

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

Введение в теорию нелинейных волн

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.02 Введение в теорию нелинейных волн является факультативом в образовательной программе.

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 |
| ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности; | ОПК-1.1: Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики ОПК-1.2: Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач ОПК-1.3: Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности | ОПК-1.1: Знать методы решения стандартных задач профессиональной деятельности в области теории нелинейных волн на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности ОПК-1.2: Знать методы решения стандартных задач профессиональной деятельности в области теории нелинейных волн на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности ОПК-1.3: Знать методы решения стандартных задач профессиональной | Собеседование | Зачёт: Контрольные вопросы |

| | | | | |
|--|--|---|---------------|-------------------------------|
| | | деятельности в области теории нелинейных волн на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности | | |
| ОПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные; | ОПК-2.1: Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов ОПК-2.2: Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы ОПК-2.3: Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов | ОПК-2.1: Знать основные методы радиофизических измерений характеристик нелинейных волн ОПК-2.2: Знать основные методы радиофизических измерений характеристик нелинейных волн ОПК-2.3: Знать основные методы радиофизических измерений характеристик нелинейных волн | Собеседование | Зачёт: Контрольные вопросы |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | очная |
|--|--------------------------|
| Общая трудоемкость, з.е. | 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 Зачёт |

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/ лабора- торные работы), часы | Всего | |
| | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 |
| Тема 1. Дисперсионное уравнение и энергия волн в слабодиссипативных средах | 8 | | 4 | 4 | 4 |
| Тема 2. Нелинейное взаимодействие волн | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 3. Нелинейные волны в консервативных средах со слабой дисперсией | 4 | | 2 | 2 | 2 |
| Тема 4. Модулированные нелинейные волны в консервативных средах | 5 | | 2 | 2 | 3 |
| Тема 5. Самоорганизация, структуры и турбулентность диссипативных неравновесных средах | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 1. Дисперсионное уравнение и энергия волн в слабодиссипативных средах | 8 | | 4 | 4 | 4 |
| Тема 2. Нелинейное взаимодействие волн | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 3. Нелинейные волны в консервативных средах со слабой дисперсией | 5 | | 2 | 2 | 3 |
| Тема 4. Модулированные нелинейные волны в консервативных средах | 5 | | 2 | 2 | 3 |
| Тема 5. Самоорганизация, структуры и турбулентность диссипативных неравновесных средах | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | | 1 |
| Итого | 72 | 0 | 32 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

-

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 следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Список вопросов для собеседования совпадает с контрольными вопросами

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Список вопросов для собеседования совпадает с контрольными вопросами

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---------------------|
| зачтено | |
| не зачтено | |

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. | При решении стандартных задач не | Продemonстрированы основные | Продemonстрированы все | Продemonстрированы все | Продemonстрированы все | Продemonстрированы все основные |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|--|--|---|--|--|
| | Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | 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 | 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 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

ДИСПЕРСИОННОЕ УРАВНЕНИЕ И ЭНЕРГИЯ ВОЛН В СЛАБОДИССИПАТИВНЫХ СРЕДАХ

1. Дисперсионное уравнение и свойства симметрии его решений.
2. Решение задач с начальными и граничными условиями для монохроматических волн. Формализм сопряженной задачи на собственные значения.
3. Две формы записи общего решения линейной задачи для широких волновых пакетов.
4. Переход от дискретной LC-линии к распределенной модели. Дисперсионные уравнения для распределенной и дискретной LC-линий.
5. Моделирование сред с дисперсией в области низких, высоких и промежуточных частот с помощью распределенных LC-линий.
6. Дисперсионные ветви и неустойчивость холодной системы пучок-плазма в приближении плоских волн.
7. Дисперсионные ветви и неустойчивость холодной системы пучок-плазма с ограниченным поперечным сечением. Эффект редукции пространственного заряда.
8. Вывод уравнения для комплексной амплитуды волны пространственного заряда, возбуждаемой слабым сторонним током. Асимптотический метод Боголюбова-Митропольского.
9. Спектрально-операторный формализм. Действие спектрального оператора на квазимонохроматическое волновое поле.
10. Уравнение энергетического баланса и выражение для плотности энергии волн пространственного заряда. Границы применимости понятия волновой энергии.
11. Понятие слабодиссипативной среды на примере волн пространственного заряда в системе пучок-плазма с диссипацией. Баланс волновой энергии в слабодиссипативной среде.
12. Волны с отрицательной энергией (ВОЭ) в неравновесных средах на примере плоских волн пространственного заряда в электронном потоке и в системе пучок-плазма. Формализм ВОЭ в линейных средах.

НЕИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН

1. Построение уравнений трехволнового резонансного взаимодействия для многопоточковой системы заряженных частиц методом Боголюбова-Митропольского. Графическое определение резонансных волновых триплетов.
2. Соотношения Мэнли-Роу для трехволнового резонансного взаимодействия в консервативных средах и аналогия с процессами распада и слияния квазичастиц в квантовой механике.
3. Распадная неустойчивость ВЧ-волны и «нераспадность» НЧ-волн при трехволновом резонансном взаимодействии в равновесных средах.

4. Качественное исследование трехволнового взаимодействия в фазовом пространстве на эллипсоиде
5. Учет потерь и расстройки от резонанса в уравнениях трехволнового взаимодействия
6. Уравнение для спектральной плотности амплитуды при взаимодействии широких волновых пакетов и переход к узким волновым пакетам.
7. Стационарное резонансное взаимодействие трех волн в пространстве при разных знаках групповых скоростей волн. Особенности параметрического усиления встречных волн на примере вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в газе.
8. Особенности трехволнового резонансного взаимодействия в неравновесных средах. Распад низкочастотных волн и взрывная неустойчивость.
9. Четырехволновое взаимодействие в консервативных средах с кубичной нелинейностью. Самовоздействие волн и нелинейный сдвиг частоты.
10. Самовоздействие волн и возникновение среднего поля в среде с квадратичной нелинейностью (на примере модельного уравнения).
11. Взрывная неустойчивость при резонансном взаимодействии электромагнитных волн положительной энергии в распределенной LC-линии с нелинейной утечкой. Жесткое возбуждение волн при взрывной неустойчивости.
12. Нерезонансное взаимодействие двух неустойчивых волн в активной среде. Эволюция пространственно однородных волн во времени и попутных волн в пространстве. Мультистабильность и конкуренция волн.
13. Нерезонансное взаимодействия двух встречных волн в резонаторе, заполненном активной средой. Условие возникновения пространственно неоднородных режимов генерации.
14. Параметрическая неустойчивость и захват модулированных волн. Условие захвата слабых волн прямоугольным импульсом накачки.
15. Пространственно-временная аналогия и захват слабых волн пучком накачки.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В КОНСЕРВАТИВНЫХ СРЕДАХ СО СЛАБОЙ ДИСПЕРСИЕЙ.

1. Вывод уравнения Кортевега де Вриза для распределенной LC-линии со слабой дисперсией в области длинных волн. Одноволновое приближение и метод Боголюбова-Митропольского для нелинейных волн.
2. Стационарные волны в уравнении Кортевега де Вриза. Солитоны и кноидальные волны.
3. Уравнение Кортевега де Вриза для волн на мелкой воде. Влияние потерь на форму стационарной волны. Волнистая и турбулентная боры.

4. Понятия о методе обратной задачи теории рассеяния. Асимптотические свойства решений уравнения Кортевега де Вриза. Аналогия солитонов с частицами.

5. Вывод уравнения Кортевега де Вриза из уравнения для волновых пакетов как основа для построения эталонных уравнений для длинных нелинейных волн.

6. Уравнение Бенджамина-Оно для среды в «квадратичной» дисперсией и одномерные алгебраические солитоны

7. Уравнение Кадомцева-Петвиашвили как обобщение уравнения Кортевега де Вриза для двумерных волн. Двумерные алгебраические солитоны в среде с «положительной» дисперсией.

МОДУЛИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В КОНСЕРВАТИВНЫХ СРЕДАХ

1. Построение нелинейного уравнения Шредингера на основе результатов анализа динамики волновых пакетов.

2. Нелинейное параболическое уравнение для волновых пучков в изотропных средах.

3. Модуляционная неустойчивость бегущей волны и ее интерпретация на языке четырехволнового параметрического процесса.

4. Самофокусировка плоской волны и волновых пучков.

5. Одномерные солитоны огибающей в нелинейном уравнении Шредингера.

САМООРГАНИЗАЦИЯ, СТРУКТУРЫ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В ДИССИПАТИВНЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ СРЕДАХ

6. Одномерное уравнение Гинзбурга-Ландау и его двумерное обобщение.

7. Устойчивость когерентных структур в виде бегущих волн в уравнении Гинзбурга –Ландау.

8. Диссипативный предел уравнения Гинзбурга-Ландау. Понятие градиентной системы.

9. Решение диссипативного уравнения Гинзбурга-Ландау в виде вихрей. Вихри как топологические дефекты полного волнового поля.

10. Структуры и турбулентность в двумерном уравнении Гинзбурга-Ландау (галерея феноменов).

11. Термическая конвекция как пример структурообразующей системы. Число Релея и число Прандтля. Нейтральная кривая для конвективных валов.

12. Кольцо неустойчивости на плоскости волновых чисел и уравнение Свифта-Хоенберга.

13. Описание конкуренции в валиковых структур на основе уравнения Свифта-Хоенберга.

14. Описание конкуренции валов и шестигранников в рамках уравнения Свифта-Хоенберга. Устойчивость и предпочтительность шестигранников. Понятие о пенто-гепто дефектах в системе шестигранников.

15. Уравнение Ньюэла-Вайтхеда-Сегеля для конвективных валов. Движение дислокаций в системе искривленных валов.

16. Доменные стенки и их простейшие модели

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---------------------|
| зачтено | |
| не зачтено | |

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

Основная литература:

1. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с. : ил. - 1.30., 161 экз.
2. Виноградова Марианна Брониславовна. Теория волн : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] . - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 383 с. : ил. - 1.10., 145 экз.
3. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / пер. с англ. А. С. Пиковского, М. Г. Розенблюма. - М. : Техносфера, 2003. - 496 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-020-2 : 270.00., 23 экз.
4. Михайловский Анатолий Борисович. Теория плазменных неустойчивостей : [в 2 т.]. Т. 1. Неустойчивости однородной плазмы. - 2-е изд., перераб., доп. - М. : Атомиздат, 1975. - 272 с. : с черт. - 1.78., 16 экз.
5. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с. : ил. - 1.30., 161 экз.
6. Виноградова Марианна Брониславовна. Теория волн : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] . - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 383 с. : ил. - 1.10., 145 экз.
7. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / пер. с англ. А. С. Пиковского, М. Г. Розенблюма. - М. : Техносфера, 2003. - 496 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-020-2 : 270.00., 23 экз.
8. Михайловский Анатолий Борисович. Теория плазменных неустойчивостей : [в 2 т.]. Т. 1. Неустойчивости однородной плазмы. - 2-е изд., перераб., доп. - М. : Атомиздат, 1975. - 272 с. : с черт. - 1.78., 16 экз.

Дополнительная литература:

1. Кадомцев Борис Борисович. Коллективные явления в плазме. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Наука, 1988. - 304 с. - 3.10., 12 экз.
2. Скотт Элвин. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике / пер. с англ. С. Я. Вышкинд и Т. М. Таранович ; под ред. Л. А. Островского и М. И. Рабиновича. - М. : Советское радио, 1977. - 367 с. - 2.44., 17 экз.
3. Кадомцев Борис Борисович. Коллективные явления в плазме. - 2-е изд., испр. и доп. - М. :

Наука, 1988. - 304 с. - 3.10., 12 экз.

4. Скотт Элвин. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике / пер. с англ. С. Я. Вышкинд и Т. М. Таранович ; под ред. Л. А. Островского и М. И. Рабиновича. - М. : Советское радио, 1977. - 367 с. - 2.44., 17 экз.

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

<https://rf.unn.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.