

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:48:43

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Плазмоника и метаматериалы

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Квантовое материаловедение

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

51

курсовая работа 3

самостоятельная работа

66

часов на контроль

27

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	66	66	66	66
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*к.т.н., доцент, Башарин Алексей Андреевич*

Рабочая программа

**Плазмоника и метаматериалы**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-23-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра теоретической физики и квантовых технологий**

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

Руководитель подразделения Д.Ф.-м.н. профессор Мухин Сергей Иванович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – ознакомить студентов с основами плазмоники, фотоники и электродинамикой метаматериалов. Будут рассмотрены вопросы, связанные с электродинамикой метаматериалов, с теоретическими и экспериментальными методами исследования их характеристик.
1.2	Задачи дисциплины:
1.3	научить
1.4	Основам знаний необходимых для самостоятельного освоения современной научной литературы в области электродинамики метаматериалов и наносистем, плазмоники и фотоники.
1.5	Вычислять в простейших случаях электродинамические характеристики плазмонных систем, таких как субволновые волноводы, наночастицы, структуры, состоящие из веществ с отрицательными значениями диэлектрической и (или) магнитной проницаемости.
1.6	Основам теории рассеяния Ми, в том числе для плазмонных частиц.
1.7	Теории мультипольного разложения, в том числе с учетом тороидного дипольного момента.
1.8	Вычислять, используя формулы Френеля материальные параметры искусственных сред (диэлектрическую проницаемость, магнитную проницаемость, коэффициент преломления).
1.9	Технике электродинамического исследования метаматериалов в микроволновом диапазоне частот, используя: векторные анализаторы цепей Rohde&Schwarz для измерения S- параметров (коэффициентов прохождения/отражения), генераторы СВЧ сигналов, осциллографы, измерительные антенны.
1.10	Основам работы в компактной безэховой камере для измерения параметров высокочастотных метаматериалов.
1.11	Основам работы на криогенном оборудовании, предназначенном для исследования метаматериалов в сверхпроводящем состоянии.
1.12	Измерять ближние электромагнитные поля;
1.13	Связывать теоретические представления с экспериментальными данными.

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.07
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Квантовая физика твердого тела	
2.1.2	Квантово-механическое моделирование материалов	
2.1.3	Лабораторный практикум по квантовой фотонике и криптографии	
2.1.4	Методы исследования материалов	
2.1.5	Неравновесная квантовая механика одноэлектронных устройств	
2.1.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности. Научно-исследовательская практика	
2.1.7	Спектроскопические методы анализа материалов	
2.1.8	Технологии получения материалов	
2.1.9	Введение в современные квантовые технологии ч.1	
2.1.10	Нелинейная физика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики</b>
<b>Знать:</b>
ПК-1-31 фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач физики конденсированного состояния
<b>ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутые навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы</b>
<b>Знать:</b>

ОПК-2-31 фундаментальные свойства метаматериалов; физическую картину явлений, происходящих в метаматериалах;
<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-1-У1 проводить простые оценки и расчеты величин, характерных для рассматриваемых процессов и явлений
<b>ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 находить и получать необходимые данные об объекте исследования, осуществлять поиск литературы, критически использовать базы данных и другие источники информации, осуществлять моделирование объектов и процессов, а также исследовать применение новейших технологий
<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-1-В1 навыками качественного и количественного анализа фундаментальных свойств, явлений и процессов в метаматериалах
<b>ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 осуществлять моделирование объектов и процессов, исследовать применение новейших технологий

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
<b>Раздел 1. Введение</b>								
1.1	Основные уравнения электродинамики и основы оптики /Лек/	3	3	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Э1			
1.2	Материальные уравнения электродинамики /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Э1			
1.3	Рассеяние света малыми частицами /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Э1			
1.4	Освоение теоретического материала раздела 1. /Ср/	3	16	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.4Л3.1 Э1			
1.5	Формулы Френеля, расчет материальных параметров метаматериала. /Пр/	3	11	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4 Э1			
<b>Раздел 2. Плазмоника</b>								
2.1	Определение плазмона, плазмон-поляритона, дисперсионное уравнение плазмона, поверхностные волны /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Э1			
2.2	Рассеяние, излучение и взаимодействие света с плазмонными частицами и метаматериалами /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Э1			
2.3	Освоение теоретического материала раздела 2 /Ср/	3	16	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4Л3.1 Э1			

2.4	Уравнение плазмона и плазмон-поляритона /Пр/	3	8	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4 Э1			
<b>Раздел 3. Введение в сверхпроводящие метаматериалы и кубиты</b>								
3.1	Эффект Джозефсона. Квантовые метаматериалы и кубиты /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Л1.5 Э1			
3.2	Освоение теоретического материала раздела 3 /Ср/	3	16	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4 Л1.5Л2.1 Э1			
3.3	Расчет собственных частот кубита с переходом Джозефсона /Пр/	3	11	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4 Л1.5Л2.1Л3.1 Э1			
<b>Раздел 4. Методы экспериментального исследования метаматериалов</b>								
4.1	Измерение свойств метаматериалов в СВЧ диапазоне /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.2 Л1.4 Э1			
4.2	Измерение свойств метаматериалов в оптическом диапазоне /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1 Л1.4 Э1			
4.3	Выполнение курсовой работы /Ср/	3	18	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л3.1 Э1			Р1
4.4	Расчет материальных параметров метаматериалов /Пр/	3	4	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Э1			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
--------	-------------------------	------------------------------------	------------------------

КМ1	Вопросы к экзамену	ОПК-2-31;ПК-1-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Усиление эванисцентных волн в слое метаматериала.</li> <li>2. Плазмон-поляритоны на границе метаматериала и воздуха. Дисперсионные соотношения.</li> <li>3. Распространение электромагнитных волн в средах с отрицательной фазовой скоростью.</li> <li>4. Слабая пространственная дисперсия в метаматериалах.</li> <li>5. Плазмоны в нано-частицах.</li> <li>6. Метод мультипольного разложения.</li> <li>7. Тороидный дипольный момент.</li> <li>8. Эффект Ааронова-Бома.</li> <li>9. Теория гомогенизации и формулы смешения.</li> <li>10. Теория Ми.</li> <li>11. Решение Ми для диэлектрических нано-частиц. Искусственный магнетизм в диэлектрических композитах</li> <li>12. Фано-резонанс в метаматериалах.</li> <li>13. Нано-антенны.</li> <li>14. Плазмоны в тонких проводниках.</li> <li>15. SRR- резонаторы и искусственный магнетизм.</li> <li>16. Экспериментальное исследование метаматериалов. Микроволны. ТГц. Оптика.</li> <li>17. Поляритонные метаматериалы. Фонон- поляритоны.</li> <li>18. Практическое применение эффекта Джозефсона.СКВИД.</li> <li>19. Сверхпроводящие метаматериалы.</li> <li>20. Кубиты, двух-уровневые мета-атомы</li> </ol>
-----	--------------------	------------------	---

### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	курсовая работа	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Пример тем рефератов: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сверхпроводящие метаатомы</li> <li>2. Линзы со сверхразрешением</li> </ol>

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Форма экзамена - ответ на экзаменационный билет.

Пример экзаменационного билета

1. Слабая пространственная дисперсия в метаматериалах.
2. Поляритонные метаматериалы. Фонон- поляритоны.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

«Отлично»	Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает ответ на каждый теоретический вопрос, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер
«Хорошо»	Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы, однако ответ хотя бы на один из них не носит развернутого и исчерпывающего характера
«Удовлетворительно»	Обучающийся фрагментарно раскрывает содержание теоретических вопросов, допускает значительные неточности
«Неудовлетворительно»	Обучающийся не знает ответов на поставленные теоретические вопросы

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Королев Ф. А.	Спектроскопия высокой разрешающей силы: монография	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953
Л1.2	Муромцев Д. Ю., Белоусов О. А.	Техническая электродинамика: учебное пособие	Электронная библиотека	Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012
Л1.3	Борн М., Вольф Э., Мотулевич Г. П.	Основы оптики	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1973

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.4	Сивухин Д. В.	Общий курс физики: Т.4. Оптика: Учеб. пособие для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1985
Л1.5	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Джексон Д. Д., Воскресенский Г. В., Соловьев Л. С., Бурштейн Э. Л.	Классическая электродинамика	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1965

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А.	Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ и отчетов по практикам: метод. указания	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Плазмоника и метаматериалы	<a href="https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3aba3aea255f75485da97268c80a208af9%40thread.tacv2%25D0%259E%25D0%25B1%25D1%2589%25D0%25B8%25D0%25B9?groupId=a3082df5-5f41-4d81-a9f6-5c561fcae64e&amp;tenantId=21f92996-c72d-4b9f-b5a5-283c00b9eaa">https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3aba3aea255f75485da97268c80a208af9%40thread.tacv2%25D0%259E%25D0%25B1%25D1%2589%25D0%25B8%25D0%25B9?groupId=a3082df5-5f41-4d81-a9f6-5c561fcae64e&amp;tenantId=21f92996-c72d-4b9f-b5a5-283c00b9eaa</a>
----	----------------------------	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams
П.4	Python
П.5	ОС Linux (Ubuntu) / Windows
П.6	CAD/CAM

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.3	Иностраные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.6	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.7	— научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
----------------------	--	--

### **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Дисциплина относится к естественным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе.