
  5. Лазер на YAG:Nd LQ-129 (1, 2 и 3 гармоники).

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

Автор(ы):

Юсупов Р.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Никитин С.И. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.