

# Рабочая программа дисциплины

## 1. Оптика нано- и микроструктур

### 2. Лекторы.

**2.1.** Кандидат физ.-мат. наук, Колмычек Ирина Алексеевна, кафедра общей физики, irisha@shg.ru, +7 (495) 939-36-69.

### 3. Аннотация дисциплины.

Исследование взаимодействия оптического излучения со структурами, размеры которых сравнимы с длиной волны, является одним из приоритетных направлений науки в настоящее время. Эффекты, возникающие в отраженном или прошедшем оптическом отклике нано- и микроструктур, не наблюдаются в макроскопических средах и могут найти широкой применение и нано- и микроэлектронике, фотонике, лазерной технике. Часть курса посвящена магнитооптике субволновых структур, на базе которой ведутся разработки новейших оптических переключателей, сенсоров и систем хранения информации.

Содержание дисциплины посвящено последовательному изложению теоретических основ оптики нано- и микроструктур, описанию экспериментальных и расчетных методик, ознакомлению с новейшими результатами российских и зарубежных ученых в данной области.

В курсе рассматриваются такие вопросы, как:

- релеевское и гиперрелеевское рассеяние;
- приближения эффективной среды, формулы Клаузиуса–Моссотти и Лорентца – Лоренца, приближение когерентного потенциала;
- плазмоны, расчет спектрального положения локальных поверхностных плазмонов для структур различной формы, поверхностные плазмон-поляритоны, понятие магнитного дипольного резонанса;
- нелинейно-оптические эффекты при возбуждении локальных и бегущих плазмонов;
- понятие хиральных структур, влияние хиральности на оптический отклик;
- графен, особенности его оптического и нелинейно-оптического отклика;
- магнитооптика тонких пленок и наноструктур, магнитоплазмонные кристаллы, проявления обменного взаимодействия и магнитного транспорта между магнитными слоями в оптическом и нелинейно-оптическом отклике.

Особое внимание уделяется различиям в оптическом отклике субволновых и макроскопических структур. Приводятся примеры практического применения исследуемых эффектов.

Особенностью лекционной части дисциплины является широкое использование проекционной и компьютерной техники, интернет-ресурсов.

### 4. Цели освоения дисциплины.

Освоение основных принципов теоретического описания, численного расчета и экспериментальных методов исследования оптического и нелинейно-оптического отклика нано- и микроструктур.

### 5. Задачи дисциплины.

Получение базовых теоретических знаний в области оптики и нелинейной оптики. Изучение моделей, применяемых при описании взаимодействия излучения со структурами субволнового масштаба. Знакомство с основными методами проведения эксперимента по изучению характеристик линейного, квадратичного и кубичного оптического отклика таких сред. Освоение основных методов численного моделирования распространения электромагнитного излучения в нано- и микроструктурах.

### 7. Компетенции.

#### 7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

М-ОНК-2, М-СК-1, М-СК-2, М-ПК-1.

#### 7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

М-СК-2, М-ПК-3, М-СПК-2, М-СПК-3, М-СПК-4.

## 8. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

*знать* основные оптические и нелинейно-оптические эффекты, обусловленные наноструктурированностью среды, а также возбуждением локальных или распространяющихся поверхностных плазмонов; основы магнитооптики тонких пленок, нано- и микроструктур, современных магнитных материалов;

*уметь* использовать основные модели и приближения, применяемые для описания эффективного оптического и нелинейно-оптического отклика композитных конденсированных сред;

*владеть* основами экспериментального исследования характеристик линейного и нелинейного оптического отклика структур субволнового масштаба.

## 9. Содержание и структура дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа, из них аудиторных занятий – 34 часа).

Вид работы	Семестр 2	Всего
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	72	72
<b>Аудиторная работа:</b>	34	34
Лекции, акад. часов	17	17
Семинары, акад. часов	17	17
Лабораторные работы, акад. часов	0	0
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	38	38
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)</b>	Зачет	Зачет

N раз-дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Самостоятельная работа	Форма текущего контроля
		Аудиторная работа				
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Рэлеевское и гиперрелеевское рассеяние	2 часа Базовые понятия теории рассеяния. Амплитуда и сечение рассеяния. Рассеяние света одиночной сферической частицей малого диаметра. Индикатрисы рэлеевского рассеяния одиночной сферой для линейно и циркулярно поляризованной волны и естественного света.	2 часа Ознакомление с основными компьютерными программами для решения уравнений Максвелла с различными граничными условиями.		4 часа. Работа с лекционным материалом.	Контрольная работа
		1 час Рэлеевское рассеяние неупорядоченным массивом частиц. Базовое уравнение для локального поля. Статистические моменты рассеянного поля, проблема расщепления корреляторов. Пространственная эргодичность. Картина рассеяния двумерным массивом частиц в борновском приближении.	2 часа Расчет диаграммы направленности рассеяния изолированной частицей в пакете Lumerical Solutions		4 часа. Работа с лекционным и семинарским материалом.	
2	Приближения эффективной среды	2 часа Концепция эффективной диэлектрической проницаемости. Формулы Клаузиуса–Моссотти и Лорентца – Лоренца. Формула Гарнетта.			3 часа Работа с лекционным материалом.	Контрольная работа
		2 часа Эффективная диэлектрическая проницаемость бинарной смеси частиц в приближении когерентного потенциала (приближении Бруггемана). Анализ условий применимости формулы Бруггемана.	3 часа Расчет эффективной диэлектрической проницаемости сред различного дизайна.		3 часа. Работа с лекционным и семинарским материалом.	
3	Плазмоника	2 часа Понятие плазмона. Электродипольный и магнитодипольный резонанс.	4 часа Расчет спектрального положения локального плазмонного резонанса в структурах различной геометрии.		6 часов. Работа с лекционным и семинарским материалом.	Контрольная работа
		1 час. Понятие бегущих плазмон-поляритонов. Условия возбуждения.			3 часа. Работа с лекционным материалом.	
		2 часа Нелинейно-оптические эффекты в условиях возбуждения плазмонов различных видов.			3 часа. Работа с лекционным материалом	
5	Хиральные среды	2 часа	3 часа		3 часа.	

		Понятие хиральности в двумерном и трехмерном случае. Проявления хиральности в оптическом и нелинейно-оптическом отклике среды.	Расчет распределения электромагнитного поля в хиральной структуре		Работа с лекционным и семинарским материалом	
<b>6</b>	<b>Графен</b>	2 часа Зонная структура и закон дисперсии. Оптические свойства графена.	2 часа Ознакомление с методами расчета зонной структуры и закона дисперсии		5 часов Работа с лекционным и семинарским материалом	
<b>7</b>	<b>Магнитооптика тонких пленок и наноструктур</b>	1 час Основные магнитооптические эффекты. Особенности, возникающие вследствие наноструктурированности материала. Магниторефрактивный эффект.	1 час Расчет угла поворота плоскости поляризации в эффекте Фарадея.		4 часа. Работа с лекционным и семинарским материалом	Контрольная работа

## 10. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Обязательная дисциплина

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: «Электродинамика», «Оптика», «Введение в квантовую физику» из модуля «Общая физика» профессионального блока базовой части ООП ВПО бакалавриата по направлению «Физика».

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Научно-исследовательская работа из блока «Научно-исследовательская работа» и выпускная квалификационная работа по направлению «Физика» из блока «Итоговая государственная аттестация».

## 11. Образовательные технологии

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы и дающие наиболее эффективные результаты освоения дисциплины:

- лекция,
- дискуссии,
- консультации,
- мультимедийное и проекционное оборудование;
- компьютерные симуляторы,
- средства дистанционного сопровождения учебного процесса (сайт лектора с оригинальными методическими материалами).

## 12. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Текущая аттестация проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, их участие в дискуссии, восприятие излагаемого материала.

Полный список вопросов к зачету:

1. Определения дифференциального и полного сечения рассеяния.
2. Что такое рэлеевское рассеяние?
3. Условие применимости первого борновского приближения для рэлеевского рассеяния.
4. Выражение для электрического поля внутри сферической частицы из однородного диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon$ .
5. Выражение для линейной поляризуемости сферической частицы из однородного диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon$ .
6. Локальное электрическое поле внутри эллипсоида из однородного диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon$ : какими вкладками оно определяется?
7. Условие пространственной эргодичности.
8. Формула для электростатического поля точечного диполя  $\mathbf{d}$ .
9. Формула для электрического поля, создаваемого в дальней зоне точечным диполем  $\mathbf{d}$ , осциллирующим на частоте  $\omega$ .
10. Формула для магнитного поля, создаваемого в дальней зоне точечным диполем  $\mathbf{d}$ , осциллирующим на частоте  $\omega$ .
11. Приближение дифракции Фраунгофера.
12. Формула Клузиуса–Моссотти.
13. Формула Лорентца – Лоренца
14. Формула Гарнетта.
15. Формула Бруггемана.

16. Какую структуру имеет тензор эффективной поляризуемости отдельной частицы в приближении когерентного потенциала для плоского монослоя, образованного бинарной смесью сферических частиц?
17. Простейший случай композитной среды: модель диэлектрика.
18. Что такое плазмон? Какие типы плазмонов существуют?
19. Как рассчитать спектральное положение локального плазмонного резонанса в сфере, эллипсоиде?
20. Как влияют коллективные эффекты на положение плазмонных под?
21. Что такое плазмон-поляритон? каковы условия его возбуждения?
22. В каких структурах возможно возбуждение магнитного дипольного резонанса?
23. Как влияет возбуждение плазмонных резонансов на особенности нелинейно-оптического отклика?
24. Что такое хиральность? Приведите примеры двумерных и трехмерных хиральных сред.
25. Как проявляется хиральность структуры в ее оптическом и нелинейно-оптическом отклике?
26. Что такое графен? Каковы его основные свойства? Опишите зонную структуру и закон дисперсии графена.
27. Какие бывают магнитооптические эффекты?
28. Что такое магниторефрактивный эффект?
29. Как проявляется возбуждение плазмона в магнитооптическом отклике структуры?
30. Что такое обменное взаимодействие магнитных слоев? как оно проявляется в оптическом отклике пленок?

### 13. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### Основная

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. [Гл. 13]
2. А.П. Виноградов. Электродинамика композитных материалов. М.: Эдиториал УРСС, 2001. [Гл. 2, 3]
3. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. [Том 1, гл. 7]
4. Дж. Займан. Модели беспорядка. М.: Мир, 1982. [Гл. 9]
5. B.N.J. Persson, A. Liebsch. Optical properties of two-dimensional systems of randomly distributed particles. Phys. Rev. B, 1983, vol. 28. No 8, pp. 4247–4254.
6. Б.М. Смирнов. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука, 1991.
7. А. Звездин, В. Котов, Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988.
8. С.А. Майер, Плазмоника – теория и приложения, Ижевск, 2011.

### 14. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Лекции по дисциплине проводятся в аудитории им. А.Н. Матвеева (комн. 4-30) физического факультета. Лекционная аудитория обеспечена проекционным оборудованием и компьютером.