

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
\_\_\_\_\_ Турилова Е.А.  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Физика нелинейных явлений

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика  
Направленность (профиль) подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2025

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): профессор, д.н. Овчинников М.Н. (Кафедра радиоэлектроники, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), Marat.Ovchinnikov@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач, в том числе в сфере педагогической деятельности;
ПК-1	Способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

модельные нелинейные волновые уравнения,  
локально-неравновесные модели процессов переноса,  
стационарные решения нелинейных уравнений

Должен уметь:

производить вейвлет-преобразования для анализа волновых процессов

анализировать дисперсионные уравнения.

Должен владеть:

основными понятиями теории динамического хаоса,  
методами анализа динамики сложных систем,  
основными понятиями динамического хаоса.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.О.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Квантовые устройства и радиофотоника)" и относится к обязательной части ОПОП ВО.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

## 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 26 часа(ов), в том числе лекции - 26 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 46 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 1 семестре.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Локально-неравновесные модели процессов переноса.	1	4	0	0	0	0	0	4
2.	Тема 2. Волны в жидкостях.	1	4	0	0	0	0	0	8
3.	Тема 3. Стационарные решения нелинейных уравнений.	1	4	0	0	0	0	0	8
4.	Тема 4. Сложная динамика нелинейных систем.	1	8	0	0	0	0	0	8
5.	Тема 5. Хаос и фракталы.	1	4	0	0	0	0	0	8
6.	Тема 6. Основные понятия и методы вейвлет-анализа.	1	2	0	0	0	0	0	10
	Итого		26	0	0	0	0	0	46

### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

#### Тема 1. Локально-неравновесные модели процессов переноса.

Локально-неравновесные модели процессов переноса. Классическая теория процессов переноса. Принцип локального термодинамического равновесия. Принцип локальности. Характерное время процесса. Законы сохранения. Уравнения движения. Характерные скорости процессов. Дисперсионные уравнения. Фазовые и групповые скорости волн. Пример телеграфного уравнения, расчет фазовой и групповой скоростей.

#### Тема 2. Волны в жидкостях.

Волны в жидкостях. Гравитационные волны в жидкостях. Уравнения гидродинамики. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера. Потенциальные течения-потенциал скорости. Уравнение Навье-Стокса. Гравитационные волны в жидкостях. Линеаризация. Дисперсионное уравнение. Расчет фазовых и групповых скоростей. Случай мелкой воды, случай глубокой воды. Учет поверхностного натяжения. Затухание волн. Коэффициент временного затухания амплитуды волны.

#### Тема 3. Стационарные решения нелинейных уравнений.

Стационарные решения нелинейных уравнений. Примеры нелинейных уравнений и их линеаризованных аналогов. Общие решения волновых уравнений. Пример искажения фронта волны. Ударные волны, как пример нелинейных волн. Уравнение Бюргерса. Уравнение Кортевега де Фриза. Солитонные решения. Скорости нелинейных волн. Понятие групповой скорости для нелинейных волн по Уизему. Уравнение Буссинеска. Уравнение  $\sin$ -Гордон.

#### **Тема 4. Сложная динамика нелинейных систем.**

Сложная динамика нелинейных систем. Понятие детерминированного хаоса. Хаос в консервативных и диссипативных системах. Эргодическая гипотеза. Интегрируемость. Квантовый хаос. Экспериментальное обнаружение хаоса. Модели хаотических систем. Модель Лоренца. Управляющие параметры. Конвекция Бенара. Реакция Белоусова-Жаботинского. Модель Фейгенбаума. Модель Хенона-Хейлеса. Критерии динамического хаоса. Отображение Пуанкаре. Показатели Ляпунова. Управление хаосом. Хаос как непредсказуемость.

#### **Тема 5. Хаос и фракталы.**

Хаос и фракталы. Дробная размерность. Определения дробной размерности множеств. Мультифракталы. Кривая Кох. Самоподобие. Пример двумерного отображения Хенона. Уравнения эволюции в дробных производных. Сверхмедленная релаксация. Уравнения теплопроводности и электродинамики в дробных производных. Дробная производная и дробный интеграл.

#### **Тема 6. Основные понятия и методы вейвлет-анализа.**

Основные понятия и методы вейвлет-анализа. Сравнение преобразования Фурье и вейвлет-преобразования. Непрерывное и дискретное вейвлет-преобразование. Примеры базисных функций. Гауссианы и их производные. Свойства вейвлетов: линейность, инвариантность относительно сдвига, частотно-временная локализация, дифференцируемость. Автомодельность базиса. Обратное вейвлет-преобразование. Плотность энергии и локальный спектр. Скалограмма. Возможные артефакты.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модуля).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

А.Ю.Лоскутов. Очарование хаоса. - [http://ufn.ru/ufn10/ufn10\\_12/Russian/r1012c.pdf](http://ufn.ru/ufn10/ufn10_12/Russian/r1012c.pdf)

Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2665](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2665)

Теория и практика вейвлет- преобразования, интернет ресурсы. (В.Грибунин) - <http://www.autex.spb.ru/wavelet/>

Турбулентность и самоорганизация. Проблемы моделирования космических и природных сред. Колесниченко А.В., Маров М.Я. - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4382](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4382)

Численные решения математических уравнений (мир математических уравнений) - <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/education/edu-pde.htm>

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекции конспектируются. Фиксируйте темы, заголовки, ключевые идеи и слова. Используйте понятные сокращения. Основные формулы пригодятся при решении задач на письменных контрольных работах. Задавайте вопросы, в том числе, если неясны предположения, выводы и формы записи. Конспект лекций может помочь при подготовке к зачету.
самостоятельная работа	Материал дисциплины излагается последовательно и темы взаимосвязаны в соответствии с рабочим планом дисциплины. Желательно следовать графику учебного процесса и равномерно распределять время на протяжении семестра. В ходе аудиторных занятий даются ссылки на соответствующие разделы используемых литературных источников и учебно-методических пособий. В источниках, дополняющих лекции, содержатся ответы на контрольные вопросы.
зачет	При подготовке к зачету следует ориентироваться на вопросы, имеющиеся в РПД и розданные преподавателем по данному курсу. Как правило, требуется ответить на один теоретический вопрос, решить две задачи и ответить на дополнительные вопросы преподавателя по курсу. Перед зачетом будет проведена консультация.

### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе "Квантовые устройства и радиофотоника".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика  
Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2025

#### Основная литература:

1. Захарова, Т. В. Вейвлет-анализ и его приложения : учебное пособие / Т. В. Захарова, О. В. Шестаков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2023. - 158 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-018171-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1915656> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Каликинский, И. И. Электродинамика : учебное пособие / И.И. Каликинский. - 3-е изд-е, перераб. и доп. - Москва: ИНФРА-М, 2020. - 159 с. - (Высшее образование: Магистратура). - ISBN 978-5-16-006771-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062336> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Цирлин, А. М. Процессы минимальной диссипации в необратимой термодинамике : монография / А. М. Цирлин. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 400 с. - ISBN 978-5-507-44649-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/238517> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Скубов, Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний : учебное пособие / Д. Ю. Скубов. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1470-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211349> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : учебное пособие / Г. Т. Алдошин. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1460-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211076> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гурбатов, С. Н. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. Приложения к нелинейной акустике : монография / С. Н. Гурбатов, О. В. Руденко, А. И. Саичев. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 496 с. - ISBN 978-5-9221-1042-6. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2171> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.