

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  
президиумом  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Случайные поля и волны**

(наименование дисциплины (модуля))

### **Уровень высшего образования**

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

### **Направление подготовки / специальность**

03.04.03. Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

### **Направленность образовательной программы**

Магистерская программа «Нелинейные колебания и волны»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

### **Квалификация (степень)**

Магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

### **Форма обучения**

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Случайные поля и волны» (Б1.В.ДВ.03) относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ и предусмотрена для освоения на первом году обучения в магистратуре, во 2 семестре.

**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 компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-3</i>	З1 (ОПК-3) Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области исследования случайных полей и волн  У1 (ОПК-3) Уметь свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач в области исследования случайных полей и волн  В1 (ОПК-3) Владеть базовыми навыками решения задач в области исследования случайных полей и волн
<i>ПК-1</i>	З1 (ПК-1) Знать современное состояние исследований в области исследования случайных полей и волн  У1 (ПК-1) Уметь понимать и анализировать современные проблемы и новейшие достижения в области исследования случайных полей и волн

## 3. Структура и содержание дисциплины «Случайные поля и волны»

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34

часа – занятия лекционного типа, 1 час – мероприятия по промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	В том числе														
	Всего (часы)			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них											
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего		
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
<b>1. Случайные процессы.</b> Функция распределения. Корреляционная теория. Статистически стационарные процессы и процессы со стационарными приращениями. Спектральные разложения.	4			2									2		
<b>2. Случайные поля.</b> Статистически однородные и изотропные случайные поля. Трехмерные и двумерные пространственные спектры.	2			1									1		
<b>3. Пространственно-временные случайные поля.</b> Пространственно-временное спектральное разложение. Случай «замороженной» турбулентности.	2			1									1		
<b>2. Метод возмущений.</b> Однократно рассеянное на ограниченном объеме случайно неоднородной среды поле в волновой зоне. Средняя интенсивность рассеяния в зоне Фраунгофера по отношению к отдельным неоднородностям среды. Сечение рассеяния	8			4									4		
<b>5. Частотный спектр рассеянного поля</b>  Особенности рассеяния для различных моделей	4			2									2		

турбулентных сред.																		
<b>6. Ряд по кратности рассеяния.</b>  Коэффициент экстинкции. Затухание исходной волны. Условия применимости приближения однократного рассеяния.	4			2									2			2		
<b>7. Уравнение эйконала. Фазовые характеристики.</b> Уравнения переноса для фазы и единичного вектора волновой нормали. Их решения методом возмущений при малых флуктуациях параметров среды. Корреляционные свойства флуктуаций фазы и угла прихода плоской волны.	4			2									2			2		
<b>8. Амплитудные характеристики.</b> Флуктуации уровня плоской волны. Примеры расчета для колмогоровской турбулентности.	4			2									2			2		
<b>9. Угловой спектр мощности волны.</b> Расчет пространственного и углового спектра плоской волны при слабых и сильных флуктуациях фазы.	4			2									2			2		
<b>10. Границы применимости метода геометрической оптики.</b> Условия применимости метода возмущений для решения уравнений геометрической оптики.	2			1									1			1		
<b>11. Метод плавных возмущений.</b> 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.	18			8									8			10		
<b>12. Параболическое уравнение.</b> Обоснование условий применимости параболического уравнения для описания волновых полей	2			1									1			1		

в хаотических средах.																		
<b>13. Локальный метод Чернова.</b> Решение уравнения для среднего поля волны. Обзор других методов расчета при немалых флуктуациях амплитуды.	4			2									2			2		
<b>14. Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране.</b> 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.	4			2									2			2		
<b>15. Корреляционные свойства случайной волны, прошедшей через отверстие в экране.</b> Случаи малого и большого отверстия. Теорема Ван-Циттерта-Цернике.	4			2									2			2		
<b>В т.ч.текущий контроль</b>	1																	
Промежуточная аттестация – <b>зачёт</b>																		

#### 4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса «Случайные поля и волны» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций) и самостоятельная работа студента.

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

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении зачёта по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Список вопросов для контроля самостоятельной работы обучающегося и 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 (модулю)**

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 приведен в Приложении 1.

6.2. Для оценки окончательных результатов обучения студентов в соответствии с учебным планом подготовки применяется одна из традиционных форм аттестации – зачёт. Шкала оценивания имеет два значения: зачет, не зачет.

6.3. Оценка «Не зачтено» ставится при отсутствии ответа на вопрос, грубых ошибках при ответе (непонимании сути вопроса), отсутствии решения задачи, неумении использовать указания преподавателя для получения решения, грубых ошибках в решении. В остальных случаях ставится оценка «Зачтено».

Процедура аттестации: собеседование, в ходе которого обучающийся дает развернутый ответ на вопрос по теме курса и представляет решение одной из задач из предложенного заранее списка задач.

### *Критерии оценок:*

Оценка	Соответствие критериям оценивания результатов обучения (см. Приложение 1)
--------	---

Зачтено	ОПК-3 Знание: 2 Умение: 2 Владение: 2
	ПК-1 Знание: 2 Умение: 2
Не зачтено	ОПК-3 Знание: 1 Умение: 1 Владение: 1
	ПК-1 Знание: 1 Умение: 1

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:

Вопрос 1. Однократно рассеянное на ограниченном объеме хаотической среды поле.

Вопрос 2. Условия применимости метода возмущений при решении уравнений геометрической оптики.

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, 2022. – 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 (модуля)**

а) основная литература:

1. Чернов Л.А. Волны в случайно-неоднородных средах. М. Наука, 1975, 172 стр.
2. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. М. Наука, 1978, 463 стр.
3. Исимару А. - Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: [в 2 т.]. Т. 1. - М.: Мир, 1981. - 280 с.

4. Исимару А. - Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: [в 2 т.]. Т. 2. - М.: Мир, 1981. - 317 с.
5. Гавриленко В. Г. - Современные методы расчета спектральных и энергетических характеристик волн в турбулентных средах: учеб. пособие. - Горький, 1989. - 79 с.
6. Гавриленко В. Г., Джандиери Г. В. - Рассеяние и излучение волн в хаотически нестационарных средах. - Тбилиси ; Батуми: Интеллект, 1999. - 195 с.
7. Ахманов, С.А. Статистическая радиофизика и оптика. [Электронный ресурс] / С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2010. — 423 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/48263> — Загл. с экрана.
8. Кляцкин В. И. Очерки по динамике стохастических систем. М.: КРАСАНД, 2012. - 448 с.

б) дополнительная литература:

1. Татарский В. И. - Распространение волн в турбулентной атмосфере ( в 2 т.): дис. ... д-ра физ.-мат. наук. - М., 1964. - 600 с.
2. Электродинамика плазмы./Ахиезер А. И., Ахиезер И. А., Половин Р. В., Ситенко А. Г., Степанов К. Н. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. - 719 с.
3. Зверев В. А. - Радиооптика: Преобразования сигналов в радио и оптике. - М.: Советское радио, 1975. - 304 с.
4. Денисов Н.Г. О дифракции волн на хаотическом экране. Изв. вузов: Радиофизика, т. 4, с. 630, 1961.
5. Рыжов Ю.А., Тамойкин В.В. Излучение и распространение электромагнитных волн хаотически неоднородных средах. Изв. вузов: Радиофизика, т. 13, с. 356, 1970.
6. Гавриленко В.Г., Степанов Н.С. Статистические характеристики волн в хаотических средах с пространственно-временными неоднородностями. Изв. вузов: Радиофизика, т. 30, с. 3, 1987.
7. Белоногов С.Ю., Гавриленко В.Г., Жуков М.С., Яшнов В.А. Моделирование методом Монте-Карло распространения волн в плоском волноводе с шероховатыми границами. Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. Т. 18. №8. С. 24-29.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.04.03 «Радиофизика», магистерская программа «Нелинейные колебания и волны».

Автор\_\_\_\_\_д.ф.-м.н., проф Гавриленко В.Г.

Рецензент\_\_\_\_\_д.ф.-м.н., проф Грибова Е.З.

Заведующий кафедрой\_\_\_\_\_д.ф.-м.н., проф Гавриленко В.Г.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от 14.11.22, протокол № 08/22.