

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Математические модели теории дифракции электромагнитных волн

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Информационные системы и технологии

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Математические модели теории дифракции электромагнитных волн относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|--|--|------------------------------------|------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-5: Способен использовать современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий | <p>ПК-5.1: Знает базовое оборудование и принципы его работы в информационных системах различных частотных диапазонов</p> <p>ПК-5.2: Знает основные принципы автоматизации и компьютеризации процессов сбора и обработки физической информации</p> <p>ПК-5.3: Умеет измерять основные физические величины, указывая погрешности измерений</p> <p>ПК-5.4: Умеет обрабатывать полученные в ходе эксперимента данные с использованием современных информационных технологий; проводить численные расчеты физических величин при обработке экспериментальных результатов</p> <p>ПК-5.5: Имеет практические навыки работы с измерительными приборами - осциллографическими, оптическими, спектральными, устройствами ввода/вывода данных</p> | <p>ПК-5.1: Знает современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>ПК-5.2: Знает современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</p> <p>ПК-5.3: Умеет выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p> <p>ПК-5.4: Умеет анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</p> <p>ПК-5.5: Владеет навыками</p> | Задания | Зачёт: Тест |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | <p>ПК-5.6: Имеет практические навыки эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> <p>ПК-5.7: Имеет практические навыки работы с вычислительной техникой на уровне применения в экспериментальных исследованиях</p> | <p>планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-5.6: Владеет навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-5.7: Владеет навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|--|--------------|--|--|--------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | 0 ф | 0 ф | 0 ф | 0 ф | 0 ф |

| | | | | | |
|--|----|----|---|----|----|
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Введение | 7 | 4 | | 4 | 3 |
| Некоторые общие положения теории дифракции. | 6 | 2 | | 2 | 4 |
| Рассеяние на малых объектах. Квазистатическое приближение. | 18 | 8 | | 8 | 10 |
| Дифракция на больших объектах. Квазиоптические приближения. | 14 | 6 | | 6 | 8 |
| Произвольные объекты. Строгие и численные решения. | 14 | 6 | | 6 | 8 |
| Некоторые вопросы теории дифракции в плавно неоднородных средах | 8 | 4 | | 4 | 4 |
| Заключение. Актуальные проблемы теории дифракции электромагнитных волн | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 72 | 32 | 0 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Некоторые общие положения теории дифракции

1.1. Собственно дифракция или дифракция в узком смысле. Две концепции: Гюйгенса-Френеля и Юнга; их разбор и сравнение друг с другом. Дифракция плоской волны на прямоугольной щели.

Электромагнитный волновой пучок. Зоны дифракции: прожекторная, Френеля, Фраунгофера, диффузионная.

1.2. Метод геометрической оптики. Временной (и – медленные функции времени) и частотный (импульсы в диспергирующей среде) аналоги. Замечание о существенном раздвижении рамок геометрической оптики с помощью метода эталонных функций, метода Маслова и т.п., а также введения комплексных и дифракционных лучей. Поле вблизи простой каустики.

1.3. Дифракция в широком смысле. Классификация дифракционных задач. 1.4. Некоторые практические приложения. Радиолокация (коэффициент передачи, поперечное сечение рассеяния, дальность действия, разрешение, обзор пространства), диагностика, ускорение, локализация плазменных образований, самосжатие поля и т.п.

Раздел 2. Рассеяние на малых объектах. Квазистатическое приближение

2.1. Общая идеология. Решение статических задач для металлических и диэлектрических (в частности, плазменных) объектов. Плазменный резонанс. Радиационные потери. Магнитные аналоги - ферритовые объекты.

2.2. Методика расчета сечения рассеяния металлических объектов сложной формы.

2.3. Рассеяние на системах частиц. Рассеивающие среды. Сильно рассеивающие среды и их описание с помощью уравнения переноса. Понятие индикатриссы рассеяния и тела яркости.

Раздел 3. Дифракция на больших объектах. Квазиоптические приближения

3.1. Метод геометрической оптики и его обсуждение. Метод физической оптики и границы его применимости. Выражения для сечений рассеяния разных объектов в приближении физической оптики.

3.2. Геометрическая теория дифракции Келлера. Дифракционные лучи. Дифракционные коэффициенты. Постоянные затухания поля дифракционных поверхностных лучей. Эталонные задачи. "Модовый" подход. Пример: плазменный цилиндр. Трудности теории Келлера.

3.3. Физическая теория дифракции. Равномерная и неравномерная части тока. Затекающие токи и поле в области перехода от света к тени.

3.4. Замечание о возможности применения метода поперечной диффузии к решению дифракционных

задач. Сопоставление различных методов и подходов.

Раздел 4. Произвольные объекты. Строгие и численные решения

4.1. Общие представления о существующих строгих методах.

4.2. Метод разделения переменных. Его возможности и трудности. Примеры задач, решенных этим методом, и задач, в которых он встречается с трудностями. Задача о дифракции плоской электромагнитной волны на диэлектрическом шаре и цилиндре.

4.3. Некоторые общие замечания о численных методах решения дифракционных задач.

Раздел 5. Некоторые вопросы теории дифракции в плавно неоднородных средах

Функция Грина: равномерные и неравномерные асимптотические представления. Область применимости для функции Грина геометрического приближения. Область применимости для функции Грина акустического приближения. Распространение широких волновых пучков; учет абберационных искажений.

Раздел 6. Заключение.

Актуальные проблемы теории дифракции электромагнитных волн.

Практические занятия / лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. - 440 с.
2. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. - Основы теории дифракции. - М.: Наука, 1982. - 272 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

Задание 1. На языке программирования Matlab или Java написать программу, рассчитывающую в приближении Кирхгофа поля в дальней зоне, при излучении поля данной моды из конца волновода. Программа должна давать возможность рассчитывать волны как ТЕ, так и ТМ поляризации.

Задание 2. На языке программирования Matlab или Java написать программу, рассчитывающую поле, рассеиваемое диэлектрическим шариком радиуса 2 см (3, 4 см), образованного изотропной средой с

диэлектрической проницаемостью 10 (изотропной плазмой с проницаемостью -3, или замагниченной плазмой с диагональными элементами тензора диэлектрической проницаемости -3, -10 и недиагональным -2). Использовать для расчёта теорию Ми.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты. |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|--|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|--|--|--|--|---|
| | | | | с недочетами | | выполнены все задания в полном объеме | |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|------------|----------------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-5

| | | |
|---|---|---|
| 1. Дифракция Френеля рассматривает поля в промежуточной области и в своём описании опирается на параболическое уравнение вида | а) $\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - 2ik \frac{\partial W}{\partial z} = 0$ б) $\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 0$ в) $\Delta W = 0$ | г) $\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - 2ik \frac{\partial W}{\partial z} = 0$ д) $\frac{\partial W}{\partial z} - \frac{i}{2k} (\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2})$ е) $\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - 2ik \frac{\partial W}{\partial z}$ |
| 2. Уравнение <u>эйконала</u> и лучевой вектор | а) $(\nabla \psi)^2 = n$ $s = \frac{\nabla \psi}{n}, s = 1$ б) $(\nabla \psi)^2 = \mu$ $s = \frac{\nabla \psi}{\mu}, s = 1$ в) $(\nabla \psi)^2 = n$ $s = \frac{\nabla \psi}{n}, s = 1$ | г) $(\nabla \psi)^2 = \varepsilon \mu$ $s = \frac{\nabla \psi}{n}, s = 1$ д) $(\nabla \psi)^2 = \varepsilon \mu$ $s = \frac{\nabla \psi}{n \varepsilon \mu}, s = 1$ е) $(\nabla \psi)^2 = \varepsilon \mu$ $s = \nabla \psi, s = 1$ |

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки, при решении стандартных задач с некоторыми недочетами |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.

Дополнительная литература:

1. Ваганов Роальд Борисович. Основы теории дифракции / АН СССР, Моск. физ. -техн. ин-т. - М. : Наука, 1982. - 272 с. : ил. - (Современные физико-технические проблемы). - 2.50., 20 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.);

3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):
<http://e.lanbook.com/>;
<http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Еськин Василий Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Гавриленко Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.