

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Метаматериалы

по направлению подготовки

03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки:

Радиофизика, электроника и информационные системы

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

М.Л. Громов

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ПК-1 Способен проанализировать поставленную задачу в области радиофизики и электроники, осуществлять поиск, обобщение и использование научно-технической информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональной задачи.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.3 Применяет базовые знания в области физики и радиофизики при осуществлении профессиональной деятельности.

ИПК 1.1 Понимает требования, предъявляемые к исследуемому прибору, устройству или системе и ожидаемые результаты их использования.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат электродинамики электромагнитных метаматериалов и ознакомиться с современным состоянием и тенденциями развития методов управления электромагнитными полями в прикладных радиофизических исследованиях.

– Научиться применять понятийный аппарат электродинамики электромагнитных метаматериалов для постановки и решения практических задач в области распространения электромагнитных волн в сложных средах.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в Модуль «Радиоволновая томография».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Седьмой семестр, зачёт

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Физика», «Методы математической физики», «Электродинамика».

6. Язык реализации

Русский

7. Объём дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 з. е., 108 часов, из которых:

– лекции: 34 ч.

– в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объём самостоятельной работы студента определён учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Название. *Введение. Классификация метаматериалов*

Краткое содержание темы. *Электромагнитные метаматериалы: терминология, история возникновения, варианты формулировок. Уравнения Максвелла в сплошной среде. Линейные материальные уравнения общего вида. Классификация бианизотропных сред.*

Тема 2. Название. *Теоретические аспекты метаматериалов*

Краткое содержание темы. *Биизотропные среды (киральные, среды Теллегена). Виды систем материальных уравнений для биизотропных сред. Включения, создающие перекрёстную магнитоэлектрическую связь в эффективной среде. Изотропные эффективные среды. Диаграмма действительных материальных параметров «диэлектрическая проницаемость ϵ – магнитная проницаемость μ ». Комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости. Соотношения Крамерса–Кронига. Примеры изотропных сред. Искусственные диэлектрики и магнетики. Включения, обеспечивающие отрицательные значения проницаемостей. Эффективная проницаемость двухфазных композитов (формулы М. Гарнетта, Брюггемана и др.). Изотропные смеси в плазмонике. Прямые и обратные волны в «левых» и «правых» изотропных средах с потерями и усилением. Идентификатор типа волны. Законы Декарта и Снеллиуса в скалярной и векторной формах. Положительное и отрицательное преломление. Закон преломления и изорефрактивные поверхности волнового вектора. Геометрические доказательства принципа наименьшего времени Ферма для случаев положительного и отрицательного преломления. Плоская совершенная линза Веселаго–Пендри. Суперлинза. Гиперлинза. Линза с экраном. Антизеркало. Теорема об аннигиляции. Трансформационная и иллюзионная оптика. Электромагнитная маскировка объектов. Изотропные киральные среды и метакиральные среды: волновые числа и волновые сопротивления нормальных волн, эффекты преломления волн.*

Тема 3. Название. *Прикладные аспекты метаматериалов*

Краткое содержание темы. *Двумерные и трёхмерные структуры метаматериалов на основе линий передачи. Варианты реализации структур. Метаматериалы в волноводных и антенных приложениях. Вытекающие волны плоского слоя метаматериала. Метаповерхности. Фотонные кристаллы.*

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путём контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и выступлений в форме презентаций; фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачёт в седьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трёх частей. Продолжительность зачета – 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) Основная литература:

– Костин М.С. Электродинамика, радиоволновые процессы и технологии: учебное пособие / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 316 с. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836526> – Интерактивный доступ: **2** [Полный текст - ЭБС Знаниум](#), Номер доступа: tsu.znanium385210

– Семченко И.В. Электромагнитные волны в метаматериалах и спиральных структурах / И.В. Семченко, С.А. Хахомов. – Минск: Беларуская наука, 2019. – 279 с. – URL: [Семченко Хахомов Электромагнитные волны.pdf](#)

– Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник / А.Д. Григорьев. – 2-е изд. – СПб: Лань, 2016. – 704 с.

– Будагян И.Ф. Волновые процессы в материальных средах. Диэлектрические и мета материалы / И.Ф. Будагян, Г.Г. Щучкин. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2016. – 201 с. – URL: [Волновые процессы в материальных средах. Диэлектрические и мета материалы. Ирина Будагян, Григорий Щучкин \(glavkniga.su\) https://glavkniga.su/book/445260?from=bookler](#)

– Астапенко В.А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазманика и метаматериалы: учебное пособие / В.А. Астапенко. – Долгопрудный: ИД Интеллект, 2012. – 584 с. (ЭБ НБ ТГУ, Номер доступа: tsu.oai.libtsu.313672)

– Вольпян О.Д. Отрицательное преломление волн. Введение в физику и технологию электромагнитных метаматериалов / О.Д. Вольпян, А.И. Кузьмичёв. – Киев – М.: Аверс, 2012. – 360 с.

– Якубов В.П. Основы электродинамики излучения и его взаимодействия с веществом: учеб. пособие / В.П. Якубов, В.П. Беличенко, В.В. Фисанов. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – 292 с.

б) Дополнительная литература:

– Возианова А.В. Нанопотоника. Часть 1: учебное пособие / А.В. Возианова, М.К. Ходзицкий. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 93 с. – URL: [МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ \(window.edu.ru\) http://window.edu.ru/resource/953/80953/files/1483%5B1%5D.pdf](#)

– Банков С.Е. Электромагнитные кристаллы / С.Е. Банков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 352 с.

– Волны в магнитных метаматериалах с сильным взаимодействием между элементами. Супер-линза: специальный физический практикум / А.А. Радковская [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 44 с. – URL: [untitled \(magn.ru\) http://www.magn.ru/Rus/praki/prakMetamaterials.pdf](#)

в) Ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Журнал «Эксперт» – <http://www.expert.ru>

– Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ – www.gsk.ru

– Официальный сайт Всемирного банка – www.worldbank.org

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>

13. Перечень информационных технологий

а) Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т. п.).

б) Информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

– Научная электронная библиотека. – <https://elibrary.ru/>

в) Профессиональные базы данных:

– Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Рабочую программу разработал:

Фисанов Василий Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра радиофизики НИ ТГУ (корпус 11, комната 426), профессор кафедры.