

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан \_\_\_\_\_

Матросов В.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Конструктивная роль шума в  
нелинейных неравновесных системах**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Аспирантура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**03.06.01 «Физика и астрономия»**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Радиофизика**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Исследователь. Преподаватель-  
исследователь**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 г.

## 1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Конструктивная роль шума в нелинейных неравновесных системах» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 3-ом году обучения, в 6-ом семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в результате освоения курсов: «Теория вероятностей и математическая статистика», «Статистическая радиофизика», «Термодинамика и статистическая физика», «Термодинамика и статистика неравновесных систем», «Функциональные методы анализа стохастических систем».

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

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-3 <i>(завершающий этап)</i>	З(ПК-3)-2 Знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях; У(ПК-3)-1 Уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования; У(ПК-3)-2 Уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения;
ПК-1 <i>(завершающий этап)</i>	З(ПК-1)-1 Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях В(ПК-1)-1 Владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
ПК-2 <i>(завершающий этап)</i>	З(ПК-2)-2 Знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов В(ПК-2)-1 Владеть навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия по аттестации), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

### 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	
1. Современное состояние исследований нелинейных динамических систем	6	2	-	-	-	2	4
2. История открытия эффекта стохастического резонанса (СР), его приложения	6	2	-	-	-	2	4
3. Методы анализа СР: двухуровневое приближение, теория линейного отклика	18	6	-	-	-	6	12
4. Нелинейный режим СР: теория, численные результаты	12	4	-	-	-	4	8
5. Явление резонансной активации	12	4	-	-	-	4	8
6. Задержка шумом распада метастабильных состояний	12	4	-	-	-	4	8
7. Рэтчет-эффект, связь со вторым законом термодинамики	12	4	-	-	-	4	8
8. Броуновские моторы, их биологические приложения	10	2	-	-	-	2	8
9. Аномальная диффузия и методы ее математического описания	16	4	-	-	-	4	12
Аттестация по дисциплине - зачет	4	4	-	-	-	4	-
Итого	108	36	-	-	-	36	72

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Современное состояние исследований нелинейных динамических систем	Краткий обзор основных результатов по анализу индуцированных шумами различной природы явлений в поведении нелинейных динамических систем	лекция	-
2	История открытия эффекта стохастического резонанса (СР), его приложения	Странная периодичность в изменении толщины арктических льдов и	лекция	-

		попытки ее объяснения. Построение модели движения броуновской частицы в бистабильном потенциале, конец “эксцентриситетного мифа” в геофизике. Экспериментальные наблюдения эффекта в физических и нейронных системах.		
3	Методы анализа СР: двухуровневое приближение, теория линейного отклика	Теория стохастического резонанса. Адиабатическое и двухуровневое приближения, теория линейного отклика и флуктуационно-диссипационная теорема (режим слабого сигнала). Простое объяснение эффекта и некоторые его противоречия.	лекция	-
4	Нелинейный режим СР: теория, численные результаты	Методы анализа нелинейного режима стохастического резонанса (случай средних сигналов). Методы обрывания по кумулянтам, модифицированное двухуровневое приближение, результаты прямого численного моделирования уравнения Ланжевена.	лекция	-
5	Явление резонансной активации	Модель Доринга и Гадуа движения броуновской частицы в бистабильном потенциале с флуктуирующим барьером и неожиданный результат для	лекция	-

		<p>среднего времени его преодоления.</p> <p>Объяснение обнаруженного резонансного эффекта, его модификации.</p> <p>Наблюдение явления в различных системах (обзор экспериментальных данных).</p>		
6	Задержка шумом распада метастабильных состояний	<p>Явление повышения шумом устойчивости метастабильного состояния системы, его объяснение через наличие обратного потока вероятности.</p> <p>Аналитические результаты для фиксированного и флуктуирующего потенциальных барьеров.</p> <p>Особенности проявления эффекта в различных системах.</p>	лекция	-
7	Рэтчет-эффект, связь со вторым законом термодинамики	<p>Движение броуновской частицы в периодических потенциалах.</p> <p>Эффективный коэффициент диффузии. Условия появления одностороннего потока частиц (рэтчет-эффекта), не противоречащих второму закону термодинамики.</p> <p>Аналитические и численные результаты для флуктуирующих и мигающих потенциалов.</p> <p>Суперсимметричные потенциалы, возможность</p>	лекция	-

		сортировки частиц.		
8	Броуновские моторы, их биологические приложения	Приложения эффекта к биологическим системам: перенос кинезинов и миозинов вдоль микротрубочек цитоскелета. Обзор основных экспериментальных результатов.	лекция	-
9	Аномальная диффузия и методы ее математического описания	Экспериментальные наблюдения аномальной диффузии. Модель случайных блужданий в непрерывном времени. Суб- и супердиффузия, полеты Леви. Обзор основных аналитических результатов.	лекция	-

#### **4. Образовательные технологии**

В ходе преподавания курса предусмотрено использование компьютерных презентаций, ознакомление с методами поиска литературных источников в выбранной области на основе баз данных Web of Science и Scopus, проведение ряда научных семинаров, организованных на кафедре факультативно, приглашенными учеными (по Skype).

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

Проверка освоения программы курса осуществляется в форме практических контрольных заданий, которые обучающиеся получают до окончания чтения лекций и должны выполнить самостоятельно, проявив навыки работы с литературными источниками, получения аналитического (или численного) и графического представления результатов расчетов.

#### **6. Фонд оценочных средств для 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 приведен в приложении 1.

##### ***6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания***

Форма аттестации - зачет. Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование, для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания.

*Критерии оценок:*

Зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины.
Не зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины.

### **6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

1. Происхождение и простая модель для описания эффекта стохастического резонанса. Его объяснение и условия наблюдения.
2. Основные результаты теории линейного отклика. Флуктуационно-диссипационная теорема.
3. Методы анализа нелинейного режима стохастического резонанса.
4. Особенности проявления эффекта в нейродинамике и нейрофизиологии.
5. Явление резонансной активации, его объяснение.
6. Проявления эффекта резонансной активации в различных системах.
7. Эффект повышения шумом устойчивости нелинейной динамической системы, его смысл.
8. Среднее время достижения барьера и нелинейное время релаксации. Их зависимость от интенсивности шума в системах с фиксированным и флуктуирующим барьером.
9. Движение броуновской частицы при фиксированном периодическом потенциале. Расчет эффективного коэффициента диффузии.
10. Возможность ускорения частиц в системе с быстро флуктуирующим периодическим потенциалом.
11. Случай суперсимметричного потенциала, поведение эффективного коэффициента диффузии.
12. Рэтчет-эффект, условия его наблюдения. Связь со вторым законом термодинамики.
13. Молекулярные моторы. Приложения рэтчет-эффекта к биологическим системам.
14. Явление аномальной диффузии, суб- и супердиффузия, экспериментальные наблюдения. Модель случайных блужданий в непрерывном времени.
15. Математическое аппарат описания субдиффузии. Модель субординации.
16. Марковский подход к анализу супердиффузии в форме полетов Леви. Основные результаты для установившихся вероятностных характеристик, понятие конфайнмента.

Оценка результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ОПК-1, производится на основании ответов на следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1, 8, 9.

Оценка результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ПК-1, производится на основании ответов на следующие вопросы из вышеприведенного списка: 3, 10, 13-16.

Оценка результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ПК-2, производится на основании ответов на следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1, 2, 4-9, 11, 14-16.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

1. Gammaitoni L., Hänggi P., Jung P., Marchesoni F. Stochastic resonance: A remarkable idea that changed our perception of noise. *Eur. Phys. J. B* V.69. P.1 (2009).
2. McDonnell M.D., Abbott D. What is stochastic resonance? Definitions, misconceptions, debates, and its relevance to biology. *PLOS Computational Biology*. V.5. P.1000348 (2009).
3. Schmitt C., Dybiec B., Hänggi P., Bechinger C. Stochastic resonance vs. resonant activation. *Europhys. Lett.* V.74. P.937 (2006).

### **б) дополнительная литература:**

1. Yao M., Xu W., Ning L. Stochastic resonance in a bias monostable system driven by a periodic rectangular signal and uncorrelated noises. *Nonlin. Dyn.* V.67. P.329 (2012).
2. Cherepov S.S., Koop B.C., Dzhezheriya Yu.I., Worledge D.C., Korenivski V. Resonant activation of a synthetic antiferromagnet. *Phys. Rev. Lett.* V.107. P.077202 (2011).
3. Jia Z.L., Mei D.C. Controlling the noise enhanced stability effect via noise recycling in a metastable system. *Eur. Phys. J. B* V.85. P.139 (2012).

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

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 по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор \_\_\_\_\_ А.А. Дубков

Рецензент \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой математики \_\_\_\_\_ А.А. Дубков

Программа рекомендована на заседании кафедры математики от \_\_\_\_\_ 2021 года, протокол № \_\_\_\_.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от \_\_\_\_\_ 2021 года, протокол № \_\_\_\_.

### Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ПК-3 способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики</b>					
З(ПК-3)-2 Знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешные, но не систематические представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях
У(ПК-3)-1 Уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования	В целом успешное, но не систематическое использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования	Сформированное умение самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования
У(ПК-3)-2 Уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения
<b>ПК-1 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики</b>					
ЗНАТЬ: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных	Сформированные системные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов

исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях  Шифр З(ПК-1)-1		новых идей при решении исследовательских и практических задач	генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных	генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных
ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях  Шифр В(ПК-1)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач
<b>ПК-2 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</b>					
ЗНАТЬ: современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов  Шифр З(ПК-2)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов	В целом успешные, но несистемные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов	Сформированные систематические представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов
ВЛАДЕТЬ: навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов  Шифр В(ПК-2)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов