

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. Талорский Д.А.


КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДЕПАРТАМЕНТ
ОБРАЗОВАНИЯ
(ДО КФУ)

_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Наноплазмоника Б1.В.ДВ.1

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Физика атомов и молекул

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Харинцев С.С.

Рецензент(ы):

Камалова Д.И.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.

Протокол заседания кафедры No _____ от "_____" _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No _____ от "_____" _____ 201__ г

Регистрационный No 628018

Казань
2018

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) доцент, к.н. (доцент) Харинцев С.С. Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики, skharint@gmail.com

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Наноплазмоника" являются получение углубленных знаний о последних достижениях в области плазмоники и оптики металлов

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.1 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Дисциплина "Наноплазмоника" является базовой частью программы для магистратуры по направлению 510402 "Физика атомов и молекул" (блок М2).

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике и общей физики (разделы: "Молекулярная физика", "Электричество", "Оптика", "Атомная физика").

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1	способностью демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук
ПК-1 (профессиональные компетенции)	использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (в соответствии с профилем магистерской программы) и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-5 (профессиональные компетенции)	научно-инновационная деятельность: способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-9 (профессиональные компетенции)	способностью организовать и планировать физические исследования
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью организовать работу коллектива для решения профессиональных задач
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью проводить свою профессиональную деятельность с учетом социальных, этических и природоохранных аспектов

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- Коллективные колебания зарядовой плотности на поверхности металлов
- Дисперсионные соотношения поверхностных волн на планарных структурах метал-диэлектрик
- Волновой импеданс и условия пространственного синхронизма для возбуждения поверхностных плазмонов
- Основные механизмы генерации плазмонов
- Распространение плазмонов в простых геометриях
- Плазмонные волноводы
- Методы детектирования плазмонов
- Локализованные моды на низких частотах
- Прохождение света через тонкие металлические пленки и малые апертуры
- Поверхностные эффекты усиления света
- Плазмонные сенсоры
- Метаматериалы на оптических частотах
- Плоская линза

2. должен уметь:

- уметь классифицировать моды колебаний зарядовой плотности в интерфейсах метал-диэлектрик
- решать уравнение Гельмгольца для плоских волн
- Оценивать параметры распространения плазмонов
- Понимать механизм преодоления дифракционного предела Аббе
- Выполнять расчеты распределения электрического и магнитного полей с помощью формализма Грина
- Оценивать эффекты усиления электромагнитного поля вблизи наночастиц
- Экспериментально наблюдать возбуждение поверхностных плазмонов
- Моделировать процессы генерации, распространения и детектирования плазмонов методом конечных разностей во временной области
- Понимать принципы использования плазмонов в оптических наноразмерных устройствах

3. должен владеть:

- навыками системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности;
- навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой; проведения физического эксперимента.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- уметь классифицировать моды колебаний зарядовой плотности в интерфейсах метал-диэлектрик
- решать уравнение Гельмгольца для плоских волн
- Оценивать параметры распространения плазмонов
- Понимать механизм преодоления дифракционного предела Аббе

- Выполнять расчеты распределения электрического и магнитного полей с помощью формализма Грина
- Оценивать эффекты усиления электромагнитного поля вблизи наночастиц
- Экспериментально наблюдать возбуждение поверхностных плазмонов
- Моделировать процессы генерации, распространения и детектирования плазмонов методом конечных разностей во временной области
- Понимать принципы использования плазмонов в оптических наноразмерных устройствах

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен 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 Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введению в оптику металлов	2	1	1	0	4	Дискуссия
2.	Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.	2	2	1	0	4	Дискуссия
3.	Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах	2	3	1	0	4	Дискуссия
4.	Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов	2	4	1	0	0	Дискуссия
5.	Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны	2	5	1	0	0	Дискуссия
6.	Тема 6. Плазмонные волноводы	2	6	2	0	0	Дискуссия

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Распространение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки и субволновые апертуры	2	7	2	0	0	Дискуссия
8.	Тема 8. Плазменная микроскопия высокого разрешения	2	8	1	0	0	Дискуссия
9.	Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур	2	9	1	0	0	Дискуссия
10.	Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры	2	10	1	0	0	Дискуссия
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	Экзамен
	Итого			12	0	12	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введению в оптику металлов

лекционное занятие (1 часа(ов)):

В лекции рассматриваются уравнения Максвелла, подходы и модели диэлектрической проницаемости, размерные эффекты, дисперсионные соотношения для объемных, поверхностных и локализованных плазмонов. Распространение электромагнитных волн в тонких металлических пленках.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Распространение электромагнитных волн в тонких металлических пленках.

Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Распространение плоских волн на планарных интерфейсах. Решение уравнения Гельмгольца. Анализ ТМ и ТЕ электромагнитных мод.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Распространение плоских волн на планарных интерфейсах.

Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Прохождение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки, условия пространственного синхронизма, субволновые решетки, сфера Эвалда, безизлучательная дифракция, возбуждение плазмонов с помощью сильно сфокусированных лазерных пучком высокого порядка, возбуждение с помощью оптического ближнего поля.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Прохождение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки, условия пространственного синхронизма, субволновые решетки, сфера Эвалда, безизлучательная дифракция, возбуждение плазмонов с помощью сильно сфокусированных лазерных пучком высокого порядка, возбуждение с помощью оптического ближнего поля.

Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Методы визуализации плазмонов. Спектроскопия одной молекулы. Флуоресцентная наноскопия. Туннелирование оптических полей.

Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Нормальные моды субволновых металлических наночастиц. Теория Ми. Время жизни плазмона. Интерференция плазмонов. Темные плазмоны. Усиливающие среды.

Тема 6. Плазмонные волноводы

лекционное занятие (2 часа(ов)):

В лекции рассматриваются эффекты распространения плазмонов по структурам с запрещенной зоной, металлическим стрипам, нанопроволокам. Волноводы на основе наночастиц. Решение проблемы омических потерь с помощью активных сред с усилением.

Тема 7. Распространение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки и субволновые апертуры

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Прохождение электромагнитных волн через металлические пленки. Теория дифракции света на субволновых апертурах.

Тема 8. Плазмонная микроскопия высокого разрешения

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Поверхностные эффекты усиления оптического сигнала. Гигантское усиление комбинационного рассеяния света. Усиление и тушение флуоресценции.

Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Основы метода конечных разностей во временной области.

Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры

лекционное занятие (1 часа(ов)):

В лекции рассматриваются эффекты и поведение метаматериалов на оптических частотах, а также плоская линза.

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. Введению в оптику металлов	2	1	подготовка к дискуссии	8	дискуссия
2.	Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.	2	2	подготовка к дискуссии	8	дискуссия
3.	Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах	2	3	подготовка к дискуссии	8	дискуссия

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов	2	4	подготовка к дискуссии	8	дискуссия
5.	Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны	2	5	подготовка к дискуссии	8	дискуссия
6.	Тема 6. Плазмонные волноводы	2	6	подготовка к дискуссии	8	дискуссия
	Итого				48	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции, семинарские занятия, самостоятельная работа, экспериментальная работа в лаборатории "Нанооптика"

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

Тема 1. Введению в оптику металлов

дискуссия , примерные вопросы:

В данной лекции рассматриваются основы оптики металлов и плазмоники на субволновых масштабах. Рассматриваются уравнения Максвелла и размерные эффекты диэлектрической проницаемости металлов. Обсуждаются дисперсионные соотношения электромагнитных волн на простых гетероструктурах. Задача ♦1 1. Получить выражение для диэлектрической функции для газа свободных электронов. Проанализировать поведение этой функции на разных частотах.

Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции рассматривается решение уравнения Гельмгольца для плоской волны, распространяющейся вдоль границы раздела двух сред метал-диэлектрик. Анализируется поведение ТМ и ТЕ локализованных мод на плоских интерфейсах. Рассматриваются многослойные интерфейсы. Анализируется транспорт энергии локализованных мод в планарных структурах. Задача ♦2 1. Получить дисперсионное выражение для локализованной плоской волны в предположении, что двухфазный интерфейс состоит из металла и диэлектрика.

Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции детально анализируются пять основных механизмов возбуждения объемных, поверхностных и локализованных плазмонов: 1) прохождение заряженных частиц через металлические пленки, 2) нарушенное полное внутренне отражение, 3) субволновая решетка, 4) сильно-сфокусированные лазерные моды высокого порядка, 5) ближнее оптическое поле. Задача ♦3 1. Оценить длину свободного пробега плазмона и степень его локализации в интерфейсе золото-стекло при возбуждении лазерным светом с длиной волны 633 нм.

Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции рассматриваются методы детектирования плазмон-поляритонов: 1) возбуждение электрическим полем и детектирование с помощью инвертированной иммерсионной оптической системы, 2) возбуждение с боковой засветкой и регистрация с помощью эпи-оптической системы. Задача ♦4 1. Получить аналитическое выражение для линейно-поляризованной моды в фокальной плоскости и проанализировать решение при разных числовых апертурах.

Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции рассматриваются основы теории Ми и возбуждение резонансных мод в субволновых металлических и диэлектрических частицах. Анализируется поведение локализованных плазмонов в простых геометриях и их взаимодействие. Вводятся понятия темных плазмонов и металлических наноболочек. Рассматривается использование плазмонов для усиления оптических сигналов. Задача ♦5 1. Оценить среднее время жизни плазмона в интерфейсе стекло/серебро при освещении лазерным светом 532 нм.

Тема 6. Плазмонные волноводы

дискуссия , примерные вопросы:

В лекции рассматриваются планарные структуры и материалы с запрещенной зоной для распространения поверхностных плазмонов. В частности, рассказывается о возбуждении и распространении плазмонов на металлических плоских проводниках. Рассматриваются нанопроволоки и оптическая нанофокусировка. Детально анализируется транспорт плазмонов через пространственные неоднородности на планарных металлических структурах. Задача ♦6 1. Оценить сжатие плазмона в коническом Si волноводе с углом разворота 25 град. при освещении излучением 1200 нм.

Тема 7. Распространение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки и субволновые апертуры

Тема 8. Плазмонная микроскопия высокого разрешения

Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур

Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

ОПК-3, ОПК-2, ОПК-4, ПК-2, ПК-3, ОК-1, ОПК-6.

Вопросы для проведения зачета:

1. Объемные, поверхностные и локализованные плазмоны.
2. Модели диэлектрической функции. Размерные эффекты.
3. Дисперсионное соотношение для поверхностного плазмона.
4. Транспорт энергии локализованной волны. Вектор Пойтинга.
5. Метод конечных разностей по временной области.
6. Усиление и тушение флуоресценции.
7. Гигантское усиление комбинационного рассеяния света.
8. Плазмонные волноводы.
9. Методы возбуждения плазмонов. Условия пространственного синхронизма.
10. Методы визуализации плазмонов.

7.1. Основная литература:

Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие : в 2 томах] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова. ? Долгопрудный: Интеллект, 2012 . Т. 1 .? 2012 .? 759 с., [4] л. ил.

Новотный, Л. Основы нанооптики: перевод с английского / Л. Новотный, Б. Хехт; Пер. с англ. А. А. Коновко, О. А. Шутовой; Под ред. В. В. Самарцева. М.: Физматлит, 2009 .? 484 с.: ил.
Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. ? Издание 2-е, исправленное. ? М.: Физматлит, 2010 .? 480 с. : ил., цв. ил. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2204

7.2. Дополнительная литература:

Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие: в 2 томах] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова. ? Долгопрудный: Интеллект, 2012 . Т. 2 .? 2012 .? 780 с.: ил.

Гаврилов А.В. и др. Дифракционная нанофотоника / [Гаврилов А. В., Головашкин Д. Л., Досколович Л. Л. и др.]; под ред. В. А. Сойфер. ? М.: Физматлит, 2011 .? 679 с.: ил.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5296

7.3. Интернет-ресурсы:

Введение в нанооптику -

http://www.iap.uni-jena.de/iapmedia/de/Lecture/Introduction+to+Nanooptics1383174000/INO13_lecture_01

Квантовая оптика и нанооптика -

http://esonn.fr/0oldweb/esonn2010/xlectures/ESONN2010_NanoOptics_Lecture_BARTH.pdf

Нанооптика - <http://www.optics.rochester.edu/workgroups/novotny/>

Нанотехнологическое сообщество - <http://www.nanometer.ru/>

Плазмоника - <http://www.omel.ethz.ch/education/Plasmonics/Text/PLASMONICS>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Наноплазмоника" 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.

лаборатория "Нанооптика"

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика атомов и молекул .

Автор(ы):

Харинцев С.С. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Камалова Д.И. _____

"__" _____ 201__ г.