

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теоретическая нанофотоника
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.
семинары: 0 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Д.Г. Баранов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и технологии наноструктур 27.02.2025

Аннотация

Целью дисциплины является дать студентам общее представление о фундаментальных аспектах распространения, излучения, и рассеяния света в частности и электромагнитного излучения в целом. Студенты изучат универсальные методы описания рассеяния света объектами и наноструктурами и познакомятся с общими закономерностями, наблюдаемыми при взаимодействии оптического излучения с резонансными наноструктурами.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Предоставить студентам общее представление о фундаментальных аспектах распространения, излучения, и рассеяния света в частности и электромагнитного излучения в целом. Научить студентов универсальным методам описания рассеяния света объектами и наноструктурами, и продемонстрировать универсальные закономерности, наблюдаемые при взаимодействии оптического излучения с резонансными наноструктурами.

Задачи дисциплины

- Овладение основами электромагнетизма
- Изучение методов описания распространения и излучения электромагнитного излучения в однородном пространстве и волноводах
- Изучение универсальных методов описания рассеяния оптического излучения на наноструктурах
- Получение знаний о геометрических и поляризационных характеристиках света и их преобразования при рассеянии на объектах
- Обучение навыку использования изученных методов для решения практических задач

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

Технологии	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Основы математического аппарата описания электромагнитного поля (уравнения Максвелла, волновое уравнение, тензор Грина, теорема Пойнтинга, матрица рассеяния)
- Основные подходы к описанию распространения и рассеяния оптического излучения
- Различные классы локализованных решений (волноводные моды, утекающие моды, резонансы, связанные состояния внутри континуума) и классы резонансных оптических эффектов, наблюдаемых в резонансных наноструктурах

уметь:

- Отыскивать законы дисперсии оптических мод однородных сред и волноводных структур
- Рассчитывать поля простейших излучающих систем в однородной среде
- Рассчитывать собственные моды и собственные частоты наноструктур базового типа (слои, цилиндры, сферы)
- Моделировать рассеяние света произвольной резонансной наноструктурой на базовом уровне

владеть:

- Общими методами решения задач распространения излучения электромагнитных волн (поиск спектра волноводных мод, вычисление излучения);
- Методами поиска собственных оптических мод и собственных частот резонансных наноструктур
- Аналитическими методами описания рассеяния оптического излучения на обобщенных резонансных структурах

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа

1	Вводная лекция; Уравнения Максвелла, материальные соотношения, волновое уравнение; Задача излучения, тензор Грина	2			1
2	Теорема Пойнтинга; Симметрии и законы сохранения в оптике	2			1
3	Плоские волны в однородных средах; изочастоты	2			1
4	Рассеяние волн на границе; метод матриц переноса.	2			1
5	Стоячие волны, цилиндрические пучки, суперосцилляции.	2			1
6	Скалярные и векторные сферические гармоники.	2			1
7	Волноведущие структуры; классы волноводных мод. Волноводные моды планарных и цилиндрических систем.	2			1
8	Поверхностные волны; волноведение тонким слоем.	2			1
9	Моды периодических структур; фотонные кристаллы.	2			1
10	Задача излучения; тензор Грина свободного пространства; излучение диполя. Интенсивность излучения, плотность состояний.	2			1
11	Мультипольное разложение; излучение вблизи поверхности.	2			1
12	Поляризация света; Матрицы Джонса; классификация поляризационных эффектов.	2			1
13	Семинар (резерв).	2			1
14	Семинар (резерв).	2			1
15	Семинар (резерв).	2			1
16	Задача рассеяния, уравнение Липпмана-Швингера; матрица рассеяния.	4			3
17	Квазинормальные моды; нули и полюса матрицы рассеяния.	4			3
18	Точено решаемые задачи рассеяния в 1D	2			3
19	Теория связанных мод: общие аспекты.	2			2
20	Теория связанных мод: частные случаи; случай неортогональных мод.	2			2
21	Неэрмитова оптика: поглотители и лазеры.	4			3
22	Неэрмитова оптика: Вырожденные точки и РТ-симметрия.	2			3
23	Рассеяние компактным объектом; сечения рассеяния; рассеяние сферой.	2			2
24	Клоакинг и супер-рассеяние.	2			2
25	Связанные состояния внутри континуума.	2			2
26	Метод связанных диполей; дифракция на массивах.	2			2
27	Семинар (резерв).	2			3
Итого часов		60			45

Подготовка к экзамену	30 час.
Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Уравнения Максвелла, материальные соотношения, волновое уравнение

Основные математические соотношения электромагнетизма: Уравнения Максвелла, волновое уравнение, уравнение Гельмгольца. Гармоническая форма уравнений. Принцип эквивалентности. Материальные соотношения, модели Лоренца и Дебая. Причинность.

2. Задача излучения, тензор Грина, собственные моды

Уравнения Максвелла с источником, постановка задачи излучения. Понятие функции Грина. Собственные моды, разложение функции Грина закрытых структур по собственным модам.

3. Симметрии и законы сохранения в оптике

Теорема Пойнтинга, вектор Пойнтинга, закон сохранения энергии. Т-инвариантность и взаимность электромагнитных систем. Принцип скейлинг-инвариантности.

4. Плоские волны в однородных средах; изочастоты

Решения уравнений Максвелла в однородном изотропном пространстве. Плоские волны; эванесцентные волны. Волны в средах с отрицательным показателем преломления. Дисперсия волн в анизотропных материалах, уравнение Френеля.

5. Рассеяние волн на границе; метод матриц переноса

Прохождение и отражение плоской волны на границе раздела двух сред, формулы Френеля. Метод матриц переноса для изотропных сред.

6. Стоячие волны, цилиндрические пучки, сферические гармоники

Суперпозиции плоских волн, стоячие волны. Недифрагирующие пучки, Бесселевы пучки. Скалярные и векторные сферические гармоники.

7. Волноведущие структуры; классы волноводных мод

Задача о волноводных модах. Классификация волноводных мод: локализованные, утекающие, и анти-волноводные моды.

8. Волноводные моды планарных и цилиндрических систем

Волноводные моды плоского и цилиндрического металлического волновода. Моды диэлектрического слоя и цилиндра.

9. Поверхностные волны; волноведение тонким слоем

Волноводные решения на границе раздела двух сред. Волноведение тонким проводящим слоем. Волны Дьяконова.

10. Моды периодических структур; фотонные кристаллы

Волноводные моды периодических структур, теорема Блоха, фотонные кристаллы, запрещенная зона.

11. Задача излучения; тензор Грина свободного пространства; излучение диполя

Постановка задачи излучения. Нахождение тензора Грина однородного изотропного пространства. Излучение электрического и магнитного диполя.

12. Мультипольное разложение; излучение вблизи поверхности

Разложение поля излучающей системы на сферические гармоники. Мультипольное разложение тока. Излучение диполя вблизи границы раздела двух сред.

13. Интенсивность излучения, плотность состояний

Мощность дипольного излучения, связь с плотностью состояний, фактор Парселла.

14. Задача рассеяния, уравнение Липпмана-Швингера; матрица рассеяния

Постановка задачи рассеяния, интегральное уравнение Липпмана-Швингера; каналы рассеяния, матрица рассеяния.

15. Собственные моды; нули и полюса матрицы рассеяния

Понятие собственных мод и резонансов. Комплексная плоскость частот, собственные частоты; нули и полюса матрицы рассеяния.

Семестр: 2 (Весенний)

16. Теория связанных мод

Феноменологическая теория связанных мод для описания отклика резонансных систем. Случай нескольких мод и нескольких каналов рассеяния.

17. Точено решаемые задачи рассеяния

Матрицы рассеяния границы раздела, слоя, собственные числа и собственные моды. Связь комплексных собственных мод с волноводной задачей.

18. Неэрмитова оптика: поглотители и лазеры

Физика систем с затуханием и усилением; идеальные поглотители, когерентные поглотители; линейная теория лазеров.

19. Связанные состояния внутри континуума

Физика связанных состояний в континууме, способы их возникновения, моделирование в рамках теории связанных мод.

20. Вырожденные точки

Особые точки гамильтонианов, примеры особых точек в неэрмитовых системах. РТ-симметрия, лазер-поглотитель.

21. Рассеяние компактным объектом; сечения рассеяния; рассеяние сферой

Описание рассеяния поля компактным объектом. Разложение плоской волны по сферическим гармоникам. Сечения рассеяния, амплитуда рассеяния. Оптическая теорема. Задача рассеяния сферой, резонансы сфер.

22. Клоакинг и супер-рассеяние

Подавление рассеяния компактным объектом; анаполь. Супер-рассеяние наночастицей.

23. Метод связанных диполей; дифракция на массивах

Метод связанных диполей. Рассеяние на двух связанных атомах. Рассеяние света периодическим массивом, дифракционные порядки, дифракционные сингулярности.

24. Поляризация света; Матрицы Джонса

Поляризация электромагнитного поля, эллипс поляризации, параметры Стокса, сфера Пуанкаре. Матрицы Джонса.

25. Спин и орбитальный момент; киральность света

Угловой момент света, разделение на спиновый и орбитальный момент. Спин-орбитальная связь. Плотность киральности, оператор киральности. Дуальные структуры. Связь киральности со спином.

26. Конверсия поляризаций; классификация поляризационных эффектов

Поляризационные эффекты при взаимодействии света с планарными периодическими структурами. Классификация периодических структур по симметриям.

27. Классификация магнито-электрических сред; простые киральные среды

Классификация магнито-электрических сред. Случай би-изотропной киральной среды, вращение поляризации и круговой дихроизм.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Комплект электронных презентаций/слайдов; аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук); при необходимости специальные технические средства для обучающихся инвалидов и лиц с ОВЗ.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 2 : Теория поля : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского .— 8-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2003, 2006, 2012, 2014 .— 536 с.
 2. Основы нанооптики [Текст] / Л. Новотный, Б. Хехт ; пер. с англ. А. А. Коновко, О. А. Шутовой ; под ред. В. В. Самарцева - М.Физматлит, 2009, 2011
- Literature fund of the basic departament:
1. Jackson, John David. "Classical electrodynamics." (1999): 841-842.

Дополнительная литература

- Literature fund of the basic departament:
1. Molding the flow of light / Joannopoulos, J. D., Johnson, S. G., Winn, J. N., & Meade, R. D. Princeton Univ Press, Princeton, NJ (2008).

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://www.nanophotonics.es/widgets2>.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

При подготовке и проведении лекционных занятий используется сеть интернет.

Кроме того, используется Libre Office, а также графический пакет Ink Scape.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Д.Г. Баранов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теоретическая нанофотоника» обучающийся должен:

знать:

- Основы математического аппарата описания электромагнитного поля (уравнения Максвелла, волновое уравнение, тензор Грина, теорема Пойнтинга, матрица рассеяния)
- Основные подходы к описанию распространения и рассеяния оптического излучения
- Различные классы локализованных решений (волноводные моды, утекающие моды, резонансы, связанные состояния внутри континуума) и классы резонансных оптических эффектов, наблюдаемых в резонансных наноструктурах

уметь:

- Отыскивать законы дисперсии оптических мод однородных сред и волноводных структур
- Рассчитывать поля простейших излучающих систем в однородной среде
- Рассчитывать собственные моды и собственные частоты наноструктур базового типа (слои, цилиндры, сферы)
- Моделировать рассеяние света произвольной резонансной наноструктурой на базовом уровне

владеть:

- Общими методами решения задач распространения излучения электромагнитных волн (поиск спектра волноводных мод, вычисление излучения);
- Методами поиска собственных оптических мод и собственных частот резонансных наноструктур
- Аналитическими методами описания рассеяния оптического излучения на обобщенных резонансных структурах

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Приведены в приложенном файле.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценивание знаний происходит в форме дифференцированного зачета (9-й семестр) и экзамена (10-й семестр). Дифференцированный зачет и экзамен проводятся по билетам. Никакие вспомогательные средства не допускаются. Студент представляет свое решение поставленной задачи и ответ на вопрос билета экзаменатору. Затем экзаменатор задает студенту несколько вопросов, которые равномерно охватывают содержание курса. Итоговая оценка выставляется на основе качества ответов и продемонстрированного уровня понимания.

10. Фонд оценочных средств

Перечень контрольных вопросов в 9-ом семестре:

1. Материальные соотношения в электродинамике, модели материальных соотношений.
2. Теорема Пойнтинга, поток энергии, мощность диссипации.
3. Обращение времени и скейлинг-инвариантность в электродинамике.
4. Спектр плоских волн в изотропной среде, эванесцентные волны. Изочастота.
5. Рассеяние плоской волны границей раздела двух сред, формулы Френеля
6. Недифрагирующие пучки; Бесселевы пучки.
7. Волноведущие структуры; классификация волноводных мод; световой конус.
8. Спектр волноводных мод диэлектрического слоя
9. Спектр поверхностных волн на границе раздела металл-диэлектрик.
10. Фотонные кристаллы. Зонная структура одномерного фотонного кристалла, запрещенная зона.
11. Интенсивность дипольного излучения, связь с плотностью состояний. Фактор Парселла.
12. Постановка задачи рассеяния, интегральное уравнение Липпмана-Швингера, матрица рассеяния.
13. Собственные моды и собственные частоты. Свойства матрицы рассеяния на собственных частотах.

Примеры контрольных заданий в 9-ом семестре:

1. Вычислите вектор Пойнтинга у-поляризованной ТЕ эванесцентной волны распространяющейся вдоль x $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathcal{E} \hat{y} e^{ik_x x} e^{-k_z z}$. Покажите, что z -компонента потока энергии в такой волне равна 0.
2. Рассмотрите линейную комбинацию двух эванесцентных волн распространяющихся вдоль x с одинаковым волновым числом: $\mathbf{E}_1(\mathbf{r}) = \mathcal{E} \hat{y} e^{ik_x x} e^{-k_z z}$, $\mathbf{E}_2(\mathbf{r}) = \mathcal{E} e^{i\phi} \hat{y} e^{ik_x x} e^{+k_z z}$, $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_2(\mathbf{r})$. Вычислите z -компоненту вектора Пойнтинга как функцию относительной фазы ϕ . Что данный результат говорит о переносе энергии эванесцентными волнами?
3. Рассмотрите распространение плоских волн в изотропной среде, описываемой Лоренцевской диэлектрической проницаемостью $\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}$. Постройте спектр решений плоских волн $k = k(\omega)$. Что происходит с действительной и мнимой частью волнового вектора вблизи резонанса среды?
4. Численно найдите решение той же проблемы, но в комплексной частотной плоскости, предполагая действительное k . Проанализируйте полученный спектр комплексных ω -решений $\omega(k)$. Что происходит со спектром вблизи резонанса среды?
5. Рассмотрите отражение плоской линейно поляризованной волны, падающей из воздуха на металл без потерь описываемый проницаемостью Друде ($\epsilon = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$), с электрическим полем, поляризованным под углом ϕ относительно плоскости падения. Найдите состояние поляризации отраженной волны. Совет: разложите падающую волну на s - и p -поляризованные компоненты и рассчитайте каждое отражение каждой компоненты отдельно.
6. Используя разложение Блоха стационарного решения волнового уравнения в двумерной периодической системе с периодами $\mathbf{L} = (L_x, L_y)$, покажите, что для частот выше $\bar{\omega} = \frac{2\pi c}{\max\{L_x, L_y\}}$ система не поддерживает настоящих волноводных локализованных решений.
7. Используя выражение для квази-статического потенциала точечного электрического диполя $\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}}{r^3}$, вычислите поле, создаваемое таким диполем, и интенсивность излучения квази-статического диполя, используя выражение для плотности состояний $\text{Im}[\mathbf{p}^* \cdot \mathbf{E}_{rad}(\mathbf{0})]$.

Перечень контрольных вопросов в 10-ом семестре:

1. Построение теории связанных мод для одномодового резонатора с одним портом.
2. Резонансы диэлектрического слоя.
3. Поглотители и лазеры. Описание поглотителя с помощью теории связанных мод, режим критической связи.
4. Связанные состояния внутри континуума.
5. Вырожденные точки в спектре неэрмитовых систем. Пример структур с вырожденными точками.
6. Рассеяние плоской волны компактным объектом. Сечения рассеяния.
7. Клоакинг и суперрассеяние компактным объектом.
8. Метод связанных диполей.
9. Киральность света, связь со спином.
10. Конверсия поляризации при взаимодействии света с планарными периодическими структурами. Конкретные примеры элементарных ячеек, попадающих в разные классы симметрии.

Примеры контрольных заданий в 10-ом семестре:

1. Постройте формальную матрицу рассеяния для слоя вакуума толщиной L в базисе плоских волн распространяющихся по нормали к этому «слою вакуума». Найдите собственные числа данной матрицы рассеяния.
2. Рассмотрите обобщенную одномодовую резонансную оптическую систему, связанную с единственным каналом рассеяния, и постройте фазу (аргумент) комплексного коэффициента рассеяния в комплексной плоскости частот. В каких областях графика видны фазовые градиенты? Какие точки обладают топологическим зарядом?

3. Рассмотрите одномодовую резонансную структуру с диссипацией γ_- (n-rad), симметрично связанной с двумя каналами рассеяния (моделирующую, например, диэлектрический слой в симметричном окружении). Используя теорию связанных мод для этой структуры, рассчитайте коэффициент поглощения при возбуждении системы из одного канала. Найдите условие максимального поглощения. Каково значение этой максимальной скорости поглощения?
4. Теперь разрешите возбуждение системы из предыдущего упражнения посредством обоих каналов рассеяния. Каков при этом максимально возможный уровень поглощения? Какой вектор падающего поля s^{inc} реализует это максимальное поглощение?
5. Рассмотрите компактную резонансную двухмодовую систему без потерь с собственными модами $\omega_1 - i\gamma_1$ и $\omega_2 - i\gamma_2$, где γ_i - скорости чисто радиационного распада. Предположите, что обе моды преимущественно связаны с одним и тем же каналом рассеяния (некоторая мультипольная гармоника). Используя теорию связанных мод для компактного рассеивателя, рассчитайте сечение рассеяния объекта и продемонстрируйте эффект невидимости. Сохраняется ли эффект при наличии диссипации в объекте?

Примеры экзаменационных билетов в 10-ом семестре:

Билет 1.

1. Построение теории связанных мод для одномодового резонатора с одним портом.
2. Рассмотрите одномодовую резонансную структуру с диссипацией γ_- (n-rad), симметрично связанной с двумя каналами рассеяния (моделирующую, например, диэлектрический слой в симметричном окружении). Используя теорию связанных мод для этой структуры, рассчитайте коэффициент поглощения при возбуждении системы из одного канала. Найдите условие максимального поглощения. Каково значение этой максимальной скорости поглощения?

Билет 2.

1. Резонансы диэлектрического слоя.
2. Постройте формальную матрицу рассеяния для слоя вакуума толщиной L в базисе плоских волн распространяющихся по нормали к этому «слою вакуума». Найдите собственные числа данной матрицы рассеяния.