

Программа спецкурса
«Введение в теорию нелинейных волн» (4-й курс, 7-ой семестр, 2019 г.)
Лектор д.ф.-м.н. В.П. Реутов

ДИСПЕРСИОННОЕ УРАВНЕНИЕ И ЭНЕРГИЯ ВОЛН

1. Построение дисперсионного уравнения и свойства симметрии его решений. Дисперсионные ветви и решение задач с начальными и граничными условиями для монохроматических волн.
2. Дисперсия электромагнитных волн в распределенных LC-линиях. Переход от дискретной цепочки к распределенной LC-линии. Моделирование дисперсионных характеристик непрерывных сред с помощью распределенных LC-линий. Модели сред с дисперсией в области высоких, низких и промежуточных частот.
3. Дисперсионное уравнение для волн пространственного заряда в системе взаимопроникающих «холодных» потоков заряженных частиц. Неустойчивость плоских волн пространственного заряда в системе «пучок–плазма» с пучком малой плотности. Дисперсионное уравнение для волн пространственного заряда в сильно «замагниченной» системе «пучок–плазма» с ограниченным поперечным сечением. Эффект редукации пространственного заряда.
4. Определение плотности энергии акустических волн и волн пространственного заряда в многопоточковой системе с помощью уравнения энергетического баланса. Спектрально-операторный формализм и асимптотический метод Боголюбова-Митропольского.
5. Волны с отрицательной энергией (ВОЭ) в неравновесных средах (на примере волн пространственного заряда в системе пучок-плазма). Термодинамические ограничения на знак волновой энергии в равновесной среде. Физический смысл ВОЭ и формализм ВОЭ в линейных средах.

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН

1. Трехволновые резонансные взаимодействия в консервативных средах с квадратичной нелинейностью. Вывод уравнений для комплексных амплитуд при резонансном взаимодействии трех модулированных волн на примере электромагнитных волн в LC-линии с нелинейной емкостью и волн пространственного заряда в многопоточковой системе. Графическое определение резонансных триплетов.
2. Соотношения Мэнли-Роу и аналогия трехволновых взаимодействий в равновесных средах с процессами распада и слияния квазичастиц в квантовой механике
3. Учет малых потерь и расстройки частот волн от резонанса. Уравнение для спектральной плотности амплитуды широких пакетов нормальных волн в среде с квадратичной нелинейностью.
4. Свойства резонансного трехволнового взаимодействия в равновесных средах. Распадная (параметрическая) неустойчивость в заданном поле высокочастотной накачки и «нераспадность» низкочастотных волн.
5. Анализ динамики трехволнового взаимодействия в фазовом пространстве на эллипсоиде. Вырожденный трехволновый процесс (генерация второй гармоники).
6. Стационарное трехволновое взаимодействие. Пространственно–временная аналогия для волн с одинаковыми знаками групповых скоростей. Особенности параметрического усиления встречных волн на примере вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в газе.
7. Свойства резонансных трехволновых взаимодействий в неравновесных средах. Распадная неустойчивость низкочастотных волн и взрывная неустойчивость.

8. Четырехволновые взаимодействия в консервативных равновесных средах. Условие четырехволнового резонанса в кубичной среде. Самовоздействие и нерезонансное взаимодействие волн. Эффективная кубичная нелинейность и средние поля второго порядка по амплитуде в квадратичной среде на примере решения модельного уравнения с квадратичной и кубичной нелинейностью.
9. Взаимодействие волн в средах с диссипативной нелинейностью. Взрывная неустойчивость при резонансном взаимодействии электромагнитных волн положительной энергии в распределенной LC-линии с нелинейным током утечки и ее стабилизация за счет нелинейного затухания. Связь взрывной неустойчивости с жестким возбуждением волн.
10. Конкуренция волн в активных средах с кубичной нелинейностью. Исследование конкуренции двух однородных волн во времени и попутных волн в пространстве методом фазовой плоскости. Пространственно неоднородные стационарные режимы генерации встречных волн в резонаторе.
11. Резонансное взаимодействие волновых импульсов и пучков. Параметрическая неустойчивость и критерий захвата слабых волн импульсом накачки. Пространственно-временная аналогия и захват слабых волн пучком накачки.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В КОНСЕРВАТИВНЫХ СРЕДАХ СО СЛАБОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

1. Вывод уравнения Кортевега-де-Вриза (КдВ) на примере электромагнитных волн в LC-линии с нелинейной емкостью и слабой дисперсией в области малых волновых чисел. Периодические стационарные волны и солитоны в уравнении КдВ.
2. Уравнение КдВ для волн на мелкой воде. Влияние потерь на форму стационарных волн. Волнистая и турбулентная боры на мелкой воде. Уравнение КдВ как модель развития цунами.
3. Понятие о методе обратной задачи теории рассеяния (ОЗР). Распад начального возмущения на солитоны в уравнении КдВ. Аналогия солитонов с частицами.
4. Уравнение Бенджамена-Оно и одномерные алгебраические солитоны.
5. Уравнение Кадомцева-Петвиашвили для двумерных волн и двумерные алгебраические солитоны в среде с «положительной дисперсией». Устойчивость КдВ солитонов к трехмерным возмущениям.

МОДУЛИРОВАННЫЕ ВОЛНЫ В КОНСЕРВАТИВНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

1. Вывод нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) для модулированных волн. Соотношение между дисперсией и нелинейностью в НУШ.
2. Обобщение НУШ для неодномерных волновых полей (нелинейное параболическое уравнение). Самомодуляция и самофокусировка плоских волн в консервативных средах и их интерпретация как «четырёхквантовых» распадных процессов.

САМООРГАНИЗАЦИЯ, СТРУКТУРЫ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В ДИССИПАТИВНЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ СРЕДАХ.

1. Хаос и структуры в рамках комплексного уравнения Гинзбурга-Ландау (КУГЛ). Одномерное и двумерное (КУГЛ). Неустойчивость когерентных структур в виде монохроматических бегущих волн (критерий Бенджамена-Фейра-Ньюэла).

2. Диссипативный предел двумерного КУГЛ и понятие градиентной системы. Решение диссипативного двумерного уравнения Гинзбурга-Ландау в виде «вихрей». Вихри и топологические дефекты. Решение двумерного КУГЛ в виде спиралей.
3. Турбулентность и структуры в двумерном КУГЛ: спирали, фазовая турбулентность, турбулентность дефектов и замороженные состояния («вихревые стекла»).
4. Термическая гравитационная конвекция в жидком слое, подогреваемом снизу, как пример структурообразующей системы. Числа Рэлея и Прандтля. Конвективные валы и нейтральная кривая для них.
5. Исследование отбора (селекции) конвективных структур с помощью уравнения Свифта-Хоенберга. Конкуренция валов, имеющих произвольную пространственную ориентацию. Формирование конвективных ячеек в виде шестигранников. Устойчивость и «предпочтительность» шестигранных ячеек.
6. Нарушения порядка (дефекты) в пространственно периодических структурах. Уравнение Ньюэла-Вайтхеда-Сегеля для модулированных решеток валов. Дислокации и движение дефектов в периодических решетках валов. Пенто-гепто дефекты в периодической решетке шестигранников.
7. Доменные стенки и их простейшие модели.

Литература к спецкурсу «Введение в теорию нелинейных волн»

Основная литература:

1. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 С. (2-ое издание – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 1999. 560 С.).
2. Рабинович М.И., Езерский А.Б. Динамическая теория формообразования. М.: Янус-К, 1998. 191С.
3. Гетлинг А.В. Конвекция Рэлея-Бенара. М.: Эдиториал УРСС, 1999.
4. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Колебания и волны. Изд. УРСС, 2004.
5. Скотт Э. Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур. М.: Физматлит, 2007.
6. Вильгельмссон Х., Вейланд Я. Когерентное нелинейное взаимодействие волн в плазме. М.: Энергоиздат, 1981
7. Сухоруков А.П. Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике. М.: Наука, 1988. 232 с.
8. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1979. 384 с.
9. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж, Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988.
10. Дж. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
11. А. Пиковский, М Розенблюм, Ю. Куртс. Мир физики и техники: Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 496 С.
12. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973. 176 с.
13. Бриггс П. Двухпотоковая неустойчивость. В сборнике «Достижения физики плазмы». М.: Мир, 1974. С. 132-171.
14. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. Т.1. М.: Атомиздат, 1975. 272 с.
15. Найфэ А.Х. Методы возмущений. М.: Мир, 1976.

Дополнительная литература:

1. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.
2. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
3. Ахманов С.А., Хохлов Р.В. Проблемы нелинейной оптики. М.: Изд. ВИНТИ, 1964.
4. Цытович В.Н. Нелинейные эффекты в плазме. М. Наука, 1967. 288 с.
5. Бломберг Н. Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966. 424 с.
6. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984
7. Бриллюэн Л., Пароди М. Распространение волн в периодических структурах. М. ИЛ, 1959
8. Федорченко А.М., Коцаренко Н.Я. Абсолютная и конвективная неустойчивость в плазме и в твердых телах. М.: Наука, 1981.
9. Д.И. Трубецков, Е.С. Мчедлова, Л.В. Красичков. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. Физматлит, 2005.
10. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса.
11. Ю.С. Кившарь, Г.П. Агравал. Оптические солитоны. Пер. с англ. М.: Физматлит, 2005.

12. Диссипативные солитоны (ред. Н. Ахмедиева, А. Анкевич). М.: Физматлит, 2008. 502 С.
13. Дж. У. Лич. Классическая механика. М: Изд. иностранной литературы, 1961. 173с.
14. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. М.: Мир. 1981. 600с.
15. Юэн Г., Лэйк Б. Нелинейная динамика гравитационных волн на глубокой воде. Мир, 1987. 182 с.
16. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир, 1989. 323 с.
17. Солитоны в действии. Сб. под ред. К. Лонгрена и Э. Скотта. М.: Мир, 1981
18. Захаров В.Е., Манаков С.В., Новиков С.П. Теория солитонов: Метод обратной задачи. (Под ред. С.П. Новикова). М.: Наука, 1980.
19. Захаров В.Е. Гамильтоновский формализм для волн в нелинейных средах с дисперсией. Изв. ВУЗ-ов, Радиофизика. 1974. Т.17, №4, с.431–453.
20. Aganson I.S., Kramer L. The world of the complex Ginzburg-Landau equation. Reviews of Modern Physics. 2002. V.74, N.1. P.99-143.
21. Chate H., Manneville P. Phase diagram of the two-dimensional complex Ginzburg-Landau equation. Physica A, 1996, V.224. P.348-368.
22. Петвиашвили В.И. Неодномерные солитоны. В кн. Нелинейные волны. М.: Наука, 1979. 360с.
23. Островский Л.А. Нелинейные внутренние волны в океане. В кн. Нелинейные волны. М.: Наука, 1979. 360с.
24. Островский Л.А. Ударные волны и солитоны. Изв. ВУЗов–Радиофизика, 1976. Т.19, №5-6. С.661-690 (тематический выпуск «Нелинейные волны»).