

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



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Наноплазмоника ФТД.Б.2

Направление подготовки: 011200.68 - 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 6107114

Казань

2014

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. Харинцев С.С. Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики, Sergey.Kharintsev@kpfu.ru

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 "ФТД.Б.2 Факультативы" основной образовательной программы 011200.68 Физика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 2 курсе, 3 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 физике (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 зачет в 3 семестре.

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

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

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

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

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел 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	3	1	1	2	0	дискуссия
2.	Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.	3	2	2	3	0	дискуссия
3.	Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах	3	3	2	3	0	дискуссия
4.	Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов	3	4	1	3	0	дискуссия
5.	Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны	3	5	1	3	0	дискуссия
6.	Тема 6. Плазмонные волноводы	3	6	2	3	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	3	7	2	3	0	дискуссия
8.	Тема 8. Плазмонная микроскопия высокого разрешения	3	8	1	2	0	дискуссия
9.	Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур	3	9	1	2	0	дискуссия
10.	Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры	3	10	1	2	0	дискуссия
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			14	26	0	

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.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Численное моделирование диэлектрической проницаемости, модели Друдде, Дебая, Лоренца и Селмайра. Анализ материальных уравнений.

Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

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

практическое занятие (3 часа(ов)):

Расчет параметров плазмонов: длины волны, степени локализации и затухания.

Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах

лекционное занятие (2 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.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Практическое занятия по методам возбуждения плазмонов с использованием многофункционального спектрометра ИНТЕГРА СПЕКТРА.

Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов

лекционное занятие (1 часа(ов)):

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

практическое занятие (3 часа(ов)):

Экспериментальное наблюдение поверхностных плазмонов с использованием зондовой нанолaborатории ИНТЕГРА СПЕКТРА

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.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Решение задач по расчету Ми резонансов для простых геометрий.

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.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Обсуждение и анализ дизайна плазмонных волноводов. Высокая направленность излучения плазмонных эмиттеров.

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.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Расчет основных параметров плазмонных эмиттеров: усиления, направленности, эффективности.

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.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Экспериментальное обучение методики получения наноскопических оптических изображений одностенных углеродных нанотрубок

Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Основы метода конечных разностей во временной области.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Решение задач по возбуждению локализованных плазмонов с помощью программной среды Lumerical

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.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Обзор и обсуждение возможных применений метаматериалов в медицине, наноскопии, телекоме и наноэлектронике.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введению в оптику металлов	3	1	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
2.	Тема 2. Локализованные поверхностные электромагнитные волны.	3	2	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
3.	Тема 3. Возбуждение поверхностных плазмонов на планарных интерфейсах	3	3	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
4.	Тема 4. Методы детектирования плазмон-поляритонов	3	4	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
5.	Тема 5. Локализованные поверхностные плазмоны	3	5	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
6.	Тема 6. Плазмонные волноводы	3	6	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
7.	Тема 7. Распространение электромагнитных волн через тонкие металлические пленки и субволновые апертуры	3	7	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
8.	Тема 8. Плазмонная микроскопия высокого разрешения	3	8	подготовка к дискуссии	7	дискуссия
9.	Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур	3	9	подготовка к дискуссии	6	дискуссия
10.	Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры	3	10	подготовка к дискуссии	6	дискуссия
	Итого				68	

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

дискуссия , примерные вопросы:

В лекции рассматривается теория дифракции на субволновых апертурах, решается задача определения структуры электромагнитного поля, излучаемой вертикальным и горизонтальным диполем. Рассматривается прохождение света через металлическую пленку без апертуры. Задача ♦7 1. Рассчитать интенсивность света в нулевом порядке при прохождении света через апертуру, равной половине длины волны света.

Тема 8. Плазмонная микроскопия высокого разрешения

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции рассматривается применение плазмонов в спектроскопии одиночных молекул. Подробно рассказывается о преодолении дифракционного предела Аббе и достижении гигантского сечения рассеяния оптических процессов. В лекции обсуждаются вопросы локально-усиленной колебательной спектроскопии и микроскопии. Рассматриваются вопросы дизайна плазмонных наноплазмонных антенн. Задача ♦8 1. Рассчитать параметр усиления электромагнитного поля вблизи оптической наноплазмонной антенны методом функции Грина.

Тема 9. Численные методы расчета локализованных полей вблизи наноструктур

дискуссия , примерные вопросы:

В этой лекции рассматриваются основные методы расчета оптических полей в ближней зоне. Особое внимание уделяется методу конечных разностей во временной области. Задача ♦9 1. Выполнить численное моделирование возбуждения локализованного плазмона с использованием среды программирования Lumerical FDTD.

Тема 10. Метаматериалы, плоская линза и плазмонные сенсоры

дискуссия , примерные вопросы:

В данной лекции освещаются вопросы электродинамики метаматериалов, метаповерхностей. Рассматриваются оптические эффекты с отрицательным показателем преломления. Обсуждается модель плоской линзы. Освещается применение фотонных материалов на практике: плазмонные сенсоры, поляризаторы и др. Задача ♦10 1. Вывести обобщенный закон Снелиуса для метаповерхности с сингулярной фазой. Проанализировать аномальное преломление и отражение ИК излучения с длиной волны 8 мкм. Подложка

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

ОК-1 ПК-1 ПК-3 ПК-5 ПК-7 ПК-8 ПК-9 ПК-10

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. Соيفер. ? 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 011200.68 "Физика" и магистерской программе Физика атомов и молекул .

Автор(ы):

Харинцев С.С. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Камалова Д.И. _____

"__" _____ 201__ г.