



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

«Лазерная физика», 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)

### Нанооптика и плазмоника

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.) / 3.0 з.е.

самостоятельная работа 50 (час.) / 1.39 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): к.ф.-м.н., научный сотрудник А.А. Кучмижак.

**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

Дисциплина «Нанооптика и плазмоника» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Лазерная физика» и входит в вариативную часть учебного плана.

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 физике лазерной физике.

### **Задачи:**

1. Способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «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:

- основные методы создания и характеристики функциональных плазмонных наноструктур, а также элементов устройств нанофотоники
- основные типы лабораторных установок (оборудования) для создания функциональных плазмонных наноструктур, а также устройств нанофотоники и исследования их оптических, спектральных и иных свойств
- основные методы исследования физических свойств функциональных плазмонных наноструктур, а также устройств нанофотоники

- современное состояние науки в выбранной области нанооптики и плазмоники
- современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в области нанооптики и плазмоники

Уметь:

- обосновано выбирать методы формирования функциональных плазмонных наноструктур, а также устройств нанофотоники с заданными параметрами
- использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента
- выбирать и применять методы исследования физических свойств функциональных плазмонных наноструктур, а также устройств нанофотоники
- рационально организовывать научную работу в выбранной области нанооптики и плазмоники
- представлять результаты научной работы
- готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в выбранной области нанооптики и плазмоники.

- **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов)**

**1. Электродинамика металлов. (6 часов)**

Уравнения Максвелла и распространение электромагнитных волн. Оптические свойства реальных металлов. Теория Друде-Зоммерфельда. Межзонные переходы. Дисперсия в газе свободных электронов. Объемные плазмоны. Поверхностные плазмоны. Методы

возбуждения поверхностных плазмонов. Датчики на основе поверхностных плазмонов.

## **2. Сферические наноантенны (6 часов)**

Дипольная антенна и наноантенна. Ближнее и дальние поля. Квазистатическое приближение для нанообъектов. Наносфера в электростатическом поле. Локальный плазмонный резонанс для наносферы. Отражение сферической наноантенны в прилегающем объекте. Теория Ми. Влияние подложки на плазмонные свойства сферической наноантенны. Плазмонный резонанс для нанообъектов с высоким аспектным отношением. Димерные наноантенны. Наноантенны «галстук-бабочка». Наноантенны сложной формы. Резонансы Фано. Применения наноантенн.

## **3. Современные методы изготовления плазмонных и нанофотонных структур. (6 часов)**

Передовые методы нанохимии. Газофазовый синтез наноструктур. Электронная и ионно-лучевая литография. Атомные пучки. Лазерная многолучевая литография. Прямой лазерный перенос вещества. Импульсная нанолитография. Зондовая и «дип-пэн» нанолитография. Софт-литография.

## **4. Эванесцентные поля и микроскопия сверхразрешения. (6 часов) (6 часов)**

Фокусировка световых полей. Функция рассеяния точки. Предел разрешения оптического микроскопа. Увеличение разрешения посредством селективного возбуждения и насыщения. Принципы конфокальной микроскопии. Передовые методы увеличения разрешения в конфокальной микроскопии и экспериментальный предел разрешения. Преодоление предела разрешения за счет

эванесцентных полей. Передача информации из ближней зоны в дальнюю.

#### **5. Ближнепольная оптическая микроскопия. (6 часов)**

Дифракция на сверхмалом отверстии. Принципы оптической микроскопии ближнего поля. Апертурные и безапертурные зонды для оптической микроскопии ближнего поля. Контроль расстояния между зондом и поверхностью объекта. Регистрация ближнепольного сигнала. Предел разрешения оптического микроскопа ближнего поля. Методы увеличения разрешения и направленности. Зонды-наноантенны, поддерживающие локальные плазмонные резонансы. Применение оптических микроскопов ближнего поля.

#### **6. Квантовые излучатели (6 часов).**

Флуоресцентные молекулы. Возбуждение и релаксация флуоресцентных молекул. Полупроводниковые квантовые точки. Пассивация поверхности, возбуждение и когерентный контроль экситонов. Сечение поглощения. Однофотонное излучение трехуровневой системы. Стационарный и нестационарный случаи. Отдельные молекулы как зонды для локализованных полей. Поверхностно-усиленная фотолюминесценция (ФЛ) и поверхностно-усиленное комбинационное рассеяния (КР). Механизмы усиления. ФЛ и КР. Применение эффектов ФЛ и КР. Фактор Парселла.

#### **• СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ (18 часов)**

1. Рассмотрите излучение молекулы с дипольным моментом, параллельным алюминиевой подложке. Длина волны излучения  $\lambda = 488$  нм, диэлектрическая проницаемость подложки  $\epsilon = -34.5 + 8.5i$ . Определите видимый квантовый выход  $Q_a$ , определенный как отношение энергии, излученной в верхнее полупространство к

полной рассеянной энергии. Постройте  $q$  как функцию вертикального положения молекулы  $z/\lambda$ . Построение проведите в диапазоне  $z/\lambda = [0 .. 2]$  и  $q = [0 ... 1]$ .

2. Рассчитайте отношение энергии, излученной в верхнее полупространство, к энергии, излученной в нижнее полупространство, для диполя, который расположен на границе воздух диэлектрик ( $n_1 = 1, n_2 = 1,5$ ). Проведите вычисления для горизонтально и вертикально ориентированного диполей.

3. Выведите равенство (10.26) и постройте излучательную (плоские волны), безызлучательную (эванесцентные волны) и полную скорости релаксации ( $q_i = 1$ ) как функции нормированной высоты  $z/\lambda$  для следующих ситуаций:

(а). Горизонтальный диполь в вакууме над диэлектрической подложкой ( $\epsilon = 2,25$ )

(б). Вертикальный диполь в вакууме над диэлектрической подложкой ( $\epsilon = 2,25$ ).

(в). Горизонтальный диполь в вакууме на алюминиевой подложке ( $\epsilon = -34,5 + 8,5i, \lambda = 488 \text{ нм}$ ).

(г). Вертикальный диполь в вакууме над алюминиевой подложкой ( $\epsilon = -34,5 + 8,51i, \lambda = 488 \text{ нм}$ ).

- **САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (50 ЧАСОВ)**

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по методам изготовления функциональных плазмонных наноструктур и характеристики их оптических свойств.
2. Овладение методикой работы на установке по импульсному фемто- и наносекундному наноструктурированию поверхностей твердых тел.



3. Изучение методов и программных пакетов для моделирования оптических свойств плазмонных наноструктур.
4. Овладение методиками проведения исследований физических свойств функциональных плазмонных наноструктур, включая темнопольную оптическую микроспектроскопию, локальную фотолюминесцентную спектроскопию, атомно-силовую и электронную микроскопию.
5. Подготовка отчетов по лабораторным работам.

## **КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

### **Вопросы к экзамену:**

1. Уравнения Максвелла и распространение электромагнитных волн в металлах. Оптические свойства реальных металлов.
2. Теория Друде-Зоммерфельда. Межзонные переходы. Дисперсия в газе свободных электронов.
3. Поверхностные плазмоны. Возбуждение плазмонов пучком заряженных частиц. Призмный и решеточный ввод. Возбуждение в фокальных пучках.
4. Поверхностные плазмоны в многослойных системах. Удержание энергии и эффективная длина волны. Датчики на основе поверхностных плазмонов.
5. Дипольная антенна и наноантенна. Ближнее и дальние поля. Квазистатическое приближение для нанообъектов. Наносфера в электростатическом поле. Локальный плазмонный резонанс для наносферы. Отражение сферической наноантенны в прилегающем объекте и влияние подложки на плазмонные свойства сферической наноантенны.

6. Теория Ми. Резонансы высоких порядков.
7. Плазмонный резонанс для нанообъектов с высоким аспектным отношением. Димерные наноантенны. Наноантенны «галстук-бабочка».
8. Наноантенны сложной формы. Резонансы Фано.
9. Химические методы изготовления наноструктур.
10. Лазерные методы изготовления наноструктур.
11. Фокусировка световых полей. Функция рассеяния точки. Предел разрешения оптического микроскопа.
12. Принципы конфокальной микроскопии. Передовые методы увеличения разрешения в конфокальной микроскопии и экспериментальный предел разрешения.
13. Преодоление предела разрешения за счет эванесцентных полей. Передача информации из ближней зоны в дальнюю.
14. Дифракция на сверхмалом отверстии. Теория Бете. Угловая расходимость.
15. Принципы оптической микроскопии ближнего поля.
16. Апертурные и безапертурные зонды для оптической микроскопии ближнего поля. Контроль расстояния между зондом и поверхностью объекта.
17. Предел разрешения оптического микроскопа ближнего поля. Методы увеличения разрешения и направленности. Зонды-наноантенны, поддерживающие локальные плазмонные резонансы. Применение оптических микроскопов ближнего поля.
18. Зонды-наноантенны, поддерживающие локальные плазмонные резонансы. Применение оптических микроскопов ближнего поля.
19. Флуоресцентные молекулы. Возбуждение и релаксация флуоресцентных молекул.

20. Полупроводниковые квантовые точки. Пассивация поверхности, возбуждение и когерентный контроль экситонов. Сечение поглощения.
21. Однофотонное излучение трехуровневой системы. Стационарный и нестационарный случаи. Отдельные молекулы как зонды для локализованных полей.
22. Отдельные молекулы как зонды для локализованных полей. Поверхностно-усиленная фотолюминесценция (ФЛ) и поверхностно-усиленное комбинационное рассеяния (КР).
23. Механизмы усиления. ФЛ и КР. Применение эффектов ФЛ и КР.
24. Квантовый излучатель в резонаторе. Фактор Парселла. Описание механизма ФЛ фактором Парселла.

## • УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. Пер. с англ / Под ред В В Самарцева. М. . ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 484 с.
2. Климов В.В. Наноплазмоника. ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 482 с.
3. Майер С.А. Плазмоника: теория и приложения. Пер. с англ / Под ред С.С. Савинского. –М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011, - 296.
4. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. Современная оптика гауссовых пучков. ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 184 с.
5. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. 2-е издание, Москва: Техносфера, 2014. -176 с.
6. Габдуллин П.Г. Физика нанокompозитных материалов. Сканирующая зондовая микроскопия: [учебное пособие для вузов ]. Изд-

во Политехнического ун-та, 2010. -71 с.

7. Неизвестный Г.Н. Наноструктуры: физика, технология, применение : [учеб. пособие]., НГТУ 2008. -354 с.

8. Агравал А., Бетагери Г.В., Блэкборн У.Х., Гонсалвес К.Е., Бусев С.А. Бином. Лаборатория знаний, 2012. -519 с.

9. Аракелян С.М., Прокошев В.Г., Абрамов Д.В, Кучерик А.О.. Микроструктуры, наноструктуры и гидродинамические неустойчивости, индуцированные лазерным излучением на поверхности твердых тел: монография. Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2010 – 144 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Валянский С.И. Современные методы исследования наноструктур: метод оптической поверхностно-плазмонной микроскопии : учебное пособие. Издательский дом МИСИС, 2011 – 172.

2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2005. – 175 с.

3. Суздаев И.П. Физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М. Комкнига.

4. Дмитриев А. Наноструктуры магнитных полупроводников – будущее спинтроники: Размерные эффекты и спиновая динамика. Lambert Academic Publishing, 2010. – 88 с.

5. Деффейс К. Удивительные наноструктуры: [пер. с англ.]. Бином. Лаборатория знаний, 2011. -206 с.

6. М.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. Методы получения и свойства нанообъектов. Издательство «Флинта».

7. Заводинский В.Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем. М.: Физматлит, 2013. – 175 с.