

**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 "16" января 2024 г.  
№1

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Локализация энергии в дискретных волновых системах»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2024 год

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

Дисциплина «Локализация энергии в дискретных волновых системах» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-м году обучения в 5 семестре.

**Цель дисциплины** – углубленное ознакомление аспирантов с современными методами анализа динамики консервативных решеточных систем с непрерывным временем. Задачи дисциплины:

- дать представление об эффекте локализации энергии в решеточных системах, о дискретных бризерах и явлении модуляционной неустойчивости;
- ознакомить с особенностями динамики решеточных консервативных систем по сравнению с аналогичными пространственно-непрерывными системами;
- дать основные сведения об особенностях аналитического и численного исследования динамики консервативных систем по сравнению с диссипативными системами;
- выработать навыки по системному применению комплекса численных и аналитических (как точных, так и асимптотических) методов для анализа динамики систем.

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

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

- условия существования дискретных бризеров;
- условия возникновения модуляционной неустойчивости в консервативных решеточных системах;

**Уметь:**

- использовать различные методы анализа нелинейной динамики в применении к консервативным решеточным системам (методы секущей Пуанкаре, медленно меняющихся амплитуд, линеаризации уравнений в окрестности решения, исследования решеточных уравнений с комплексными переменными и коэффициентами на устойчивость);

**Владеть:**

- навыками комплексного применения методов анализа нелинейной динамики в задачах оценки характеристик динамики, связанных с локализацией энергии в решеточных системах (длина локализации бризерного решения, условия неустойчивости волновых решений, преимущественные пространственные масштабы неустойчивости).

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

Объем дисциплины (модуля) составляет 23.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	
1. Динамика изолированного осциллятора	3	1				1	2
2. Динамика линейных цепочечных систем	8	4				4	4
3. Основные свойства дискретных бризеров в нелинейных цепочечных системах	9	5				5	4
4. Методы численного отыскания и конструктивное доказательство существования дискретных бризеров	18	10				10	8
5. Дискретное нелинейное уравнение Шрёдингера (ДНУШ)	12	6				6	6
6. Устойчивость бегущей волны в ДНУШ	11	5				5	6
7. Условия и характеристики модуляционной неустойчивости бегущей волны в ДНУШ	11	5				5	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.	Динамика изолированного осциллятора	1. Динамика гармонического осциллятора 2. Динамика нелинейного осциллятора	Лекции	-
2.	Динамика линейных цепочечных систем	1. Дисперсионное соотношение линейной цепочечной системы типа Клейна-Гордона 2. Виды решения в зоне, выше и ниже зоны бегущих волн	Лекции	-
3.	Основные свойства дискретных бризеров в нелинейных цепочечных системах	1. Асимптотика «хвостов» дискретного бризера 2. Одночастичное приближение для оценки частоты дискретного бризера	Лекции	-
4	Методы численного	1. Специфика метода секущей Пуанкаре для	Лекции	-

	отыскания и конструктивное доказательство существования дискретных бризеров	консервативных систем 2. Построение дискретных бризеров методом непрерывного продолжения из антиконтинуального предела		
5.	Дискретное нелинейное уравнение Шрёдингера (ДНУШ)	1. Метод усреднения для нелинейной цепочки типа Клейна-Гордона и вывод ДНУШ 2. Бегущая волна как точное решение ДНУШ	Лекции	-
6.	Устойчивость бегущей волны в ДНУШ	1. Линеаризация уравнений движения в окрестности бегущей волны 2. Исследование линеаризованной системы на устойчивость	Лекции	-
7.	Условия и характеристики модуляционной неустойчивости бегущей волны в ДНУШ	1. Анализ условий устойчивости бегущей волны в ДНУШ 2. Преимущественный пространственный масштаб модуляционной неустойчивости, скорость распространения пакетов 3. Развитие модуляционной неустойчивости и формирование дискретных бризеров	Лекции	-

**4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**  
Собеседование с обучающимися во время аудиторных занятий.

#### **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);
- 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, характеризуемый 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***

1. Нелинейный осциллятор с мягкой и жесткой нелинейностью. Отыскание зависимости частоты (периода) колебаний от энергии осциллятора в приближении Ван-дер-Поля.

2. Линейные цепочечные системы. Дисперсионные уравнения для распространяющихся гармонических волн и колебательных решений, экспоненциальных по пространственной координате.

3. Поток энергии в линейных цепочках в распространяющейся волне, в экспоненциально-локализованном колебательном решении и в суперпозиции решений.

4. Понятие дискретного бризера (ДБ) – пространственно-локализованного колебательного решения. Необходимые условия существования ДБ. Дискретность и нелинейность как физические предпосылки существования ДБ.

5. Отыскание количественных характеристик ДБ. Зависимость показателя экспоненциальной асимптотики пространственной локализации ДБ от его частоты. Расчет зависимости частоты ДБ от его энергии в рамках одночастичного приближения, область применимости этого приближения, истинный вид этой зависимости (численный результат без использования одночастичного приближения).

6. Метод секущей Пуанкаре для отыскания периодических решений. Модификация метода Пуанкаре для систем с интегралом движения (в частности, с сохраняющейся энергией).

7. Построение ДБ в цепочках конечной длины методом непрерывного продолжения решения по параметру связи, начиная от случая нулевой связи (антиконтинуального предела). Проверка условий теоремы о неявных функциях для отображения в себя подмногообразия секущей Пуанкаре.

8. Обоснование замыкания фазовой траектории, соответствующей неподвижной точке отображения в себя подмногообразия секущей Пуанкаре, в конечном интервале изменения параметра. Достаточное условие существования ДБ в цепочке из конечного числа осцилляторов. Его согласование с необходимым условием существования ДБ.

9. Вывод дискретного нелинейного уравнения Шрёдингера (ДНУШ) в рамках приближения Ван-дер-Поля (медленно меняющихся амплитуд) из уравнений движения цепочки связанных осцилляторов. Условия применимости приближения.

10. Бегущая волна как точное решение ДНУШ. «Нелинейное дисперсионное соотношение». Его согласование с точным дисперсионным соотношением линейной системы.

11. Линеаризация ДНУШ в окрестности бегущей волны. Линеаризованные уравнения динамики «дискретной огибающей» (малых добавок к комплексной амплитуде волны).

12. Метод исследования на устойчивость состояния равновесия в линейных уравнениях с комплексными переменными и его обоснование.

13. Анализ линейных уравнений дискретной огибающей на устойчивость. Получение выражения для показателя экспоненты нарастания (инкремента) дискретной огибающей.

14. Анализ выражения для инкремента дискретной огибающей. Условия модуляционной неустойчивости. Отыскание преимущественного пространственного масштаба неустойчивости (волнового числа огибающей, имеющей наибольший инкремент).

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

### **а) Основная литература**

1. Flach S., Gorbach A. Discrete Breathers: Advances in Theory and Applications //Physics Reports. 2008. V. 467. P. 1-116. DOI: 10.1016/j.physrep.2008.05.002. — Текст : электронный. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370157308001580> (дата обращения: 20.01.2022). — Режим доступа: по подписке.

2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 1. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 224 с. — 7-е изд., стер. - ISBN 978-5-9221-1611-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1223537> (дата обращения: 20.01.2022). — Режим доступа: по подписке.

3. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с.

### **б) Дополнительная литература**

1. Канаков О.И. Флах С. Динамическая локализация энергии в решеточных системах: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. — 85 с. — Текст : электронный //ННГУ. — URL: [http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2011/posobie\\_Kanakov\\_OI.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2011/posobie_Kanakov_OI.pdf) (дата обращения: 20.01.2022).

2. Канаков О.И. Модуляционная неустойчивость и дискретные бризеры: Учебно-методическое пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. — 19 с. — Текст : электронный //ННГУ. — URL:[http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/breathers\\_manual.pdf](http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/breathers_manual.pdf) (дата обращения: 20.01.2022).

3. Канаков О. И., Флах С., Шалфеев В. Д. Введение в теорию дискретных бризеров // Известия вузов. ПНД. 2008. Т. 16, вып. 3. С. 112-128. DOI: 10.18500/0869-6632-2008-16-3-112-128. — Текст : электронный. — URL: <https://andjournal.sgu.ru/ru/articles/vvedenie-v-teoriyu-diskretnyh-brizerov> (дата обращения: 20.01.2022).

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Flach S. Education: Books, Reviews, and Lectures — Текст : электронный. — URL: <https://pcs.ibs.re.kr/~sflach/html/education.html> (дата обращения: 20.01.2022).

## **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.

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 \_\_\_\_\_ О.И. Канаков

Рецензент \_\_\_\_\_ И.Ю. Демин

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.В. Матросов

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.