

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета  
ННГУ протокол от «02»  
декабря 2024 г. №10

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Физика нелинейных случайных сред»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка кадров высшей квалификации**

Научная специальность  
**1.3.7. Акустика**

Программа подготовки  
научный и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
**Акустика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2025 год

## **1. Место и цель дисциплины в структуре ПА**

Дисциплина «Физика нелинейных случайных волн» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

### **Цели дисциплины:**

- изучение и углубление математических методов описания нелинейных волн в средах без дисперсии, освоение методов анализа уравнений гидродинамического типа (уравнение Римана, уравнение Бюргерса), исследование динамических и статистических явлений в средах без дисперсии;
- изучение методов и подходов в области практических приложений теории нелинейных акустических волн, связанных с описанием интенсивных акустических шумов.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в ходе изучения курсов «Общая акустика», «Нелинейные случайные волны и турбулентность в средах без дисперсии».

В процессе изучения дисциплины студенты должны углубить знания по теоретическим основам физики нелинейных волн и по основным методам расчета полей гидродинамического типа. От аспирантов требуется умение делать несложные оценки применительно к реальным физическим ситуациям. В результате изучения данной дисциплины аспиранты наряду с фундаментальной подготовкой должны приобретать специальные знания, необходимые для работы в качестве радиофизиков - исследователей в специальных и отраслевых НИИ, соответствующего профиля.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Физика нелинейных случайных волн», могут служить основой для дальнейшего освоения аспирантами курсов по специальности 1.3.7 Акустика, а также необходимы для сдачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.7 Акустика.

## **2. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Выпускник, освоивший программу, должен

### **Знать:**

- современное состояние науки в области физики нелинейных случайных волн;
- нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР по физике нелинейных случайных волн;
- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области физики нелинейных волн.

### **Уметь:**

- определять наиболее актуальные направления исследований по тематике исследований;
- представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу в области физики нелинейных случайных волн.

### **Владеть:**

- навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области нелинейных случайных волн; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов.

## **3. Структура и содержание дисциплины.**

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 1****Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Введение	6	2				2	4
Статистическое описание случайных полей	10	4				4	6
Динамика одномерных волн	12	6				6	6
Случайные волны гидродинамического типа	16	8				8	8
Одномерная акустическая турбулентность	14	8				8	6
Потенциальная турбулентность и модельное описание крупномасштабной структуры Вселенной	14	8				8	6
<b>Промежуточная аттестация: – зачет</b>							
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>36</b>				<b>36</b>	<b>36</b>

**Таблица 2****Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля
1.	Введение	Диспергирующие и гиперболические волны. Нелинейность и дисперсия. Нелинейные модельные уравнения (уравнение Римана и уравнение Бюргерса). Физические примеры нелинейных волн в средах без дисперсии. Статистические проблемы теории нелинейных случайных волн. Цели, задачи и структура курса.	Лекции, сам.раб.	Устный опрос по вопросам из пункта 5
2.	Статистическое описание случайных полей	Вероятностные распределения, спектры и корреляционные функции. Линейная и нелинейная трансформация случайных сигналов Связь статистических свойств случайных функций с особенностями их реализаций.	Лекции, сам.раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5
3.	Динамика одномерных волн	Точное решение уравнения Бюргерса. Решение при больших числах Рейнольдса. Эволюция основных типов возмущений. Уравнение Бюргерса и динамика газа	Лекции, сам.раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5

		слипающихся частиц.		
4	Случайные волны гидродинамического типа	Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей. Вероятностные распределения случайных Римановых волн. Спектры случайных Римановых волн.	Лекции, сам.раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5
5.	Одномерная акустическая турбулентность	Качественная теория одномерной турбулентности. Автомоделность акустической турбулентности. Асимптотический анализ акустической турбулентности при бесконечных числах Рейнольдса. Статистические свойства нелинейных волн в среде с произвольной нелинейностью.	Лекции, сам.раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5
6.	Потенциальная турбулентность и модельное описание крупномасштабной структуры Вселенной	Гравитационная неустойчивость и модельное описание крупномасштабное структуры Вселенной. Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности.	Лекции, сам.раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5

#### **4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), 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, групповых консультаций и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

#### **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

##### ***5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.***

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

**Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризующий оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

**5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине**

Список типовых контрольных вопросов:

1. Спектральное представление решения уравнения Римана
2. Глобальный принцип для потока слипающихся частиц
3. Уравнение Бюргерса и уравнение KPZ
4. Эволюция основных типов возмущений.
5. Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей.
6. Вероятностные распределения случайных Римановых волн.
7. Спектры случайных Римановых волн.
8. Решение нелинейных уравнений 1-го порядка, решение уравнения Римана
9. Уравнение роста линий и его решение
10. Многопоточные решения уравнения Римана и уравнения для плотности
11. Слабые решения уравнений 1-го порядка
12. Свойства решений уравнения Бюргерса
13. Точное решение уравнения Бюргерса
14. Решение уравнения Бюргерса при больших числах Рейнольдса.
15. Уравнение Бюргерса и динамика газа слипающихся частиц.
16. Качественная теория одномерной турбулентности.
17. Автомодельность акустической турбулентности.
18. Асимптотический анализ акустической турбулентности при бесконечных числах Рейнольдса.
19. Статистические свойства нелинейных волн в среде с произвольной нелинейностью.
20. Модельное описание крупномасштабной структуры Вселенной. Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности.

Список типовых контрольных заданий:

Задание 1.

Вывести спектральное представление решения уравнения Римана для скорости

Задание 2.

Установить связь уравнения Бюргерса и уравнения KPZ

Задание 3.

Вывести глобальный принцип для потока слипающихся частиц

Задание 4.

Найти решение нелинейного уравнения 1-го порядка - уравнения Римана

Задание 5.

Вывести уравнение роста линий и получить его решение

Задание 6.

Вывести слабое решение уравнения Римана

Задание 7.

Привести общие свойства решений уравнения Бюргерса

Задание 8.

Вывести точное решение уравнения Бюргерса

Задание 9.

Установить связь уравнения Бюргерса и динамики газа слипающихся частиц.

Задание 10.

Получить решение уравнения Бюргерса при больших числах Рейнольдса.

Задание 11.

Сделать качественную оценку законов роста внешнего масштаба и затухания энергии акустической турбулентности на основе асимптотического решения уравнения Бюргерса

Задание 12.

Исходя из гипотез об автомодельности акустической турбулентности и сохранения крупномасштабных структур найти законы роста внешнего масштаба и затухания энергии.

Задание 13.

Показать на основе асимптотического решения векторного уравнения Бюргерса возникновение локальной автомодельности трехмерной потенциальной турбулентности.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

а) основная литература:

1. Гурбатов С.Н., Малахов А.Н., Саичев А.И. Нелинейные случайные волны в средах без дисперсии. М.: Наука. Сер. Совр. пробл. физ., 1990. 216 с.
2. Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. - 287 с.
3. Акустика в задачах. Учеб. рук-во. / Под ред. С.Н.Гурбатова и О.В.Руденко. М.: Наука, 2009. - 336 с.
4. Гурбатов С.Н., Саичев А.И. Введение в теорию нелинейных волн гидродинамического типа. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2003 – 155 с.
5. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. М.: Физматлит, 2008. - 495 с.

б) дополнительная литература:

1. Зайцев В.Ю., Гурбатов С.Н., Прончатов-Рубцов Н.В. Нелинейные акустические явления в структурно-неоднородных средах: эксперименты и модели. Н.Новгород, Изд-во ИПФ РАН, 2009.
2. Гурбатов С.Н., Саичев А.И., Шандарин С.Ф. Крупномасштабная структура Вселенной. Приближение Зельдовича и модель слипания. (Обзор). УФН, 2012, том 182, № 3, с. 233–261.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, MicrosoftOffice*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.  
ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор: профессор, д.ф.-м.н. Гурбатов С.Н.

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

Зав. кафедрой: профессор, д.ф.-м.н. Гурбатов С.Н.

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «28» ноября 2024 г., протокол 06/24.