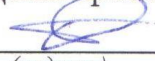


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

И.С. Огнев
(подпись)

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Электродинамика метаматериалов»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности
1.3.4 «Радиофизика»

Форма обучения очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины является освоение физических основ построения и использования метаматериалов в задачах радиофизики, радиотехники и связи.

2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам.

Дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими дисциплинами ОП. Для изучения дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета, бакалавриата, магистратуры в области электродинамики и распространения радиоволн.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- понятие и классификацию метаматериалов;
- модели двумерных и трёхмерных метаматериалов.

Уметь:

- отнести конкретный метаматериал к одному из классов метаматериалов;
- обоснованно выбирать параметры токопроводящих элементов и структуру метаматериала применительно к условиям задачи.

Владеть:

- навыками анализа свойств метаматериала по его структуре и свойствам компонентов.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Метаматериалы, их электродинамика	2	2			0,5	20	собеседование
2	Свойства метаматериалов и влияние на них различных факторов	2	1			0,5	15	собеседование
3	Применение метаматериалов	2	2			0,5	20	собеседование
4	Магнитные и оптические метаматериалы	2	1			0,5	50	собеседование
		2					4	зачет
	Всего		6			2	64	

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Метаматериалы, их электродинамика

Понятие и классификация метаматериалов. Деление по областям с различными знаками диэлектрической и магнитной проницаемостей. Уравнения для векторов поля. Хиральные материалы. Нелинейные метаматериалы. Эквивалентная схема элемента метаматериала, модель отрезка линии. Методы моделирования двумерных и трёхмерных метаматериалов.

Тема 2. Свойства метаматериалов и влияние на них различных факторов

Резонансный отклик составляющих метаматериалов. Эквивалентные диэлектрическая и магнитная проницаемости метаматериалов. Модели частотных свойств метаматериалов. Микроволновые метаматериалы. Токопроводящие элементы для них: отрезки проволоки, спирали, резонаторы на разрезных кольцах, другие структуры. Вектор Пойтинга волны в метаматериале. Преломление электромагнитных волн в левостороннем материале. Особенности черенковского излучения в метаматериалах. Свойства фазовой скорости в левостороннем метаматериале. Перестраиваемые метаматериалы. Компенсация потерь в метаматериалах.

Тема 3. Применение метаматериалов.

Обеспечение радиопрозрачности и радиопоглощающих средств метаматериалов. Уменьшение размеров антенн за счёт метаматериалов. Уменьшение взаимного влияния антенных элементов в антенных решётках. Укрывающие оболочки на метаматериалах. Уменьшение радиозаметности. Суперлинза Веселаго. Применение метаматериалов для обеспечения лучшей разрешающей способности.

Тема 4. Магнитные и оптические метаматериалы

Фотонные метаматериалы, фотонные кристаллы и частотно-селективные поверхности. Их частотные свойства и области применения. Плазмонные метаматериалы. Высокоимпедансные поверхности.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, практические занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Консультация – занятие, посвящённое консультациям по организации самостоятельной работы, ответам на вопросы студентов или разбору трудных тем.

Собеседование – устный опрос по материалам занятий.

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ: Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

а) Профессиональные базы данных:

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

б) Информационные справочные правовые системы:

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Елизаров, А. А. Микроволновые частотно-селективные устройства на резонансных отрезках электродинамических замедляющих систем и структурах с метаматериалами / А. А. Елизаров, А. С. Кухаренко. - 2-е изд. - Москва : Высшая школа экономики, 2020. - 330 с. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785759814078.html>. - Режим доступа : ЭБС "Консультант студента" по подписке ЯрГУ.

б) дополнительная литература:

2. Кившарь, Ю. С. Нелинейности в периодических структурах и метаматериалах / Под ред. проф. Ю. С. Кившаря, проф. Н. Н. Розанова - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2015. - 384 с. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115933.html>. - Режим доступа: ЭБС "Консультант студента" по подписке ЯрГУ.
3. Алексеенко А.Г. Графен. - М. : Лаборатория знаний, 2017. URL: - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785001014720.html>. - Режим доступа: ЭБС "Консультант студента" по подписке ЯрГУ.
4. Банков С. Е. Электромагнитные кристаллы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 352 с. <https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785922112727-SCN0002.html>. - Режим доступа: ЭБС "Консультант студента" по подписке ЯрГУ.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Электронная библиотека elibrary.ru.
3. А. Н. Лагарьков, В. Н. Кисель, А. К. Сарычев, В. Н. Семененко. Электрофизика и электродинамика метаматериалов // *TBT*, **48:6** (2010), 1031–1048; *High Temperature*, **48:6** (2010), 983–999. <https://www.mathnet.ru/links/404cc376ff64b7c1b87ec66547d5e887/tvt892.pdf> (открытый доступ)
4. Горлач М.А., Савельев Р.С., Конспект лекций по «Электродинамике метаматериалов» (Lecture notes on “Electrodynamics of Metamaterials”) – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 108 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2652.pdf> (открытый доступ)

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Автор:

Доцент кафедры ИИРС, к.ф.-м.н., доц.

Т. К. Артёмова

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Электродинамика метаматериалов»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Список вопросов к собеседованию

Собеседование проводится по вопросам к зачёту.

2. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Понятие и классификация метаматериалов.
2. Уравнения для векторов поля для обычных и метаматериалов.
3. Эквивалентная схема элемента метаматериала, модель отрезка линии.
4. Методы моделирования двумерных и трёхмерных метаматериалов.
5. Токопроводящие элементы для микроволновых метаматериалов: отрезки проволоки, спирали, резонаторы на разрезных кольцах, другие структуры.
6. Резонансный отклик составляющих метаматериалов.
7. Преломление электромагнитных волн в левостороннем материале.
8. Обеспечение радиопрозрачности за счёт метаматериалов.
9. Радиопоглощающие средства метаматериалов.
10. Уменьшение размеров антенн за счёт метаматериалов.
11. Уменьшение взаимного влияния антенных элементов в антенных решётках.
12. Укрывающие оболочки на метаматериалах.
13. Уменьшение радиозаметности объектов с помощью метаматериалов.
14. Суперлинза Веселаго.
15. Применение метаматериалов для обеспечения лучшей разрешающей способности.
16. Фотонные метаматериалы, фотонные кристаллы и частотно-селективные поверхности. Их частотные свойства и области применения.

3. Критерии выставления оценки

По окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если ответ на вопрос в ходе зачёта соответствует как минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания ответов на вопросы).

Если же ответы на вопросы имеют уровень ниже порогового, выставляется оценка «незачтено».

Критерии оценивания ответов на вопросы к зачету

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос билета раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные
Владение методологией	Упомянуты наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
Критический анализ существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.