

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

Кафедра теории колебаний и автоматического регулирования

УТВЕРЖДЕНО

президиумом Ученого совета ННГУ

протокол от

30.11.2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины

Спецлаборатории по нелинейным колебаниям и волнам

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Нелинейные колебания и волны

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.07, Спецлаборатории по нелинейным колебаниям и волнам относится к части ОПОП 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: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>ПК-1.1: Знает принципы анализа результатов численного моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.</p> <p>ПК-1.2: Умеет обрабатывать результаты численного моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.</p>	Практическое задание
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформл	<p>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.</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.</p>	<p>ПК-2.1 Знает современное состояние исследований в области волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах. ПК-2.2. Умеет выбирать и применять численные методы моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах. ПК-2.3 Владеет навыками планирования, подготовки, проведения</p>	Практическое задание

		исследований, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по моделированию волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.	
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	ПК-2.4. Умеет анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	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. ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнессообществу. ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	ПК-3.1 Знает требования к оформлению отчёта о численном моделировании решёточных волновых систем. ПК-3.2 Умеет представлять результаты численного моделирования решёточных волновых систем. ПК-3.3 Владеет навыками формулировки результатов радиофизического численного эксперимента.	Практическое задание
УК-2: Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1. Понимает структуру жизненного цикла проекта. УК-2.2. Организует жизненный цикл проекта в соответствии с его спецификой.	УК-2.1 Знает структуру жизненного цикла проекта по численному исследованию динамики решёточных волновых систем. УК-2.2 Умеет адаптировать жизненный цикл проекта под специфику численного исследования динамики решёточных волновых систем.	Практическое задание

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0
	зачет

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	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	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1: Выполнение лабораторной работы «Модуляционная неустойчивость и дискретные брызеры»	71	0	0	32	32	39
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	72	0	0	32	33	39

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

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

4.1 Теоретические вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Понятие дискретного бризера (ДБ) – пространственно-локализованного колебательного решения. Необходимые условия существования ДБ. Дискретность и нелинейность как физические предпосылки существования ДБ.
2. Вывод дискретного нелинейного уравнения Шрёдингера (DNLS) в рамках приближения Ван-дер-Поля (медленно меняющихся амплитуд) из уравнений движения цепочки связанных осцилляторов. Условия применимости приближения.
3. Бегущая волна как точное решение DNLS. «Нелинейное дисперсионное соотношение». Его согласование с точным дисперсионным соотношением линейной системы.
4. Линеаризация DNLS в окрестности бегущей волны. Линеаризованные уравнения динамики «дискретной огибающей» (малых добавок к комплексной амплитуде волны).
5. Метод исследования на устойчивость состояния равновесия в линейных уравнениях с комплексными переменными и его обоснование.
6. Анализ линейных уравнений дискретной огибающей на устойчивость. Получение выражения для показателя экспоненты нарастания (инкремента) дискретной огибающей.
7. Анализ выражения для инкремента дискретной огибающей. Условия модуляционной неустойчивости. Отыскание преимущественного пространственного масштаба неустойчивости (волнового числа огибающей, имеющей наибольший инкремент).

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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки.	ошибки.	несколько негрубых ошибок	несколько несущественных ошибок	ошибок.	
<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.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы 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 вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

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
	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»

зачтено	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

вопросы	Код формируемой компетенции
1. Понятие дискретного бризера (ДБ) – пространственно-локализованного колебательного решения. Необходимые условия существования ДБ. Дискретность и нелинейность как физические предпосылки существования ДБ.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
2. Вывод дискретного нелинейного уравнения Шрёдингера (DNLS) в рамках приближения Ван-дер-Поля (медленно меняющихся амплитуд) из уравнений движения цепочки связанных осцилляторов. Условия применимости приближения.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
3. Бегущая волна как точное решение DNLS. «Нелинейное дисперсионное соотношение». Его согласование с точным дисперсионным соотношением линейной системы.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
4. Линеаризация DNLS в окрестности бегущей волны. Линеаризованные уравнения динамики «дискретной огибающей» (малых добавок к комплексной амплитуде волны).	ПК-1, ПК-2, ПК-3
5. Метод исследования на устойчивость состояния равновесия в линейных уравнениях с комплексными переменными и его обоснование.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
6. Анализ линейных уравнений дискретной огибающей на устойчивость. Получение выражения для показателя экспоненты нарастания (инкремента) дискретной огибающей.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
7. Анализ выражения для инкремента дискретной огибающей. Условия модуляционной неустойчивости. Отыскание преимущественного пространственного масштаба неустойчивости (волнового числа огибающей, имеющей наибольший инкремент).	ПК-1, ПК-2, ПК-3

5.2.2 Практические задания для оценивания сформированности знаний, умений и навыков по компетенциям ПК-1, ПК-2, ПК-3, УК-1

Для нескольких значений амплитуды исходной волны A пронаблюдать возникновение модуляционной неустойчивости, формирование волновых пакетов, взаимодействие пакетов, формирование дискретных бризеров.

Для каждого значения амплитуды A провести несколько численных экспериментов, различающихся номером реализации s . Количество значений A и реализаций s устанавливает преподаватель.

Полное время интегрирования $t_{\text{кон}}$ выбирается студентом в каждом эксперименте исходя из достаточности для выполнения заданий. Значения остальных параметров остаются фиксированными во всей серии экспериментов. Рекомендуемые значения параметров: $\beta = 0,25$, $\zeta = 0,001$ (если иное не указано преподавателем).

Студент самостоятельно выбирает значения амплитуд A (при $\beta = 0,25$ рекомендуется задавать значения A , не превышающие 0,5) и волнового числа k (с учетом периодических граничных условий и условия неустойчивости).

В каждом из экспериментов измерить:

1. Значение времени $t_{\text{пак}}$, когда становится заметной модуляция волны (становятся различимы пакеты)

2. Период следования пакетов $L_{\text{пак}}$

3. Скорость распространения пакетов $V_{\text{пак}}$

4. Значение времени $t_{\text{бр}}$, когда формируется первый дискретный бризер

5. Полное количество дискретных бризеров $n_{\text{бр}}$

К отчету по лабораторной работе должны быть приложены все бинарные файлы и рисунки (в электронном виде), по которым проводились измерения.

Величины $L_{\text{пак}}$, $V_{\text{пак}}$ оценить аналитически.

Для каждого значения A результаты свести в таблицу.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Flach S., Gorbach A. Discrete Breathers: Advances in Theory and Applications //Physics Reports. 2008. V. 467. P. 1-116.

2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 1. Механика – М.: Физматлит, 2007. – 224 с.

3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984 (1 изд.), 1992 (2 изд.), 2002 (3 изд.).

б) дополнительная литература:

б) дополнительная литература:

4. Канаков О.И. Флах С. Динамическая локализация энергии в решеточных системах: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. — 85 с.
http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2011/posobie_Kanakov_OI.pdf

5. Канаков О.И. Модуляционная неустойчивость и дискретные бризеры: Учебно-методическое пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. — 19 с.
http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/breathers_manual.pdf

6. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. 3-е издание – М.: Наука, 1989. – 472 с. [4-е изд. М.: Едиториал УРСС, 2000. 5-е изд. М.: Едиториал УРСС, 2003].

в) Интернет-ресурсы и программное обеспечение

7. Канаков О.И., Флах С., Шалфеев В.Д. Введение в теорию дискретных бризеров //Изв. ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика. 2008. Т. 16, №3. С. 112–128.
<http://andjournal.sgu.ru/sites/default/files/2008no3p112.pdf>

8. Подборка статей С. Флаха (S. Flach) по дискретным бризерам
<http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~flach/html/dbreather.html>

9. JAVA – приложение для моделирования дискретного бризера (автор А. Мирошниченко) http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~andreyam/db_anim/db_anim.html

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения. Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет»; и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Канаков О.И. д.ф.-м.н., проф. каф. Теории колебаний и автоматического регулирования

Рецензент(ы): Осипов Г.В., д.ф.-м.н., доц., зав. каф. теории управления и динамики систем ИИТММ

Заведующий кафедрой: Матросов В.В. д.ф.-м.н., проф.

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