

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
«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

Электромагнитные волны в средах
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.02 "Случайные поля и волны" относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

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	
ПК-1: <i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i>	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.	<i>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</i> <i>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</i>	Собеседование
	ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<i>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</i> <i>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема</i> <i>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</i>	Собеседование
ПК-2: <i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i>	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.	<i>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области</i>	Собеседование

<i>работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i>		<i>физики и радиофизики Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</i>	
	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	<i>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.	<i>Знать: основные принципы организации научного исследования Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	<i>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</i>	<i>Собеседование</i>
<i>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и</i>	ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.	<i>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях Владеть: навыками со-</i>	<i>Собеседование</i>

опытно-конструкторских разработок		ставления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций	
	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом	Собеседование
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР	Собеседование

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

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	29
КСР	2
Промежуточная аттестация – экзамен	45

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Занятия лабораторного типа	Всего													
Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
1. Случайные процессы. Функция распределения. Корреляционная теория. Статистически стационарные процессы и процессы со стационарными приращениями. Спектральные разложения.	4			2								2			2		
2. Случайные поля. Статистически однородные и изотропные случайные поля. Трехмерные и двумерные пространственные спектры.	2			1								1			1		
3. Пространственно-временные случайные поля. Пространственно-временное спектральное разложение. Случай «замороженной» турбулентности.	2			1								1			1		
2. Метод	8			2								2			6		

возмуще- ний. Однократно рассеянное на ограниченном объеме случай- но неоднород- ной среды поле в волновой зоне. Средняя интенсивность рассеяния в зоне Фраунго- фера по отно- шению к от- дельным неод- нородностям среды. Сечение рассеяния																	
5. Частотный спектр рассе- янного поля Особенности рассеяния для различных мо- делей турбу- лентных сред.	4			2							2			2			
6. Ряд по кратности рассеяния. Коэффициент экстинкции. Затухание ис- ходной волны. Условия при- менимости приближения однократного рассеяния.	4			2							2			2			
7. Уравнение эйконала. Фа- зовые харак- теристики. Уравнения пе- реноса для фа- зы и единично- го вектора вол- новой нормали. Их решения методом воз- мущений при малых флукту- ациях парамет- ров среды. Корреляцион- ные свойства флуктуаций фазы и угла прихода плос-	4			2							2			2			

кой волны.																	
8. Амплитудные характеристики. Флуктуации уровня плоской волны. Примеры расчета для колмогоровской турбулентности.	4			2								2			2		
9. Угловой спектр мощности волны. Расчёт пространственного и углового спектра плоской волны при слабых и сильных флуктуациях фазы.	4			2								2			2		
10. Границы применимости метода геометрической оптики. Условия применимости метода возмущений для решения уравнений геометрической оптики.	2			1								1			1		
11. Метод плавных возмущений. 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.	1	8		6								6			1	2	
12. Параболическое уравнение. Обоснование условий применимости па-	2			1								1			1		

рабочего уравнения для описания волновых полей в хаотических средах.																	
13. Локальный метод Чернова. Решение уравнения для среднего поля волны. Обзор других методов расчета при немалых флуктуациях амплитуды.	4			2								2			2		
14. Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране. 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		
15. Корреляционные свойства случайной волны, прошедшей через отверстие в экране. Случаи малого и большого отверстия. Теорема Ван-Циттерта-Цернике.	5			4								4			1		
В т.ч. текущий контроль	1			1								1					
Промежуточная аттестация - экзамен																	

В рамках лекционных занятий организуются практикумы (семинары), в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

На проведение занятий в форме практической подготовки отводится 4 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:
- изучение, анализ научно-технической информации, обобщение отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- аналитическое и численное исследование физических явлений и процессов радиофизическими методами;
- разработка новых комплексов программ по численному моделированию объектов различной физической природы;
- планирование и проведение экспериментов с применением современных методов и измерительной аппаратуры (акустической, радиоэлектронной, оптоэлектронной);
- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
- совершенствование известных и разработка новых методов исследований;
- анализ получаемых результатов и, при необходимости, корректировка направлений исследований;
- подготовка и оформление научных статей;
- составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе;
- участие в научных конференциях, в том числе международных
- руководство научной работой обучающихся
- компетенций – ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лекционного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. 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 экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некото-	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с неко-	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	ков вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки.	рыми недочетами	торыми недочетами	ошибок и недочетов.	недочетов.	
--	--	----------------	-----------------	-------------------	---------------------	------------	--

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	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
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1.Однократно рассеянное на ограниченном объеме хаотической среды поле.	ПК-1
2.Средняя интенсивность рассеяния в зоне Фраунго-	ПК-1

фера.	
3. Сечение однократного рассеяния.	ПК-1
4. Частотный спектр рассеянного поля.	ПК-1
5. Условия применимости приближения однократного рассеяния.	ПК-1
6. Дисперсия флуктуаций фазы волны в приближении геометрической оптики.	ПК-1
7. Дисперсия флуктуаций единичного вектора волновой нормали.	ПК-1
8. Спектральное представление дисперсии угла прихода волны (для степенного спектра турбулентности).	ПК-1
9. Структурная функция фазы.	ПК-1
10. Корреляционная функция фазы.	ПК-1
11. Дисперсия флуктуаций уровня волны.	ПК-1
12. Корреляционная функция уровня.	ПК-1
13. Угловой (пространственный) спектр мощности волны.	ПК-1
14. Условия применимости метода возмущений при решении уравнений геометрической оптики.	ПК-2
15. Комплексная фаза волны в первом приближении метода плавных возмущений (МПВ).	ПК-2
16. Дисперсия фазы волны в МПВ.	ПК-2
17. Дисперсия уровня волны в МПВ.	ПК-2
18. Корреляционная функция уровня волны в дифракционной зоне.	ПК-2
19. Среднее поле волны при сильных флуктуациях амплитуды.	ПК-2
20. Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране с мелкими неоднородностями.	ПК-2
21. Дифракция плоской волны на безграничном хаотическом экране с крупными неоднородностями.	ПК-2
22. Модель фазового хаотического экрана.	ПК-2
23. Прохождение случайного поля через большое отверстие в непрозрачном экране.	ПК-2

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1.

Рассчитать сечение однократного рассеяния в хаотической среде с гауссовой функцией корреляции флуктуаций диэлектрической проницаемости в плоскости, перпендикулярной к вектору электрического поля падающей волны, в зависимости от угла рассеяния при заданных значениях дисперсии диэлектрической проницаемости, размера неоднородностей и длины волны излучения.

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 1.

Вычислить коэффициент экстинкции в хаотически неоднородной среде с гауссовой функцией корреляции флуктуаций диэлектрической проницаемости при за-

данных значениях дисперсии флуктуаций диэлектрической проницаемости, размера неоднородностей и длины волны излучения.

5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по итогам выполнения экзаменационного задания.

6. 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.

б) дополнительная литература:

1. 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.
2. Зверев В. А. - Радиооптика: Преобразования сигналов в радио и оптике. - М.: Советское радио, 1975. - 304 с.
3. [Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., и др. - Теория волн: учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М.: Наука, 1990. - 432 с.](#)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

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

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 требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: д.ф.-м.н., профессор Гавриленко В.Г.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Кудрин А.В.

Заведующий кафедрой: д.т.н., с.н.с. Калинин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.