

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт физических исследований и технологий

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН

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

Квалификация (степень) выпускника

бакалавр

Цели и задачи дисциплины:

Главной **целью** курса является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение колебаний и волновых процессов в рамках цикла курсов по теоретической и экспериментальной физике, специализированных курсов.

Задачи дисциплины: сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего нас мира природы включая атмосферу, океан, околоземное пространство, астрофизику, биофизические явления; показать, что создание такой картины происходит поэтапно, путем обобщения экспериментальных данных и построение на их основе физико-математических моделей наблюдаемых явлений. Дисциплина включает основы теории колебаний различных сред, линейные и нелинейные колебательные системы, вынужденные колебания при внешнем воздействии, параметрические неустойчивости и колебания, автоколебательные системы, колебания распределенных систем, модели волн в гидродинамике и плазме, линейные акустические и электромагнитные волны в диссипативных, диспергирующих и неоднородных средах, нелинейные акустические и электромагнитные волны, взаимодействие и самовоздействие волновых пакетов и пучков в нелинейной среде.

2. Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Теория колебаний и волн» относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 – 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. Данная дисциплина является предшествующей для дисциплин вариативной части профессионального цикла «Основы физики плазмы», «Физическая электроника», «Радиофизика».

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	ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Основы физики плазмы, Радиофизика	Физическая кинетика

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основные физические принципы, необходимые для построения уравнений и решения задач плазмы, гидродинамики, радиофизики, астрофизики, основные явления и закономерности колебаний и распространения волн в различных средах, соответствующие теоретические модели физических процессов.

Уметь: решать физические задачи, связанные с колебаниями различных систем и волновыми процессами в атмосфере, океане, плазме, астрофизике, биофизике; использовать при решении задач основные законы, теоретические представления и математические модели.

Владеть: математическим аппаратом исследования колебаний и волн, демонстрировать способность проводить физические эксперименты с использованием закономерностей колебательных и волновых процессов, владеть навыками применения моделей теории колебаний и волн при интерпретации экспериментальных данных, их обработке и для предсказания возможной динамики систем.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		В	С		
Аудиторные занятия (всего)	60	28	32	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	30	14	16	-	-
Практические занятия (ПЗ)	-	-	-	-	-
Семинары (С)	30	14	16	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-	-
Самостоятельная работа (всего)	84	44	40	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа)				-	-
Расчетно-графические работы	-	-	-	-	-
Реферат				-	-
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Самостоятельное решение задач по дисциплине					
Изучение литературы по дисциплине					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет				
Общая трудоемкость, час	144	72	72	-	-
зач. ед.	4	2	2		

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Линейный и нелинейный осцилляторы	Эффективные потенциалы, фазовая плоскость, типы особых точек, аттрактор, частота и период колебаний, возбуждение внешней силой, положительное и отрицательное трение, система хищники-жертвы. Осциллятор с нелинейной диссипацией: уравнение Ван-дер-Поля, предельный цикл, решение для нелинейного уравнения Дюффинга.
2.	Акустические и поверхностные гравитационные волны (ПГВ), внутренние гравитационные волны (ВГВ).	Основные уравнения, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости, распространение при изменении глубины, учет сил поверхностного натяжения, взаимодействие с потоками, уравнение КДВ, уравнение Бюргерса, точные решения, распространение ВГВ в атмосфере с учетом неоднородных ветровых потоков,

		аналог ВГВ в плазме.
3.	Параметрическая неустойчивость.	Теорема Флоке, уравнения для медленно-меняющихся амплитуд, инкремент неустойчивости, точные решения, зоны Матье. Влияние диссипации, параметрическая неустойчивость в модели узких толчков. Точно решаемые модели параметрической неустойчивости осциллятора, насыщение неустойчивости, режимы усиления-затухания.
4.	Уравнение Ван-дер-Поля	Структура фазовой плоскости, предельный цикл, устойчивость равновесных состояний, мягкое и жесткое возбуждение колебаний, гистерезис при медленном изменении управляющего параметра
5.	Неоднородная ВЧ-сила, влияние на неравновесное состояние.	Маятник Капицы, вывод основного уравнения, состояния устойчивого равновесия, условие реализации, воздействие неоднородной высокочастотной силы.
6.	Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора внешней силой.	Резонансная кривая, устойчивость нелинейного режима, гистерезис. Параметрическая неустойчивость, влияние нелинейности на насыщение неустойчивости и возбуждение осциллятора внешней силой..
7.	Абсолютная и конвективная неустойчивости.	Характер поведения произвольного возмущения, связь с дисперсионными кривыми частота-волновой вектор, вид неустойчивости для пучковых мод в плазме (один пучок, два встречных пучка), усиление - непропускание волн.
8.	Абсолютная неустойчивость Джинса, неустойчивость Гельмгольца.	Абсолютная неустойчивость Джинса в самогравитирующем газе, характерные параметры неустойчивости. Абсолютная и конвективная неустойчивости для звуковых волн. Неустойчивость Гельмгольца на границе раздела движущихся жидкостей, генерация структур типа кошачьих глаз.
9.	Спектры колебаний осцилляторов.	Спектр мощности, примеры, спектр колебаний осциллятора с затуханием, спектр при возбуждении внешней силой, примеры сил и их спектры.
10.	Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов.	Нормальные колебания, нелинейные связи, стандартные уравнения, резонансное взаимодействие, понятие синхронизма колебаний по частоте, интегралы движения, качественное поведение амплитуд, фазовый эллипсоид, типы особых точек, соотношения Мэнли-Роу.
11.	Нелинейная генерация второй гармоники в нелинейных средах.	Основные уравнения, интегралы движения, решение при точном синхронизме. Взрывная неустойчивость, уравнения трех волн, автомодельное решение. Генерация второй гармоники в областях плазменных резонансов
12.	Нелинейная динамика волн при кубической нелинейности.	Нелинейное затухание волн при кубической нелинейности, уравнение, его решение. Нелинейное просветление волновых барьеров в модели с кубической нелинейностью, ее решение.
13.	Нелинейное параболическое уравнение Шредингера.	Узконаправленные волновые пакеты в нелинейной среде. Нелинейная рефракция, самофокусировка. Интегралы I_1 , I_2 и уравнение для характерного поперечного размера волнового пучка. Критическая мощность, длина самофокусировки, соотношение с длиной дифракции. Устойчивость плоской волны.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семинары	СРС	Всего час.
1.	Линейный и нелинейный осцилляторы	2	-	-	2	10	14
2.	Акустические и поверхностные гравитационные волны (ПГВ), внутренние гравитационные волны (ВГВ).	4	-	-	4	6	14
3.	Параметрическая неустойчивость.	4	-	-	4	12	20
4.	Уравнение Ван-дер-Поля	2	-	-	2	8	12
5.	Неоднородная ВЧ-сила, влияние на неравновесное состояние.	2	-	-	2	10	14
6.	Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора внешней силой.	2	-	-	2	10	14
7.	Абсолютная и конвективная неустойчивости.	2	-	-	2	4	8
8.	Абсолютная неустойчивость Джинса, неустойчивость Гельмгольца.	2	-	-	2	4	8
9.	Спектры колебаний осцилляторов.	4	-	-	4	12	20
10.	Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов.	4	-	-	4	10	18
11.	Нелинейная генерация второй гармоники в нелинейных средах.	3	-	-	3	2	8
12.	Нелинейная динамика волн при кубической нелинейности.	2	-	-	2	12	16
13.	Нелинейное параболическое уравнение Шредингера.	2	-	-	2	10	14
	Итого	35	-	-	35	110	180

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	1	Линейный и нелинейный осцилляторы	2
2.	2	Акустические и поверхностные гравитационные волны (ПГВ), внутренние гравитационные волны (ВГВ).	4
3.	3	Параметрическая неустойчивость	4
4.	4	Уравнение Ван-дер-Поля	2
5.	5	Неоднородная ВЧ-сила, влияние на неравновесное состояние	2
6.	6	Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора внешней силой.	2
7.	7	Абсолютная и конвективная неустойчивости.	2
8.	8	Абсолютная неустойчивость Джинса, неустойчивость Гельмгольца.	2

9.	9	Спектры колебаний осцилляторов.	4
10.	10	Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов.	4
11.	11	Нелинейная генерация второй гармоники в нелинейных средах.	3
12	12	Нелинейная динамика волн при кубической нелинейности.	2
13.	13	Нелинейное параболическое уравнение Шредингера.	2

8. Примерная тематика курсовых проектов (работ) не предусмотрены учебным планом

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература

- 1) М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. - М.: Наука, 1984. - 432 с.
- 2) М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. - М.: Наука, 1990. - 432 с.
- 3) В.Л. Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Наука, 1967.
- 4) П.С. Ланда. Нелинейные колебания и волны. – М.: URSS, 2010, - 552 с.

б) дополнительная литература:

- 1) В.И. Петвиашвили, О.А. Похотелов. Уединенные волны в плазме и атмосфере. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 200 с.
- 2) В.И. Карпман. Нелинейные волны в диспергирующих средах. – М.: Наука, 1973. - 175 с.
- 3) А.В. Гапонов-Грехов, М.И. Рабинович. Л.И. Мандельштам и современная теория нелинейных колебаний и волн // УФН. – 1979. – Т.128, вып.4. – С. 579-624.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- <http://www.tokamak.info> – информ. портал по токамакам
- <http://www.plasmacoalition.org/> – объединения по изучению плазмы.
- <http://www.plasmas.org/plasma-physics.htm> – перспективы использования плазмы.
- <http://www.physics.ucla.edu/plasma-exp/> – основы физики плазмы.
- <http://plasma-gate.weizmann.ac.il/PlasmaI.html> – плазма в интернете.
- <http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, мультимедийный проектор, интерактивная доска, лицензионное ПО: Microsoft Office (Word Excel PowerPoint), Adobe Acrobat 8.0 Pro.

11. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:

Для текущего контроля успеваемости через месяц занятий проводятся промежуточные аттестации, два раза в семестр рубежная аттестация.

12. Методические указания для студента, слушателя

При прохождении данного курса студентам рекомендуется больше внимания уделять основным понятиям физики колебаний и волн в средах, результатам экспериментов в этой области (включая дистанционное зондирование сред, воздействие излучения на их параметры, генерацию колебаний и волн и др.), методам исследований в этой области, главным явлениям и закономерностям волновых процессов, знать их пространственно-временные параметры, основные теоретические представления и модели, овладеть навыками применения разработанных моделей волновых и колебательных процессов в анализе волновых процессов, подходы к интерпретации экспериментальных данных, их обработке, в исследовании когерентных структур и турбулентности, оценивать их характеристики.

13. 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 «Теория колебаний и волн»

Направление/Специальность: 03.03.02 Физика

Код контролируемой компетенции или ее части	Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП							Баллы темы	Баллы раздела	
			Опрос	Тест	Коллоквиум	Выполнение ЛР	Выполнение ДЗ	Выполнение КР	Зачет			
ПК-1	Базовые модели линейной и нелинейной динамики систем	Модели осцилляторов, фазовая плоскость, возбуждение внешней силой	3	3				4		3	10	28
		Уравнение Ван-дер-Поля, система связанных осцилляторов, резонанс		3				4		3	10	
ПК-1	Звуковые волны	Основные характеристики ЗВ	3	3				4	20	2	9	27
		Взаимодействие ЗВ с неоднородной средой, возникновение волноводов		3				4		3	10	
ПК-1	Колебания систем при внешнем воздействии	Воздействие высокочастотной силы. Маятник Капицы.	3	3				4		3	10	27
		Модель параметрической неустойчивости		3				4		2	9	
ПК-1	Точно решаемые модели динамики волн	Уравнения Бюргерса, Кортевега де-Вриза. Нелинейное уравнение Шредингера	3	3				4		3	18	18
Итого			12	21				28	20	19	100	

Задачи и упражнения

- 1) Определить структуру фазовой плоскости нелинейного осциллятора $x_{tt} + \omega_0^2 x (1 + x^2 / a^2) = 0$.
- 2) Определить структуру фазовой плоскости нелинейного осциллятора $x_{tt} + \omega_0^2 x (1 - x^2 / a^2) = 0$.
- 3) Определить параметры нелинейной волны, описываемой уравнением КдВ $u_t + u \cdot u_x + u_{xxx} = 0$.
- 4) Вычислить фазовую и групповую скорости поверхностной гравитационной волны (ПГВ) в океане глубиной 1 км при горизонтальной длине волны ПГВ 300 метров.
- 5) Определить фазовую и групповую компоненты скорости внутренней гравитационной волны, если частота Вайсяля-Брента $N = 0.025$ / сек, $k_x = 1 / 600$ m, $k_y = 1 / 120$ m.
- 6) Определить направление распространения внутренней гравитационной волны (ВГВ), если ее волновой вектор \mathbf{k} имеет угол 30° к вертикали.
- 7) Может ли горизонтальная струя жидкости быть волноводом для акустической волны?
- 8) Может ли внутренняя гравитационная волна пройти через горизонтальный ветер толщиной h по вертикали вверх в ионосферу?
- 9) Как влияет слабая диссипация на инкремент параметрической неустойчивости осциллятора на главном резонансе?
- 10) Какой параметрический резонанс описывает уравнение Матье $x_{tt} + \omega_0^2 [1 + \varepsilon \cdot \cos(2\omega_0 t)] x = 0$?
- 11) Определить период колебаний линейного осциллятора $x_{tt} + [\omega_0^2 / (1 + t / \tau)] x = 0$.
- 12) Квадрат частоты линейного осциллятора промодулирован на удвоенной частоте. Как изменится инкремент параметрической неустойчивости при снижении глубины модуляции в 3 раза?
- 13) В плазме два одинаковых электронных пучка движутся с равными скоростями навстречу друг другу. Найти инкремент неустойчивости системы.
- 14) Определить спектр колебаний линейного осциллятора $x_{tt} + \omega_0^2 x = f(t)$ при воздействии внешней силы $f(t) = f_0 / [1 + (t / \tau)^2]$.
- 15) Определить характеристики периодической стационарной волны в нелинейном уравнении Шредингера $\Psi_t + \Delta \Psi + |\Psi|^2 \Psi = 0$.
- 16) Как зависит характерное время развития взрывной неустойчивости от начальных амплитуд возмущений?
- 17) Как изменится длина самофокусировки волнового пучка, если при заданной его мощности увеличить радиус пучка на входе в среду с кубической нелинейностью в 2 раза?
- 18) В плазме имеется неоднородная ВЧ-сила вида $F(z) = F_0 \exp(-z^2 / a^2)$, как она влияет на распределение плотности плазмы?

Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам

- 1) Структура фазовой плоскости и эффективного потенциала для линейных осцилляторов с притягивающей и отталкивающей силами.
- 2) Структура фазовой плоскости и эффективного потенциала $U(x)$ для нелинейного осциллятора вида $x_{tt} + \omega_0^2 x (1 + x^2 / a^2) = 0$.
- 3) Структура фазовой плоскости и эффективного потенциала $U(x)$ для нелинейного осциллятора $x_{tt} + \omega_0^2 x (1 - x^2 / a^2) = 0$.
- 4) Каковы оптимальные условия для резонансной раскачки колебаний линейного осциллятора внешней силой с гауссовской огибающей ее амплитуды?
- 5) Электрон в поле монохроматической электростатической волны, диссипации нет. Имеется ли сепаратриса на фазовой плоскости?
- 6) Что такое захваченные частицы при взаимодействии электрона с плазменной волной?
- 7) Применимо ли уравнение Кортевега де Вриза для описания динамики нелинейных поверхностных волн на воде?

- 8) Длинная линейная поверхностная гравитационная волна на море. Как связаны фазовая и групповая скорости?
- 9) Какой параметр стратификации характеризует частоту внутренней гравитационной волны?
- 10) Какие частоты модуляции характеризуют параметрические резонансы осциллятора?
- 11) Солитоны в нелинейном уравнении Шредингера. Как связаны их параметры со скоростью движения солитона?
- 12) Где может находиться положение равновесия у маятника Капицы?
- 13) По какому закону увеличивается амплитуда колебаний линейного осциллятора при резонансе с внешней силой с постоянными амплитудой и частотой?
- 14) Когда происходит генерация второй гармоники электромагнитной волны, распространяющейся через нелинейную среду?
- 15) Что такое взрывная неустойчивость в системе связанных нелинейных осцилляторов?
- 16) Что такое самофокусировка волнового пучка?
- 17) Волна падает на периодически неоднородную среду. Как меняется ее амплитуда по мере прохождения волны в среду?

Задания для самостоятельной работы по темам

- 1) Линейный осциллятор, притягивающая сила. Изменится ли тип особой точки центр на фазовой плоскости при учете положительной диссипации?
- 2) Нелинейный осциллятор вида $x_{tt} + w_0^2 x (1 + x^2 / a^2) = 0$. Как зависит период его колебаний от амплитуды?
- 3) Линейные внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости. Какова связь фазовой и групповой скоростей в отсутствие фоновых течений?
- 4) Спектр колебаний линейного осциллятора со слабой диссипацией ν при возбуждении внешней силой в зависимости от ее частоты Ω ?
- 5) Когда будет наблюдаться абсолютная неустойчивость пучков заряженных частиц в плазме?
- 6) Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов. Когда оно наиболее эффективно?
- 7) Когда возможна генерация второй гармоники электромагнитной волны в нелинейных средах?
- 8) Нелинейное параболическое уравнение Шредингера, его вид?
- 9) Что определяет критическая мощность волнового пучка?
- 10) Что такое взрывная неустойчивость?
- 11) Частота линейного осциллятора (при пренебрежении диссипацией) плавно уменьшается со временем. Какова динамика амплитуды его колебаний?
- 12) Внутренняя линейная гравитационная волна падает на неоднородный по вертикали горизонтальный поток. Может ли поток препятствовать прохождению волны ВГВ через него?
- 13) Какой частоте модуляции W соответствует главный параметрический резонанс осциллятора?
- 14) В чем состоит нелинейное просветление плазмы электромагнитной волной в модели с кубической нелинейностью?

Перечень домашних заданий по темам

1. Эффективные потенциалы, фазовая плоскость, типы особых точек, аттрактор, частота и период колебаний, возбуждение внешней силой.
2. Акустические и поверхностные гравитационные волны, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости, распространение при изменении глубины.
3. Уравнение Ван-дер-Поля.

4. Структура фазовой плоскости, предельный цикл, устойчивость равновесных состояний. Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора внешней силой.
5. Спектр мощности для колебаний осциллятора при возбуждении внешней силой. Нормальные колебания в системе линейных связанных осцилляторов, возможность резонансного обмена энергией между связанными осцилляторами.
6. Абсолютная и конвективная неустойчивости, динамика произвольного возмущения. Неустойчивость Гельмгольца на границе раздела движущихся жидкостей, образование структур типа кошачьих глаз.
7. Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов, условия резонансного взаимодействия.
8. Нелинейная генерация второй гармоники в нелинейных средах, роль неоднородности. Нелинейное затухание волн при кубической нелинейности.
9. Нелинейное просветление среды в модели с кубической нелинейностью. Узконаправленные волновые пакеты в нелинейной среде, дифракция, самофокусировка. Критическая мощность волнового пучка и длина его самофокусировки

Тестовые задания по темам (для текущего контроля).

- 1). Линейный осциллятор, притягивающая сила (начальные данные, учет диссипации, фазовая плоскость, точки равновесия и их классификация, отрицательное трение и изменение типа особых точек), отталкивающая сила (решение, особые точки на фазовой плоскости).
- 2). Линейный осциллятор, возбуждение произвольной внешней силой, ограничение амплитуды при резонансе, резонансная кривая, сдвиг фазы относительно внешней силы. Колебания в системе связанных осцилляторов, нормальные колебания, резонансный обмен энергией между осцилляторами, парциальные частоты и динамические демпфирование. Нелинейный осциллятор, ограничение амплитуд нелинейностью при раскачке внешней силой.
- 3). Линейные акустические и поверхностные гравитационные волны (ПГВ). Основные уравнения, дисперсионное соотношение для ПГВ, фазовая и групповая скорости, распространение при изменении глубины, эффекты при выходе на мелководье у берега, учет сил поверхностного натяжения для коротковолновых ПГВ, графики зависимости частоты и фазовой скорости от волнового числа, характерные параметры). Звуковые волны в потоке, их дисперсия (зависимость частоты от волнового вектора, аномальная дисперсия в двумерном случае, возникновение волноводных мод).
- 4). Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости. Вывод, дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости, особенности отражения от наклонного дна, Аналог ВГВ в плазме - верхнегибридные электронные колебания. .
- 5). Нелинейный осциллятор, маятник, фазовая плоскость, период и частота колебаний в зависимости от амплитуды. Электрон в поле электростатической волны (фазовая плоскость). Уравнение Кортевега-де-Вриза (структура солитона). Понятие аттрактора динамической системы.
- 6). Параметрическая неустойчивость (осциллятор, временная задача, уравнение Матье и уравнение Хилла, теорема Флоке), уравнения для медленно-меняющихся амплитуд, инкремент неустойчивости, точные решения, зоны Матье. Влияние диссипации, параметрическая неустойчивость в модели узких толчков.
- 7). Точные решения для моделей линейного осциллятора с переменной частотой включая случай параметрической неустойчивости. Осциллятор с нелинейной диссипацией – уравнение Ван-дер-Поля (раскачка колебаний, насыщение неустойчивости. Асимптотическое решение для нелинейного уравнения Дюффинга.

- 8). Уравнение Ван-дер-Поля с нелинейным трением (раскачкой), структура фазовой плоскости, предельный цикл, устойчивость равновесных состояний, метод анализа, мягкое и жесткое возбуждение колебаний, гистерезис при медленном изменении управляющего параметра. Неоднородная ВЧ-сила, влияние на неравновесное состояние.
- 9). Маятник Капицы, вывод основного уравнения, состояния устойчивого равновесия, условие реализации. Осциллятор Ван-дер-Поля с внешней силой, равновесия, устойчивость нелинейных режимов.
- 10). Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора (при наличии диссипации) внешней силой. Параметрическая неустойчивость осциллятора, влияние нелинейности на насыщение неустойчивости.
- 11). Спектры колебаний, спектр мощности. Примеры: спектр колебаний осциллятора с затуханием, спектр при возбуждении внешней силой, примеры сил и их спектры.
- 12). Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов, стандартная система уравнений, резонансное взаимодействие типа распадного.

Тренинговые задания.

- 1) Режимы колебаний нелинейного осциллятора $x_{tt} + w_0^2 x (1 + x/a) = 0$ (эффективный потенциал, фазовая плоскость, сепаратриса, зависимость периода колебаний от амплитуды).
- 2) Период колебаний нелинейного осциллятора $x_{tt} + w_0^2 x (1 + x^2/a^2) = 0$ в зависимости от амплитуды. Введение безразмерных переменных.
- 3) Динамика колебаний линейного осциллятора при возбуждении внешней силой $x_{tt} + w_0^2 x = f(t)$, действующей на интервале времени $0 \leq t \leq T$.
- 4) Фазовая плоскость нелинейного маятника $x_{tt} + w_0^2 \sin(x/L) = 0$, имеющего длину L .
- 5) Маятник с быстро колеблющейся точкой подвеса. Модельное уравнение, положения равновесия.
- 6) Уравнение Бюргерса $v_t + v v_x + \nu v_{xx} = 0$. Структура фронта ударной волны.
- 7) Нелинейные волны и солитоны в уравнении Кортевега де Вриза.
- 8) Взаимодействие звуковой волны с горизонтальным потоком воды в океане. Дисперсионное уравнение.
- 9) Возникновение волновода при взаимодействии звуковой волны с горизонтальной струей в океане.
- 10) Параметрическая неустойчивость линейного осциллятора в рамках точно решаемой модели $x(t) = A \exp[W(t)] \cos(w_0 t)$, $dW/dt = g(t) \cos(w_0 t)$, $x_{tt} + w_0^2 x [1 + Q(t)] = 0$. Определить функцию $Q(t)$, инкремент неустойчивости для случая $g(t) = e \cos(w_0 t + q)$.
- 11) Фазовая и групповая скорости внутренней гравитационной волны при наличии горизонтального потока $U = \text{const}$ и постоянной частоты Вайсяля-Брента.
- 12) Солитоны в нелинейном уравнении Шредингера, зависимость скорости их распространения и толщины от амплитуды солитона..
- 13) Устойчивость плоской волны в нелинейном уравнении Шредингера.
- 14) Особенности взаимодействия электромагнитной волны с неоднородной плазмой при наличии слоя плазменного резонанса.
- 15) Динамика самофокусировки волнового пучка в зависимости от его начального радиуса.
- 16) Модель описания взрывной неустойчивости для связанных осцилляторов.

Перечень вопросов итоговой аттестации по курсу

- 1) Линейный осциллятор, притягивающая сила (начальные данные, учет диссипации, фазовая плоскость, точки равновесия и их классификация, отрицательное трение и изменение типа особых точек), отталкивающая сила (решение, особые точки на фазовой плоскости).
- 2) Линейный осциллятор, возбуждение произвольной внешней силой, ограничение амплитуды при резонансе, резонансная кривая, сдвиг фазы относительно внешней силы. Нормальные колебания в системе связанных осцилляторов, резонансный обмен энергией между осцилляторами, парциальные частоты и динамическое демпфирование. Ограничение амплитуд осциллятора нелинейностью при раскачке внешней силой.
- 3) Линейные акустические и поверхностные гравитационные волны (ПГВ). Дисперсионное соотношение для ПГВ, фазовая и групповая скорости, распространение при изменении глубины, эффекты при выходе на мелководье у берега. Звуковые волны в потоке, возникновение волновода при учете неоднородности.
- 4) Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости. Дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости, особенности отражения от наклонного дна, Аналог ВГВ в плазме - верхнегибридные электронные колебания.
- 5) Нелинейный осциллятор, фазовая плоскость, период колебаний в зависимости от амплитуды. Электрон в поле электростатической волны (фазовая плоскость). Уравнение Кортевега-де-Вриза (структура солитона).
- 6) Параметрическая неустойчивость (осциллятор, уравнения Матье и Хилла), основной резонанс, точные решения, представление решения, инкремент неустойчивости, решения с заданными усилением возмущений и временем усиления, обратимость параметрической неустойчивости.
- 7) Точные решения для моделей линейного осциллятора с переменной частотой, динамика частоты и амплитуды колебаний. Модель осциллятора с нелинейной диссипацией, возникновение предельного цикла, особые точки траекторий на фазовой плоскости.
- 8) Уравнение Ван-дер-Поля с нелинейным трением (раскачкой). Неоднородная ВЧ-сила, влияние на неравновесное состояние. Маятник Капицы, состояния устойчивого равновесия, условие реализации. Квантование амплитуды установившихся колебаний осциллятора при наличии диссипации.
- 9) Влияние нелинейности на резонансное возбуждение колебаний осциллятора (при наличии диссипации) внешней силой. Параметрическая неустойчивость осциллятора, влияние нелинейности на насыщение неустойчивости.
- 10) Спектры колебаний, спектр мощности. Примеры: спектр колебаний осциллятора с затуханием, спектр при возбуждении внешней силой, примеры сил и их спектры.
- 11) Нелинейное взаимодействие трех связанных осцилляторов, стандартная система уравнений, резонансное взаимодействие типа распадного.
- 12) Внутренние гравитационные волны в стратифицированных атмосфере и океане. Особенности отражения от струйных течений, возникновение критических слоев при наличии фоновых течений, особенности лучевых траекторий.
- 13) Нелинейная генерация высших гармоник в однородных нелинейных средах. Основная модель, условия возникновения взрывной неустойчивости. Генерация высших гармоник в неоднородных нелинейных средах в отсутствие синхронизма волн.
- 14) Среда с кубической нелинейностью, устойчивость плоской волны, модельное уравнение. Возможность просветления волновых барьеров.
- 15) Нелинейное уравнение Шредингера для волновых пакетов, самофокусировка волнового пучка, критическая мощность, длина самофокусировки, уравнение для характерного поперечного размера волнового пучка.

Словарь основных терминов и понятий

Фазовая плоскость, аттрактор, эффективный потенциал, внешняя сила, положительное и отрицательное трение, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости, уравнение КДВ, уравнение Бюргерса, акустико-гравитационные волны, инкремент неустойчивости, зоны Матъе, параметрическая неустойчивость, уравнение Ван-дер-Поля, предельный цикл, неоднородная ВЧ-сила, маятник Капицы, абсолютная и конвективная неустойчивости, пучковые моды в плазме, усиление - непропускание волн, неустойчивость Гельмгольца, спектр мощности, спектр осциллятора при возбуждении внешней силой, нормальные колебания, понятие синхронизма колебаний по частоте, соотношения Мэнли-Роу, нелинейная генерация второй гармоники в нелинейных средах, интегралы движения, взрывная неустойчивость, нелинейное просветление сред, нелинейная рефракция, самофокусировка пучка, нелинейное параболическое уравнение Шредингера, критическая мощность пучка, длина самофокусировки волнового пучка.

Критерии оценивания

Ответ на зачете оценивается по следующим критериям (максимально можно набрать 19 баллов):

Набрано баллов	Критерии
16-19 баллов	<ol style="list-style-type: none">1) содержание материала билета раскрыто полностью;2) материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, точно используется терминология;3) показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации;4) продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов;5) практические задания выполнены правильно;6) ответ самостоятельный, без наводящих вопросов;7) допущены одна–две неточности при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются после замечаний или наводящих вопросов.
11-15 баллов	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом имеет один из недостатков: <ol style="list-style-type: none">1) в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие сути содержания ответа;2) допущены один–два недочета при освещении основного содержания ответа (выполнения практического задания), исправленные после замечания экзаменатора;3) допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются после замечания экзаменатора.
6-10 баллов	<ol style="list-style-type: none">1) неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но продемонстрированы общее понимание вопроса и умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала;2) имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, выполнении практических заданий, исправленные после нескольких наводящих вопросов;3) при неполном знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков, студент не может применить теорию в новой ситуации
менее 6 баллов	<ol style="list-style-type: none">1) не раскрыто основное содержание учебного материала;2) обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее

	важной части учебного материала; 3) не выполнено практическое задание или применен неверный метод (модель, алгоритм); 4) допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов. 5) ответ на вопрос полностью отсутствует. 6) отказ от ответа.
--	--

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.03.02

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



О.Т. Лоза