

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный универ-
ситет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета
ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

«Волны в хаотически неоднородных средах»

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.03 «Радиофизика»

Направленность образовательной программы
«Радиофизика и электроника»

Квалификация (степень)
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Волны в хаотически неоднородных средах» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Дисциплина изучается на четвертом курсе бакалавриата, в 8-ом семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения модулей «Общая физика» (дисциплин «Электричество и магнетизм», «Оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Векторный и тензорный анализ»), модуля «Методы математической физики» из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Электродинамика» и «Прикладная электродинамика» из базовой части профессионального цикла.

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов представления о современных методах решения задач однократного и многократного рассеяния волн в хаотически неоднородных средах и об основных статистических свойствах случайных волновых полей.

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

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**	
ПК-1. Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1. Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2. Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	Знать: основы решения стандартных задач теории волн в хаотических средах. Уметь: использовать современные методы и информационно-коммуникационные технологии	<i>Задача, собеседование</i>

		и с учетом основных требований информационно й безопасности для решения профессиональн ых задач в области теории волн в хаотических средах.	
ПК-2. Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов. ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи. ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.	Знать возможности современных образовательны х и информационны х технологий для приобретения знаний в области теории волн в хаотических средах.	Задача, собеседо-вание

3. Структура и содержание дисциплины «Волны в хаотически неоднородных средах»

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 23 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (в том числе 22 часа – занятия семинарского типа, 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и	Всего	В том числе
----------------	-------	-------------

краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	(часы)			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Консультации			Всего		
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная
1 Введение.	3						1									1		2
2 Математическое введение.	10						3									3		7
3 Однократное рассеяние электромагнитных волн.	13						4									4		9
4 Исследование многократного малоуглового рассеяния в приближении геометрической оптики.	13						4									4		9
5 Дифракционная теория многократного малоуглового рассеяния.	12						5									5		9
6 Теория сильных флуктуаций амплитуды волны в среде с плавными неоднородностями.	9						2									2		7
7 Дифракция флуктуирующего излучения.	10						3											6
В т.ч.текущий контроль	1						1									1		
Промежуточная аттестация: зачёт																		

Содержание разделов дисциплины

1 Введение. Предмет и структура курса. Примеры хаотически неоднородных сред и флуктуационных волновых процессов. Связь с курсами статистической радиофизики и теории волновых процессов.
2 Математическое введение. Случайные процессы. Функция распределения. Корреляционная теория. Статистически стационарные процессы и процессы со стационарными приращениями. Спектральные разложения. Статистически однородные и изотропные случайные поля. Трехмерные и двумерные спектры. Пространственно-временные случайные поля и их спектральные разложения.
3 Однократное рассеяние электромагнитных волн. Метод возмущений (борновское приближение). Однократно рассеянное на ограниченном объеме случайно неоднородной среды поле в волновой зоне. Средняя интенсивность рассеяния в зоне Фраунгофера по отношению к отдельным неоднородностям среды. Поперечник рассеяния. Частотный спектр рассеянного поля. Особенности рассеяния для различных моделей турбулентных сред. Ряд по кратности рассеяния. Условия применимости приближения однократного рассеяния.
4 Исследование многократного малоуглового рассеяния в приближении геометрической оптики. Основные уравнения геометрической оптики. Решение их методом возмущений при малых флуктуациях параметров среды. Корреляционные свойства флуктуаций фазы и угла прихода плоской волны. Флуктуации уровня. Примеры расчета для колмогоровской турбулентности. Угловой спектр мощности волны. Условия применимости метода возмущений для решения уравнений геометрической оптики.
5 Дифракционная теория многократного малоуглового рассеяния. Расчет флуктуаций фазы и амплитуды плоской волны в приближении метода плавных возмущений. Связь с приближением геометрической оптики. Корреляционные свойства фазы и уровня волны в турбулентной среде со степенным спектром неоднородностей.
6 Теория сильных флуктуаций амплитуды волны в среде с плавными неоднородностями. Параболическое уравнение и условия его применимости для описания волновых полей. Решение уравнения для среднего поля волны локальным методом Чернова. Обзор других методов расчета при немалых флуктуациях амплитуды.
7 Дифракция флуктуирующего излучения. Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране. Случаи мелкомасштабных и крупномасштабных неоднородностей поля за экраном. Фазовый хаотический экран. Слабые и сильные флуктуации фазы поля за экраном. Корреляционные свойства случайной волны, прошедшей через отверстие в экране. Случаи малого и большого отверстия. Теорема Ван-Циттерта-Цернике.

4. Образовательные технологии

Для реализации компетентностного 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. Виды самостоятельной работы:

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде вопросов и заданий.

2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия;

- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости;

- список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1.Однократно рассеянное на ограниченном объеме хаотической среды поле.
2. Средняя интенсивность рассеяния в зоне Фраунгофера.
3. Сечение однократного рассеяния.
4.Частотный спектр рассеянного поля.
5.Условия применимости приближения однократного рассеяния.
6.Дисперсия флуктуаций фазы волны в приближении геометрической оптики.
7.Дисперсия флуктуаций единичного вектора волновой нормали.
8.Спектральное представление дисперсии угла прихода волны (для степенного спектра турбулентности).
9.Структурная функция фазы.
10.Корреляционная функция фазы.
11.Дисперсия флуктуаций уровня волны.
12.Корреляционная функция уровня.

13.Угловой (пространственный) спектр мощности волны.
14.Условия применимости метода возмущений при решении уравнений геометрической оптики.
15.Комплексная фаза волны в первом приближении метода плавных возмущений (МПВ).
16.Дисперсия фазы волны в МПВ.
17.Дисперсия уровня волны в МПВ.
18.Корреляционная функция уровня волны в дифракционной зоне.
19.Среднее поле волны при сильных флуктуациях амплитуды.
20.Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране с мелкими неоднородностями.
21.Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране с крупными неоднородностями.
22.Модель фазового хаотического экрана.
23.Прохождение случайного поля через большое отверстие в непрозрачном экране.

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-2: способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – завершающий)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u>	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u>	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи,

	ния. Имели место грубые ошибки.	возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 30 %	30 – 100 %

ПК-1: способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (этап освоения - завершающий)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u>	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u>	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. Описание шкал оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов применяется двузначная шкала оценивания, которая имеет следующие 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 используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить части из двух разделов содержания дисциплины.

6.4 Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенций:

Пример экзаменационного билета:

Вопрос 1. Поле однократного рассеяния.

Вопрос 2. Модель фазового хаотического экрана..

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, 2023. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: 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 «Волны в хаотически неоднородных средах».

а) основная литература:

1. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. М. Наука, 1978, 464 стр.
2. Гавриленко В.Г. Современные методы расчета спектральных и энергетических характеристик волн в турбулентных средах. (Учебное пособие), Н. Новгород, 1989, 106 стр.
3. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах, 1980

б) дополнительная литература:

1. Исимару И.А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М. Мир, 1981, 598 стр.
2. Гавриленко В.Г., Джандиери Г.В. Рассеяние и излучение волн в хаотически нестационарных средах. Тбилиси-Батуми, 1999, 196 стр.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):
<http://e.lanbook.com/>; <http://www.biblioclub.ru>.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом Высшего Профессионального Образования с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика», квалификация - бакалавр.

Автор _____ Гавриленко В.Г.

Рецензент _____ Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой _____ Гавриленко В.Г.

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