

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

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

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.04 Волны в хаотически неоднородных средах 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-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	<p>ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры</p> <p>ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу</p>	<p>ПК-1.1: Знать: основы решения стандартных задач теории волн в хаотических средах.</p> <p>ПК-1.2: Уметь: использовать современные методы и информационно-коммуникационных технологии и с учетом основных требований информационной безопасности для решения профессиональных задач в области теории волн в хаотических средах.</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	<p>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</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Анализирует полученные данные,</p>	<p>ПК-2.1: Знать возможности современных образовательных и информационных технологий для приобретения знаний в области теории волн в хаотических средах.</p> <p>ПК-2.2: Знать возможности современных образовательных и информационных технологий для приобретения знаний в области теории волн в хаотических средах.</p> <p>ПК-2.3:</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	Знать возможности современных образовательных и информационных технологий для приобретения знаний в области теории волн в хаотических средах.		
--	---	---	--	--

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	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	22
- КСР	1
самостоятельная работа	49
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			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
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.	14		5	5	9
6 Теория сильных флуктуаций амплитуды волны в среде с плавными неоднородностями.	9		2	2	7

7 Дифракция флуктуирующего излучения.	9		3	3	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	22	23	49

Содержание разделов и тем 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.

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. 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;

- подготовка по списку вопросов для проведения промежуточной аттестации.

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Совпадают с контрольными вопросами промежуточной аттестации

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Совпадают с контрольными вопросами промежуточной аттестации

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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 с недочетами	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 отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<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 некоторыми и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

- 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.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

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

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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

Основная литература:

1. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. Ч. 2. Случайные поля / под общ. ред. С. М. Рытова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1978. - 463 с. : ил. - 1.30., 137 экз.
2. Кляцкин Валерий Исаакович. Стохастические уравнения и волны в случайно неоднородных средах. - М. : Наука, 1980. - 336 с. : ил. - 3.80., 19 экз.
3. Гавриленко Владимир Георгиевич. Современные методы расчета спектральных и энергетических характеристик волн в турбулентных средах : учеб. пособие / ГГУ им. Н. И. Лобачевского. - Горький, 1989. - 79 с. - б/ц., 11 экз.

Дополнительная литература:

1. Исимару Акира. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах : [в 2 т.]. Т. 1. Однократное рассеяние и теория переноса / пер. с англ. Л. А. Апресяна. - М. : Мир, 1981. - 280 с. : ил. - 2.60., 4 экз.
2. Исимару Акира. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах : [в 2 т.]. Т. 2. Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование / пер. с англ. Л. А. Апресяна. - М. : Мир, 1981. - 317 с. : ил. - 2.70., 4 экз.
3. Гавриленко Владимир Георгиевич. Рассеяние и излучение волн в хаотически нестационарных средах / [ред. Ж. М. Диасамидзе ; Батум. гос. ун-т]. - Тбилиси ; Батуми : Интеллект, 1999. - 195 с. - 20.00., 3 экз.

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

-

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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

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

Рецензент(ы): Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.