



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**«Институт автоматики и процессов управления  
Дальневосточного отделения Российской академии наук»  
(ИАПУ ДВО РАН)**

**«СОГЛАСОВАНО»**

Руководитель направления  
подготовки аспирантов 03.06.01  
«Физика и астрономия», д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель директора по научно-  
образовательной и инновационной  
деятельности, д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

Современная лазерная физика

Направление подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия»,  
профиль «Лазерная физика»

Образовательная программа «Лазерная физика»

**Форма подготовки (очная)**

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)

курс 2 семестр 4

лекции 36 час. / 1 з.е.

практические занятия – 18 час. / 0,5 з.е.

лабораторные работы – нет.

всего часов аудиторной нагрузки 54 (час.) / 1,5 з.е.

самостоятельная работа 45 (час.) / 1,25 з.е.

контрольные работы нет

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.

зачет \_\_\_\_\_ семестр

экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 867.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК,  
протокол № 1 от «14» августа 2014 г.

Заведующий (ая) кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин  
Составитель (ли): академик, директор ИАПУ ДВО РАН Ю.Н. Кульчин

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Н.Г. Галкин  
(подпись)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Н.Г. Галкин  
(подпись)

## АННОТАЦИЯ

Курс «Современная лазерная физика» направлен на углубленное изучение наиболее значимых научных достижений в таких динамично развивающихся областях знания, какими являются современные оптика, фотоника и лазерная физика и служит как расширению кругозора физика-исследователя, так и приобретению им углубленных знаний, необходимых при специализации в конкретной области науки или техники.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», учебный план подготовки аспирантов по профилю «Лазерная физика».

**Цель** Основная цель изучения дисциплины – подготовка к сдаче кандидатского минимума по лазерной физике.

### **Задачи:**

1. Способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «Современная лазерная физика», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности.
2. Формирование компетенций, соответствующих профилю подготовки «Лазерная физика»

**Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины.**

### Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях,

### Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК-1. Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области лазерной физики с

использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области электродинамики и лазерной физики с применением актуальных аналитических методов и численного моделирования на базе современной компьютерной техники и специализированного программного обеспечения;
- ПК-2 Владение основными методами постановки и проведения экспериментов в области лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники;
- ПК-3 Владение навыками разработки и создания функциональных элементов и устройств лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники;

**Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

Знать:

- Нелинейные оптические явления;
- Современные теоретические представления и математические методы исследований в физике распространения электромагнитного излучения в нано- и микроструктурированных средах и взаимодействия излучения с веществом;
- Самые современные и актуальные вопросы и методы оптики, лазерной физики, оптоэлектроники и фотоники;
- Физические основы и способы применения лазеров, оптических и фотонных устройств в различных областях науки и техники, а также в биологии и медицине.

Уметь:

- четко ставить и формулировать задачу;
- использовать полученные теоретические знания для описания и оценочных расчетов реальных процессов, связанных с

распространением и взаимодействием излучения с нано- и микроструктурированными средами и объектами.

## **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часа)**

- **Тема 1. Основы нелинейной оптики (3 час.)** Нелинейно-оптические взаимодействия света и вещества. Природа нелинейно-оптических явлений. Классификация нелинейно-оптических эффектов. Поляризация диэлектриков в постоянном электрическом поле. Поляризация изотропного диэлектрика в световом поле. Взаимодействие интенсивных электромагнитных волн с нелинейной средой. Генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Статический и динамический эффект Керра в нелинейной среде. Керровская самофокусировка света в нелинейной среде. Плазменная самофокусировка. Фазовая самомодуляция светового излучения. Расширение спектра фемтосекундных импульсов в нелинейных средах. Компрессия лазерных импульсов.
- **Тема 2. Явления филаментации и генерации суперконтинуума при распространении лазерных импульсов в нелинейной среде (4 час.)** Генерация суперконтинуума при распространении импульсного лазерного излучения в конденсированных средах. Фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов. Нелинейное волновое уравнение для описания процесса филаментации лазерного импульса. Изменение формы и спектра импульса при филаментации. Филаментация импульсного излучения в газообразных средах. Атмосферные приложения мощного фемтосекундного излучения. Филаментация лазерного пучка, как источник суперконтинуума для экологического мониторинга.
- **Тема 3. Фотонные кристаллы (3 час.)** Классификация фотонных кристаллов. Одномерные, двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Механизмов формирования фотонных запрещённых зон. Роль дефектов в

фотонно-кристаллических структурах. Фотонно-кристаллические устройства. Фотонно-кристаллические волокна. Классификация. Характеристики фотонно-кристаллических волокон: модовые, дисперсионные, энергетические и спектральные характеристики. Фотонно-кристаллические волокна с запрещенной зоной: Брэгговские волоконные световоды; 2D – фотонно-кристаллические волоконные световоды.

• **Тема 4. Нелинейная оптика волоконных световодов (5 час.)**

Нелинейно-оптические процессы в волоконных световодах. Волноводное усиление эффективности нелинейно-оптических процессов в волоконных световодах. Фазовая самомодуляция излучения в волоконных световодах. Влияние дисперсии на нелинейные процессы в волоконных световодах. Фазовая кросс-модуляция импульсов в волоконных световодах. Четырех-волновое смещение волн. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) излучения в волоконных световодах. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна в волоконных световодах. Распространение ультра коротких лазерных импульсов в волоконных световодах. Накачка в области нормальной дисперсии. Накачка в области аномальной дисперсии. Генерация суперконтинуума в волоконных световодах. Нелинейные свойства фотонно-кристаллических волоконных световодов. Дисперсионные свойства микроструктурированных фотонно-кристаллических волоконных световодов. Генерация суперконтинуума в МС-волоконных световодах. Генерация суперконтинуума в МС-волоконных световодах, имеющих две длины волны нулевой дисперсии. Нелинейно-оптические свойства ФК – волоконных световодов.

• **Тема 5. Волоконные лазеры (4 час.)** Принцип работы волоконного лазера. Активные волоконные световоды. Резонаторы волоконных лазеров. Непрерывные волоконные лазеры. Волоконные лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния излучения. Однокаскадные, многокаскадные и составные ВКР-лазеры. Волоконные ВКР-лазеры со случайной распределенной обратной связью. Импульсные волоконные

лазеры. Методы получения импульсного излучения волоконных лазеров: модуляция добротности, активная и пассивная синхронизация мод волоконного лазера, использованием зеркального насыщающегося полупроводникового поглотителя (SESAM). Методы компенсации дисперсионного расплывания импульсов в волоконных лазерах. Призмные компенсаторы дисперсии групповой скорости. Решеточный компенсатор дисперсии групповой скорости. Компенсатор дисперсии групповой скорости на основе интерферометра Жира – Турнуа. Компенсаторы дисперсии групповой скорости на основе чирпированных брэгговских зеркал. Системы волоконно-оптических генераторов суперконтинуума. Усиление УКИ в волоконных лазерах. Волоконные лазеры в технологии. Физические процессы при обработке материалов лазерным излучением. Методы поверхностной лазерной обработки. Применение волоконных лазеров для сварки, сверления и обработки материалов.

• **Тема 6. Нелинейная фотоника наноструктур (4 час.)** Энергетический спектр наноразмерных структур. Объемная кристаллическая структура: энергетический спектр носителей заряда в объемной кристаллической структуре, плотность состояний электронов в энергетической зоне объемной кристаллической структуры. Энергетический спектр и плотность состояний носителей заряда в одномерной изолированной квантовой яме и квантовой нити. Квантовые точки и плотность состояний электронов. Экситонные состояния в полупроводниковых и диэлектрических материалах. Свободные экситоны или экситоны Ванье-Мотта. Связанные экситоны (экситоны Френкеля). Влияние формы наночастиц на энергетическую подсистему носителей заряда. Одночастичные состояния в наночастицах сложной формы. Двухчастичные (экситонные) состояния в наночастицах с неправильной геометрией формы. Влияние окружающей среды на энергетический спектр экситонов в наночастицах. Низкоэнергетическая оптическая нелинейность жидких нанокомпозитных сред на основе наночастиц.

- **Тема 7. Лазерное охлаждение, пленение и управление атомами (3 час.)**

Допплеровское и зеemanовское охлаждение атомов. Остановка и пленение атомов: доплеровские ловушки, магнито-оптические ловушки и сизифово охлаждение. Лазерное охлаждение ниже уровня отдачи. Охлаждение атомов на основе селективного по скоростям когерентного пленения населенностей. Испарительное охлаждение атомов. Физика холодных атомов и ее приложения. Однокомпонентная плазма. Бозе-Эйнштейновская конденсация атомов. Атомный лазер. Атомный фонтан и атомные часы. Атомная оптика. Методы построения элементов атомной оптики. Управление атомными пучками с использованием материальных структур. Управление атомными пучками с использованием статических электрических и магнитных полей. Управление атомными пучками при помощи лазерного излучения. Атомно-оптическая нанолитография. Нанолитография прямого осаждения. Нанолитография на резисте. Атомная наноперьевая литография.

- **Тема 8. Фотоника самоорганизующихся наноструктурированных биоминеральных объектов и их биомиметических аналогов (3 час.)**

Морфология и физико-химические характеристики спикул глубоководных стеклянных морских губок (ГСМГ). Роль фотонно-кристаллических свойств спикул глубоководных морских губок в процессе их метаболизма. Нелинейно-оптические свойства спикул глубоководных стеклянных морских губок. Биомиметическое моделирование биосиликатного нанокompозитного материала спикул ГСМГ. Золь-гель технологии химического моделирования биоминеральных нанокompозитных материалов и их оптические характеристики. 2-D и 3-D биомиметические нанокompозитные биоминеральные структуры для фотоники, биомедицины, катализа и сорбции. Биосилификация в живых системах с использованием клонированных белков силикатеинов.

- **Тема 9. Динамическая голография и оптические Novelty фильтры (5 час.)**

Адаптивная оптика. Динамическая голография. Процесс взаимодействия двух плоских волн на динамических голограммах в



фоторефрактивных кристаллах. Передаточная характеристика оптического Novelty фильтра. Особенности функционирования оптических Novelty фильтров. Низкочастотный и высокочастотный Novelty фильтры. Полосовой Novelty фильтр. Novelty фильтры, основанные на использовании явления фанинга в фоторефрактивных кристаллах. Функциональные Novelty-фильтры для обработки изображений на основе эффекта фанинга. Высокочастотные корреляционные Novelty-фильтры реального времени.

• **Тема 10. Адаптивные оптоэлектронные системы SMART – ГРИД мониторинга физических полей и объектов (2 час.)** Лазерная диагностика. Интеллектуальные распределенные измерительные системы (SMART – ГРИД) мониторинга физических полей и объектов. Томографические распределенные волоконно-оптические измерительные системы (РВОИС) для реконструкции распределений скалярных и векторных физических полей. Протяженные волоконно-оптические измерительные линии на основе одноволоконных многомодовых интерферометров и методы адаптивной пространственной фильтрации. Методы мультиплексирования волоконно-оптических измерительных линий в SMART – ГРИД системах мониторинга. Пространственное мультиплексирование. Угловое мультиплексирование. Спектральное мультиплексирование.

## **СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (45 часов)**

### **ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

**Задание 1. Явления филаментации и генерации суперконтинуума при распространении лазерных импульсов в нелинейной среде (11 час.).** Вывод уравнения для описания процесса взаимодействия импульсного лазерного излучения с веществом при генерации суперконтинуума.

**Задание 2. Фотонные кристаллы (9 час.).** Вывод уравнений для описания распространения излучения в различных типах фотонно-кристаллических волоконно-кристаллических волноводов.

**Задание 3. Нелинейная оптика волоконных световодов (8 час.).**

Вывод уравнения для описания генерации суперконтинуума в волоконных световодах.

**Задание 4. Нелинейная фотоника наноструктур (10 час.).** Решение волнового уравнения Шредингера для заряженной частицы, движущейся в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками.

**Задание 5. Фотоника самоорганизующихся наноструктурированных биоминеральных объектов и их биомиметических аналогов (7 час.).** Определить, какие объекты относятся к биоминералам.

## **КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

### **Вопросы к экзамену:**

1. Дайте определение физических процессов приводящих к образованию филамента в среде.
2. Охарактеризуйте спектр излучения лазерного филамента и объясните, от чего он зависит.
3. Что служит причиной возникновения конической эмиссии излучения при филаментации?
4. Приведите примеры, где может использоваться излучение суперконтинуума возникающее при филаментации лазерных импульсов.
5. Дайте определение фотонного кристалла.
6. Какие процессы приводят к образованию запрещенных состояний для фотонов в фотонных кристаллах?
7. Дайте определение дефекта в фотонном кристалле. Приведите примеры использования дефектов в фотонных кристаллах.

8. Дайте классификацию фотонно-кристаллических волоконных световодов и поясните изменением каких их параметров можно изменять их световедущие и дисперсионные характеристики
9. Каким типом нелинейности определяются нелинейно-оптические свойства волоконных световодов?
10. Что служит причиной волноводного усиления эффективности нелинейно-оптических процессов в волоконных световодах?
11. К каким эффектам приводит процесс фазовой самомодуляции импульсного излучения в волоконных световодах?
12. Какие нелинейно-оптические процессы наблюдаются в волоконных световодах?
13. Охарактеризуйте зависимость спектральных изменений в распространяющемся по волоконному световоду лазерном импульсе от дисперсионных параметров световода.
14. Как влияют дисперсионные свойства микроструктурированных фотонно-кристаллических волоконных световодов?
15. Охарактеризуйте принципы, заложенные в основу работы волоконных лазеров. Приведите примеры конструкций волоконных лазеров и какие легирующие примеси используются для активирования материала сердцевины волоконного световода?
16. Объясните принцип работы волоконного ВКР-лазера. Какие типы волоконных ВКР – лазеров Вы знаете?
17. Какие методы используются для получения импульсного излучения волоконных лазеров?
18. Какие методы используются для компенсации дисперсионного увеличения длительности импульсов в волоконных лазерах?
19. Объясните, как можно получить ультракороткие мощные импульсы в волоконных лазерах.
20. Какие процессы называются природной биоминерализацией и чем они определяются?

21. Что обуславливает фотонно-кристаллические свойства спикул морских стеклянных губок?
22. Как называются копирующие процессы в живой Природе и каковы их возможности?
23. Что такое динамическая голография? Какими физическими процессами она определяется и где может быть использована?
24. Что такое Novelty-фильтр и чем определяются его характеристики?
25. Какой эффект называется эффектом фанинга и как он может быть использован для создания Novelty-фильтров?
26. Какие системы называются волоконно-оптическими СМАРТ-ГРИД системами мониторинга физических полей и какие принципы заложены в их основу?
27. Какие типы волоконно-оптических датчиков Вам известны?
28. Что такое протяженная волоконно-оптическая измерительная линия? Какие принципы заложены в основу мультиплексирования волоконно-оптических датчиков в волоконно-оптическую измерительную линию?
29. Объясните принципы доплеровского и зеemanовского лазерного охлаждения атомов.
30. Какими способами можно добиться охлаждения атомов ниже уровня отдачи?
31. Приведите примеры практического использования лазерного метода охлаждения атомов.
32. Что лежит в основе явления квантово-размерного квантования энергетических уровней?
33. Приведите примеры низкоразмерных наноструктур и охарактеризуйте энергетический спектр носителей заряда в них.
34. Охарактеризуйте экситонные состояния в полупроводниковых и диэлектрических материалах.
35. Как влияет геометрическая форма наночастиц на энергетический спектр носителей заряда?

36. Как влияет окружающая среда (матрица) на энергетический спектр экситонов в наночастицах?

37. Чем определяется низкопороговая оптическая нелинейность гетерогенных сред содержащих наночастицы из диэлектрических материалов?

### **САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (45 ЧАСОВ)**

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по методам генерация суперконтинуума в волоконных светводах.
2. Изучение методов мультиплексирования волоконно-оптических измерительных линий в СМАРТ – ГРИД системах мониторинга.
3. Изучение принципа управления атомными пучками и нанолитографии.
4. Изучение технологий производства биомиметических нанокompозитных биоминеральных структур.
5. Изучение номенклатуры фотонно-кристаллических волокон.

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Основная литература**

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. - М.: Изд. МГУ, 1998.
2. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. - М.: Наука, 1988.
3. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. - М.: Наука, 1989.
4. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники. - М.: Советское Радио, 1976.
5. Ярив, А. Квантовая электроника. / А. Ярив. - М.; Сов. Радио, 1980.

6. Шполянский Ю.А. Сценарии развития фемтосекундного спектрального суперконтинуума. — В кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики. СПб. 2000. С. 136-152.
7. П.Г.Крюков «Фемтосекундные импульсы», М., Физматлит, 2008.
8. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. От световодов к фотонным кристаллам.// М. Физматлит, 2005.-648 с.
9. Мендес А., Морзе Т. Справочник по специализированным оптическим волокнам.// Москва: Техносфера, 2012.-728 с.
- 10.Желтиков А.М. Дырчатые волноводы.//В сб. лекций «Фундаментальная оптика и спектроскопия» Выпуск 3. М. : ФИАН, 2001. – 189 с.
- 11.Дифракционная нанофотоника / Под ред. В.А. Сойфера. - М.Физматлит. 2011. -680 с.
- 12.Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика.// М.: Мир, 1996.-323 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Воронин В. Г., Наний О. Е. Основы нелинейной волоконной оптики.// М.: «Университетская книга», 2011. - 128 с.
2. Экситоны. Под редакцией Э.Рашба, М.Стержа, М.,Наука, 1985.  
Шик А. Я., Бакуева Л. Г., Мусихин С. Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем /Под ред. А. Я. Шика.–СПб.: Наука, 2001.- 160 с.
3. Кульчин Ю.Н., Вознесенский С.С., Безвербный А.В., Дзюба В.П. Фотоника биоминеральных и биомиметических структур и материалов.- М.:Физматлит, 2011.- 224 с.
4. Кульчин Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы.- М.: Физматлит, 2001.- 272 с.
5. Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б, Камшилин А.А., Ромашко Р.В. Адаптивные методы обработки спекл-модулированных оптических полей.// М., Изд-во Физматлит, 2009. - 288 с.