

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**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

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.07 Специальные лаборатории по нелинейным колебаниям и волнам относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
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: Знать структуру жизненного цикла проекта по численному исследованию динамики решёточных волновых систем.  УК-2.2: Уметь адаптировать жизненный цикл проекта под специфику численного исследования динамики решёточных волновых систем.	Задания	Зачёт: Практическое задание
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	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 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	ПК-1.1: Знать принципы анализа результатов численного моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.  ПК-1.2: Уметь обрабатывать результаты численного моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы Практическое задание
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики,	ПК-2.1: Знать современное состояние исследований в области волновых неустойчивостей в	Задания	Зачёт: Контрольные

<p>исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</p>	<p>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-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	<p>решёточных волновых системах.</p> <p>ПК-2.2: Уметь выбирать и применять численные методы моделирования волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.</p> <p>ПК-2.3: Владеть навыками планирования, подготовки, проведения исследований, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по моделированию волновых неустойчивостей в решёточных волновых системах.</p> <p>ПК-2.4: Уметь анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.</p>		<p>вопросы</p> <p>Практическое задание</p>
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>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</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1: Знать требования к оформлению отчёта о численном моделировании решёточных волновых систем.</p> <p>ПК-3.2: Уметь представлять результаты численного моделирования решёточных волновых систем.</p> <p>ПК-3.3: Владеть навыками формулировки результатов радиофизического численного эксперимента.</p>	Задания	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Практическое задание</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Тема 1: Выполнение лабораторной работы «Модуляционная неустойчивость и дискретные бризеры»	71		32	32	39
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий /лабораторных работ в форме практической подготовки отводится \_\_\_\_32\_\_ часа.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 32 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к заданиям и контрольным вопросам для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, приведённым в пункте 5.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции УК-2:**

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).

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

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).

### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

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).

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

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).

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 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» 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» 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» 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Хотя бы одна компетенция сформирована

Оценка	Критерии оценивания
	на уровне «плохо»

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 базовых навыков. 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач



### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

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

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции УК-2

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.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-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.

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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.

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-3

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.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 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» 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» 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» 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

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

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

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

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

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

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

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

### **5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

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

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

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

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

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

Анализ линейных уравнений дискретной огибающей на устойчивость. Получение выражения для

показателя экспоненты нарастания (инкремента) дискретной огибающей.

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

### **5.3.7 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

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

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

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

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

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

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

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

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 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» 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» 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» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»,

Оценка	Критерии оценивания
	при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [в 9 т.]. Т. 1. Механика. - Изд. 2-е, испр. - М. : Наука, 1965. - 204 с. : черт. - 0.47., 27 экз.
2. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука , 1992. - 454, [1] с. : ил. - 62.50., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Канаков Олег Игоревич. Динамическая локализация энергии в решеточных системах: основы теории и приложения : учебное пособие / О. И. Канаков, С. Флах ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 85 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851238&idb=0>.
2. Арнольд В. И. Математические методы классической механики : [учеб. пособие для мех.-мат. специальностей ун-тов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 472 с. : ил. - ISBN 5-02-014282-4 : 13.00., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. 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>
2. Подборка статей С. Флаха (S. Flach) по дискретным бризерам <http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~flach/html/dbreather.html>
3. JAVA – приложение для моделирования дискретного бризера (автор А. Мирошниченко) [http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~andreyim/db\\_anim/db\\_anim.html](http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~andreyim/db_anim/db_anim.html)

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Канаков Олег Игоревич, доктор физико-математических наук.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.