

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»
(РУДН)*

*Факультет физико-математических и естественных наук
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности
03.04.02 «Физика»**

Направленность программы (профиль) «Фундаментальная и прикладная физика»

1. **Цели и задачи дисциплины:** Изучение теории нелинейных физических систем различной природы и общих условий их устойчивости.

2. **Место дисциплины в структуре ОП ВО:**

Дисциплина «Физика нелинейных процессов» относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.04.02 – Физика, магистерская программа «Фундаментальная и прикладная физика». Изучение дисциплины базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению «Физика»: на модуле «Математика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, на модулях «Общая физика», «Теоретическая физика», «Методы математической физики» базовой части профессионального цикла и на курсах «Основы физики плазмы» и «Теория колебаний и волн» вариативной части профессионального цикла.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ОПК-1. Способность применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности		Электродинамика сплошных сред Математические методы в физике
2	ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта		Электродинамика сплошных сред Математические методы в физике

3. **Требования к результатам освоения дисциплины:**

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основные физические принципы, необходимые для решения нелинейных задач, роль и взаимосвязь нелинейности и дисперсии в волновых процессах.

Уметь: применять для решения конкретных физических задач методы теории линейной и нелинейной устойчивости, составить качественное суждение о результирующей роли нелинейности в конкретном волновом процессе.

Владеть: методом линеаризации, математическим аппаратом квазилинейной теории, элементами нелинейного анализа.

4. **Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		1	2	3
Аудиторные занятия (всего)	32		32	
В том числе:				
Лекции	16		16	

Практические занятия (ПЗ)	16		16	
Семинары (С)				
Лабораторные работы (ЛР)				
Самостоятельная работа (всего)	40		40	
В том числе:				
Курсовой проект (работа)*				
Расчетно-графические работы				
Реферат				
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>				
Изучение литературы по дисциплине				
Подготовка к выполнению лабораторных работ, обработка результатов и оформление отчета				
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)				
Общая трудоемкость	час	72	72	
	зач. ед.	2	2	

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Введение	Роль и место нелинейных эффектов. Линейные электромагнитные волны.
2	Гидродинамические волны	ГД- и МГД - волны. Нелинейность в гидродинамических моделях.
3	Простые волны	Простые нелинейные волны (опрокидывание, фазовое перемешивание).
4	Иерархия понятий устойчивости	Устойчивость спектральная, линейная, формальная, по Ляпунову.
5	Теоремы Ляпунова	1-ая и 2-ая теоремы Ляпунова.
6	Спектральная теория	Спектр колебаний, линеаризация МГД уравнений. Роль неоднородности.
7	Солитоны Кортевега – де Вриза (КдВ)	Дисперсия, уравнение КдВ. Свойства солитонов КдВ.
8	Квазилинейная теория	Квазилинейная теория.
9	Ленгмюровский коллапс	Ленгмюровский коллапс.
10	Трехволновое взаимодействие	Трехволновое взаимодействие.
11	Резонансы	Резонансы в слабонелинейных системах.
12	Капиллярно-гравитационные волны	Капиллярно-гравитационные волны.

5.3. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семина	СРС	Всего час.
1	Введение	1				3	4
2	Гидродинамические волны	1			2	3	6
3	Простые волны	1				3	4
4	Иерархия понятий устойчивости	1			2	3	6
5	Теоремы Ляпунова	1				3	4
6	Спектральная теория	1			2	3	6

7	Солитоны Кортвега – де Вриза (КдВ)	2				3	5
8	Квазилинейная теория	1			4	3	8
9	Ленгмюровский коллапс	1				4	5
10	Трехволновое взаимодействие	2			4	4	10
11	Резонансы	2				4	6
12	Капиллярно-гравитационные волны	2			2	4	8
	ИТОГО						72

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	2	Нелинейность в гидродинамических моделях.	2
2.	4	Иерархия понятий устойчивости	2
3.	6	Роль неоднородности.	2
4.	8	Квазилинейная теория	4
5.	10	Трехволновое взаимодействие	4
6.	12	Капиллярно-гравитационные волны	2

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература

1. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.
2. Кингсепп А.С. Введение в нелинейную физику плазмы. М.: Изд. МФТИ, 1996.
3. Цытович В.Н. Нелинейные эффекты в плазме. М.: Наука, 1967.
4. Гидродинамические неустойчивости и переход к турбулентности. Под ред. Х. Суинни и Дж. Голлаба. М.: Мир, 1984.

б) дополнительная литература

1. Колоджеро Ф., Дегасперис А. Спектральные преобразования и солитоны. М.: Мир, 1985. 469 с.
2. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
3. Бломберген Н. Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966. 360 с.
4. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977. 622 с.
5. Виноградова М.В., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1990. 432 с.
6. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973. 175 с.
7. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир. 1989. 324 с.
8. Шён И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989. 560 с.
9. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. 616 с.
10. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988. 694 с.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://www.nonlinearwaves.sci-nnov.ru/index.html> -- сайт научной школы "Нелинейные волны";
<http://theor.jinr.ru/~diastp/winter11/lectures/Ryskin/book.pdf> – лекции по нелинейным волнам (авторы Н.М. Рыскин, Д.Ю. Трубецков)
http://ru.wikipedia.org/wiki/Нелинейная_волна – ресурс электронной энциклопедии

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, компьютерный проектор

11. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:

Дисциплина может входить составной частью в цикл изучения физики плазмы и термоядерных систем магнитного удержания

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**Шкала оценок**

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Физика нелинейных процессов (5-й курс, 1-й семестр)

Направление/Специальность: 03.04.02 «Физика» специализация "Фундаментальная и прикладная физика"

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства			Баллы темы	Баллы раздела
			Текущий контроль		Промежуточная аттестация		
			Тест	Работа на семинаре	Экзамен/Зачет		
ОПК-1, ПК-1	Введение		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Гидродинамические волны		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Простые волны		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Иерархия понятий устойчивости		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Теоремы Ляпунова		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Спектральная теория		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Солитоны Кортевега – де Вриза (КдВ)		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Квазилинейная теория		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Ленгмюровский коллапс		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Трехволновое взаимодействие		3		5		8
ОПК-1, ПК-1	Резонансы		5		5		10
ОПК-1, ПК-1	Капиллярно-гравитационные волны		5		5		10
		ИТОГО:	40		60	100	100

Методические указания для студента

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Материал курса будет лучше усвоен при регулярной самостоятельной проработке. Рекомендуется регулярно проводить самотестирование с использованием контрольных вопросов, размещенных на учебном портале.

Сборник задач и упражнений

Задачи и упражнения содержатся в учебном пособии: А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин, О.Б. Исаева. Нелинейность: от колебаний к хаосу (задачи и учебные программы). – Москва, Ижевск, R&C Dynamics, 2006. – 184 с.

Студент допускается к итоговой аттестации с любым количеством баллов, набранном в семестре, но при условии, что у студента имеется теоретическая возможность получить не менее 31 балла. Если в итоге за семестр студент получил менее 31 балла, то ему выставляется оценка F и студент должен повторить эту дисциплину в установленном порядке. Если же в итоге студент получил от 31 до 50 баллов, т.е. F_x , то студенту разрешить добор необходимого (до 51) количества баллов путём повторного одноразового выполнения предусмотренных контрольных мероприятий, аннулировав, по усмотрению преподавателя, соответствующие предыдущие результаты. Ликвидацию задолженностей проводить в период с 07.02 по 28.02 по согласованию с деканатом.

Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам

1. Нелинейность среды. Сравнение свойств линейных нелинейных сред.
2. Дисперсия и диссипация среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. Природа дисперсии и диссипации среды в электродинамике.
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.
5. Квадратичная среда. Условия и типы трёхчастотного взаимодействия.
6. Законы сохранения в непоглощающей квадратичной среде.
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме.
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
10. Основные свойства солитонного решения уравнения КдВ.

Задания для самостоятельной работы по темам

1. Зависимость периода нелинейных колебаний от амплитуды
2. Спектры нелинейных систем
3. Нелинейный осциллятор.
4. Метод медленно меняющихся амплитуд
5. Движение вблизи сепаратрисы
6. Быстрые и медленные движения в случае сильной диссипации
7. Образование разрывов
8. Одномерные дискретные отображения
9. Автоколебания
10. Модулированные волны в нелинейных средах

Перечень рефератов и/или курсовых работ по темам

1. Мультистабильность и гистерезис
2. Консервативные и диссипативные динамические системы
3. Фазовые портреты нелинейных систем
4. Приближение слабой нелинейности
5. Метод Ван-дер-Поля

6. Уравнение Рэлея
7. Релаксационные автоколебания
8. Сечение Пуанкаре.
9. Синхронизация при нелинейных колебаниях неавтономных систем.
10. Точные методы в теории солитонов

Тестовые задания по темам (для текущего и промежуточного самоконтроля)

1. Дисперсия – это
 1. зависимость фазовой скорости от частоты
 2. зависимость частоты от волнового числа
 3. зависимость фазовой скорости от волнового числа
 4. зависимость групповой скорости от волнового числа и/или от частоты
2. Фазовая скорость волны с частотой ω и волновым вектором \mathbf{k} – это
 1. ω / k
 2. $d\omega / dk$
 3. $k d^2\omega / dk^2$
 4. $[\mathbf{k} \times d\omega / dk] / k$
3. Групповая скорость волны с частотой ω и волновым вектором \mathbf{k} – это
 1. ω / k
 2. $d\omega / dk$
 3. $k d^2\omega / dk^2$
 4. $[\mathbf{k} \times d\omega / dk] / k$
4. В средах с положительной дисперсией
 1. фазовая скорость падает с ростом волнового числа
 2. фазовая скорость не зависит от волнового числа
 3. фазовая скорость растет с ростом волнового числа
 4. фазовая скорость равна нулю
5. Простая нелинейная волна может быть описана уравнением
 1. $\partial \mathbf{v} / \partial t + \mathbf{v} \nabla \cdot \mathbf{v} = 0$
 2. $\partial \mathbf{v} / \partial t + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = 0$
 3. $\partial \mathbf{v} / \partial t + \nabla \cdot \mathbf{v} \nabla \times \mathbf{v} = 0$
 4. $\partial \mathbf{v} / \partial t + \mathbf{v} \times \nabla \times \mathbf{v} = 0$
6. Простая волна в форме синусоидального возмущения скорости среды со временем из-за нелинейности
 1. увеличивает амплитуду синусоиды
 2. уменьшает амплитуду синусоиды
 3. испытывает укрупнение и опрокидывание "горбов" синусоиды
 4. приобретает дополнительный сдвиг фазы
7. Из-за нелинейности синусоидальное возмущение скорости моноэнергетического пучка способно привести
 1. к бунчировке плотности пучка
 2. к деградации плотности пучка
 3. к экспоненциальному росту плотности пучка
 4. к степенному росту плотности пучка
8. В отсутствие дисперсии
 1. фазовые скорости всех гармоник одинаковы
 2. групповые скорости всех гармоник одинаковы
 3. фазовая скорость пропорциональна номеру гармоники
 4. групповая скорость пропорциональна номеру гармоники
9. Уравнение Кортевега – де Вриза описывает волны в среде
 1. без дисперсии
 2. со слабой дисперсией
 3. с сильной дисперсией
 4. с мнимой дисперсией

10. Минимум эффективного потенциала для волны КдВ, бегущей со скоростью u , отвечает скорости
1. равной u
 2. равной $2u$
 3. равной $3u$
 4. равной $4u$
12. Амплитуда солитона КдВ
1. пропорциональна квадрату его ширины
 2. пропорциональна его ширине
 3. обратно пропорциональна его ширине
 4. обратно пропорциональна квадрату его ширины
13. Амплитуда бегущего солитона КдВ
1. равна его скорости
 2. равна его удвоенной скорости
 3. равна его утроенной скорости
 4. пропорциональна квадрату его скорости
14. Ионно-звуковой солитон КдВ всегда
1. дозвуковой
 2. сверхзвуковой
 3. распространяется со скоростью звука
 4. распространяется со скоростью света
15. Инверсия направления координаты и скорости в уравнении КдВ
1. меняет знак дисперсии
 2. меняет знак нелинейности
 3. меняет знак инерционного члена
 4. ничего не меняет
16. Решение уравнения КдВ типа бегущей волны имеет вид
1. только периодической волны
 2. только солитона
 3. периодической волны или солитона
 4. аperiodической волны
17. В бегущей со скоростью u периодической волне, удовлетворяющей уравнению КдВ, скорость колеблется вблизи
1. нуля
 2. u
 3. $2u$
 4. $3u$
18. Какое свойство дисперсионной кривой $\omega(k)$ необходимо для реализации трехволнового взаимодействия?
1. монотонность
 2. наличие максимума
 3. наличие минимума
 4. наличие точки перегиба
19. Ионно-звуковые волны – это волны...
1. без дисперсии
 2. с положительной дисперсией
 3. с отрицательной дисперсией
 4. знак дисперсии зависит от амплитуды волны
20. Для каких из ниже перечисленных волн возможно, в принципе, трехволновое взаимодействие?
1. гравитационные волны на мелкой воде
 2. ионно-звуковые волны
 3. альфвеновские волны
 4. гравитационно-капиллярные волны

Тренинговые задания

В качестве тренингового задания студентам можно предложить решить задачу из числа предназначенных для итоговой аттестации.

Перечень задач для итоговой аттестации по курсу

1. Найти соотношение параметров a и b в преобразовании Галилея $t \rightarrow t'$, $x \rightarrow x' + at'$, $u \rightarrow u' + b$, оставляющее инвариантным уравнение КдВ в форме $v_t + \gamma v v_x + A v_{xxx} = 0$.
2. Дисперсионное уравнение для внутренних волн в слоистой жидкости в приближении Буссинеска имеет вид $\omega^2 = \omega_0^2 k_x^2 / (k_x^2 + k_z^2)$, где $\omega_0^2 = - (g/\rho_0) d\rho_0/dz$ – частота Бронта-Вяйсяля. Найти угол между групповой и фазовой скоростями. При каком соотношении между ω^2 и ω_0^2 возможны решения в виде волн?
3. Известно, что для величины u^2 , где u подчиняется уравнению КдВ, существует закон сохранения. Найти соответствующий поток.
4. Доказать, что если v удовлетворяет уравнению $v_t - 6 v^2 v_x + v_{xxx} = 0$, то $u = v^2 + v_x$ удовлетворяет уравнению КдВ в форме $u_t - 6 u u_x + u_{xxx} = 0$. Верно ли обратное?
5. Сконструировать нелинейное волновое уравнение, описывающее слабодисперсионный процесс в среде с законом дисперсии $\omega^2 = c_0^2 k^2 / (1 - \gamma k^2 d^2)$. Положительна или отрицательна дисперсия в такой среде?
6. Найти соотношение параметров a и b в преобразовании Галилея $t \rightarrow t'$, $x \rightarrow x' + at'$, $u \rightarrow u' + b$, оставляющее инвариантным уравнение Бюргерса, описывающего простые волны с учетом вязкости, $v_t + v v_x = \mu v_{xx}$.
7. Известен закон эволюции простой волны $v(t,x)$, описываемой уравнением $v_t + v v_x = 0$ с начальным условием $v(t=0) = v_0(x)$. Найти, как эволюционирует такая волна в среде с затуханием, описываемая уравнением $u_t + u u_x = -\nu u$ с тем же самым начальным условием $u(t=0) = v_0(x)$.
8. По аналогии с уравнением КдВ найти частные решения типа бегущей волны для уравнения Бюргерса $v_t + v v_x = \mu v_{xx}$.
9. Одномерная вселенная разлетается по закону Хаббла: в каждый момент времени скорость разлета пропорциональна расстоянию от точки наблюдения (коэффициент пропорциональности называется "постоянной Хаббла"). В предположении, что разлет – гидродинамический и описывается уравнением КдВ, рассчитать, за какое время постоянная Хаббла уменьшится на 10% от своего начального значения H_0 .

Вопросы для контроля

Написать необходимые выражения и объяснить содержание следующих понятий.

1. Нелинейность среды. Сравнение свойств линейных нелинейных сред.
2. Дисперсия и диссипация среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. Природа дисперсии и диссипации среды в электродинамике.
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.
5. Квадратичная среда. Условия и типы трёхчастотного взаимодействия.
6. Законы сохранения в непоглощающей квадратичной среде.
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме.

8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
10. Основные свойства солитонного решения уравнения КдВ.

Руководитель направления 03.04.02

Директор института физических исследований
и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза