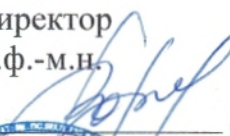


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Программа одобрена  
на заседании  
Ученого совета ИТПЭ РАН  
Протокол № 2  
« 12 » апреля 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
д.ф.-м.н.



/К.Н. Розанов/



« 12 » апреля 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Оптические свойства упорядоченных и частично упорядоченных**  
**плазмонных наноструктур, включая нанокompозиты**  
**и плазмонные лазеры»**  
*(наименование дисциплины)*  
Дисциплина по выбору

**СПЕЦИАЛЬНОСТЬ:**

**1.3.13. - Электрофизика, электрофизические установки**  
*(код и наименование направления подготовки)*

**Физико-математические, технические науки**  
*(отрасль науки)*

Форма обучения: **очная**

Москва, 2022 г.

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью курса является углубление знаний аспирантов по ряду теоретических и практических проблем, возникающих при решении задач, связанных с расчетом оптических свойств метаматериалов, а также значительное расширение и углубление знаний, полученные при изучении таких дисциплин, как «Электродинамика сплошных сред», «Оптика», «Электрофизика», и «Квантовая электроника». В процессе изучения дисциплины обучающийся аспирант совершенствует математический аппарат, используемый им при решении задач электродинамики

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к *вариативным* дисциплинам программы аспирантуры. Изучается на 1 семестре 3 курса. Форма контроля – зачет. Актуальность курса обусловлена важностью оптических свойств метаматериалов, используемых в новых технических устройствах.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, в том числе 1,5 зачетные единицы аудиторных занятий и 2,5 зачетные единицы самостоятельной работы.

### 4. Содержание разделов дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы занятий	Содержание	Объем	
			Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)
1.	Метод ренормализационной группы	Однопараметрическая и трехпараметрическая ренормализационная группа в теории протекания; уравнение для определения порога протекания.	4	4
2.	Структура перколяционных систем	Структура каналов протекания. Модели каналов протекания, фракталы. Уравнение для определения корреляционной длины и плотности перколяционного кластера.	4	4
3.	Проводимость перколяционных систем	Скейлинговое уравнение для эффективной проводимости композитных перколяционных систем. Компьютерное моделирование проводимости и диэлектрической проницаемости перколяционных систем.	6	6
4.	Плазмонный резонанс	Модель свободных электронов для проводимости металлов. Оптическая диэлектрическая проницаемость металлов, плазмонный резонанс. Формула Друде. Поверхностный плазмонный резонанс для тел различной формы. Распределение электрического и магнитного поля в условиях резонанса.	4	6
5.	Метод самосогласованного поля	Теория эффективной среды для проводимости металл- диэлектрических композитов.	4	8
6.	Гигантские флуктуации оптического поля	Гигантские внутренние электромагнитные поля в металл- диэлектрических композитах. Локализация плазмонных колебаний. Пространственная структура флуктуаций локального поля. Спектральная теория флуктуаций оптического электрического поля.	4	8

7.	Гигантское комбинационное рассеяние	Явление гигантского комбинационного рассеяния в двумерных и трехмерных плазмонных системах.	4	10
8.	Магнитная проницаемость метаматериалов	Магнитный плазмонный резонанс. Эффективная магнитная проницаемость метаматериалов.	6	10
9.	Явление сверх разрешения	Распространение волн в лестничных структурах, состоящих из индуктивных и емкостей. Фазовая и групповая скорости распространения. Обратная волна. Отрицательный показатель преломления. Явление сверх разрешения. Линза Весселаго.	6	10
10.	Излучения атомов и молекул вблизи от плазмонных резонаторов	Особенности излучения атомов и молекул, находящихся в непосредственной близости от различных плазмонных резонаторов; зависимость формы спектральной линии от расстройки между атомом (молекулой) и плазмонным резонатором. Эволюции спектра плазмонного лазера в зависимости от накачки активной среды; сравнение квазиклассического подхода и результатов квантового рассмотрения.	6	12
11.	Компьютерное моделирование метаматериалов	Компьютерное моделирование распространения электромагнитных волн в метаматериалах с отрицательным показателем преломления.	6	12
Всего:			54	90

**Самостоятельная работа:**

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	44 часа
2	- решение задач по заданию преподавателя – решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	34 часов
3	-подготовка к зачету	12 часов
<b>ВСЕГО (часов)</b>		<b>90 часов</b>

## 5. Ресурсное обеспечение

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. D. Stauffer and A. Aharony, Introduction to percolation theory, 2nd ed., Taylor and Francis, London 1994.
2. D.J. Bergman and D. Stroud, The physical properties of macroscopically inhomogeneous media, Solid State Physics 46, 148-270 (1992).
3. Сарычев А.К., Шалаев В.М. Электродинамика метаматериалов, М.: Научный мир, 2011.
4. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников, М.: Наука, 1979.
5. Климов В. Наноплазмоника, М.: Физматлит, 2010.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 5. Электродинамика сплошных сред. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003.
3. Eds. M.A. Noginov, G. Dewar, M.W. McCall, Tutorials in complex photonic Media, SPIE, Washington, 2009.
4. Eds. G.V. Eleftheriades, K.G. Balmain, Negative refraction metamaterials: fundamental principles and applications, Wiley, 2005.
5. W.S. Weiglhofer, A. Lakhtakia, Introduction to complex mediums for optics and electromagnetics, SPIE, Washington 2003.
6. B. Banerjee, An introduction to metamaterials and waves in composites, Taylor Francis, 2011.
7. T.J. Cui, D.R. Smith, R. Liu, Metamaterials: Theory, Design and Applications, Springer, NY, 2010.

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

Ссылки на ресурсы приведены в ООП.

### **6. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Институт располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебными планами аспирантов, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте построены уникальные установки для экспериментальных исследований.

Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской – для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

### **7. Образовательные технологии. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

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

### *Контрольные темы для проведения итогового контроля:*

1. История развития плазмоники. Основные положения, гипотезы принципы плазмоники.
2. Примеры перколяционных систем; что такое порог протекания.
3. Однопараметрическая ренормализационная группа; уравнение для определения порога протекания.
4. Как определяется корреляционная длина  $\xi$  в задаче о протекании.
5. Уравнение для определения критического индекса  $\nu$ .
6. Поведение эффективной проводимости перколяционной системы вблизи порога протекания; критический индекс  $t$ .
7. Расходимость эффективной диэлектрической проницаемости в перколяционных системах при приближении к порогу протекания; критический индекс  $s$ .
8. Оценка критических индексов  $t$  и  $s$  при помощи преобразований однопараметрической ренормализационной группы.
9. Скейлинговое уравнение для эффективной проводимости композитных перколяционных систем.
10. Методы компьютерного моделирования проводимости перколяционных систем.
11. Вывод формулы Дыхне для эффективной проводимости двумерной, двухкомпонентной пленки.
12. Модель свободных электронов; плазменная частота; диэлектрическая проницаемость металлов в оптической области частот;
13. Найти распределение электрического поля, дипольный момент и поляризуемость металлического и диэлектрического шаров, помещенных в высокочастотное электрическое поле; рассмотреть эффект сканирования.
14. Оценка плазмонной резонансной частоты и усиления внутреннего электрического поля для металлических частиц типа: вытянутый эллипсоид, диск.
15. Оценка внутреннего оптического электромагнитного поля в металл-диэлектрических композитах; Вычисление моментов локального поля.
16. Эффект гигантского комбинационного рассеяния в плазмонных системах.
17. Керровская нелинейность. Усиление оптической нелинейности в плазмонных системах.
18. Индуктивность и емкость на единицу длины тонкого проводящего провода (вытянутого эллипсоида). Уравнение для распространения волн заряда и тока вдоль провода.
19. Условие плазмонного резонанса в вытянутом металлическом эллипсоиде; распределение электрического и магнитного поля в условиях плазмонного



резонанса.

20. Уравнения для поверхностных электромагнитных волны в тонком проводящем проводе. Антенный (полуволновой) резонанс.

21. Диэлектрическая проницаемость композитного материала содержащего металлические иголки диспергированные в диэлектрической матрице. Особенности эффективной диэлектрической проницаемости вблизи порога протекания.

22. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости метаматериала с идеально проводящими иголками диспергированными в диэлектрической матрице вблизи частоты полуволнового резонанса. Физический смысл отрицательной диэлектрической проницаемости.

23. Удельная емкость и индуктивность в системе двух параллельных проводов. Возбуждение тока в системе параллельных проводов внешним магнитным полем.

24. Магнитная проницаемость метаматериала состоявшего из пар параллельных проводов. Частотная зависимость магнитной проницаемости вблизи частоты полуволнового резонанса. Физический смысл отрицательной магнитной проницаемости.

25. Распространение волн в двухпроводной линии. Постоянная распространения и характеристический импеданс. Двухпроводная линия нагруженная на сопротивление, емкость или индуктивность. Коэффициент отражения.

26. Магнитный резонанс в отрезке двухпроводной линии нагруженной на конденсатор.

27. Распространение волн в коаксиальном кабеле. Распространение волн в лестничных структурах, состоящих из индуктивностей и емкостей. Фазовая и групповая скорости распространения. Обратная волна.

28. Законы преломления света в метаматериалах с отрицательным показателем преломления. Явление сверхразрешения.

Зам.директора  
по научной работе ИТПЭ РАН



А.М. Мерзликин

Программу разработал



А.К. Сарычев

Ученый секретарь, заведующий  
аспирантурой ИТПЭ РАН



А.Т. Кунавин