

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 от  
«31» мая 2023 года, № 6

## **Рабочая программа дисциплины**

**Теория 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»**

---

Квалификация (степень)  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород

2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория дифракции электромагнитных волн» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» на радиофизическом факультете ННГУ.

Дисциплина изучается на 4-ом году обучения в бакалавриате, в 7-ом семестре. Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, которые должны иметь студенты радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах по общим курсам физики, классической электродинамики, математического анализа, дифференциальных уравнений, аналитической геометрии и высшей алгебры, векторного и тензорного анализа. Освоение дисциплины «Теория дифракции электромагнитных волн» является необходимым базовым образованием для изучения дисциплин «Взаимодействие электронных потоков с электромагнитными полями», «Методы радиофизических измерений» из профессионального цикла ОПОП ВПО.

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов представления о совокупности основных физических принципов, закономерностей и методов исследования, составляющих фундамент современной физики;
- развитие знаний об основных методах теории дифракции электромагнитных волн.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (Код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>Профессиональные компетенции (ПК)</b>	
ПК-5  Способность использовать современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий.  (этап освоения - заключительный)	Знать: основные физические принципы и методы теории дифракции, закономерности и методы исследования электромагнитного поля
	Уметь: использовать современные инструментальные и вычислительные средства для решения задач теории дифракции

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа – занятия лекционного типа, в том числе 1 час - мероприятия текущего контроля успеваемости, и 1 час

- мероприятия промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)			В том числе												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них														
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Типичного Занятия			Семинарского Занятия			Лабораторного Занятия			Всего					
Введение	5		2									2			3			
Некоторые общие положения теории дифракции.	4		2									2			2			
Рассеяние на малых объектах. Квазистатическое приближение.	16		6									6			10			
Дифракция на больших объектах. Квазиоптические приближения.	12		6									6			6			
Произвольные объекты. Строгие и численные решения.	16		6									6			10			
Некоторые вопросы теории дифракции в плавно неоднородных средах	12		6									6			6			
Заключение. Актуальные проблемы теории дифракции электромагнитных волн	6		4									4			2			
В т.ч.текущий контроль	1		1					2				1			-			
Промежуточная аттестация - Зачет																		

## **Содержание разделов 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 ( $\epsilon$  и  $\mu$  – 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 геометрооптического приближения. Область применимости для функции Грина прикаустического приближения. Распространение широких волновых пучков; учет абберрационных искажений.

### **Раздел 6. Заключение. Актуальные проблемы теории дифракции электромагнитных волн**

#### **4. Образовательные технологии**

Для реализации компетентного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.
3. Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Постановка прямой задачи теории антенн.
2. Приближенные методы расчета поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре (основные уравнения и приближения).
3. Ближняя зона, волновая зона и дальняя зона антенны (определения, оценки, интерпретация).
4. Диаграмма направленности антенны.
5. Интегральные характеристики антенны: коэффициент направленного действия, добротность, эффективная апертура.
6. Постановка обратной задачи теории антенн.
7. Необходимые условия существования точного решения: математические и физические аспекты.
8. Точные методы синтеза линейного излучателя в однородной среде: метод парциальных диаграмм, метод интеграла Фурье, их взаимосвязь.
9. Постановка задачи приближенного синтеза антенн. Критерий качества решения.
10. Метод приближенного синтеза на основе полиномиальной аппроксимации. Физические ограничения на реализуемость приближенного решения.
11. Явление сверхнаправленности: математические и физические аспекты.
12. Метод регуляризации сверхнаправленных решений задачи синтеза. Функции двойной ортогональности.
13. Постановки задач синтеза антенн с оптимальными параметрами.
14. Уравнения синтеза антенн в многомодовых волноводах. Аналогии с задачей синтеза в свободном пространстве.
15. Классификация задач статистической теории антенн. Основные эффекты влияния статистических свойств амплитудно-фазового распределения антенны на характеристики направленности.
16. Постановки обратной задачи статистической теории антенн. Влияние статистических свойств антенны на регуляризацию сверхнаправленных решений задачи синтеза.

#### **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-5: способность использовать современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий (*этап освоения – заключительный*)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u> Знать: основные физические принципы и методы теории дифракции, закономерности и методы исследования электромагнитного поля	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u> Уметь: использовать современные инструментальные и вычислительные средства для решения задач теории дифракции	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 30 %	30 – 100 %

6.2. В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Шкала оценивания имеет два значения: зачет, не зачет.

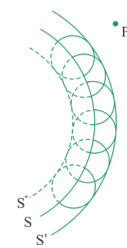
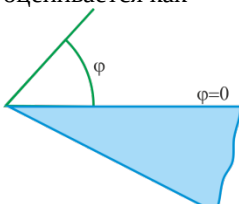
6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций:

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется тестирование.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Пример экзаменационного билета:

Выбрать правильный вариант ответа.

<p>1. Дифракция Френеля рассматривает поля в промежуточной области и в своём описании опирается на параболическое уравнение вида</p>	<p>а) <math>\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</math></p> <p>б) <math>\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 0</math></p> <p>в) <math>\Delta W = 0</math></p> <p>г) <math>\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - 2ik \frac{\partial W}{\partial z} = 0</math></p> <p>д) <math>\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = -\frac{i}{2k} \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}</math></p> <p>е) <math>\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 2ik \frac{\partial W}{\partial z}</math></p>
<p>2. Принцип Гюйгенса:</p> <p>Каждая точка волновой поверхности S в момент времени t, до которой дошла волна, является источником, излучающим элементарную</p> 	<p>а) сферическую волну</p> <p>б) цилиндрическую волну</p> <p>в) плоскую волну</p> <p>г) гиперболическую волну</p> <p>д) параболическую волну</p> <p>е) другое</p>
<p>3. В зависимости от параметра Френеля различают 3 области дифракции:</p> <p>1. Геометрооптическая область, или прожекторная <math>p \ll 1</math></p> <p>2. Область дифракции Френеля <math>p \sim 1</math></p> <p>3. Область дифракции Фраунгофера <math>p \gg 1</math></p> <p>Здесь <math>p</math></p>	<p>а) <math>p = \frac{\sqrt{\lambda a}}{z}</math></p> <p>б) <math>p = \frac{\sqrt{za}}{\lambda}</math></p> <p>в) <math>p = \frac{\sqrt{a}}{\lambda z}</math></p> <p>г) <math>p = \frac{a}{\sqrt{\lambda z}}</math></p> <p>д) <math>p = \frac{\lambda z}{a^2}</math></p> <p>е) <math>p = \frac{\sqrt{\lambda z}}{a}</math></p>
<p>4. Уравнение эйконала и лучевой вектор</p>	<p>а) <math>(\nabla \psi)^2 = n</math></p> <p>б) <math>(\nabla \psi)^2 = \mu</math></p> <p>в) <math>(\nabla \psi)^2 = n</math></p> <p>г) <math>(\nabla \psi)^2 = \epsilon \mu</math></p> <p>д) <math>(\nabla \psi)^2 = \epsilon \mu</math></p> <p>е) <math>(\nabla \psi)^2 = \epsilon \mu</math></p> <p>а) <math>s = \frac{\nabla \psi}{\epsilon},  s  = 1</math></p> <p>б) <math>s = \frac{\nabla \psi}{\epsilon},  s  = 1</math></p> <p>в) <math>s = \frac{\nabla \psi}{n},  s  = 1</math></p> <p>г) <math>s = \frac{\nabla \psi}{n},  s  = 1</math></p> <p>д) <math>s = \frac{\nabla \psi}{n \epsilon \mu},  s  = 1</math></p> <p>е) <math>s = \nabla \psi,  s  = 1</math></p>
<p>5. Если угол раствора ребра – прямой, то продольная компонента поля вблизи ребра оценивается как</p> 	<p>а) <math>\sim r</math></p> <p>б) <math>\sim \sqrt{r}</math></p> <p>в) <math>\sim 1/\sqrt{r}</math></p> <p>г) <math>\sim r^2</math></p> <p>д) <math>\sim r^{-2}</math></p> <p>е) <math>\sim r^{1/2}</math></p>

6. При выходе волноводной моды из конца волновода с частотой близкой к её критической частоте постоянная распространения и коэффициент её отражения ведут себя:	а) $h_{\text{кр}} R = -1$ б) $h_{\text{кр}} R = 1$ в) $h_{\text{кр}} R = 0$	г) $h_{\text{кр}} R = -1$ д) $h_{\text{кр}} R = 1$ е) $h_{\text{кр}} R = 0$
7. Квазистационарный резонанс электрически малого диэлектрического шарика достигается когда	а) $\varepsilon = 2$ б) $\varepsilon = 1$ в) $\varepsilon = 0$	г) $\varepsilon = -1$ д) $\varepsilon = -2$ е) $\varepsilon = -3$

### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Теория дифракции электромагнитных волн».

а) основная литература:

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.](#)

б) дополнительная литература:

1. [Боровиков В. А., Кинбер Б. Е. - Геометрическая теория дифракции. - М.: Связь, 1978. - 247 с.\(4\)](#)
2. [Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. - Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.\(1\)](#)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», квалификация - бакалавр.

Автор программы \_\_\_\_\_ Еськин В.А.



Рецензент \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от 25 мая 2023, протокол № 04/23.